BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ – HYDROLOGIE NR. 17

Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission und der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

HANS ULRICH SCHWEIZER

BEITRÄGE ZUR HYDROLOGIE DER AJOIE (BERNER JURA)

Mit 3 Karten und 112 Figuren

Kommissionsverlag: Geographischer Verlag Kümmerly & Frey, Bern

Meinen Eltern und meiner Frau gewidmet

VORWORT DER HYDROLOGISCHEN KOMMISSION UND DER SCHWEIZ. GEOTECHNISCHEN KOMMISSION

Die Hydrologische Kommission der S.N.G. und die Schweiz. Geotechnische Kommission freuen sich, die vorliegende Arbeit des Herrn Dr. H. U. Schweizer «Beiträge zur Hydrologie der Ajoie» in ihrer gemeinsamen Publikationsreihe als Nr. 17 der «Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie» erscheinen zu lassen. In angemessener Weise beteiligten sich beide Kommissionen an den Druckkosten. Zur Finanzierung für Aufstellung und Betrieb der Abfluss-Station Boncourt und des Netzes der Niederschlags-Stationen sowie zur Drucklegung halfen ferner in verdankenswerter Weise mit:

Wasserwirtschafts-, Gewässerschutz- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern,
Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern,
zahlreiche Gemeinden, Vereine und Gesellschaften der Ajoie,
Geographisches Institut der Universität Bern.

Das Untersuchungsgebiet ist seiner ausgedehnten unterirdischen Entwässerung wegen hydrologisch ausserordentlich kompliziert. Dank der mehrjährigen, intensiven Feldarbeit des Verfassers (Aufnahme eines Quellkatasters, zahlreiche Wassermarkierungen u.a.m.) sind eine erfreuliche Anzahl von Problemen der ober- und unterirdischen Entwässerung der Ajoie einer Lösung entgegen geführt worden.

Für den Inhalt von Text, Karten und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, den 16. Januar 1970

Für die Schweiz. Geotechnische Kommission	Für die Hydrologische Kommission der S.N.G.
Der Präsident:	Der Präsident:
Prof. Dr. F. de Quervain	*Prof. G. Schnitter*

VORWORT DES VERFASSERS

In kalten Wintern und trockenen Sommern stösst der aufmerksame Zeitungsleser immer und immer wieder auf kleine Berichte, wonach im Jura dieses Dorf und jene Gehöfte ohne Wasser seien und dass das lebensnotwendige Nass in Zisternenwagen oft mehrere Kilometer weit an den Verbraucherort transportiert werden müsse.

Wie steht es diesbezüglich in der Ajoie? Diese Frage bildete den Ausgangspunkt der nachstehenden hydrologischen Arbeit, die in den Jahren 1964 bis 1968 als Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. F. Gygax entstand. Ihm schulde ich grossen Dank, hatte er doch für alle meine Probleme sehr viel Verständnis. Sein beispielhafter persönlicher Einsatz war mir stets Vorbild und erstrebenswertes Ziel. Er verstand es, die zuständigen Behörden und Beamten des Kantons Bern für meine Arbeit zu interessieren. Ohne die von dieser Seite neben den Institutskrediten zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel hätten gewisse Untersuchungen nicht in derart weitgehendem Masse durchgeführt werden können. Hiefür und für die stets erfolgte Unterstützung beim Durchsuchen der Archive danke ich den betreffenden Instanzen und privaten Betrieben aufs beste.

Zu Dank verpflichtet bin ich aber auch den an der Universität und in der Ajoie neu gewonnenen Freunden, mit denen ich im Laufe der viereinhalb Jahre zusammenarbeiten durfte. Man möge es mir verzeihen, wenn ich darauf verzichte, hier die Namen all derer zu nennen, die mir bei der Ausführung der Messungen und Versuche geholfen, ihre Beobachtungen zur Verfügung gestellt, die Manuskripte durchgesehen oder mir wertvolle Ratschläge erteilt haben.

Anerkennende Erwähnung verdienen schliesslich das Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, die Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern, die Hydrologische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, die Schweiz. Geotechnische Kommission, die Association pour la Défense des Intérêts du Jura, die Société jurassienne d'Emulation, die Stadt Porrentruy sowie weitere zahlreiche Gemeinden und Private der Ajoie, die mit einem Beitrag an die Druckkosten die Publikation der vorliegenden Arbeit ermöglicht haben.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZE BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES 11

I. TEIL: DIE WASSERVERSORGUNGEN IN DEN GEMEINDEN DER AJOIE

1. Die Wasserversorgung bis zum Ende des 19. Jahrhunderts 17
2. Die Errichtung der Druckwasserversorgungen in den Dörfern 21
3. Die Gründung der Zweckverbände 25
4. Der gegenwärtige Stand der Wasserversorgungen in den Gemeinden der Ajoie 27
5. Der durchschnittliche Wasserverbrauch 37

II. TEIL: WASSERKREISLAUF UND WASSERBILANZ

1. Die Niederschläge 41
   1.1 Das Beobachtungsnetz 41
   1.2 Die räumliche Verteilung der Niederschläge 47
   1.3 Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge 49
   1.4 Die Veränderlichkeit der Niederschlagshöhen von Mormont 49
   1.5 Beurteilung des Beobachtungsnetzes 55

2. Die oberirdischen Abflüsse 57
   2.1 Das oberirdische Flussnetz 57
   2.2 Messstationen und Messmethoden 59
   2.3 Die Wasserführung der Vendline 62
   2.4 Die Wasserführung der Allaine 62
   2.5 Die Wasserführung der Cœuvatte 70

3. Die Wasserbilanz 71
   3.1 Beziehungen zischen Niederschlag und oberirdischem Abfluss 71
   3.2 Die Verdunstung 74
   3.3 Die Änderung der Reserven 75

III. TEIL: GRUNDWASSER UND UNTERIRDISCHE WASSERLÄUFE

1. Die geologischen Verhältnisse der Ajoie 79
   1.1 Das Mesozoikum der Mont Terri-Antiklinale 79
   1.2 Das Mesozoikum im Tafelland der Ajoie 81
   1.3 Die kretazisch-eocaene Festlandperiode 83
   1.4 Die oligocaenen, miocaenen und pliocaenen Ablagerungen 84
   1.5 Das Quartär 89
   1.6 Übersicht über die Tektonik 91

2. Die Grundwasservorkommen in der Ajoie 93
   2.1 Definition des Begriffs «Grundwasser» 93
   2.2 Beschreibung der in der Ajoie vorkommenden Grundwasserleiter 93
   2.3 Die Höhe des Grundwasserspiegels im Festgestein 94
   2.4 Die Kalklösung und ihre Konsequenzen bei der Bildung von Hohlräumen 97
   2.5 Die Durchlässigkeit des phreatischen Bereiches 99

3. Die Quellen als örtlich begrenzte Grundwasseraustritte 101
   3.1 Inventar der in der Ajoie vorhandenen Quellen 101
   3.2 Versuch einer Einteilung der Quellen der Ajoie nach geologischen und hydrologischen Gesichtspunkten . 101
   3.3 Die Quellschüttung 116
   3.4 Die Temperatur des Quellwassers 117

4. Der Chemismus des Grundwassers 119
   4.1 Die Veränderlichkeit der chemischen Zusammensetzung im Laufe der Zeit 121
   4.2 Die chemische Zusammensetzung einer grossen Zahl von Quellen und Grundwasser zu demselben Zeitpunkt 121
   4.3 Beurteilung der einzelnen chemischen Komponenten des Wassers 123

5. Die bakteriologischen Untersuchungen des Grundwassers 129

6. Die Bewegung des Grundwassers im Festgestein . . . 131
6.1 Höhlen, Dolinen und Karstschlote . . . 131
6.1.1 Die Grotten von Réclère . . . 131
6.1.2 Das Höhlensystem im Trockental der Haute-Ajoie . . . 133
6.1.3 Das Höhlensystem zwischen Boncourt und Bure . . . 141
6.2 Schlüsse, die sich aus zufälligen Verschmutzungen von Quellen ziehen lassen . . . 157
6.3 Weitere Nachweise unterirdischer Verbindungen mit Hilfe von Markierstoffen . . . 161
6.3.1 Die Färbung in Villars sur Fontenais . . . 161
6.3.2 Die Färbung des Ruisseau de Courgenay . . . 161
6.3.3 Die Färbung bei Le Varandin . . . 162
6.3.4 Die Färbung der Abwasser von Mormont . . . 162
6.3.5 Die Färbung der Abwasser von Croix . . . 162
6.3.6 Die Färbung der Abwasser von Villars-lès-Blamont (westlich Damvant) . . . 163
6.3.7 Die Färbung der Abwasser von Fahy . . . 163
6.4 Geschwindigkeit und Durchmischung der unterirdisch fliessenden Gewässer . . . 167

7. Das Grundwasser in den Alluvionen der Täler . . . 169
7.1 Vorkommen und Zusammensetzung der Alluvionen . . . 169
7.1.1 Das Tal der Cœuvatte . . . 169
7.1.2 Das Tal der Vendline . . . 169
7.1.3 Das Einzugsgebiet der Larg . . . 171
7.1.4 Die Mulde von Alle . . . 171
7.1.5 Das Engnis im Tal der Allaine zwischen Alle und Porrentruy . . . 174
7.1.6 Das Trockental der Haute-Ajoie . . . 175
7.1.7 Die Ebene nördlich Porrentruy (La Prairie und Pont d'Able) . . . 177
7.1.8 Das Becken von Courchavon . . . 179
7.1.9 Die Talebene von Courtemaîche . . . 180
7.1.10 Das Becken von Buix . . . 183
7.1.11 Die Talebene von Boncourt . . . 183
7.2 Die Speisung der Grundwasserbecken im Quertal der Allaine . . . 189
7.3 Statistische Untersuchungen über die Grundwasserspiegelschwankungen . . . 193

8. Der Einfluss der unterirdischen Entwässerung auf die Wasserbilanz . . . 197
8.1 Die Abgrenzung der Einzugsgebiete . . . 197
8.2 Die Wasserbilanz . . . 202

IV. TEIL: DER AUSBAU DER WASSERVERSORGUNGSANLAGEN IN DER AJOIE

1. Der Wasserbedarf . . . 205
1.1 Der Bedarf für die Versorgung der Haushaltungen . . . 205
1.2 Der Einfluss des Viehbestandes auf den Trinkwasser-Verbrauch . . . 207
1.3 Der Bedarf an Wasser für Gewerbe, Industrie, Verwaltung, Feuerwehr, öffentliche Zwecke und Brunnen . 208
1.4 Der Bedarf des Waffenplatzes Bure . . . 208
1.5 Der Zustand der Wasserleitungen und Reservoire . . . 209

2. Möglichkeiten zum Ausbau der Wasserversorgungsanlagen in der Ajoie . . . 211
2.1 Sanierung von bestehenden Anlagen . . . 211
2.2 Fassung von Quellen in höheren Lagen . . . 211
2.3 Fassung von Karstquellen in den Tälern . . . 211
2.4 Fassung von Grundwasser in den Lockergesteinen der Täler . . . 212
2.5 Erschliessung von Grundwasser in den zerklüfteten Kalken . . . 212
2.6 Zuführung von Trinkwasser aus anderen Gebieten . . . 213

3. Diskussionsgrundlage des Verfassers für den Ausbau der Wasserversorgungsanlagen in der Ajoie . . . 215

4. Vorschläge für die Durchführung weiterer Voruntersuchungen . . . 217

KURZE BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Die Ajoie bildet den nördlichsten Zipfel des Kantons Bern; sie ist durch die Mont Terri-Antiklinale vom übrigen Kantonsteil abgetrennt. Geographisch stellt sie eine ganz andersartige Landschaft dar als der südlich daran anschliessende Faltenjura. Auch die oft erwähnten Ähnlichkeiten mit dem französischen Sundgau, in den sie hineinragt, sind bei genauerer Prüfung unbedeutend.

Geologisch-tektonisch besteht der grösste Teil des Elsgaues, wie die Ajoie im deutschen Sprachgebrauch genannt wird, aus sanftwelligen, wenig durchtalten, 400 bis 600 m hoch gelegenen Tafeln, auf denen zahlreiche Buchen- und Nadelwälder mit mageren Weiden und Äckern abwechseln (Fig. 2). Auffaltungen sind kaum vorhanden, dafür aber eine umso grössere Zahl von Brüchen und Flexuren. Die Malmkalke sind vorherrschend. Nur an einer einzigen Stelle, im La grande Valle westlich Buix, erfolgte die Erosion bis auf das Terrain à chailles (oberes Oxfordien).

Über dieses Tafelland wurde von Süden her die nach Norden übergekippte Mont Terri-Antiklinale, die nördlichste Kette des eigentlichen Faltenjura, geschoben. Sie ist im Scheitel stellenweise bis auf die Trias aufgeschlossen (Fig. 3).

Hydrologisch handelt es sich um ein Karstgebiet mit all den dafür typischen Erscheinungen. Dementsprechend ist auch die Zahl der oberirdischen Gewässer gering. Nur dort, wo wasserundurchlässige Ablagerungen die Kalke überdecken, weisen Bächlein, Sümpfe und Teiche auf grösseren Wasserreichtum hin.

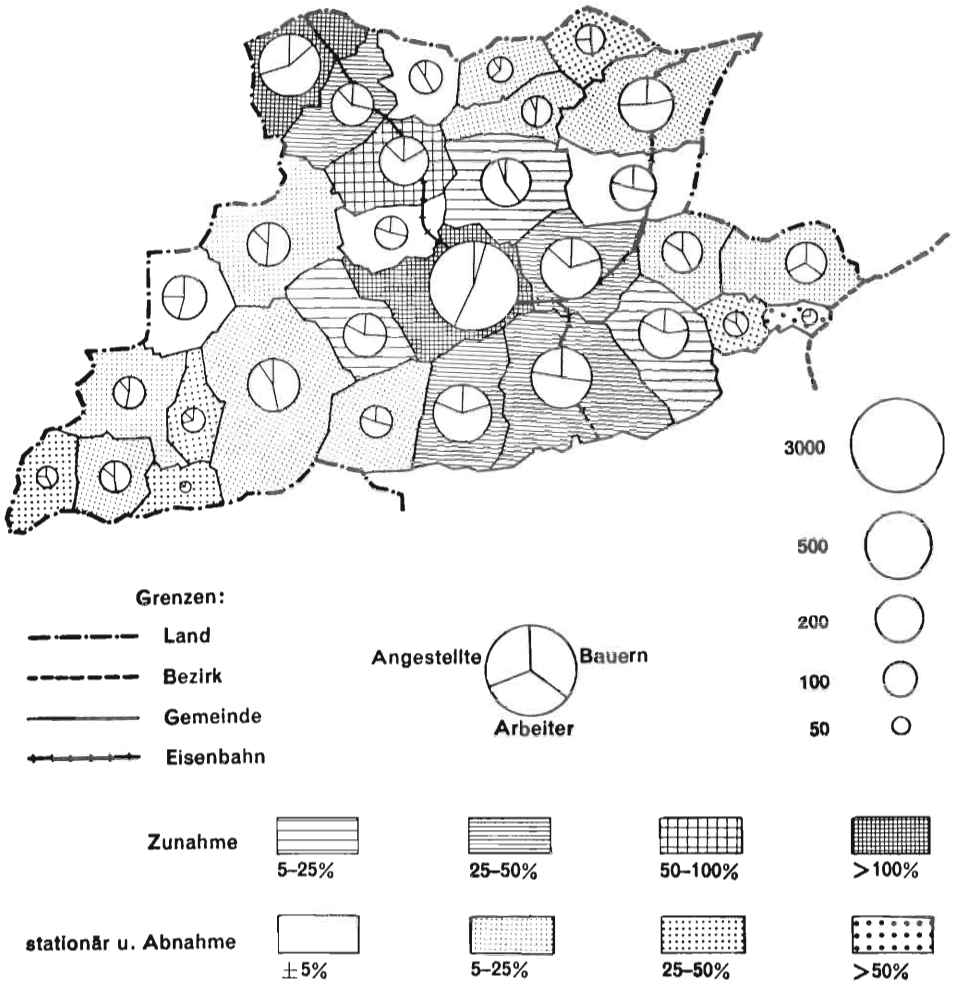
Drei Bäche verlassen das Gebiet der Schweiz in Richtung Frankreich. Die Vendline und die Cœuvatte fliessen nordwärts in je einer im Mittel 50 m tiefen Mulde. Einen ähnlichen Charakter hat der parallel zum Faltenjura verlaufende obere Teil der Allaine sowie das Trockental der Haute-Ajoie mit dem periodisch fliessenden Creujenat. Lediglich der Unterlauf der Allaine ist mit maximal 150 m etwas tiefer eingeschnitten. Die übrigen, sehr zahlreichen Täler sind runsenförmig, nahezu das ganze Jahr trocken und führen nur während langandauernden Regenperioden, nach sintflutartigen Gewittern oder während der Schneeschmelze Wasser. Im Sprachgebrauch werden sie mit «Combe» bezeichnet.

Hauptsiedlung der Ajoie ist Porrentruy, deren Gründung Julius Cäsar zugeschrieben wird (Fig. 2). Bis ins 13. Jahrhundert stand die Stadt in wechselndem Besitz. Die Grafen von Mömpelgard (Montbéliard) verkauften sie 1270 an die Bischöfe von Basel, die – nach dem Sieg der Reformation in der Rheinstadt – von 1529 bis 1792 ihre Residenz in dem auf uraltem Hauptfundament erbauten Schlosse errichteten.

Während der französischen Revolution wandte sich Bischof Joseph von Roggenburg um Hilfe an Kaiser Leopold II, der am 20. März 1791 500 Österreicher in Porrentruy einrücken liess. Ein Jahr später erklärte Frankreich an Österreich und Preussen den Krieg. Französische Truppen besetzten die Ajoie und den Jura bis zur Pierre Pertuis. Am 27. November 1792 erfolgte die Proklamation der Raurachischen Republik, mit Porrentruy als Hauptstadt. Diese Ehre war aber nur von kurzer Dauer. Bereits am 23. März 1793 wurde sie als Département du Mont Terrible der französischen Republik eingegliedert. 1814/15, anlässlich des Wiener Kongresses, kam der grössere Teil des ehemaligen Bistums Basel zum Kanton Bern, in dem die Ajoie zusammen mit den Gemeinden des Clos du Doubs einen Amtsbezirk bildet.

Den typischen Charakter eines Provinzhauptortes hat sich Porrentruy bis heute bewahrt. Dies geht unter anderem aus der sternförmigen Konvergenz der Strassen von den Dörfern zum Regionalzentrum hervor (vergleiche Karte 1:100 000).

Während zu Beginn der Jahrhundertwende der überwiegende Teil der Bewohner von der Landwirtschaft und der Heimindustrie lebte, nahm dieser Erwerbszweig vor allem in den Nachkriegsjahren sehr stark ab. Zudem wurden die abgelegenen Dörfer von einem starken Bevölkerungsrückgang betroffen, der in Damvant, Roche d'Or, Rocourt und Beurnevésin von 1941 bis 1950 25 bis 50%, in Pleujouse gar mehr als 50% ausmachte. Dagegen verzeichneten die Siedlungen an der Durchgangslinie Belfort–Delle–Boncourt–Porrentruy–Courgenay–Delémont eine Zunahme, wobei jedoch gleichzeitig eine Verschiebung der beruflichen Struktur von der Landwirtschaft zu Industrie und Gewerbe stattfand (Fig. 1).



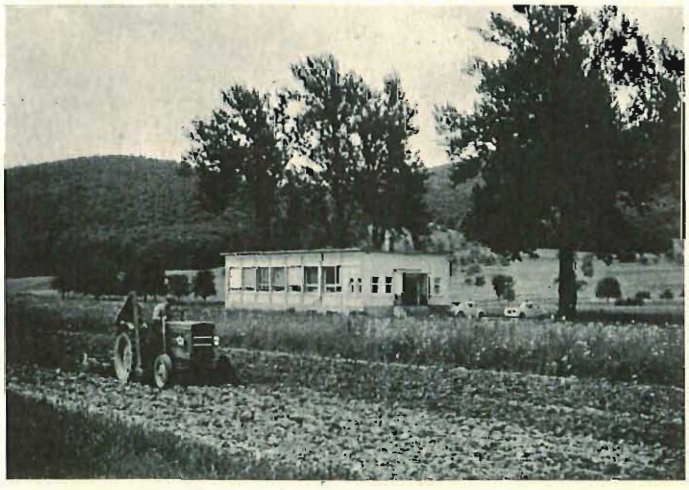
Figur 1
Einwohnerzahl 1950, Berufsstruktur 1950 und Veränderung der Einwohnerzahl 1941 bis 1950 der Gemeinden der Ajoie (aus H. Gutersohn, Geographie der Schweiz, Band Jura, erschienen 1958 bei Kümmerly und Frey, Geographischer Verlag, Bern)

Bei der Ansiedlung neuer Industrien bewährte sich die Fabrikation von Uhrensteinen besonders. Die vielen kleinen Unternehmen sind über das ganze Gebiet hinweg verstreut und bilden ein typisches Kennzeichen der Elsgauerlandschaft (Fig. 4). Die grösseren Fabriken beschränken sich auf die Dörfer mit Eisenbahnanschluss:

Boncourt:	Tabak
Porrentruy:	Uhren, Textilien, synthetische Edelsteine, Holzverarbeitung, Schuhe und Lederwaren
Courgenay:	Metall, Uhren
Alle:	Textilien
Bonfol:	Keramik, Metall

Figur 2
Blick über Porrentruy hinweg Richtung Nordosten auf das Tafelland zwischen Cœuve und Bonfol. Ganz hinten rechts im Bild der letzte Ausläufer des Pfirter-Jura (Photo Deriaz)

Figur 3
Das Längstal der Allaine unterhalb Alle, im Hintergrund die Mont Terri-Antiklinale



Figur 4
Uhrensteinfabrik am Westausgang von Charmoille

DIE WASSERVERSORGUNGEN IN DEN GEMEINDEN DER AJOIE

1. Die Wasserversorgung bis zum Ende des 19. Jahrhunderts

Welche Bedeutung das Wasser in diesem weitgehend unterirdisch entwässerten Gebiet hat, kommt darin zum Ausdruck, dass fast jede Quelle einen Namen besitzt, der sich bis in die heutige Zeit erhalten konnte. Die Kreuze, die gelegentlich über den Brunnenanlagen angebracht sind, weisen auf einen gewissen Brunnenkult hin (Fig. 5 und 6). Dasselbe gilt für die neben Quellen gelegenen Kapellen und Gebetsstätten. In Bonfol wird am Sonntag nach Himmelfahrt die Quelle St. Fromont von einer Prozession besucht, wobei in Erwartung heilkräftiger Wirkung Wasser für erkranktes Vieh und kranke Menschen in Fläschchen abgefüllt wird (Fig. 7).

In einigen Dorfnamen ist das Wort «Brunnen» in irgend einer Form enthalten, besonders in die Augen springend bei Grandfontaine (Langenbrunnen) und Fontenais. Porrentruy lässt sich vom lateinischen Bruntrutum herleiten, das seinerseits vom deutschen Wort Bruntrut, einem Synonym zu Brunnen, abstammt. Beurnevésin hiess früher Benné voisin, was gleichbedeutend wie Fontaine voisine war.

Es ist weiter nicht erstaunlich, dass in einem Gebiet, in dem das Wasser Mangelware darstellt, die Siedlungen in erster Linie dort erbaut wurden, wo dieses in genügender Menge vorhanden war. So befinden sich nahezu alle Dörfer der Ajoie an Stellen, wo Quellen an die Erdoberfläche treten oder ehemals getreten sind. Lag dieser Ort zudem an einem Bachlauf oder in einem Gebiet mit leicht erschliessbarem Grundwasser, nahm er zweifellos eine Vorzugsstellung ein. Trotz der geringen Flussdichte liegen zwei Drittel aller Dörfer an oberirdischen Gewässern.

Es war meist schwierig, die Quellen, die der Wasserversorgung dienten, in Röhren zu fassen, da das Wasser aus einer grossen Zahl von Klüften an die Oberfläche tritt. Die Erbauer der Brunnen fingen es deshalb meist in einem Teiche (Fig. 8 und 9) oder einem aus Kalksteinen trocken gemauerten, zisternenähnlichen Reservoir auf (Fig. 10). Von dort leiteten sie es nicht selten in reizvolle Tröge, die oft aus mehreren, zum Teil überdeckten Becken bestanden (Fig. 11 bis 14). An diesen holte sich die Bevölkerung das Trinkwasser, wurde das Vieh zur Tränke geführt und reinigten die Frauen ihre Wäsche.

Leider unterhielt man diese Anlagen in den letzten 50 Jahren in den seltensten Fällen; sie zerfielen, so dass man sie grösstenteils aus hygienischen Gründen zudecken musste. Die einzigen grösseren Quellteiche, die noch erhalten sind, befinden sich in Fontenais (Fig. 8) und Porrentruy (Fig. 9). Das schönste gemauerte Reservoir kann man in Réclère besichtigen (Fig. 10). Über den grössten Brunnen mit sieben zum Teil überdeckten Becken verfügt Cœuve (Fig. 6). Kleinere Anlagen finden sich häufiger, sind aber meist in schlechtem Zustand.

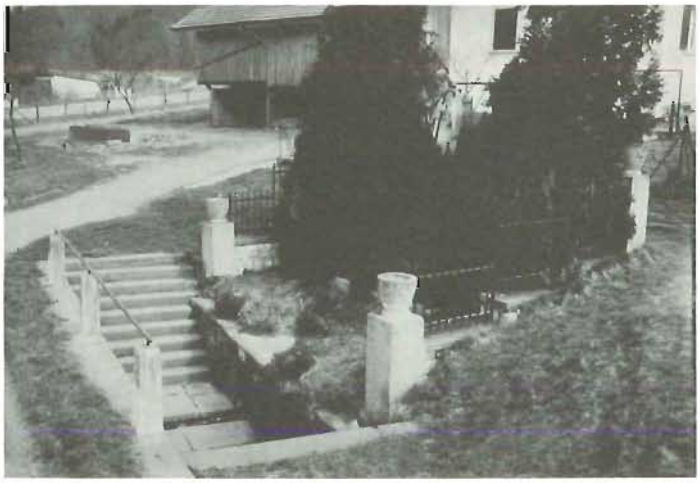
Ganz anders steht es mit den auf dem westlichen Hochplateau gelegenen Dörfern Fahy, Bure und Le Maira. Hier musste die Bevölkerung von jeher ihren Bedarf einzig aus Sodbrunnen und Zisternen decken. Dabei ist Fahy insofern bevorzugt, als es in einer flachen Mulde liegt, unter der sich in 2 bis 4 m Tiefe eine allerdings dünne, undurchlässige Schicht befindet, die in feuchten und normalen Zeiten die Bildung eines Grundwasserbeckens ermöglicht.

Über die seinerzeitige Zahl der vorhandenen Anlagen gibt uns ein Inspektionsbericht der Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern aus dem Jahre 1912 einen Hinweis. Danach standen in Bure zu diesem Zeitpunkt 110 Sodbrunnen und 35 Zisternen in Betrieb. Einzelne, der ganzen Dorfbevölkerung dienende Anlagen waren mit einem 8 bis 10 m langen Hebebaum ausgerüstet, wie sie heute noch im benachbarten Croix (Fig. 15 und 16) zu finden sind.

Die allermeisten dieser Wasserstellen sind heute zugeschüttet oder verfallen; die wenigen noch erhaltenen werden nicht mehr benützt, es sei denn zum Begiessen des Gartens. Die Qualität ist derart schlecht, dass sie für Trinkzwecke nicht mehr in Frage kommen. Während in der Regel Dachwasser die Zisternen spies, waren die Sodbrunnen nichts anderes als ein Zusammenlauf von Oberflächenwasser. Sie müssten nach unseren heutigen hygienischen Ansprüchen als Kloaken bezeichnet werden. Ein weiterer Inspektionsbericht der Brandversicherungsanstalt aus dem Jahre 1909, Fahy betreffend, spricht dies deutlich aus: «Wie es mit den Wasserverhältnissen in sanitarischer Beziehung stehen mag, lässt sich daraus ermessen,

Figur 5
Brunnen in Grandfontaine. Man beachte das Kreuz auf dem Quellhäuschen

Figur 6
Der Dorfbrunnen von Cœuve mit sieben Becken



Figur 7
Die Quelle St. Fromont bei Bonfol, überragt von der Statue des Heiligen

Figur 8
Der Quelltopf von Fontenais

Figur 9
Die Quelle La Beuchire
in Porrentruy

Figur 10
Altes Reservoir in Réclère, das
über dem eigentlichen Grundwasser-
austritt aufgemauert wurde

dass die meisten Brunnenschächte in der Nähe von Misthaufen und Abtritten angelegt und durch Grundwasser gespiesen werden, dessen Reinheit sehr fragwürdig ist. Nach Angabe eines Hausbesitzers sind in der Nähe seines Anwesens drei Sodbrunnen, welche das beste Wasser liefern; er gestand jedoch zu, dass dasselbe sich jedesmal trübe, wenn er auf seinen südöstlich davon gelegenen Matten Bschütti führe.»

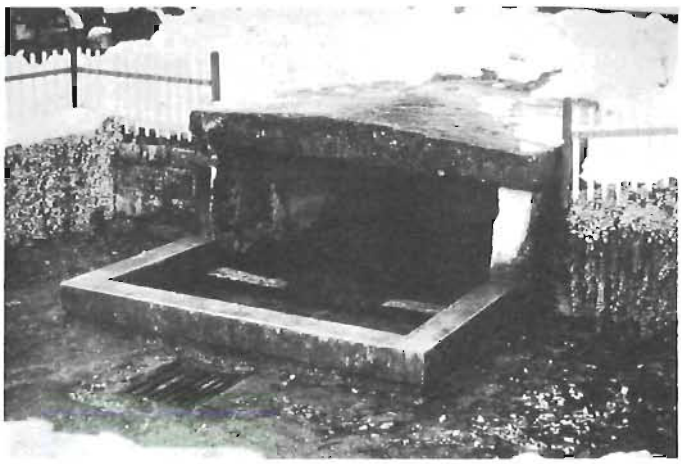
Einzelhöfe finden sich in der Ajoie selten, höchstens in Gebieten mit guten Äckern und Weiden, die zuweit vom nächsten Dorf entfernt liegen. Die meisten waren stets auf Zisternenwasser angewiesen. Einige sind es heute noch:

Le Largin	Vabenau	Champs Graitoux
Montbreux	Combe Vatelin	Fréteux

Die anderen wurden mit zum Teil erheblichen Kosten an die nächste Dorfwasserversorgung angeschlossen oder mit einer eigenen privaten Anlage ausgerüstet.

Weit häufiger sind die ausserhalb der Siedlungen gelegenen Weidställe (loge), die dem Vieh im Sommer bei heisser und nasser Witterung als Unterstand dienen. Das Wasser für die Tränke wird in vielen Fällen aus einer Zisterne entnommen, die durch auf das Dach fallende Niederschläge gespiesen wird. Nur bei wenigen befindet sich eine Quelle. Die übrigen werden mit kleineren Tankwagen versorgt.

Figur 11
Waschhaus in Val St. Dizier



Figur 12
Alter Dorfbrunnen in Beurnevésin

2. Die Errichtung der Druckwasserversorgungen in den Dörfern

Bereits im Mittelalter fasste man Quellen ausserhalb der eigentlichen Siedlungen und zog sie zur Speisung der Brunnentröge heran, zuerst mit Holzröhren, später mit solchen aus gebranntem Ton oder Eisen. Das eindrücklichste Beispiel dafür stellt zweifellos die Quelle Le Varieu dar, die durch Porrentruy mit Hilfe einer 5 km langen Leitung, davon 700 m Stollen, in die Stadt geleitet wurde. Andere Beispiele sind in alten Chroniken aufgezeichnet oder werden in Legenden von Mund zu Mund erzählt. Sie können eines Tages ihre Bestätigung finden wie im Beispiel der Quelle Essert Valtet oberhalb Fregiécourt, wo man bei Ausgrabungsarbeiten zufällig auf alte, hölzerne Zuleitungsrohre stiess.

Der Beginn der Errichtung der eigentlichen Druckwasserversorgungen mit Reservoir fällt in die 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts. Als erste Gemeinde baute 1887 Courgenay eine solche. Weitere folgten sehr rasch, so dass von einer explosionsartigen Entwicklung gesprochen werden muss:

1887	Courgenay
1892	Porrentruy
1893	Fontenais, Villars (Gemeinde Fontenais)
1893/94	Fregiécourt
1894/95	Damvant
1894/96	Asuel
1896	Courtemautruy (Gemeinde Courgenay)
1897	Chevenez
1898	Bressaucourt, Charmoille
1900	Cornol, Montignez
1901	Buix, Courtedoux
1903	Courchavon, Courtemaîche, Vendlincourt
1904	Boncourt
1907	Fahy, Pleujouse
1908	Mormont (Gemeinde Courchavon), Rocourt
1909/10	Alle, Bonfol
1910	Roche d'Or
1911	Cœuve, Grandfontaine, Bure
1912	Damphreux, Lugnez, Miécourt
1920	Réclère
1920/21	Beurnevésin
1942	Syndicat des Rangiers (Gemeinde Asuel)
1965	Syndicat de la Malcôte (Gemeinde Asuel)

Die Fassungen erfolgten dort, wo ungefasste Quellen in höheren Lagen vorhanden waren, nämlich am Nordabhang des Mont Terri, im stark zerklüfteten Gebiet von Asuel-Fregiécourt-Charmoille oder im Quertal der Allaine zwischen Porrentruy und Boncourt. Dadurch ergaben sich zum Teil recht lange Zuleitungen:

Source de la Golatte-Cœuve-Damphreux–Lugnez–Beurnevésin	17½ km
Source des Nods–Porrentruy	12½ km
Source de l'Ante–Porrentruy	11 km
Source de Fregiécourt–Bonfol	9 km
Source Pré Feusier–Bure	8½ km
Grundwasser Charmoille–Alle	8 km

Source de la Golatte–Vendlincourt	7½ km
Source Pré Chappuis–Grandfontaine	5½ km
Source Libécourt–Fahy	5½ km
Source du Varieu–Porrentruy	5 km
Sources des Combes–Montignez	4½ km
Sources de Pietchiesson–Courtedoux	4½ km

In dieser Entwicklungsphase fällt auf, dass sich die Gemeinden nicht – oder nur mit Mühe – dazu bereit fanden, mit den Nachbardörfern zusammenzuarbeiten. Dies führte zu dem schwer verständlichen heutigen Zustand, bei dem mehrere Leitungen über längere Strecken nur wenige Meter nebeneinander im Boden liegen. Das krasseste Beispiel findet sich im Raume von Miécourt, wo die Zuleitungen von Porrentruy, Alle, Alle/Bonfol, Miécourt und Vendlincourt eng beieinander verlegt sind.

Figur 13
Alter Dorfbrunnen in Courchavon

Figur 14
Brunnentrog in Réclère

Figur 15
Sodbrunnen in Croix mit Hebebaum

Figur 16
Dorfplatz von Croix

Figur 17
Zisterne in Réclère, kaum unterhalten und dem Zerfall nahe

Jahr:	Verbrauch in m^3/Jahr:	Durchschnitt in l/Min.
1951	145'460	277
1952	168'800	321
1953	166'800	317
1954	168'550	320
1955	213'640	406
1956	229'840	436
1957	229'640	436
1958	218'280	416
1959	248'685	472
1960	238'420	454
1961	371'730	707
1962	392'250	747
1963	467'620	890
1964	501'288	953
1965	506'150	963
1966	522'280	994
1967	498'140	948

Figur 18
Der Wasserverbrauch von Boncourt 1951–1967

Abnehmer:	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Courchavon	34'059	13'529	65'329	5'323	5'131	29'939
Courtedoux	48'672	34'950	53'734	27'540	14'305	20'648
Bure	38'888	44'744	31'958	9'319	21'227	28'347
Fahy	40'532	31'535	56'892	45'667	27'092	31'288
Rocourt	6'097	11'738	8'354	2'018	308	492
Grandfontaine	25'152	21'903	34'565	14'653	14'476	24'001
Réclère	6'281	12'127	12'965	1'463	6'458	2'818
Damvant	18'376	14'054	13'783	12'739	26'267	21'211
Roche d'Or	4'226	7'016	5'620	4'558	5'385	11'552
Total der Gemeinden	222'283	191'576	283'200	123'280	120'649	170'296
Total SICF	61'659	44'037	57'642	48'208	60'490	65'478
Total Bauernhöfe	2'148	1'720	2'105	2'649	9'761	7'434
Total Waffenplatz Bure	-	-	5'558	41'343	36'843	42'785
Total Diverses (Weidbrunnen, Bauplätze etc.)	546	243	892	712	408	500
Total pro Jahr	286'636	237'576	349'397	216'192	228'151	286'493
Durchschnitt (l/Min.)	544	452	663	411	433	544

Figur 19
Wasserlieferungen des SEHA in m^3 pro Jahr

3. Die Gründung der Zweckverbände

Weniger die Veränderung der Bevölkerungszahl und des Viehbestandes als die erhöhten Anforderungen in hygienischer Beziehung liessen den Wasserkonsum auch in den ländlichen Gegenden der Ajoie stark ansteigen (Fig. 18). Dieser erhöhte Bedarf stellte die Gemeinden oft vor kaum lösbare Probleme, vor allem dann, wenn in der Nähe keine geeigneten Quellen und kein Grundwasser vorhanden waren.

Aus diesem Grunde schlossen sich am 16. Dezember 1943 Courchavon, Fahy, Bure, Damvant, Réclère, Rocourt, Roche d'Or und Grandfontaine zum Syndicat des Eaux de la Haute-Ajoie (SEHA) zusammen. In Courtemaîche wurden zwei Horizontalfilterbrunnen erstellt, von wo aus das Wasser in ein neben dem Reservoir von Bure gelegenes zentrales Reservoir von 1500 m³ Inhalt gepumpt wird. Von dort aus verbindet ein grosses Überlandnetz die verschiedenen Mitgliedgemeinden sowie eine Anzahl von Einzelhöfen, die bisher auf Zisternenwasser angewiesen waren.

Später verpflichtete sich die Gesellschaft zur Lieferung von Wasser an einige französische Dörfer und Weiler (Syndicat intercommunal de Croix en France SICF) sowie an den neuerstellten, 1968 erstmals mit Truppen beschickten Waffenplatz Bure.

Welche Wichtigkeit der SEHA erlangt hat, geht deutlich aus dessen Verbrauchszahlen hervor:

1950	19 550 m³/Jahr	1959	222 206 m³/Jahr	(Trockenjahr)
1951	6 364	1960	ca. 148 000	
1952	66 250	1961	ca. 185 000	
1953	59 422	1962	286 636	(Trockenjahr)
1954	65 022	1963	237 576	
1955	71 972	1964	349 397	(Trockenjahr)
1956	44 127	1965	216 192	
1957	40 296	1966	228 151	
1958	62 919	1967	286 493	

Dabei muss man sich vergegenwärtigen, dass das Wasser des SEHA zusätzlich zu dem der Gemeindeversorgung verbraucht wird, dass es demzufolge Wasser darstellt, das die Gemeinde nicht selber zu liefern im Stande ist. Dies ist auch der Grund, weshalb die grössten Spitzen in den Trockenjahren 1959, 1962 und 1964 erreicht wurden. Auskunft über den Verbrauch der einzelnen Abnehmer in den letzten Jahren gibt Fig. 19.

Über die Gründung eines weiteren Gemeindeverbandes, des Syndicat intercommunal des Eaux de la Vendline, der Vendlincourt, Cœuve, Damphreux, Lugnez, Beurnevésin und Bonfol umfassen soll, diskutieren die verantwortlichen Gemeinde- und Kantonsbehörden seit 1965. Die Probleme sind hier vor allem rechtlicher und finanzieller Natur, zeugen aber auch von mangelndem regionalen Denken.

Dessen Vorgeschichte zeigt auf glänzende Weise, wie in früheren Jahren Verträge abgeschlossen wurden. 1911 kauften nämlich Vendlincourt und Cœuve gemeinsam die Quelle La Golatte in Asuel, fassten sie, erstellten eine Zuleitung ins bestehende Reservoir von Vendlincourt und schlossen Cœuve an dieses an. Von den entstehenden Auslagen übernahm Vendlincourt 50% der Fassungs- und Zuleitungskosten, verlangte aber von Cœuve 12000 Franken für das Mitbenützungsrecht des Reservoirs. 1912 erfolgte die Verlängerung des Netzes nach Damphreux und Lugnez, wobei beide Gemeinden eine Einkaufssumme von 12500 Franken zu bezahlen hatten. 1921 wurde bei Lugnez die allgemeine Wasserversorgung von Beurnevésin angeschlossen. Die beiden Eigentümerinnen der Quellen von Asuel verpflichteten sich, auf ewige Zeiten ein auf maximal 25 l/Min. begrenztes Wasserquantum zu liefern. Beurnevésin hatte die Leitungen von Lugnez her selbst zu erstellen und den Gemeinden Cœuve und Vendlincourt als einmalige Abfindungssumme den Betrag von 16000 Franken, Damphreux und Lugnez je Fr. 7554.65 zu bezahlen. Eine weitere Komplikation trat 1947 ein, als Vendlincourt die mitten im Dorf entspringende Quelle neu fasste und damit zeitweise auch das Reservoir spies.

Dass Verhandlungen bei derartigen Abmachungen lange dauern, ist begreiflich. Unverständlich aber ist, dass der Gedanke der regionalen Zusammenarbeit nur schwer Fuss zu fassen vermochte. Lange Zeit wollte das finanziell stärkere Bonfol abseits stehen und zusammen mit Alle eine eigene, neue Anlage erstellen. Beurnevésin verhielt sich darauf abwartend im Hintergrund, um sich später der günstigeren Variante anschliessen zu können. Dadurch wäre der Bau einer Ringleitung illusorisch geworden und die für die Sanierung und den Ausbau der bestehenden Anlage in Vendlincourt veranschlagten 2 Millionen Franken hätten sich nur auf vier oder fünf finanzschwächere Gemeinden aufteilen müssen. Erst nachdem die ersten Kostenvoranschläge vorlagen, aus denen deutlich hervorging, dass ein separater Ausbau wesentlich teurer zu stehen käme, scheint sich eine Einigung abzuzeichnen. Jedenfalls wurde im Sommer 1968 der das Projekt Vendlincourt verfassende Ingenieur beauftragt, eine neue Berechnung unter Einschluss von Alle und Bonfol, evtl. auch Courgenay, vorzunehmen.

Die soeben beschriebenen Schwierigkeiten sind jedoch nicht die einzigen dieser Art in der Ajoie. Seit Jahren versucht zum Beispiel Courgenay, weitere Trinkwasservorkommen zu erschliessen. Ähnlich steht es in Bressaucourt, Cornol und anderen Gemeinden. Die Erstellung des Waffenplatzes in Bure brachte weitere Sorgen, zweifelt man doch in weiten Kreisen daran, dass der SEHA dessen enorme Bedürfnisse auch auf weite Sicht wird decken können.

Alle, die sich wirklich ernsthaft mit dem ganzen Problem befassen, sind sich darin einig, dass nur eine grosszügige Lösung für die gesamte Ajoie zweckmässig ist. Eine Planung auf höherer Ebene sowie der leider oft noch fehlende Wille zur wirklichen Zusammenarbeit unter den Gemeinden – und zwar auch denen, die glauben, vor Überraschung gesichert zu sein – sind dafür unbedingte Voraussetzung. An Ansätzen dazu fehlt es nicht. Bereits im Dezember 1965 beschloss die Generalversammlung der Vereinigung der Gemeindepräsidenten der Ajoie die Erstellung eines Inventars der bereits gefassten Quellen sowie allfälliger weiterer Wasseraustritte, die nutzbar gemacht werden könnten. Seither verfolgt das Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) die Entwicklung aufmerksam und versucht, durch aktive Mithilfe zu einer Lösung zu gelangen.

4. Der gegenwärtige Stand der Wasserversorgungen in den Gemeinden der Ajoie

Nachstehend seien, als Ergänzung zu der beiliegenden Karte, die Versorgungsnetze der Gemeinden, wie sie sich im Winter 1967/68 darboten, kurz beschrieben:

4.1 ALLE

Alle und Bonfol besitzen seit dem Jahre 1909 eine gemeinsame Wasserversorgung. Man fasste die im unteren Dorfteil von Fregiécourt entspringende Kluftquelle und leitete sie in das Reservoir Grands Champs, das für jedes Dorf eine Kammer von 260 m³ Inhalt aufweist. Die verfügbare Wassermenge ist ausserordentlich schwankend. Die beiden Pumpen (850 und 540 l/Min.) vermögen in feuchten Jahreszeiten nicht alles Wasser wegzuführen, während in trockenen Perioden der Erguss der Quelle bis auf 220 l/Min. absinken kann.

Da das Wasser von Fregiécourt trotz der Neufassung im Jahre 1953 bei weitem nicht ausreichte, unternahm die Gemeinde grosse Anstrengungen, um neue Quellen und Grundwasser zu erschliessen. So erwarb sie 1950/51 in Charmoille die Quelle Sur la Côte und nahm zwei Grundwasserschächte unterhalb La Touillère in Betrieb. Das Wasser dieser drei Fassungen wird in das kleine Reservoir Le Paigre mit 40 m³ Inhalt geleitet bzw. gepumpt, von wo es in ein neues Reservoir von 200 + 300 m³ Inhalt in der Nähe des alten gelangt (vergleiche Fig. 20).

Weitere Abklärungen erfolgten im November 1946 südlich Alle und zwischen Fregiécourt und Asuel mit Hilfe von 11 Sondierbohrungen sowie 1964 östlich von Alle, in der Gegend La Pouche. Gemeinsam mit Bonfol fasste man im Herbst 1967 provisorisch die Source Ledermann im Bachbett der Vendline südlich Beurnevésin, deren Schüttung bei knapp 2 000 l/Min. liegen dürfte.

Die Quelle La Louvière, die früher zur Speisung der Dorfbrunnen diente, deckt die Bedürfnisse der Filature des laines peignées d'Ajoie. Sie ist mit einer Pumpe ausgerüstet und kann im Notfall auch an das Netz von Alle angeschlossen werden.

Eine eigene private Pumpenanlage, an die allgemeine Wasserversorgung angeschlossen, besitzt der Hof Buisson Galant, während Pré au Prince über ein eigenes Reservoir (42 m³) mit Quelle (ungefähr 30 l/Min., auf Gemeindegebiet von Courgenay gelegen) verfügt.

4.2 ASUEL

Die allgemeine Wasserversorgung der Commune mixte d'Asuel basiert auf vier Quellen, die östlich des Dorfes im Wald und auf Weiden entspringen. Die beiden ersten (Source de la Toulière / La Doub und Source du Gypse) sind 1894–1896 erstmals gefasst worden und versorgen das dem oberen Dorfteil dienende, 2 mal 125 m³ enthaltende Reservoir. Der Überlauf von diesem fliesst in das neue, 100 m³ enthaltende von Rière la Roche, das auch die beiden Quellen gleichen Namens aufnimmt und den unteren Dorfteil versorgt.

Über eine eigene Versorgung verfügen seit 1964/65 der Weiler La Malcôte (Syndicat de la Malcôte mit Quelle und Reservoir von 30 m³ Inhalt in Les Ecouais) sowie die 1942 durch die Armee angelegte Gruppenversorgung des Syndicat des Rangiers, die über ein Reservoir von 90 m³ verfügt, 1965/66 grosszügig erweitert, mit der Versorgung von Séprais und Montavon verbunden wurde und heute die Weiler und Höfe Les Rangiers, La Caquerelle, Les Malettes, Montgremay (mit Reservoir von 10 m³ Inhalt und 60 l/Min.-Pumpe) und Les Grangettes versorgt.

Nur sehr primitive Quellfassungen haben Grangiéron, Le Creux, La Combe und 2 Häuser von La Malcôte.

Die unterhalb Asuel gelegene Sägerei bezieht ihr Wasser von der Source de la Golatte, welche hinter der Kirche von Asuel entspringt und von der Gemeinde Vendlincourt gefasst worden ist.

4.3 BEURNEVÉSIN

Das Dorf verfügt über drei in der Talsohle entspringende kleinere Quellen, die auch heute noch bei Wassermangel herangezogen werden. Eine davon ist in einem steinernen Becken auf Strassenhöhe gefasst (Fig. 12). Von den früher vorhandenen Sodbrunnen konnte ich keine mehr auffinden.

Die allgemeine Wasserversorgung wurde im Jahre 1921 fertig erstellt. Sie bezieht ihr Wasser von der allgemeinen Wasserversorgung Vendlincourt-Cœuve. Die beiden Eigentümerinnen der Quellen von Asuel verpflichteten sich, der Gemeinde Beurnevésin auf ewige Zeiten ein auf maximal 25 l/Min. begrenztes Wasserquantum zu liefern. Beurnevésin hatte die Leitungen von Lugnez her selbst zu erstellen und den Gemeinden Vendlincourt und Cœuve als einmalige Abfindungssumme den Betrag von 16 000 Franken, Damphreux und Lugnez Fr. 7 554.65 zu bezahlen. Das eigene Reservoir Pusnat hat einen Inhalt von 2 mal 120 m³.

Über eine private Pumpenanlage mit einem Becken von 5 m³ Wasserinhalt, durch Leitungswasser gespiesen, verfügt der Zoll zwischen Beurnevésin und Pfetterhouse, während das unterhalb gelegene Gehöft noch auf einen Sodbrunnen abstellt.

4.4 BONCOURT

Im Talbecken von Boncourt fliesst ein Grundwasserstrom, der zur Speisung verschiedener Sodbrunnen dient.

Bis 1953 spies die Quelle La Font, die am Südende des Dorfes aus ehemaligem Wiesland entspringt, die aus dem Jahre 1904 stammende allgemeine Wasserversorgung. Da jedoch die Qualität nicht befriedigte und die Pumpenanlage veraltet war, nahm man 1953 den Grundwasserbrunnen Les Lômennes in Betrieb, von wo aus das Wasser in das 2 mal 520 m³ fassende Reservoir Bois de la Côte gepumpt wird. Weitere Nachforschungen nach Grundwasser erfolgten 1966 am Südende des Dorfes zwischen Milandre-dessous, der Sägerei und La Rochette. Die 1967 durchgeführten Pumpversuche nördlich der Sägerei scheinen den Bau eines zweiten Brunnens zu rechtfertigen.

Eine besondere Sorge bildeten stets die Wasserlieferungen an die Firma F. J. Burrus (Tabakwaren), die beträchtliche Mengen an Kühlwasser benötigt. Einen Grundwasserbrunnen auf dem Fabrikareal nahe der Grenze musste die Werkleitung bald einmal aufgeben, da er kolmatierte. Deshalb liess sie 1958 die neu gefasste Quelle La Font in diesen leiten und von dort das Wasser in die Fabrik pumpen. 1966/67 versuchte man, auch Allainewasser zu diesem Zwecke zu verwenden, was sich wegen der grossen Verschmutzung nicht bewährte und wieder aufgegeben wurde.

Um den Druck in den mit Leitungswasser gespiesenen, der Familie Burrus gehörenden Villen Courbevaux und Châtillon zu erhöhen, liessen die Besitzer 1952 bzw. 1967 je eine private Pumpenanlage installieren.

Die im Westen von Boncourt, nahe der Grenze liegenden Bauerngüter wurden 1966 an die allgemeine Wasserversorgung angeschlossen. Einzig für Rondbois, oberhalb Milandre gelegen, reicht der Druck nicht aus, so dass hier eine Zisterne, mit einer Hauspumpe ausgerüstet, den Bedarf zu decken hat.

4.5 BONFOL

Vier Brunnen, gespiesen durch die Quellen Aux Queues de Chat, versorgten den oberen Teil des Dorfes; der untere war auf die Vendline, Quellen nördlich des heutigen Bahnhofes (Sous les Crêts) und am Nordausgang von Bonfol (St. Fromont, Fig. 7) angewiesen.

Seit 1910 fliesst Wasser der Quelle von Fregiécourt aus der einen Hälfte des Reservoirs Grands Champs (260 m³), das mit Alle geteilt wird, in das Netz der allgemeinen Wasserversorgung. Dieser Wasseraustritt wurde 1953 neu gefasst und leistet seither das Doppelte, vermag aber die Bedürfnisse sowohl quantitativ wie qualitativ nicht mehr zu decken.

1966/67 kaufte und fasste die Gemeinde, wiederum gemeinsam mit Alle, die oberhalb Beurnevésin im Bett der Vendline entspringende Source Ledermann. Ein Anschluss an das Dorfnetz wurde vorläufig aufgeschoben.

Der abgelegene Hof Le Largin deckt seine Bedürfnisse aus Sodbrunnen und Zisternen.

4.6 BRESSAUCOURT

Die allgemeine Wasserversorgung von Bressaucourt basiert einesteils auf einigen Quellen im Kessel von Sous les Roches, die 1898, 1922 und 1960/61 gefasst worden sind und die in das 2 mal 100 m³ enthaltende Reservoir von Chételat geleitet werden. Andernteils sorgen 2 Pumpen (je 170 l/Min.) dafür, dass das Wasser der 1950 ausgebauten, qualitativ sehr schlechten Source du Faubourg direkt ins Leitungsnetz gelangt.

Über eine eigene Quelle mit kleinem Kellerreservoir und Hauspumpe verfügt der Hof Mavaloz. Pietchiesson wird durch eine bescheidene Quelle, die ein Reservoir von ca. 30 m³ Inhalt speist, versorgt, während Sous les Roches nur den Überlauf der oberhalb des Hofes gelegenen Quelle an Bressaucourt abgibt.

Der Zollposten an der Strasse nach Montancy (auf Gemeindegebiet von Ocourt gelegen) bezieht sein Wasser von einer im oberen Teil des Kessels Sous les Roches (Gemeinde Bressaucourt) gelegenen Quelle.

4.7 BUIX

Drei südöstlich des Dorfes gelegene Quellen (Les Cotais und Cotais-Hügli), die 1901 bzw. 1915/16 gefasst wurden, speisen die allgemeine Wasserversorgung von Buix und Le Maira. Das Wasser fliesst zuerst in ein 100 m³ enthaltendes Niederdruckreservoir und von dort zu der Pumpenstation, welche pro Minute fast 500 Liter Wasser in das obere Reservoir (2 mal 150 m³) zu pumpen vermag.

Am Westausgang des Dorfes, gegen La grande Valle, befindet sich eine weitere, ca. 78 l/Min. fördernde Pumpe, die das Wasser ins 150 m³ fassende Reservoir Le Seineu des Weilers Le Maira zu pumpen vermag. Vorher sind dessen Bewohner allein auf Zisternenwasser und den kleinen Teich in der Dorfmitte, der heute überwachsen ist, angewiesen gewesen.

Die Gehöfte Le Vâloin sind früher durch Sodbrunnen und eine Quelle in der Nähe des Hofes, dann durch die allgemeine Wasserversorgung von Bure versorgt worden. Heute erfolgt die Belieferung durch die Wasserversorgung des Waffenplatzes Bure.

4.8 BURE

Bei trockenem Wetter versagen die Sodbrunnen und Zisternen, so dass vor der Errichtung der allgemeinen Wasserversorgung das lebensnotwendige Nass oft kilometerweit hergeführt werden musste.

1909 beschloss die Gemeindeversammlung, die auf Gemeindegebiet von Chevenez gelegene Quellgruppe Pré Feusier zu kaufen, das Wasser 7,8 km weit in ein zweikammeriges, 400 m³ fassendes Reservoir südlich Bure zu leiten und von dort an die Verbraucher zu liefern, was 1911 erstmals möglich war. 1952 schloss man die Dorfwasserversorgung sowie den Hof Nalé an das Netz des SEHA an, dessen Hauptreservoir ebenfalls auf Gemeindegebiet von Bure liegt. Einige Jahre später folgten La Tenie, Le Paradis und Le Purgatoire mit eigenem Reservoir (120 m³) nach. Alle drei Höfe waren bis anhin auf Zisternenwasser angewiesen gewesen.

Für den Waffenplatz Bure erstellte man ein Reservoir von 3600 m³ Inhalt, das ebenfalls durch den SEHA gespiesen wird, sowie eine Versorgungsleitung von diesem zu den verschiedenen militärischen Bauten.

4.9 CHARMOILLE

Die Gemeinde Charmoille ist eine der wasserreichsten der gesamten Ajoie. Sie bezieht heute ihr Trinkwasser von den Quellen Devant le Val (1898 erstmals gefasst) und La Touillère, wobei letztere 1965 mit einer Pumpe versehen wurde, um das Wasser durch das Leitungsnetz hindurch in das etwas höher gelegene und 2 mal 150 m³ fassende Reservoir Devant le Val pumpen zu können.

Weitere grössere Quellen sind verkauft worden:
- an Miécourt die Quelle Chertemps
- an Alle die Quelle Sur la Vigne sowie den Boden für zwei Grundwasserbrunnen in Alluvionen und Vogesensanden (an deren Standorten allerdings bei höherem und mittlerem Wasserstand Quellen sichtbar zu Tage traten)
- an Porrentruy die Quellen L'Ante und Les Nods, wobei sich Charmoille von der letzteren ein Recht auf 80 l/Min. für La Touillère zurückbehielt. Während für die meisten Häuser dieses Weilers der normale statische Druck genügt, sind für deren zwei Hauspumpen notwendig. Ursprünglicb wurde auch Miserez-dessus mit diesem Wasser versorgt; doch erfolgte nach dem Umbau des Asyls der Anschluss an das Netz von Charmoille.

Eigene kleine Quellen haben die Gehöfte:
- Fontaine-dessous (mit Pumpe und kleinem Reservoir)
- Fontaine-dessus (mit Reservoir)
- Mont Lucelle (mit Pumpe und grösserem Reservoir)
- Beau-Site (mit kleinem Reservoir).

Einzig Montbreux bezieht das Wasser aus einer Zisterne. Das Projekt für den Anschluss an das Netz von La Touillère besteht aber auch hier.

4.10 CHEVENEZ

Chevenez verfügt über eine grosse Anzahl von Quellen, die zur Hauptsache dem Nordabhang des Mont Terri entspringen.

Das Dorf wurde in alten Zeiten durch den aus dem bewaldeten Kessel Côte Rigolat (Les grandes Vies) stammenden Bach sowie durch Brunnen versorgt, die durch Quellen in der gleichen Gegend gespiesen werden und die noch heute in Betrieb stehen. Die alten Wasserfassungen befinden sich in einem schlechten Zustand. Ein Projekt zur Neufassung dieser Quellen, die aus verschiedenen Horizonten austreten und einige 100 l/Min. schütten, besteht. Man stellte es bis dahin zurück, da ihre Kote niedriger als die des Reservoirs ist und deshalb entweder eine Pumpenanlage oder ein zweites Reservoir in geringerer Höhe notwendig wäre. Einzig der letzte Brunnen am nördlichen Dorfausgang Richtung Fahy erhält sein Wasser von der Quelle La Fontenatte.

Für die allgemeine Wasserversorgung liess man die folgenden Quellen fassen:
- 1897 Les Sources in der Combe de Varuz
- 1914 Fontaine l'Ermite
- 1953 Le Pichoux de la Louvière

Das Wasser der ersteren gelangt direkt ins Reservoir (2 mal 200 m³ Inhalt), während dasjenige der übrigen zuerst ins Leitungsnetz und von da als Überlauf ins Reservoir fliesst.

Die Gehöfte Champs du Fol, Les Barrières, Champs Guenin und Théodoncourt, welche nur über Zisternenwasser verfügten, sind seit 1952 bzw. 1957 an den SEHA angeschlossen.

4.11 CŒUVE

Zwei Quellen (Dô Cœuvatte und Fontaine du Milieu) versorgen einige Brunnen (Fig. 6). Der in der Mitte des Dorfes gelegene Quellteich wurde zugeschüttet.

Im Jahre 1911 kaufte Cœuve gemeinsam mit der Gemeinde Vendlincourt die Quelle La Golatte in Asuel, beteiligte sich zu 50% an den Fassungs- und Zuleitungskosten und bezahlte Vendlincourt 12000 Franken für das Mitbenützungsrecht des bestehenden Reservoirs im Bois Juré.

Eine private Pumpenanlage fördert das Wasser aus dem Leitungsnetz nach Sur le Mont, wo ein Reservoir die Versorgung der dortigen Häuser ermöglicht.

4.12 CORNOL

Die erste allgemeine Wasserversorgung stammt aus dem Jahre 1900 und wurde seither unter mehreren Malen erweitert. Sie ist jedoch im gesamten gesehen recht mangelhaft durchdacht und vermag den Anforderungen der Wasserversorgung und des Löschwesens nur knapp zu genügen. Diese unbefriedigende Situation ergab sich vor allem daraus, dass Cornol über eine relativ grosse Zahl gefasster Quellen verfügt, die jedoch nur einen schwachen Erguss aufweisen und sich zum grossen Teil in unmittelbarer Nachbarschaft des Dorfes befinden. Dadurch musste man ein Hochdruck- und ein Niederdrucknetz erstellen, die im Notfall – wenn auch nicht auf einfache Art und Weise – beim Schulhaus miteinander gekoppelt werden können (vergleiche Fig. 21).

Gegenwärtig arbeiten Ingenieure Pläne aus, um die ganze Anlage zu sanieren und um evtl. das Wasser des Niederdrucknetzes in das Hochdruckreservoir Fontaine pumpen zu können.

Wegen einer sehr starken Verschmutzung durch das Kieswerk mussten die Gemeindebehörden 1967 auf die grösste, südlich des Dorfes gelegene Quelle La Creuse verzichten. Dadurch wurde die Problematik nur noch grösser.

Über eine eigene, eher einfache Wasserversorgung verfügen die Bauernhöfe Sous le Bois, Mont Terri, La Tiau und Le Fâtre-dessous. Für Hof und Villa St. Gélin (St. Gilles) wird das Wasser von einer in der Nähe gelegenen Quelle zuerst in ein kleineres Reservoir gepumpt.

4.13 COURCHAVON

Die Überreste einer alten Brunnenversorgung sind am Nordausgang des Dorfes heute noch sichtbar (Fig. 13). Dazu dienten der Bevölkerung weitere kleinere Quellen im Talboden sowie die Allaine.

1903 fasste man die beiden heute noch verwendeten Quellen in der Combe, die nach Mormont führt, und leitete sie in das 2 mal 150 m³ fassende Reservoir oberhalb des Dorfes.

Der Weiler Mormont hatte einen laufenden Brunnen. Dessen Trinkwasser war oft unrein, und in Trockenzeiten versiegte er ganz. 1908 erfolgte der Ankauf der Quelle Les Comprenez und der Bau eines Reservoirs mit 2 mal 100 m³ Inhalt.

Im Jahre 1952 wurden die beiden Netze Courchavon und Mormont an den SEHA angeschlossen.

4.14 COURGENAY

Die Gemeinde Courgenay verfügt über zwei voneinander unabhängige Wasserversorgungsnetze. Das grössere, das man 1887 erbaute, versorgt das Dorf Courgenay und basiert auf den beiden Reservoiren Le Tunnel (mit den im SBB-Tunnel gefassten Quellen und der Source de la Doux) und Le Mennelet (2 mal 300 m³).

Das zweite, 1896 erbaut, dient dem Weiler Courtemautruy. Das 200 m³ fassende Reservoir wird durch die Source du Pichou gespiesen. Neben diesem befindet sich die private Pumpstation des Hofes Sur Moron, die ein oberes Reservoir mit Hauspumpe beliefert.

Über eigene Quellen, zum Teil sehr primitiv gefasst, zum Teil ausgerüstet mit Reservoir und Pumpe, verfügen die Gehöfte:

Vacherie Mouillard	Derrière M. Terri
Sur la Croix	Champs Grains
Sur Plainmont	Mühle Paplemont (Fam. Schneider)
Sous Plainmont	Bauernhaus Paplemont (Fam. Eyer)
Le Martinet	Noires Terres

sowie die Weidställe Champs Pidoux südwestlich des Dorfes. Einzig Vabernau muss sich mit einer Zisterne begnügen.

Das durch die Quellen gelieferte Wasser vermag den Bedarf von Courgenay nur äusserst knapp zu decken. Voruntersuchungen, um diesem Übel abzuhelfen, führte man leider erfolglos von 1945 bis 1948 und 1965/66 durch.

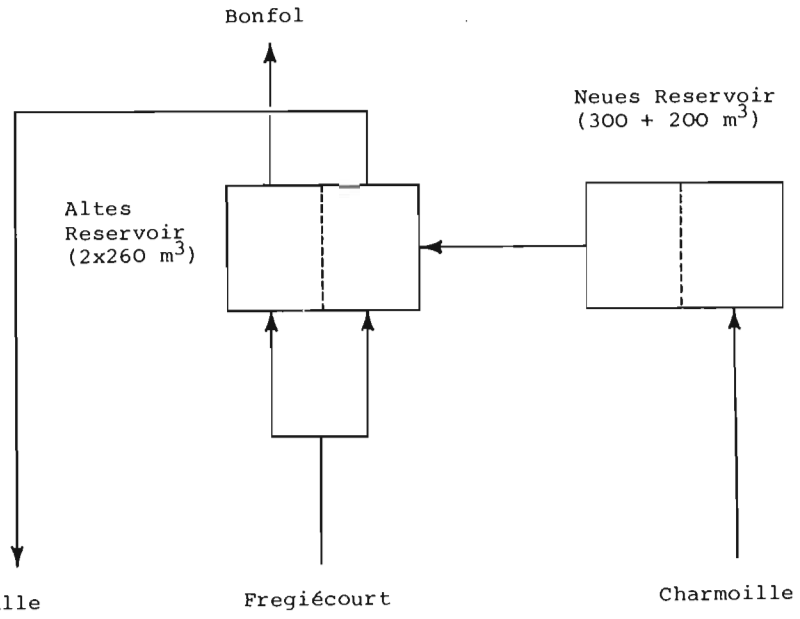
4.15 COURTEDOUX

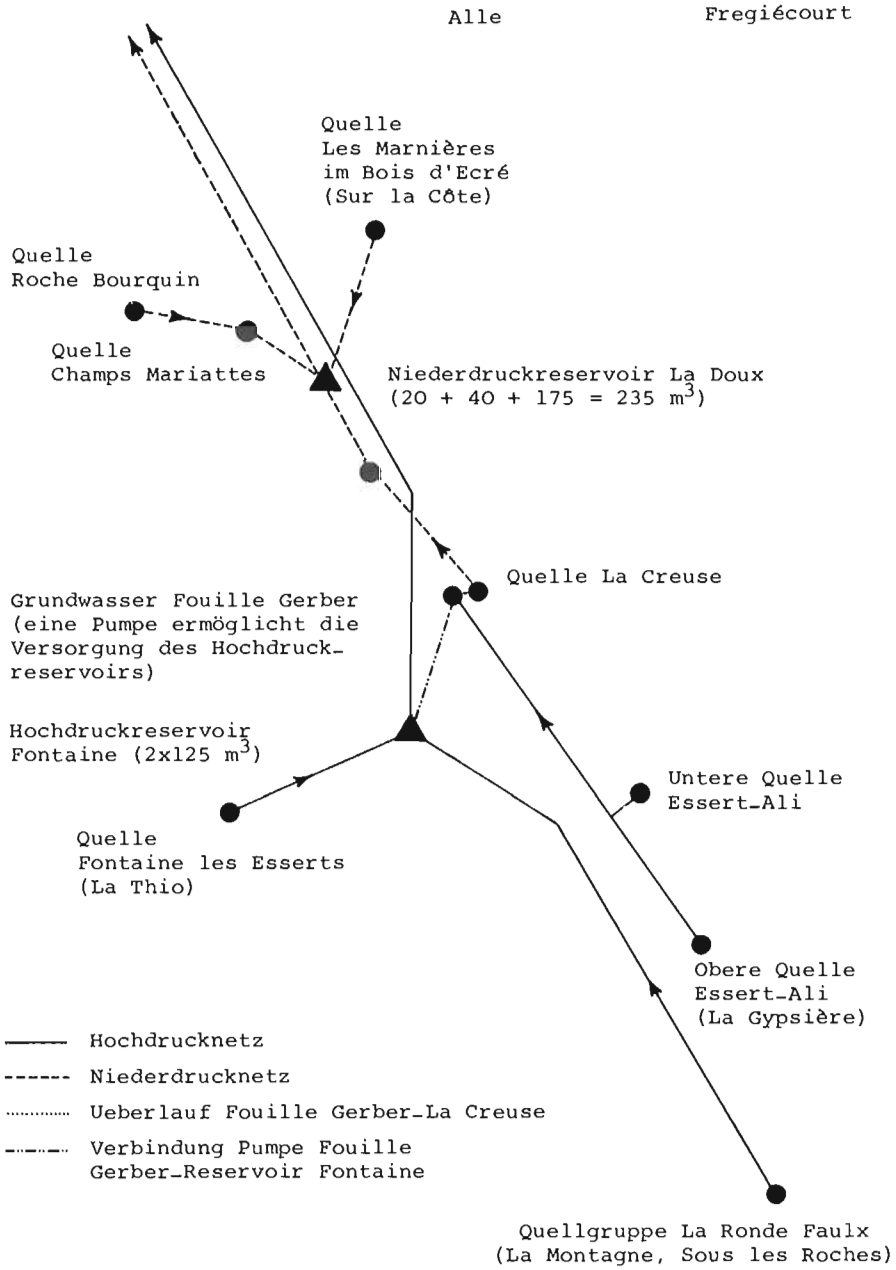
Die allgemeine Wasserversorgung, mit einem 2-kammerigen Reservoir von je 200 m³, wurde 1901 errichtet. Das Wasser stammt aus dem Quellgebiet von Pietchiesson in der Gemeinde Bressaucourt. 1952 erfolgte der Anschluss an den SEHA.

Die Einzelhöfe Varandin und Le Sylleux waren früher auf Zisternen angewiesen; sie erhalten heute Wasser durch den SEHA.

Figur 20 (rechts)
Verbindungsschema der Reservoire Alle und Bonfol

Figur 21 (unten)
Das Hauptleitungsnetz des Dorfes Cornol (1967)





4.16 COURTEMAÎCHE

Bereits 1865 leitete die Bevölkerung die Quellen von Varmen ins Dorf, wo sie die öffentlichen Brunnen spiesen. 1903 folgte der Ausbau zur allgemeinen Wasserversorgung mit dem Hochdruckreservoir Le Cras (280 und 250 m³), das den nördlichen und westlichen Dorfteil versorgte. Für den südlichen Dorfteil und die Häuser in der Umgebung des Bahnhofes fasste man 1909 die Quelle Matala, im Forêt de Motiéfroid gelegen. Das dazugehörende Niederdruckreservoir (150 m³) war 1965 allerdings ausser Betrieb.

Vom 1935 erstellten Grundwasserbrunnen in der Alluvialebene gelangt das Wasser direkt ins Reservoir Le Cras (Pumpe 1, 1934/35 installiert, mit 350 l/Min.; Pumpe 2, 1948 installiert, 660 l/Min. Leistung).

Während der SBB-Bahnhof Grandcourt an die allgemeine Wasserversorgung angeschlossen ist, verfügen die übrigen, z.T. auf Gemeindegebiet von Montignez gelegenen Häuser über eine private Versorgung ohne Reservoir. Das neue Bauerngehöft Haut de Bure ist an die Wasserversorgung des Waffenplatzes Bure angeschlossen. Ein 1966 erstellter Hof nordöstlich von Courtemaîche am Hang zapft die Quellzuleitung von Montignez an.

4.17 DAMPHREUX

Am Südende des Dorfes entspringt eine Quelle, die, ähnlich wie in Vendlincourt oder Fontenais, in einem grossen Teich den Wasserbedarf von Menschen und Vieh deckte. Dieser ist heute zugeschüttet; das Wasser wurde primitiv gefasst und in die Cœuvatte geleitet.

Neben dieser Quelle dienten der Bevölkerung in den früheren Jahrhunderten Sodbrunnen und Zisternen. 1912 beschloss sie die Errichtung einer allgemeinen Wasserversorgung ohne eigenes Reservoir. Gegen eine Einkaufssumme von 12500 Franken erfolgte der Anschluss an die allgemeine Wasserversorgung von Vendlincourt-Cœuve.

4.18 DAMVANT

Die Überreste der alten Brunnenversorgungen sind heute noch sichtbar. Im Tälchen nördlich der Kirche tritt eine kleine Quelle aus der im allgemeinen recht sumpfigen Weide, die in einer betonierten Brunnenstube mit Eisentüre gefasst wird und die seitlichen Röhren des Brunnens hinter der Kirche speist. Östlich davon, etwas tiefer und näher beim Dorf gelegen, befinden sich zwei weitere, dem Zerfall nahe stehende Fassungen kleinster Quellen, die jedoch nicht mehr benützt werden.

Die allgemeine Wasserversorgung datiert aus dem Jahre 1894/95. Die zwei Quellen Les Auges und Bois Juré, deren Qualität sehr zu wünschen übrig lässt, speisen das 2 mal 100 m³ fassende Gemeindereservoir, das jedoch seit November 1965 durch Beschluss des Gemeinderates nicht mehr in Betrieb steht. Dies war deshalb ohne Schwierigkeiten möglich, weil 1952 der Anschluss an das Netz des SEHA erfolgt war, wozu seinerzeit ein neues Reservoir von 150 m³ Inhalt gebaut werden musste.

4.19 FAHY

Fahy befindet sich in einem Becken ohne Quellen und ohne oberirdischen Abfluss. Die ehemals sehr zahlreichen Sodbrunnen werden durch einen relativ hoch liegenden Grundwasserkörper gespiesen, der seine Entstehung einer ca. 2–4 m unter dem Dorf liegenden dünnen undurchlässigen Schicht verdankt. Daneben dienten zwei mit Schlamm angefüllte, gemauerte Weiher, die beide heute zugeschüttet sind, als Viehtränke.

Der Kauf der Quelle Libécourt, auf Gemeindegebiet von Chevenez gelegen, öffnete den Weg zur Errichtung einer allgemeinen Wasserversorgung. 30 l/Min. werden an das Netz von Rocourt abgegeben. Der Rest geht ins Leitungsnetz, bzw. ins Reservoir (2 mal 150 m³).

1952 konnte man das Hauptnetz an den SEHA anschliessen. Einige Jahre später folgte das Gehöft Beauregard (mit eigenem Reservoir von 50 m³ Inhalt).

4.20 FONTENAIS

Ursprünglich verfügten Villars und Fontenais je über ein getrenntes Wasserversorgungsnetz, beide aus dem Jahre 1893 stammend.

Für Fontenais fasste man die Quellen unterhalb Calabri und leitete sie in das Reservoir Vabechâ (240 m³). Da deren Erguss jedoch im Laufe der Zeit stark zurückging und sie in Trockenzeiten ganz versiegten, war man gezwungen, im Gebiet von Calabri mehrmals Umbauten und Neufassungen vorzunehmen. Heute wird nur noch die oberste Quelle östlich des ehemaligen Hofes verwendet.

Um den erhöhten Anforderungen zu genügen, beschloss die Gemeindeversammlung 1922 einen Teil der Quelle Bonne Fontaine, die den Teich inmitten von Fontenais speist und aus dem der Bach Bacavoine fliesst, mit Pumpen (heute 2 mal 600 l/Min.) nach Vabechâ zu fördern und wenig oberhalb des alten Reservoirs ein zweites mit 250 m³ Inhalt zu bauen.

Für Villars fasste man zuerst die Quellen En Brère, dann 1919 La Doux an der Côte des Gex. Beide speisen je ein eigenes Reservoir, wobei das untere (Les Boules, 120 m³) primär dem Verbrauch, das obere (En Brère, 100 m³) als Feuerreserve und zur Speisung einiger Chalets dient.

Bei Vabechâ sind die beiden Netze aneinandergeschlossen. Pumpen (2 mal 180 l/Min.) im oberen Reservoir (Feuerreserve) können Wasser ins Netz von Villars drücken, während eine weitere von 40 l/Min. Leistung im oberen Dorfteil

Wasser aus dem Dorfnetz von Villars ins obere Reservoir schickt, da die Quellen En Brère im Sommer fast versiegen und zudem die Zuleitungen nicht in bestem Zustand sind.

Während Calabri und der Hof St. Croix ihr Wasser aus der Zuleitung der Quellen von Calabri beziehen, sind Fréteux, Champs Graitoux und Combe Vatelin sowie einige Ferienhäuser in La Voétatte immer noch auf Zisternen angewiesen.

4.21 FREGIÉCOURT

Mitten im unteren Dorfteil befindet sich die heute durch Alle und Bonfol gemeinsam gefasste Quelle. In der Legende erzählt man sich, dass für den oberen Teil des Dorfes die Quelle Essert Valtet gefasst und in Holzröhren an den Verbrauchsort geleitet wurde. Bei einer Neuausgrabung im Winter 1965/66 hatte man denn auch das Glück, eine derartige Röhre zu finden.

Die allgemeine Wasserversorgung stammt aus den Jahren 1893/94. Man liess die Quelle La Valletaine fassen, die westlich des Dorfes im Wald entspringt. 1965 beschloss die Gemeindeversammlung, das sich in sehr schlechtem Zustand befindende, 2 mal 100 m³ fassende Reservoir vollständig instand zu stellen, zur Erhöhung des Druckes im Netz eine Pumpe (850 l/Min.) und zwei Druckkessel in Betrieb zu nehmen und das Wasser zu desinfizieren.

4.22 GRANDFONTAINE

Der Name stammt von einer Quelle im unteren Dorfteil. Bei dieser handelt es sich offensichtlich um den Aufstoss eines unterirdischen Flusslaufes, der bis vor 25 Jahren regelmässig Wasser in einen sehr schön gearbeiteten grossen Brunnen mit zwei Becken lieferte. Ähnlich dem Creux-Genaz fliesst er heute nur noch nach ausgiebigen Regenfällen (Fig. 5).

Die allgemeine Wasserversorgung des Dorfes basierte von 1911–1952 einzig auf der auf Gemeindegebiet von Chevenez gelegenen Quelle Pré Chapuis im Kessel von Sous les Roches, die direkt das Netz des Dorfes versorgt und im Überlauf das Reservoir (300 m³) speist.

1952 erfolgte der Anschluss an das Netz des SEHA. Etwas später wurden auch die beiden Höfe Sur Chenal und Montfrébœuf an das Dorfnetz angeschlossen. Beide waren vorher einzig auf Zisternenwasser angewiesen.

4.23 LUGNEZ

Zur Deckung des Wasserbedarfes verwendete die Bevölkerung neben Zisternen und Sodbrunnen vier in der Mitte des Dorfes zwischen Strasse und Bach entspringende Quellen, von denen die südlichste am ergiebigsten ist.

1912 errichtete die Gemeinde eine allgemeine Wasserversorgung ohne eigenes Reservoir, die an das Netz von Damphreux angeschlossen wurde, welche ihrerseits das Wasser aus Vendlincourt-Cœuve bezieht. Die Einkaufssumme bei den zwei letzten Gemeinden betrug 12500 Franken.

4.24 MIÉCOURT

Eine Quelle an der Rue du Moulin versorgt die Brunnen des Dorfes.

Die allgemeine Wasserversorgung, aus dem Jahre 1912 stammend, bezog das Wasser zuerst von der Quelle Les Aidges (Gemeinde Fregiécourt). Da deren Erguss jedoch dauernd zurückging, fassten sie 1942 die Kluftquelle Chertemps östlich Charmoille und leiteten das Wasser in das 2 mal 150 m³ enthaltende Reservoir im Wald La Mossenière.

Der Hof Bellevue deckt seinen Bedarf von der Vendlincourt gehörenden Wasserleitung.

4.25 MONTIGNEZ

Vor der Errichtung der allgemeinen Wasserversorgung in Montignez im Jahre 1900 besass fast jedes Haus einen Ziehbrunnen. Zusätzlich dazu diente der Dorfbrunnen neben dem Schulhaus an der Strasse, wenn er nicht gerade wegen Trockenheit versiegt war.

Gefasst wurde die in der Gemeinde Courtemaîche gelegene Source des Combes (mit Kollektor von 40 m³ Inhalt) in der Combe de Cœuve, die allerdings einen sehr variablen Erguss aufweist. Das Reservoir ist recht gross dimensioniert und enthält 2 mal 205 m³. Da diese Quelle bald nicht mehr genügte, erwägte Montignez die Fassung der Source de la Fontaine in Courtemaîche (Source du Bas du Village). Weil deren bakteriologische Analyse sehr schlecht war, einigte man sich 1929 auf den Ankauf der Quelle La Mairmitaine unterhalb Buix. Zwei Pumpen (je 150 l/Min.) drücken abwechslungsweise deren Wasser direkt ins Netz.

Versuche, neben der bestehenden Fassungsanlage in Buix noch Grundwasser heraufzupumpen, gelangen 1962 nur insofern, als wohl solches vorhanden war, dieses qualitativ jedoch nicht genügte, da es aus oberflächennahen Schichten stammte.

4.26 PLEUJOUSE

Im und um das Dorf herum entspringt eine grössere Zahl kleiner Quellen, die heute noch die Brunnen und zwei neuere Häuser am Westausgang des Dorfes speisen.

Die erste eigentliche Wasserversorgung (mit 50 m³ Reservoir) stammt aus dem Jahre 1907. Als Wasserlieferant dient die Quelle La Périère, zu der sich später noch diejenige von Vieux Ban gesellte.

1955 beschloss die Gemeinde den Bau eines grösseren Reservoirs mit 100 m³ Inhalt unmittelbar über dem alten.

In den Jahren 1964/65 erfolgte ein vollständiger Neubau des Versorgungsnetzes und der Zuleitungen zu den Häusern. Zur Deckung des erhöhten Bedarfs leitete man zudem das Wasser der Quelle Cras Collon, die auf Gemeindegebiet von Asuel liegt, zu einer mit zwei Pumpen à 120 l/Min. ausgerüsteten Station und beförderte es von dort in das dritte Reservoir von 200 m³ Inhalt.

4.27 PORRENTRUY

Im Mittelalter deckte man den Trinkwasserbedarf aus der Allaine, den beiden ausserhalb der Stadtmauern gelegenen Quellen La Beuchire und Mapetschu, den innerhalb gelegenen La Chaumont und La Favergeatte sowie aus einigen Sodbrunnen.

Doch schon sehr früh, nämlich Mitte des 15. Jahrhunderts, fassten geschickte Baumeister für die Brunnenversorgung Quellen, die weit ausserhalb der Stadt entspringen (Voyebœuf, Source du Varieu und Bonne Fontaine in Fontenais). Noch heute liefert die letztere regelmässig das Wasser für die Brunnen La Suisse, La Samaritaine und de l'Hôpital. Die Zuleitungen an den Verbrauchsort waren für die damalige Zeit sehr kunstvoll. Man denke nur an den 750 m langen Stollen von der Combe Grégeat zum heutigen Spital nordwestlich Porrentruy.

Erst 1892 kam der Bezirkshauptort durch den Bau des Reservoirs du Varieu (heute 1100 und 600 m³ fassend) in den Besitz einer regelmässigen Druckwasserversorgung. Da jedoch das bereits 1862 neu gefasste Wasser der Source du Varieu keinesfalls ausreichte, erwarb man ebenfalls 1892 in Charmoille die Quelle L'Ante, leitete sie in die Stadt und baute das Reservoir de la Perche (heute 600 m³ und zweimal 1170 m³ = 2940 m³ Inhalt). 1904 konnte die ebenfalls in der Gemeinde Charmoille gelegene Quelle Les Nods an die bestehende Leitung angeschlossen werden. Ab Winter 1965/66 steht zudem die neue Grundwasserfassung in der Ebene von Pont d'Able mit rund 1000 l/Min. in Betrieb. Im Bedarfsfall pumpt man zudem mit einer eigenen Pumpe (1000 l/Min.) Wasser aus der Fassungsanlage Bonne Fontaine in Fontenais ins Netz von Porrentruy.

Um die oberen Häuser von Porrentruy, vor allem aber das Spital, ebenfalls befriedigend versorgen zu können, wird heute Wasser aus dem Reservoir du Varieu in das neu erstellte Les Minoux (2 mal 240 m³) gepumpt.

Eine private Pumpenanlage versorgt die Häuser Sur le Té.

Für die Kiesaufbereitung fasste die Bauunternehmung Parietti + Gindrat die auf alten Karten mit Fontaine St. Nicolas bezeichnete Quelle östlich des Friedhofes. Aus einem ca. 8 m tiefen, in Fels gehauenen Schacht in der Sägerei Güdel oberhalb des Bahnhofes wird Grundwasser aus einer Wasserader für den Sägereibetrieb heraufgepumpt. Schliesslich verfügt die Gärtnerei Aebi über einen recht ergiebigen Sodbrunnen.

4.28 RÉCLÈRE

Réclère verfügt erst seit dem Jahre 1920 über eine allgemeine Wasserversorgung. Vorher war die Bevölkerung auf 10 Grundwasser-Zisternen angewiesen, von denen heute noch zwei für die Viehtränke verwendet werden. Bei diesen handelt es sich um grosse, gemauerte Brunnenstuben, die je durch eine kleine Quelle (vermutlich zusammenlaufendes Oberflächenwasser) gespiesen werden. Vor allem die in der Dorfmitte an der Hauptstrasse gelegene ist sehr gut erhalten (Fig.10). Ihr Überlauf fliesst in einen prächtig geschwungenen, aus einem Felsstück bestehenden Brunnentrog (Fig. 14).

Das Wasser der beiden auf Gemeindegebiet von Roche d'Or liegenden Quellen Les Voillattes und Les grands Prés fliesst in einen gemeinsamen Kollektor und von dort direkt ins Leitungsnetz der allgemeinen Wasserversorgung, dessen Überlauf das Reservoir von 2 mal 125 m³ versorgt.

1952 erfolgte der Anschluss an das Netz des SEHA. Dies bedingte den Bau eines neuen Reservoirs (150 m³), da das alte zu hoch lag.

Im Zuge des Anschlusses verschiedener Gehöfte an eine Druckwasserversorgung liess der SEHA 1955 bei Roche d'Or eine Pumpenstation (25 m³) errichten, die einen Teil des Réclère gehörenden Wassers in ein neues Reservoir von 50 m³ Inhalt auf dem Faux d'Enson pumpt, von wo es weiter verteilt wird. Ein anderer Teil fliesst in ein drittes Reservoir (50 m³), das den Hof Montavon und die Häuser bei den Grotten von Réclère versorgt. Während die letzteren früher vom Dach eingeleitetes Zisternenwasser verwendeten, verfügte Montavon über zwei sehr bescheidene Quellen, die in gemauerten Brunnenstuben äusserst primitiv gefasst sind.

4.29 ROCHE D'OR

Roche d'Or bedient sich des Wassers der Quelle Le Pâquis östlich des Dorfes, die allerdings nicht sehr ergiebig ist und vor allem im Sommer fast versiegt. Zwei nahe beieinander liegende Reservoire (alt 56 m³, neu 120 m³), die durch die Quelle direkt gespiesen werden, versorgen das tiefer liegende Dorf.

1955 erstellte der SEHA auf dem Faux d'Enson ein neues, 50 m³ fassendes Reservoir, das durch eine Pumpe von den Quellen von Réclère (Les grands Prés und Les Voillattes) gespiesen wird und das einerseits die früher auf Zisternen und Sodbrunnen angewiesenen Häuser Faux d'Enson, Vacheries-dessous und Douane-La Combe versorgt, andererseits zur Speisung der alten Reservoire von Roche d'Or herangezogen werden kann. Roche d'Or behielt sich nämlich seinerzeit ein Recht von 4 l/Min. auf den an Réclère verkauften Quellen vor.

Während der Einzelhof La Vaux über eine eigene Quelle mit kleinem Reservoir verfügt, ist die Versorgung von Vacherie-dessous mehr als primitiv zu bezeichnen. Eine in Gehängeschutt gefasste Quelle schlechter Qualität bedient Brunnen und Hof. Diese wird durch Oberflächenwasser weiter verunreinigt, da die kleine, zementierte Brunnenstube nur notdürftig mit Brettern abgedeckt ist.

4.30 ROCOURT

Vor der Errichtung der allgemeinen Wasserversorgung wurde Rocourt aus Zisternen und durch zwei Quellen versorgt. Die eine, im Südteil des Dorfes aus Malmschichten austretend, sammelt ihr Wasser in einem grossen, gemauerten, mit einem Gewölbe überdeckten Bassin, von wo aus ein Brunnen bedient wird. Leider zerfällt diese sehr schöne Anlage zusehends.

Die zweite, im Nordteil des Dorfes ebenfalls aus Malm austretende Quelle wurde in einer kleineren, heute bereits vollständig zerstörten Brunnenstube gefasst.

1908 gelang es den Behörden von Rocourt, mit Fahy einen Vertrag abzuschliessen und ihn in die Tat umzusetzen. Dieser erlaubte es, gegen eine Entschädigung von 25000 Franken der Zuleitung nach Fahy 30 l/Min. zu entnehmen und in ein eigenes, 2 mal 150 m^3 fassendes Reservoir zu leiten. Die Bevölkerung von Rocourt trinkt demzufolge ebenfalls Wasser der Quelle Libécourt (Gemeinde Chevenez).

1952 erfolgte der Anschluss an das Netz des SEHA.

4.31 VENDLINCOURT

In der Dorfmitte entspringt die Quelle Vendline. Diese bildete bis vor wenigen Jahren ein grosses Bassin, das früher der Versorgung der Dorfbevölkerung und später als Viehtränke diente. 1903 wurde sie erstmals richtig gefasst und durch eine Pumpe ins Reservoir Bois Juré (2 mal 550 m^3) geleitet.

1911 kauften Vendlincourt und Cœuve die Quelle La Golatte in Asuel, fassten sie, erstellten gemeinsam ein Zuleitung ins bestehende Reservoir und schlossen Cœuve an dieses an.

1912 erfolgte die Verlängerung des Netzes nach Damphreux und Lugnez, 1920/21 nach Beurnevésin.

Erst 1947 wurde die Quelle der Vendline erneut gefasst und ein Pumpen des Wassers ins Leitungsnetz ermöglicht (950 l/Min. bzw. 1300 l/Min.; die Pumpe mit 650 l/Min. ist zur Zeit nicht montiert).

Seit 1965 besteht bei der Sägerei Corbat die Möglichkeit, die Netze von Vendlincourt und Bonfol zusammenzuschliessen.

1965 begannen die Verhandlungen, um die Gemeinden, die bis anhin nur lose miteinander verbunden waren, zu einem Zweckverband, dem Syndicat intercommunal des Eaux de la Vendline, zusammenzuschliessen und die gesamte Anlage zweckmässiger auszubauen. Die Kosten werden auf 2 Millionen Franken veranschlagt. Leider konnte sich bis Ende 1967 Bonfol nicht entschliessen, ebenfalls mitzuwirken und dadurch den Bau einer Ringleitung zu ermöglichen.

1	2	3	4	5	6	7	8
Alle	1965	1'557	606	434	390'000	6,9	6,6
Beurnevésin	1965	178	273	118	36'500	5,6	4,8
Boncourt	1965	1'607	491	371	506'150	8,6	8,5
	1966				522'280	8,9	8,8
	1967				498'140	8,5	8,4
Bonfol	1965	992	536	600	125'000	3,5	3,2
	1966				192'000	5,3	4,8
	1967				193'000	5,3	4,8
Bressaucourt	1967	(380)	386	167	15'500	1,1	1,0
Buix	1965	590	426	214	40'000	1,9	1,8
	1966				28'882	1,3	1,2
	1967				30'270	1,4	1,3
Bure	5.-12.8.52	613	664	547		3,9	3,5
Chevenez	1965	768	1'241	412	33'000	1,2	1,0
Cornol	1965	800	575	205	160'000	5,5	5,1
Coeuve	1965	720	630	542	292'000	11,1	10,1
Courchavon	1965	274	235	169	60'000	6,0	5,5
Dorfnetz	5.-12.8.52	236				4,7	
Netz Mormont	5.-12.8.52	85				9,5	
Courgenay	1965	2'200	1'165	595	240'900	3,0	2,8
	1966				270'000	3,4	3,2
	1967				280'000	3,5	3,3
Courtedoux	5.-12.8.52	591	423	243		3,1	2,9
Courtemaîche	1965	762	224	189	74'227	2,7	2,6
Damphreux	1965	240	382	226	50'000	5,7	4,9
	1966				45'000	5,1	4,4
	1967				46'000	5,2	4,5
Damvant	5.-12.8.52	214				2,2	1,9
	1965	215	323	166	17'000	2,2	1,9
	1966				27'000	3,4	3,0
	1967				22'000	2,8	2,4
Fahy	14.-15.7.65	501	628	854		4,8	4,1
	5.-12.8.52	524				3,6	3,3
Fontenais	1966	(971)	538	333	61'442	1,7	1,6
	1967				61'842	1,7	1,6
Fregiécourt	1965	160	236	247	41'500	7,1	6,0
Grandfontaine	5.-12.8.52	396	573	257		2,0	1,7
Lugnez	1965	265	353	290	80'085	8,3	7,2
	1966				93'646	9,7	8,6
	1967				88'754	9,2	8,1
Miécourt	1965	525	540	335	35'000	1,8	1,6
Montignez	1965	348	406	286	172'500	13,4	12,0
Pleujouse	1965	98	112	120	9'000	2,5	2,2
	1966				3'150	0,9	0,8
	1967				3'280	0,9	0,8
Porrentruy	1957	7'363	826	665	573'511	2,1	2,1
	1958	7'028			566'392	2,1	2,1
	1959	6'959			588'413	2,3	2,3
	1960	7'260			615'031	2,3	2,3
	1961	7'492			623'085	2,3	2,2
	1962	7'492			615'709	2,3	2,2
	1963	7'730			652'919	2,3	2,3
	1964	7'876			682'793	2,4	2,4
	1965	8'107			700'049	2,4	2,3
	1966	8'180			832'573	2,8	2,8
	1967	8'308			814'697	2,7	2,7
Réclère	1965	225	381	130	30'000	3,7	3,1
	5.-12.8.52	249				1,7	1,5
Roche d'Or	1965	64	264	94	40'000	11,0	7,7
Rocourt	1965	170	387	204	20'000	3,2	2,6
	5.-12.8.52	187				4,2	3,5
Vendlincourt	1965	668	475	428	104'185	4,3	4,0

Figur 22
Der durchschnittliche Wasserverbrauch einiger Gemeinden der Ajoie
Kolonne 1: Gemeinde
Kolonne 2: Zeitpunkt der Erhebung
Kolonne 3: Bevölkerung im Jahr der Erhebung
Kolonne 4: Bestand an Pferden und Rindvieh (1961)
Kolonne 5: Bestand an Schweinen, Schafen und Ziegen (1961)
Kolonne 6: Wasserverbrauch pro Jahr in m^3
Kolonne 7: Verbrauch pro Tag pro Kopf, ohne Tierbestand, in hl
Kolonne 8: Verbrauch pro Tag pro Kopf, mit Tierbestand, in hl

5. Der durchschnittliche Wasserverbrauch

Leider sind nur in den wenigsten Gemeinden die Haushaltungen mit Zählern ausgerüstet. Die erhältlichen Zahlen sind deshalb lückenhaft und zudem nicht unbedingt verbindlich. Sie seien deshalb mit Vorbehalten weitergegeben.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass nicht in jeder Gemeinde die Tiere mit Wasser der allgemeinen Druckwasserversorgung getränkt werden. Wie jedoch Fig. 22 zeigt, fallen die diesbezüglichen Fehler nur unbedeutend ins Gewicht. In Kolonne 7 ist der tägliche Wasserbedarf pro Tag und Kopf der Bevölkerung ohne Berücksichtigung des Viehbestandes und des Verbrauchs an Betriebswasser aufgeschrieben. Bei der Berechnung der letzten Zahlenreihe setzte ich in grober Vereinfachung den Verbrauch von 10 Pferden oder Kühen bzw. 50 Schweinen, Schafen oder Ziegen demjenigen eines Menschen gleich.

Die relativ höheren Zahlen bei Alle und Boncourt sind im grossen Bedarf an Betriebswasser der Filature des laines peignées d'Ajoie bzw. der Manufacture de tabacs et cigarettes (F. J. Burrus) begründet. Für Boncourt konnten im Sommer 1967 nähere Angaben gewonnen werden, die diese Auffassung unterstützen. Von den 1359 m^3, die im Durchschnitt täglich verbraucht wurden, gingen 684 m^3 auf das Konto der Fabrik. Der Rest, nämlich 675 m^3, diente der Bevölkerung; dies entspricht aber trotzdem noch einem täglichen Verbrauch pro Einwohner von 422 Litern.

Das sehr lange, zusammenhängende Leitungsnetz von Cœuve, Damphreux, Lugnez und Beurnevésin weist offensichtlich grosse Verluste auf. Anders kann man sich den unwahrscheinlichen Verbrauch nicht erklären. Rätselhafter bleiben die Zahlen von Montignez, Mormont, Roche d'Or und Fregiécourt, die entweder ebenfalls auf Verluste oder dann auf fehlerhafte Ablesung oder Mitteilung zurückzuführen sind.

WASSERKREISLAUF UND WASSERBILANZ

1. Die Niederschläge

Bekanntlich verteilen sich die Niederschläge auf verdunstendes, unmittelbar auf der Oberfläche abfliessendes und versickerndes Wasser. Mathematisch lässt sich dies mit der Formel

$$N = A + V + (R-B)$$

ausdrücken; dabei bedeuten N = Niederschlag, A = Abfluss während desselben Zeitabschnitts, V = Verdunstung, R = Rücklage, B = Verbrauch der Rücklage und (R–B) = Vorratsänderung.
Nachstehend seien die einzelnen Komponenten näher untersucht:

1.1 DAS BEOBACHTUNGSNETZ

Zu Beginn meiner Arbeit standen die Resultate der folgenden durch die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA) betreuten Stationen zur Verfügung:

Mormont (westl. Courchavon):	ab 1901 täglich
Porrentruy:	1898–1907 und 1948–1952 täglich; 1908–1909 ebenfalls täglich, jedoch mit Lücken
St. Ursanne:	1901–Juli 1902 täglich
Outremont (nördl. St. Ursanne):	1959–1963 monatlich
Fahy:	ab 1957 täglich
Löwenburg (zwischen Charmoille und Kleinlützel):	ab 1961 täglich
Delémont I:	1901–1962 täglich
Delémont II:	ab 1958 täglich

Dazu kamen die in der Nähe der Grenze gelegenen französischen Messstellen:

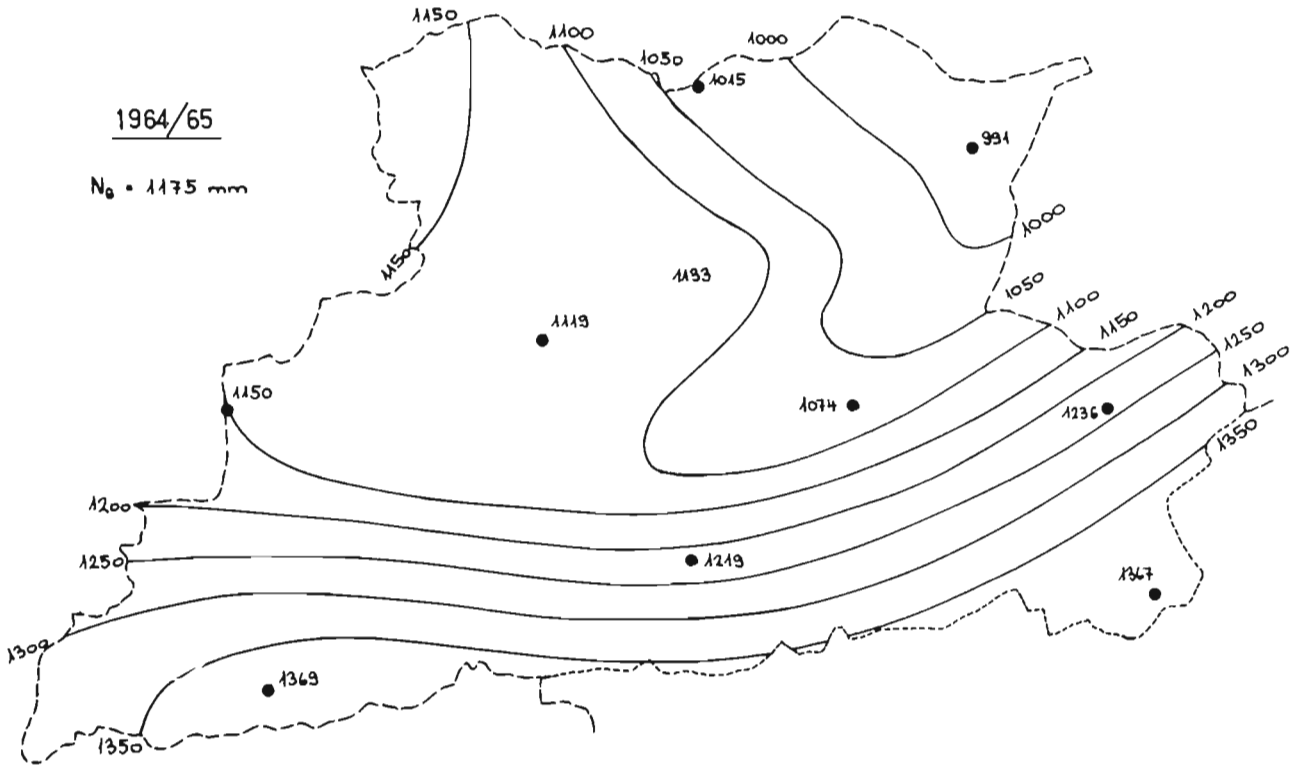
Vaufray (südl. Réclère am Doubs):	1950–Februar 1968 täglich
Liebvillier (nordw. St. Hippolyte):	ab 1931 täglich
Dampjoux (zwischen St. Hippolyte und Pont de Roide):	ab 1944 täglich
Montbéliard:	1884–1892, 1894–1900 und ab 1920 täglich
Joncherey (nördl. Delle):	ab 1955 täglich
St. Pierre (zwischen Charmoille und Kleinlützel):	1901–1918 und 1920–1930 täglich

Dieses im Gebiet der Ajoie sehr dünne Netz konnte für genauere Untersuchungen nicht genügen. Deshalb errichteten wir im Winter 1964/65 8 neue Stationen, bei denen während 4 Jahren die monatliche Niederschlagshöhe ermittelt wurde. Es sind dies:

Lugnez (Zoll)	Charmoille
Bonfol (Zoll)	Roche d'Or
Cœuve	Villars sur Fontenais
Alle	Les Rangiers (Gemeinde Asuel)

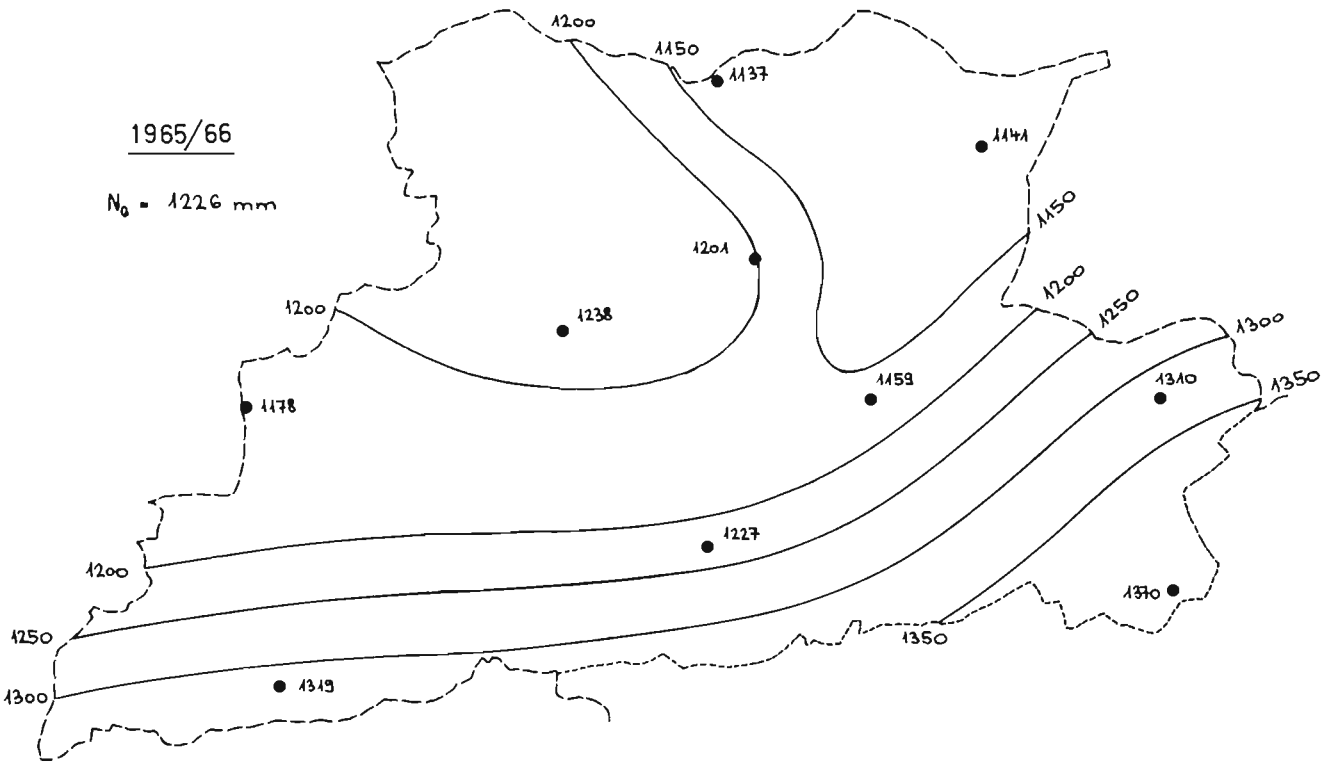
Als Messgeräte dienten 60 oder 70 cm tiefe zylindrische Gefässe (vergleiche Fig. 35 und 36). Deren Auffangöffnung von 500 cm^2, was einem Durchmesser von 25,23 cm entspricht, befand sich ca. 1½ m über dem Erdboden. Vaselinöl verhinderte ein Verdunsten des Wassers, $CaCl_2$ ein Einfrieren desselben im Winter. Die in einem bestimmten Zeitintervall gefallenen Niederschläge wurden in Zusammenarbeit

Figur 23
Resultate der monatlichen Niederschlagsmessungen in der Ajoie und den unmittelbar daran anliegenden Gebieten (in mm) im hydrologischen Jahr 1964/65
(+ interpolierte Werte)



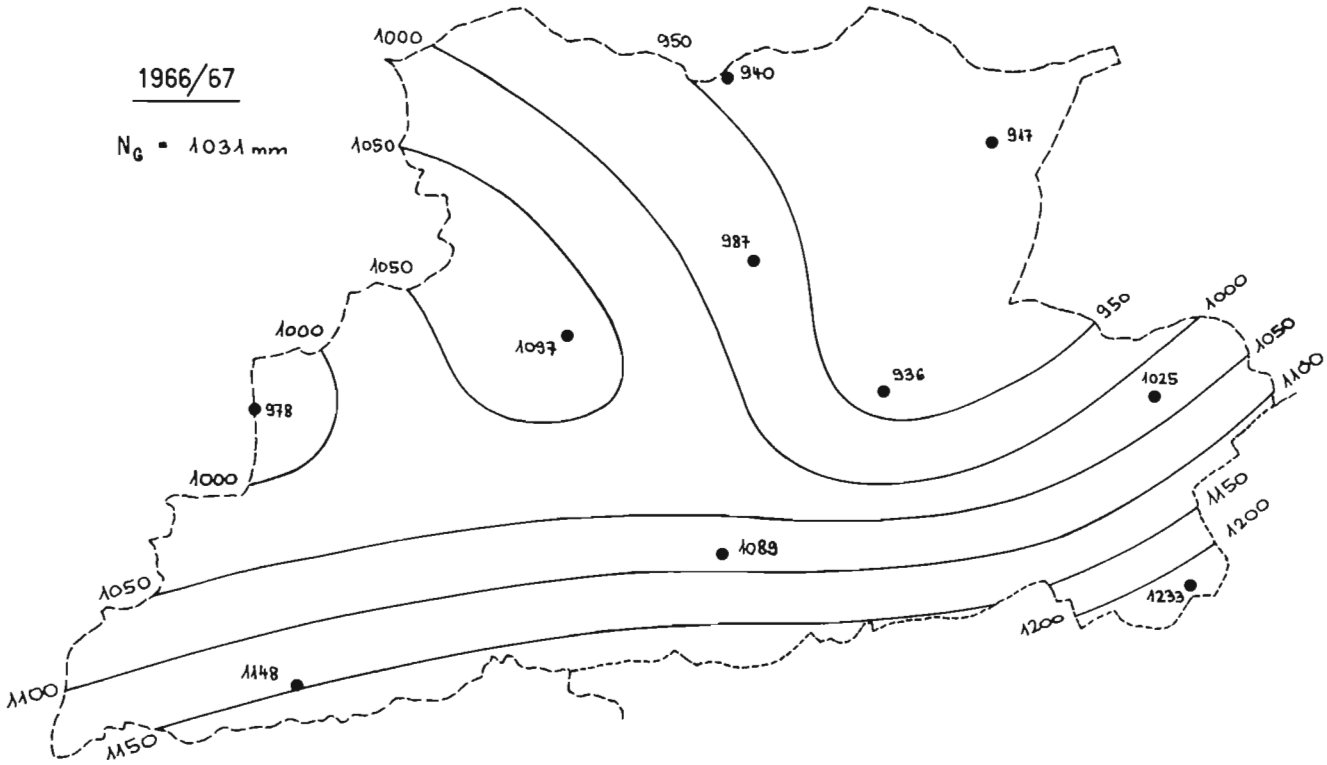
Hydrologisches Jahr 1964/65	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Summe
Montbéliard FR	109	70	47	122	21	162	145	108	76	100	99	158	1'217
Joncherey FR	104	73	27	79	24	123	148	117	80	121	96	167	1'159
Lugnez							123	115	74	97	86	143	1'015+
Bonfol	93	62	23	78	21	103	124	96	69	96	79	147	991
Fahy	91	61	19	90	18	113	144	120	73	117	118	186	1'150
Mormont	97	66	19	107	17	107	144	103	87	107	106	159	1'119
Coeuve													1'133+
Alle							115	108	105	105	82	153	1'074+
Charmoille	100	67	70	78	64	80	132	125	135	134	90	161	1'236
Liebvilliers FR	123	74	32	127	36	145	146	136	90	136	113	175	1'333
Dampjoux FR	123	78	30	119	31	127	149	124	77	125	95	170	1'248
Vaufray FR	126	82	30	125	35	131	179	139	81	139	108	180	1'355
Roche d'Or	124	79	39	122	34	126	178	124	99	129	159	156	1'369
Villars											97	168	1'219+
Les Rangiers	114	79	39	120	57	111	151	145	140	137	93	181	1'367
Löwenburg	85	75	42	96	36	108	120	124	120	121	117	167	1'211
Delsberg	79	69	36	67	34	84	144	115	77	162	116	142	1'125

Figur 24
Resultate der monatlichen Niederschlagsmessungen in der Ajoie und den unmittelbar daran anliegenden Gebieten (in mm) im hydrologischen Jahr 1965/66



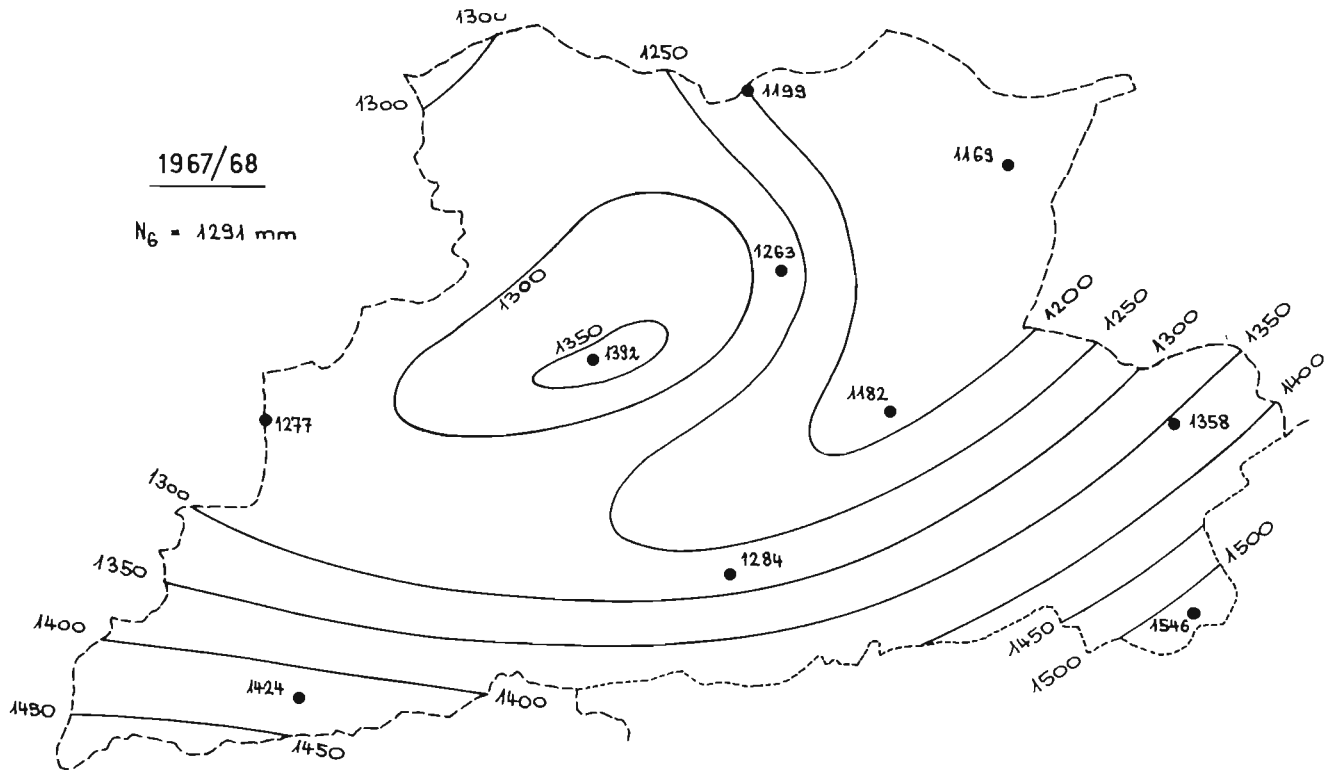
Hydrologisches Jahr 1965/66	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Summe
Montbéliard FR	25	150	191	107	105	71	103	83	76	117	151	61	1'240
Joncherey FR	34	149	182	106	107	69	116	81	81	118	149	50	1'242
Lugnez	30	152	171	88	87	78	100	69	76	121	124	41	1'137
Bonfol	27	142	167	79	89	84	105	98	64	103	134	49	1'141
Fahy	31	137	158	78	96	67	109	83	112	107	151	49	1'178
Mormont	31	147	171	84	91	87	117	105	67	131	154	53	1'238
Coeuve	36	153	177	83	93	97	102	105	60	117	136	42	1'201
Alle	33	145	161	74	84	77	112	88	74	123	134	54	1'159
Charmoille	29	172	180	57	111	89	131	94	97	173	130	47	1'310
Liebvilliers FR	30	150	234	107	123	113	109	92	72	128	185	59	1'402
Dampjoux FR	33	135	202	96	107	97	105	86	78	118	148	53	1'258
Vaufray FR	33	139	217	94	118	102	123	110	77	131	185	60	1'389
Roche d'Or	29	157	152	91	105	97	131	98	80	139	181	59	1'319
Villars	26	158	171	85	93	87	120	92	71	129	151	44	1'227
Les Rangiers	29	161	185	60	112	124	117	131	82	179	147	43	1'370
Löwenburg	24	186	203	74	107	104	131	91	64	130	170	41	1'325
Delsberg	23	114	142	47	86	97	111	114	71	118	192	30	1'145

Figur 25
Resultate der monatlichen Niederschlagsmessungen in der Ajoie und den unmittelbar daran anliegenden Gebieten (in mm) im hydrologischen Jahr 1966/67



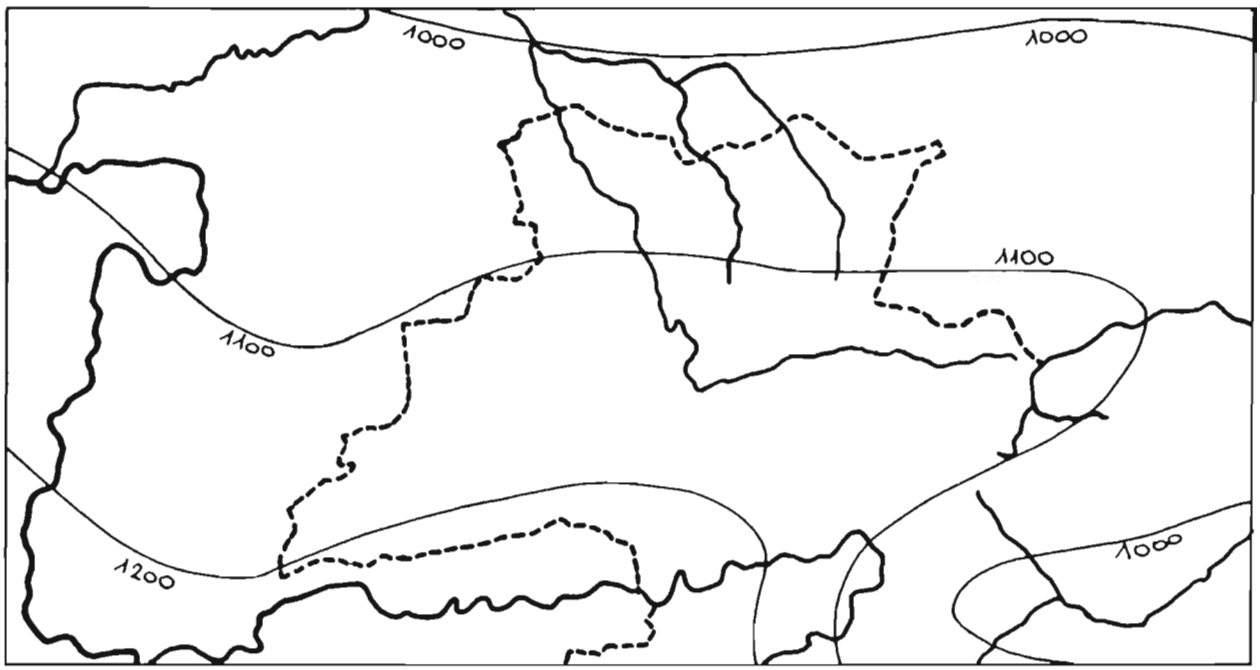
Hydrologisches Jahr 1966/67	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Summe
Montbéliard FR	82	72	172	54	58	80	35	135	63	38	108	120	1'017
Joncherey FR	66	63	149	58	51	90	38	133	52	52	100	96	948
Lugnez	68	58	136	53	54	78	42	110	88	55	118	80	940
Bonfol	65	67	128	39	55	76	42	130	75	45	115	80	917
Fahy	72	62	131	48	59	86	41	144	63	50	128	94	978
Mormont	71	70	170	65	69	100	51	150	71	39	149	92	1'097
Coeuve	67	80	135	55	62	89	60	119	45	46	147	82	987
Alle	70	68	130	39	55	86	52	116	80	59	96	85	936
Charmoille	83	79	147	26	59	97	58	115	90	75	102	94	1'025
Liebvilliers FR	78	76	206	76	84	116	57	168	77	41	87	99	1'165
Dampjoux FR	76	73	189	66	71	103	58	150	91	41	119	101	1'138
Vaufray FR	79	80	196	68	70	104	63	160	80	101	99	112	1'212
Roche d'Or	70	65	181	74	82	103	42	156	79	75	128	93	1'148
Villars	67	67	170	79	50	105	52	143	85	61	120	90	1'089
Les Rangiers	91	91	198	76	67	90	67	138	120	81	101	113	1'233
Löwenburg	105	83	170	65	81	98	50	161	79	84	89	114	1'179
Delsberg	80	57	121	52	53	76	28	80	88	55	80	88	858

Figur 26
Resultate der monatlichen Niederschlagsmessungen in der Ajoie und den unmittelbar daran anliegenden Gebieten (in mm) im hydrologischen Jahr 1967/68

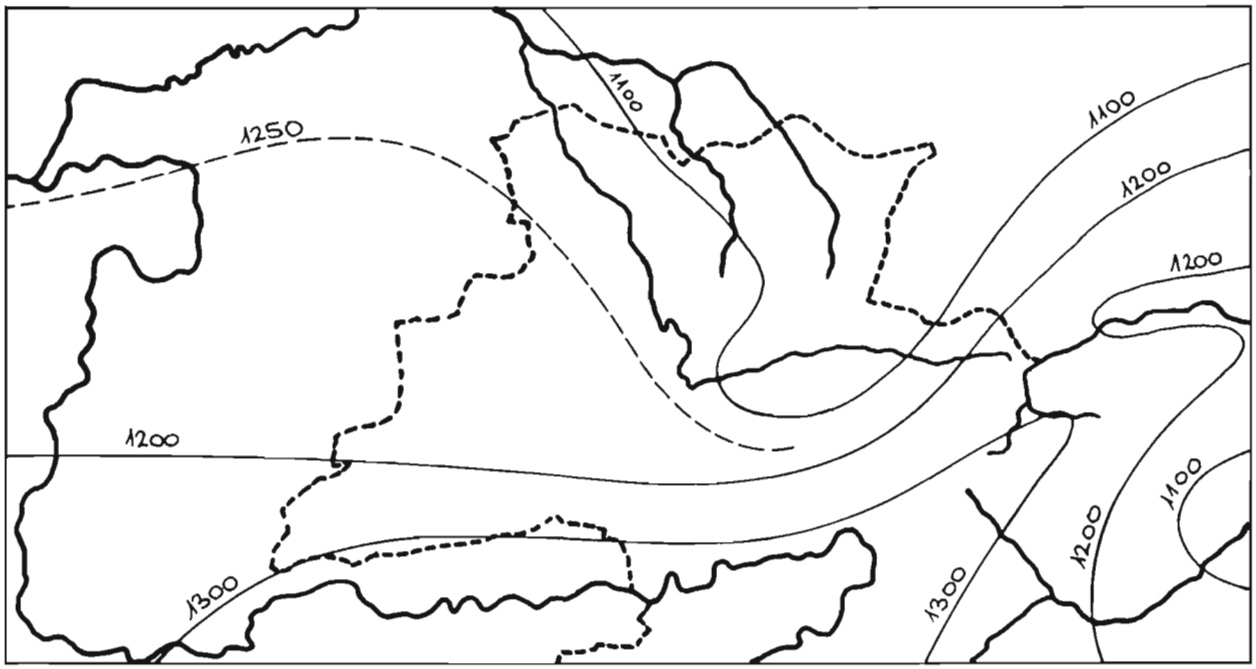


Hydrologisches Jahr 1967/68	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Summe
Montbéliard FR	59	130	120	173	89	59	93	96	41	115	190	193	1'358
Joncherey FR	53	143	100	134	91	56	137	92	48	91	180	187	1'312
Lugnez	51	117	107	122	60	50	120	120	65	82	168	137	1'199
Bonfol	50	95	77	121	64	42	121	112	61	83	173	170	1'169
Fahy	54	119	71	123	68	52	130	101	60	127	186	186	1'277
Mormont	61	127	84	158	72	56	141	131	83	104	187	188	1'392
Coeuve	61	99	112	139	66	50	120	122	62	100	171	161	1'263
Alle	60	98	73	113	59	49	119	120	67	87	175	162	1'182
Charmoille	69	87	68	138	57	49	126	116	89	98	282	179	1'358
Liebvilliers FR	68	143	104	179	68	60	118	102	81	136	199	189	1'447
Dampjoux FR	62	125	106	193	66	74	103	95	54	133	195	171	1'377
Vaufray FR	68	133	103	196	77								1'480+
Roche d'Or	105	118	68	121	72	65	132	136	102	123	190	192	1'424
Villars	60	113	90	125	65	58	120	133	80	90	169	181	1'284
Les Rangiers	66	128	108	174	70	66	121	115	64	131	315	188	1'546
Löwenburg	60	122	74	162	83	49	146	106	62	109	249	180	1'402
Delsberg	36	86	46	116	41	36	81	69	67	154	212	166	1'110

Figur 27
Niederschlagskarte der Ajoie für die Normalperiode 1901–1940



Nach H. Uttinger (1949)



Nach H. U. Schweizer (1968)

mit einem örtlichen Beobachter nach dem Abstechverfahren bestimmt. Das Leeren der Kübel erfolgte dreimal pro Jahr mit Hilfe eines Gummischlauches, der an einen Stab gebunden wurde und als Saugheber funktionierte.

1.2 DIE RÄUMLICHE VERTEILUNG DER NIEDERSCHLÄGE

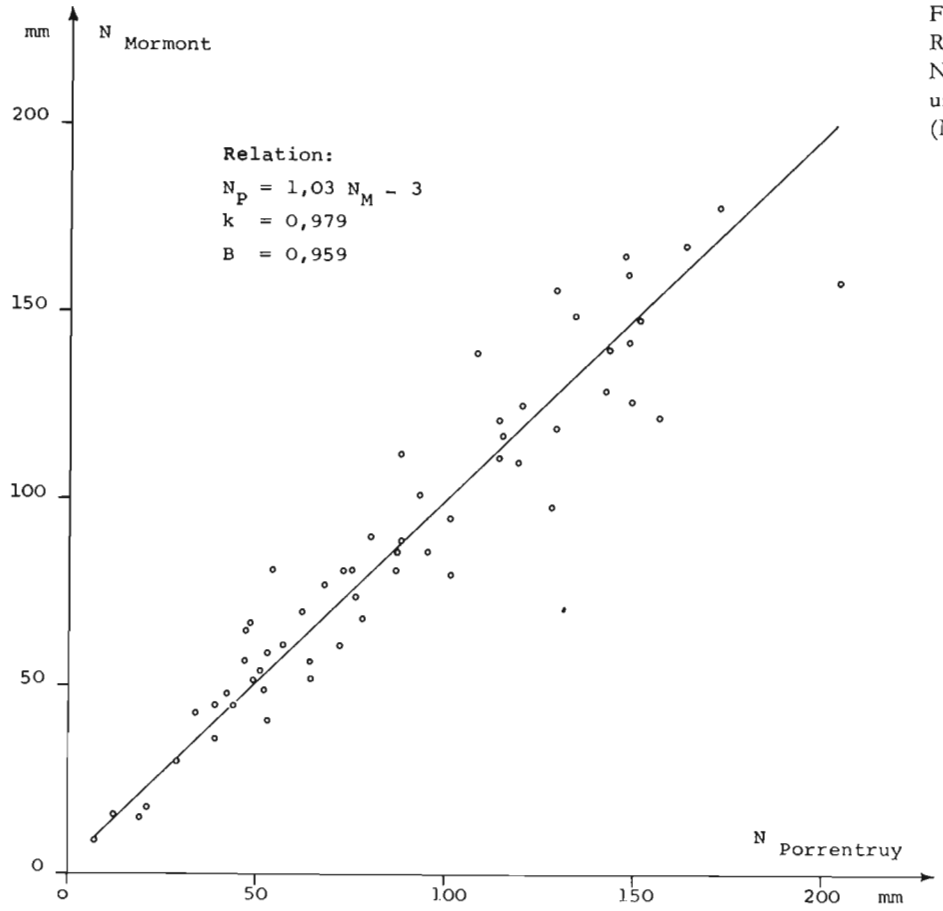
Die Resultate der monatlichen Niederschlagsmessungen während den Untersuchungsjahren 1964 bis 1968 bildeten die Grundlage für die in den Fig. 23 bis 26 dargestellten Niederschlagskarten, die ein übersichtliches Bild über die Verteilung und Menge der Niederschläge von Jahr zu Jahr geben.

Um unsere Ergebnisse mit der Niederschlagskarte der Schweiz, die 1948 von der MZA herausgegeben wurde, vergleichen zu können, haben wir die Jahressummen von allen in Frage kommenden Messstationen mit Hilfe von Mormont und Fahy auf die schweizerische Normalperiode 1901 bis 1940 reduziert und in Fig. 27 dargestellt. Dabei muss man berücksichtigen, dass sich einerseits der Autor der oberen Karte, H. UTTINGER, im Gebiet der Ajoie nur auf die Resultate von Mormont stützen konnte; anderseits sind mir für die Reduktion der übrigen Stationen im eigentlichen Untersuchungsgebiet nur Messreihen zur Verfügung gestanden, die die Ergebnisse von 4 bis 6 Jahren festhalten. Eventuelle Extremwerte können deshalb einen zu grossen Einfluss haben. In den benachbarten Gebieten weist das Beobachtungsnetz immer noch grosse Lücken auf. Bei der Interpretation steht hier ein weiter Spielraum für das Zeichnen der Isohyeten zur Verfügung.

Auf die beiden nachstehenden Feststellungen sei speziell verwiesen:
- Der Trockenkeil, der aus dem Rheintalgraben in die Burgundische Pforte hineinragt, erstreckt sich den Flanken des Pfirter Jura entlang in die Täler der Cœuvatte, der Vendline und der Larg. Er ist über Alle und Porrentruy bis ins Trockental der Haute-Ajoie hinein festzustellen.
- Die niederschlagsreichere Zone, die den Doubs nach Nordosten begleitet, setzt sich über Les Rangiers in den Pfirter Jura hinein fort. Sie ist wesentlich ausgeprägter, als dies UTTINGER angenommen hat.

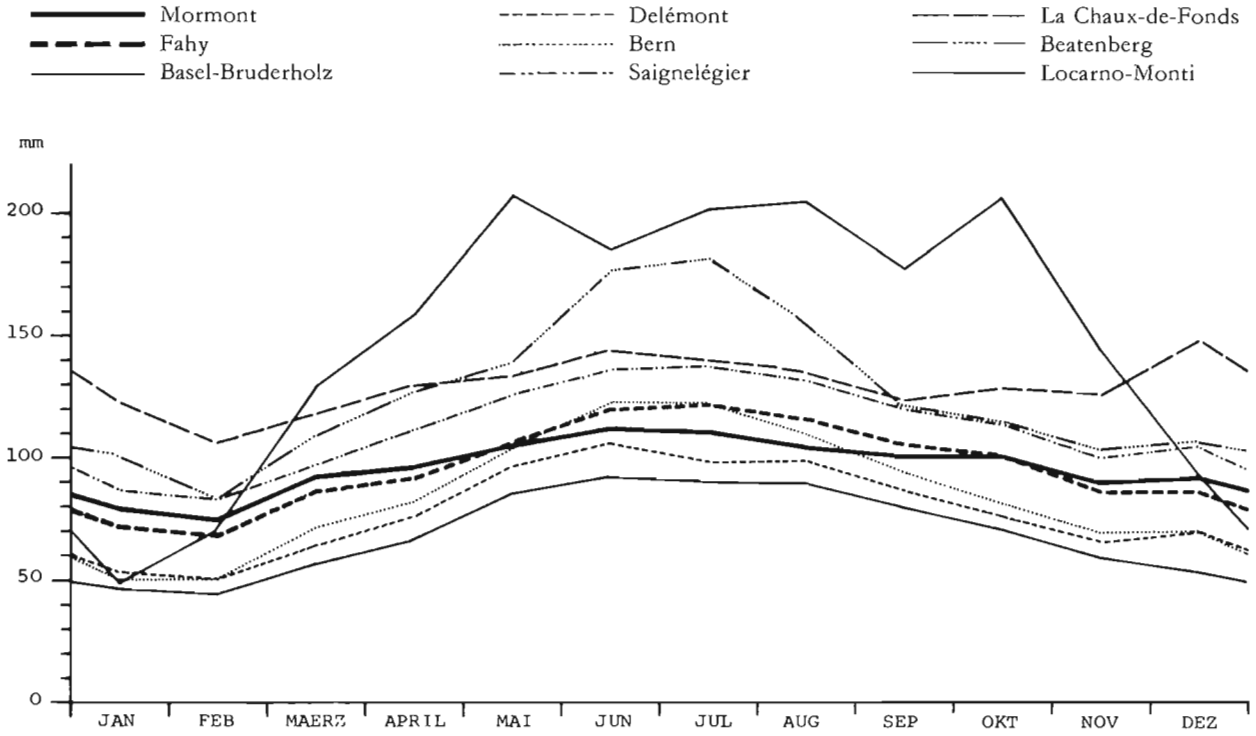
Bei der Berechnung des Gebietsniederschlages bestimmten wir für jedes hydrologische Jahr und für jeden Quadratkilometer einen Mittelwert und aus diesen den Durchschnitt. Durch Aufteilung der Jahressummen im Verhältnis der Station Mormont ergaben sich die folgenden Monatswerte:

		1964/65	1965/66	1966/67	1967/68
Gebietsniederschlag (N_G)		1 175	1 226	1 031	1 291
Niederschlag von Mormont (N_M)		1 119	1 238	1 097	1 392
Umrechnungsfaktor für Mormont (N_G:N_M)		1,0500	0,9903	0,9398	0,9274
Gebietsniederschlag	Oktober	102	31	67	57
	November	69	146	66	118
	Dezember	20	169	160	78
	Januar	113	83	61	147
	Februar	18	90	65	67
	März	112	86	94	52
	April	151	116	48	131
	Mai	108	104	141	121
	Juni	91	66	67	77
	Juli	113	130	36	96
	August	111	153	140	173
	September	167	52	86	174
Schwankungskoeffizient (Abs. Max.: Abs. Min.)		8,35	4,95	4,44	3,35



Figur 28
Relation zwischen den Niederschlägen von Mormont und Porrentruy (Monatssummen)

Figur 29
Jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge. Aufgetragen sind die auf die Normalperiode 1901–1940 reduzierten Monatswerte von



Da zu wenig Messresultate zur Verfügung stehen, ist es vorläufig nicht möglich zu entscheiden, ob die Niederschlagsmenge, die im geographisch zentral gelegenen Dorf Mormont fällt, als Näherungswert für den Gebietsniederschlag verwendet werden darf, ob ein Korrekturfaktor anzubringen oder ob ein derartiges Vorgehen überhaupt auszuschliessen sei. 1965/66 lagen die beiden Zahlen sehr nahe beieinander. In den drei anderen Jahren stellte man eine Abweichung bis zu 7½% fest. Zweimal ergab die Berechnung des Gebietsniederschlages weniger, einmal mehr. Immerhin darf angenommen werden, dass bei der Station Mormont, bei der die weitaus längste Messreihe vorhanden ist, nur sehr selten extrem stark abweichende Werte zu erwarten sind.

1.3 DIE JAHRESZEITLICHE VERTEILUNG DER NIEDERSCHLÄGE

In Fig. 29 sind die auf die schweizerische Normalperiode 1901 bis 1940 reduzierten Werte einiger Stationen graphisch aufgetragen. Dabei erweisen sich bei Mormont und bei Fahy der Juni und Juli als die niederschlagsreichsten, der Januar und Februar dagegen als die trockensten Perioden des Jahres. Die Unterschiede zwischen den Winter- und Sommermonaten sind jedoch vor allem bei Mormont sehr bescheiden.

Der Schwankungskoeffizient, der sich durch Bildung des Quotienten aus mittlerem Monatsmaximum und mittlerem Monatsminimum berechnet, beträgt für diese 40jährige Beobachtungsreihe nur 1,51. Die Schwankungskoeffizienten der Absolutwerte sind allerdings wesentlich grösser. Für die Jahre 1964/65 bis 1967/68 betragen sie im Mittel 5,27.

Der Gang der Kurven entspricht dem der übrigen Stationen der Nordwestschweiz (La Chaux-de-Fonds, Saignelégier, Les Brenets, St. Pierre, Basel u.a.m.). Er ist flacher als bei Zürich, Bern, Beatenberg, Locarno und anderen Messstellen des höheren Mittellandes und der Alpen. Diese Erscheinung dürfte auf den Einfluss der Westwinde zurückzuführen sein, die vom Atlantik her durch die Burgunderpforte ozeanische Klimaverhältnisse in die Ajoie bringen.

1.4 DIE VERÄNDERLICHKEIT DER NIEDERSCHLAGSHÖHEN VON MORMONT

Niederschläge sind ausserordentlich veränderlich; die Schwankungen im Ablauf der Jahre, Jahreszeiten und Monate scheinen sich völlig ungeregelt zu verhalten. Im folgenden sei versucht, die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen von Mormont, die bis auf das Jahr 1901 zurückgehen, etwas näher zu durchleuchten. Dabei gingen wir von der Annahme aus, dass es sich bei den Monats- und Jahressummen um Stichproben handle, von denen auf die Grundgesamtheit geschlossen werden kann. Dies verlangt die Bestimmung von zwei Grössen, nämlich eines Mittelwertes und eines Masses für die Veränderlichkeit.

Als Mittel sind in den Fig. 30 bis 32 für jeden Monat (bzw. für das Jahrestotal) zwei Zahlen angegeben. Der Durchschnitt $\overline{x}$ stellt das arithmetische Mittel der N Einzelbeobachtungen (x_1 bis x_N) dar:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

Beim Zentralwert $\tilde{x}$ handelt es sich um die mittelste Einzelmessung.

Als Mass für die Veränderlichkeit haben sowohl die Variationsbreite (Minimum–Maximum) als auch die durchschnittliche Abweichung

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left| x_i - \overline{x} \right|}{N}$$

wenig Aussagewert. Wesentlich besser ist die von UTTINGER angewandte Methode der Einteilung in Quantile. Hiefür ordnet man zunächst die Elemente nach ihrer Grösse und teilt dann diese geordnete Reihe in gleich stark besetzte Intervalle auf. Handelt es sich um vier Intervalle, spricht man von Quar-

tilen, bei zehn von Dezilen und bei zwölf – wie im vorliegenden Fall – von Duodezilen. Bei gerader Intervallzahl ist das Quantil, das das Grundmaterial halbiert, definitionsgemäss mit dem Zentral- oder Meridianwert $\tilde{x}$ identisch.

Die mit Normalverteilung überschriebenen Zahlen berechnete man unter der Annahme, dass die Einzelwerte nach den Gesetzen des Zufalls von ihrem arithmetischen Mittel abweichen, d.h. dass die einzelnen Beobachtungen normal verteilt sind. Die erste Kolonne gibt die Standardabweichung s wieder:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Die übrigen Kolonnen dieses Abschnittes geben die Abweichungen vom Durchschnitt an, die 50% der Messresultate einschliessen. Sie werden als wahrscheinliche Abweichung $u_{0,5}$ bezeichnet und lassen sich einfach aus der Standardabweichung berechnen:

$$u_{0,5} = 0{,}6745\ s$$

Ordnet man 60 Elemente, die normal verteilt sind, in Klassen mit einer Breite von ½ $u_{0,5}$ ein, ergibt sich die oberste Darstellung in Fig. 31.

Dass sowohl die Jahres- als auch die Monatssummen 1901 bis 1960 nicht genau eine Normalverteilung darstellen, ist einerseits sofort aus der wirklichen Häufigkeitsverteilung ersichtlich (mittlere Darstellung in Fig. 31, geht andererseits aber auch aus Fig. 32 hervor. Würde eine solche vorliegen, müssten der Zentralwert $\tilde{x}$ bzw. das obere und das untere Duodezil mit dem Durchschnitt $\bar{x}$ bzw. den Kurven $\bar{x} \pm u_{0,5}$ zusammenfallen. Dies ist meist nicht der Fall. Vor allem der Oktober und November – beides Monate mit sehr grosser Variationsbreite – weisen erhebliche Unregelmässigkeiten auf. Zudem sind die Duodezile nicht symmetrisch zum Zentralwert angeordnet.

Diese Abweichungen von einer Normalverteilung brauchen nicht signifikant zu sein; sie können zufällig entstanden sein. Es ist deshalb zu prüfen, ob die Beobachtungen der Jahre 1901 bis 1960 eine Stichprobe aus einer normal verteilten Grundgesamtheit darstellen. Hiefür berechneten wir nach dem Verfahren von R. A. Fisher für die Jahressummen die beiden Werte g_1 und g_2. Die Grösse g_1 gestattet die Beurteilung der Asymmetrie; g_2 ist ein Mass dafür, ob eine zwar symmetrische Verteilung stärker überhöht ist oder flacher verläuft als eine Normalverteilung.

Dabei zeigte sich, dass die berechneten Werte g_1 und g_2 wesentlich kleiner sind als die Standardabweichungen von g_1 und g_2. Man darf deshalb annehmen, dass die Jahressummen der Niederschläge von Mormont normal verteilt sind.

	1	211	212	213	221	222	223	23	3	41	42	43	44	45	461	462	51	52	53
Januar	82	53	20	62	10	194	112	9,7	27	41	54	79	97	142	25	18	36	24	58- 106
Februar	73	59	2	71	04	191	118	95,5	35	19	40	68	103	143	28	35	42	29	44- 102
März	81	53	7	74	47	183	102	26,1	37	20	48	83	111	151	35	28	44	30	51- 111
April	88	38	12	76	22	253	165	21,1	32	35	60	88	113	134	28	25	43	29	59- 117
Mai	99	34	4	95	39	220	121	55,0	33	39	71	100	123	156	29	23	43	29	70- 128
Juni	111	25	25	86	09	205	94	8,2	36	52	81	104	141	173	23	37	43	29	82- 140
Juli	105	49	16	89	36	215	110	13,4	45	22	60	99	147	196	39	48	55	37	68- 142
August	106	06	*32	74	27	228	122	7,6	38	47	68	98	135	187	30	37	48	32	74- 138
September	97	59	23	74	01	199	102	8,7	30	44	70	96	118	150	26	22	39	26	71- 123
Oktober	90	08	8	82	39	268	178	33,5	45	30	46	79	119	182	33	40	55	37	53- 127
November	90	20	5	85	50	316	226	63,2	44	36	52	74	119	169	22	45	57	39	51- 129
Dezember	86	33	*10	76	18	204	118	20,4	39	27	50	78	117	162	28	39	47	32	54- 118
Jahr	1108	53	695	413	39	1579	471	2,3	145	864	984	1118	123	1348	134	112	182	123	985-1231
Winter **	241	34 49	126 126	115 115	10	430	189	3,4		142	194	222	290	346	28	68			
Frühling	268	44	101	167	22	447	179	4,4		152	208	270	329	390	62	59			
Sommer	322	49	121	201	38	582	260	4,8		198	257	314	379	455	57	65			
Herbst	277	49	138	139	39	526	249	3,8		169	210	258	333	441	48	75			
Wi-Sem.***	502	54	207	295	31	808	306	3,9		323	426	516	585	683	90	69			
So-Sem.	606	34	391	215	27	924	318	2,4		432	512	594	696	778	82	102			
Hydr. Jahr	1108	21	673	435	31	1569	461	2,3		852	981	1090	1251	1372	109	161			

Die Zahlen bedeuten mm und entstammen z.T. dem Heft Klimatologie der Schweiz, E, 4. Teil, von H. UTTINGER, z.T. wurden sie durch den Verfasser berechnet.

Die Kolonnen bedeuten:

1 Durchschnitt $\bar{x}$

2 Variationsbreite (Spannweite)
- 21 Minimum
- 211 Jahr der Beobachtung
- 212 Gemessene Niederschlagsmenge $x_{Min.}$
- 213 Abweichung vom Durchschnitt ($\bar{x}-x_{Min.}$)
- 22 Maximum
- 221 Jahr der Beobachtung
- 222 Gemessene Niederschlagsmenge $x_{Max.}$
- 223 Abweichung vom Durchschnitt ($x_{Max.}-\bar{x}$)
- 23 Schwankungskoeffizient ($x_{Max.}:x_{Min.}$)

3 Durchschnittliche Abweichung d

4 Einteilung der Stichproben in Quantile
- 41 Erstes Duodezil
- 42 Unteres Quartil (= drittes Duodezil)
- 43 Zentralwert $\tilde{x}$
- 44 Oberes Quartil (= neuntes Duodezil)
- 45 Elftes Duodezil
- 46 Abweichung der Quartile vom Zentralwert
- 461 Abweichung des unteren Quartils
- 462 Abweichung des oberen Quartils

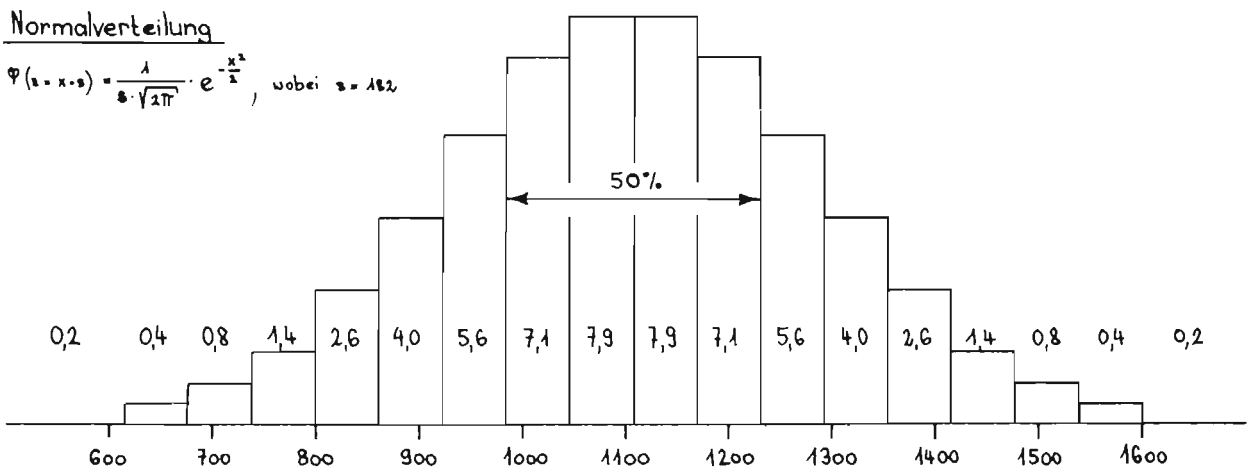
5 Normalverteilung
- 51 Mittlere quadratische Abweichung s
- 52 Wahrscheinliche Abweichung $u_{0,5}=0,6745s$
- 53 Bereich, in dem 50% der Messwerte liegen

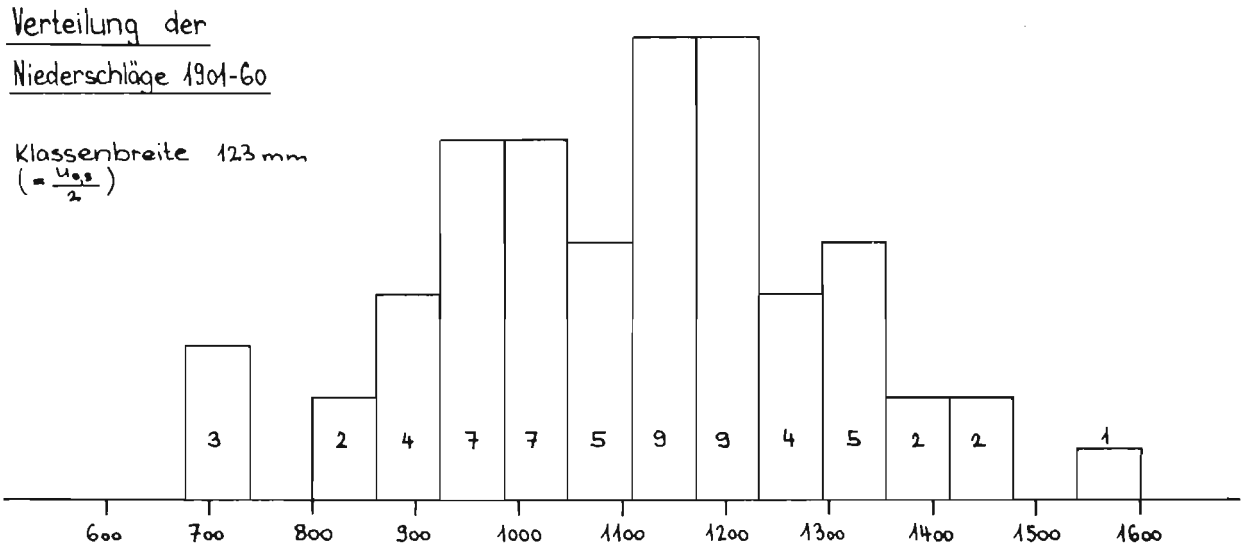
* Im August 1962 mass man als neues Minimum 30 mm, im Dezember 1963 ebenfalls 10 mm

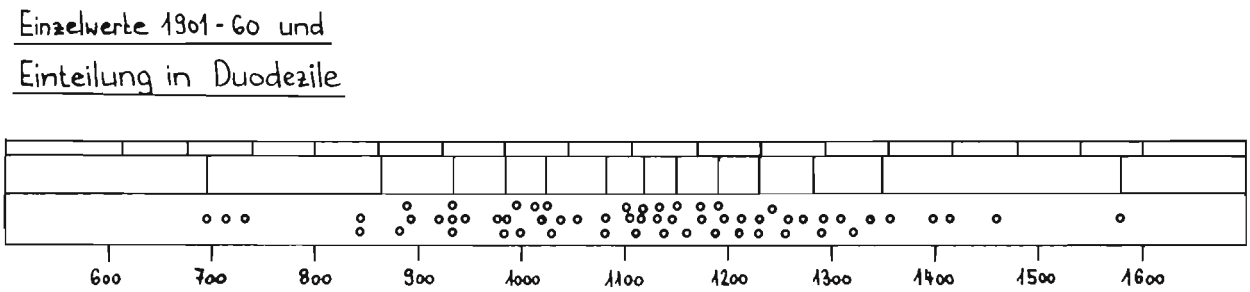
** Summe aus Dezember des Vorjahres, Januar und Februar

*** Summe aus Oktober, November und Dezember des Vorjahres sowie Januar, Februar und März

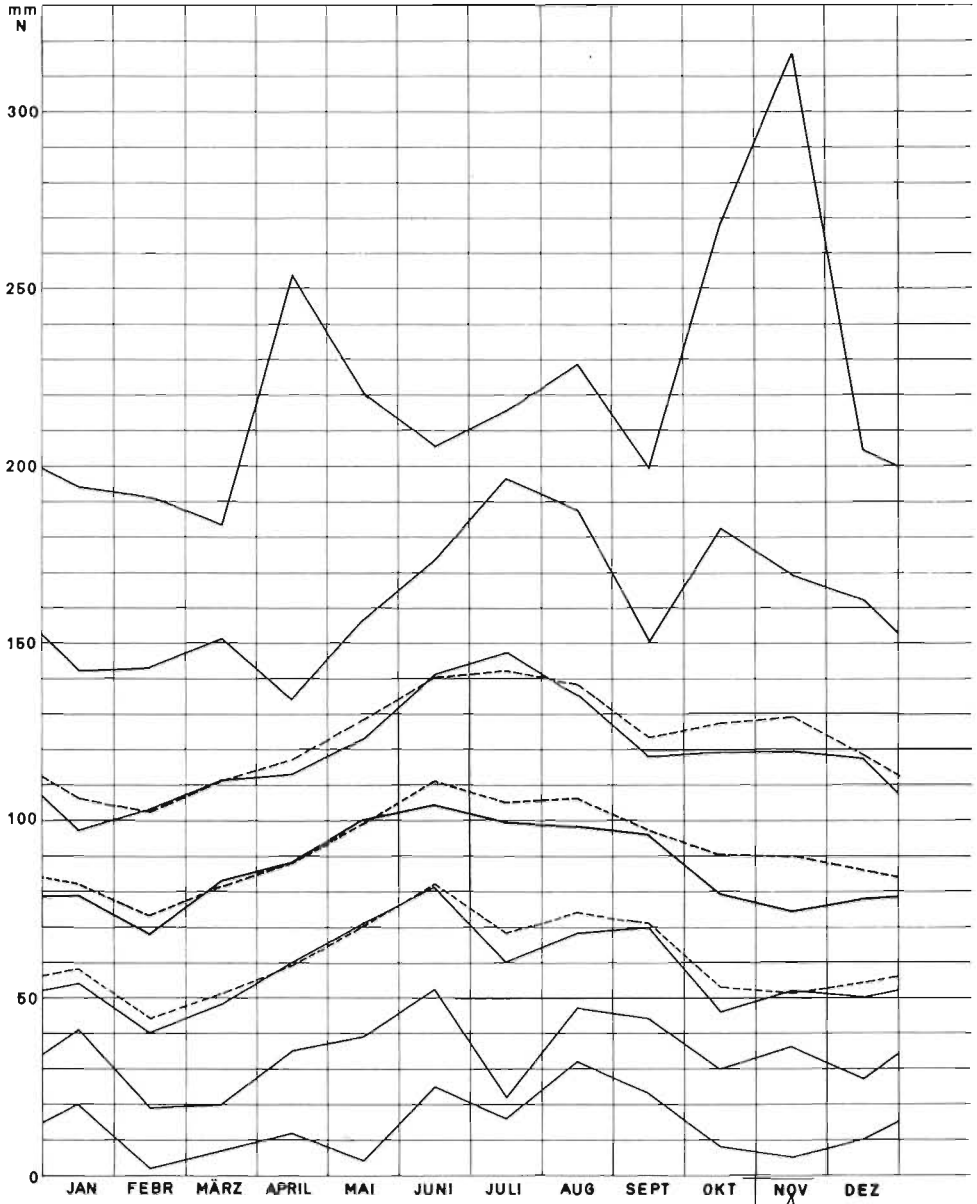
Figur 30
Mittelwerte und Masse für die Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen von Mormont 1901–1960







Figur 31
Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen von Mormont 1901 bis 1960 (Jahressummen)



Figur 32
Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen von Mormont 1901–1960 (Monatssummen)

Maximum

11. Duodezil

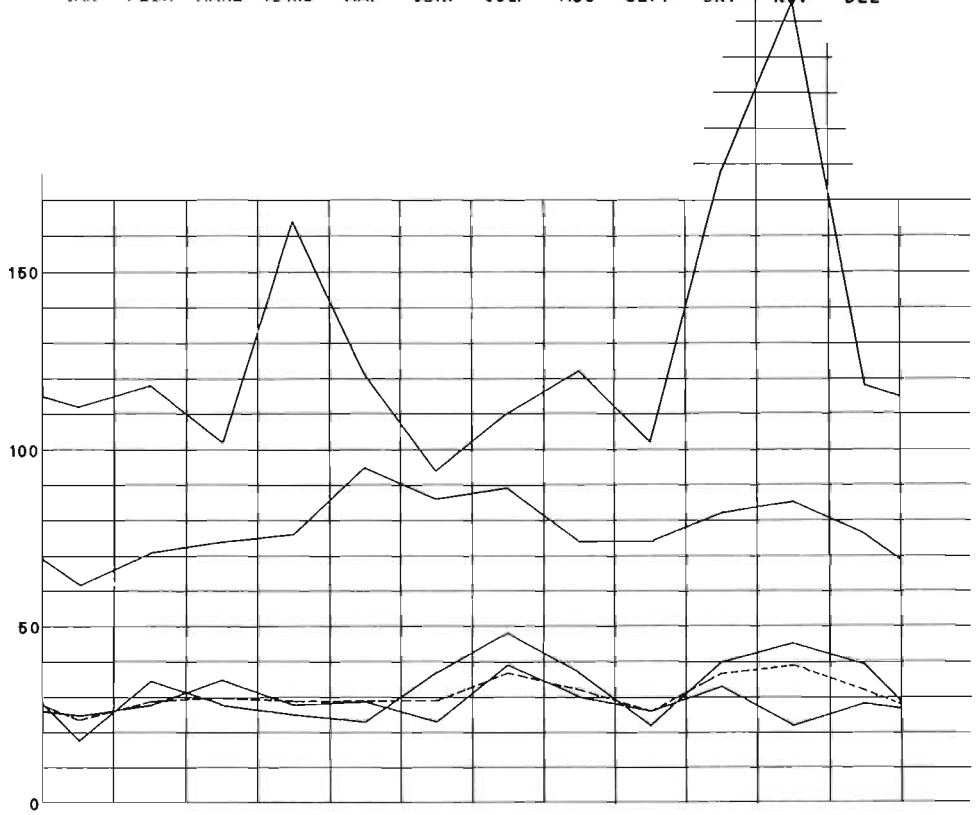
$\bar{x} + u_{0,5}$
oberes Quartil

Durchnitt $\bar{x}$
Zentralwert $\tilde{x}$

$\bar{x} - u_{0,5}$
unteres Quartil

1. Duodezil

Minimum



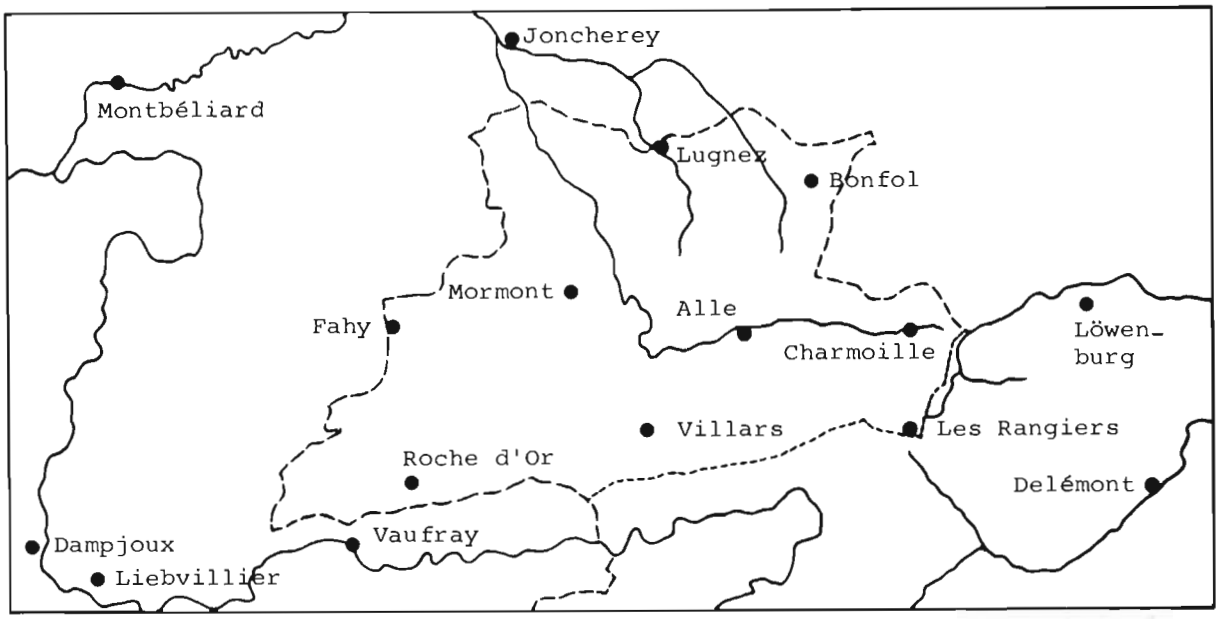
Maximum – Durchschn.

Durchschn. – Minimum

ob. Quartil – Z'wert
$\bar{x} - u_{0,5}$
Z'wert – unt. Quartil

Z'wert bzw. Durchschn.

	DELE	DAMP	LIEB	VAUF	RANG	LOEW	CHAR	ALLE	FAHY	ROCH	VILL	MORM	COEU	BONF	LUGN	JONC
MONT	0,748	0,957	0,937	0,922	0,841	0,893	0,808	0,913	0,893	0,833	0,924	0,923	0,899	0,927	0,941	0,970
JONC	0,770	0,939	0,933	0,932	0,832	0,903	0,829	0,934	0,929	0,852	0,942	0,928	0,898	0,932	0,945	
LUGN	0,760	0,938	0,888	0,889	0,878	0,887	0,873	0,943	0,891	0,825	0,948	0,924	0,920	0,944		
BONF	0,825	0,943	0,908	0,922	0,881	0,923	0,890	0,973	0,923	0,863	0,956	0,960	0,947			
COEU	0,743	0,903	0,860	0,862	0,828	0,852	0,828	0,905	0,862	0,811	0,917	0,940				
MORM	0,806	0,950	0,911	0,906	0,867	0,897	0,840	0,933	0,923	0,914	0,968					
VILL	0,823	0,955	0,924	0,939	0,912	0,931	0,880	0,959	0,913	0,907						
ROCH	0,835	0,846	0,855	0,868	0,795	0,884	0,807	0,870	0,882							
FAHY	0,811	0,891	0,851	0,873	0,789	0,870	0,835	0,920								
ALLE	0,849	0,924	0,897	0,927	0,909	0,940	0,951									
CHAR	0,811	0,826	0,793	0,843	0,903	0,887										
LOEW	0,849	0,901	0,918	0,939	0,890											
RANG	0,826	0,887	0,856	0,896												
VAUF	0,831	0,945	0,956													
LIEB	0,781	0,971														
DAMP	0,765															



Figur 33
Korrelationskoeffizienten für je zwei Regenmessstationen während der gemeinsamen Beobachtungsperiode (August 1965 bis Dezember 1967)

1.5 BEURTEILUNG DES BEOBACHTUNGSNETZES

Am Ende einer längeren Untersuchungsperiode fragt man sich:

- War das verwendete Beobachtungsnetz engmaschig genug?
- Welche der Stationen müssen weiter betrieben werden?
- Welche können aufgehoben und welche mit anderen zusammengelegt werden?

Hiefür verwendeten wir statistische Methoden. Der Zusammenhang zwischen den Niederschlagshöhen von je 2 Regenmessstationen lässt sich durch deren Korrelationskoeffizienten messen.

Die Anwendung der Korrelationsrechnung setzt jedoch voraus, dass die Messwerte jeder Station zufällig angeordnet sind. Dies überprüften wir, indem wir für jede Messstelle die Monatssummen mit den Summen des vorangegangenen Monats korrelierten, was zu folgendem Ansatz führte:

$$N_t = a + b \cdot N_{t-1}$$

Die erhaltenen Autokorrelationskoeffizienten lauten:

Mormont	r = –0,314
Les Rangiers	–0,288
Fahy	–0,269
Roche d'Or	–0,264
Bonfol	–0,216
Charmoille	–0,174
Joncherey	–0,162

Die Anwendung des Signifikanztestes für Zeitreihen ergibt, dass alle Koeffizienten nur zufällig von Null abweichen. Die obige Voraussetzung ist somit erfüllt.

In Fig. 33 sind die durch Korrelationskoeffizienten repräsentierten Zusammenhänge zwischen den monatlichen Niederschlagshöhen je zweier Regenmessstationen festgehalten. Auf die folgenden Feststellungen sei hingewiesen:

- Sämtliche Korrelationskoeffizienten sind signifikant (statistische Sicherheit grösser als 99,9%). Es handelt sich nur ausnahmsweise um Werte, die kleiner sind als 0,8. Dies bedeutet, dass alle Stationen ein ähnliches Niederschlagsgeschehen aufweisen und die lokalen Einflüsse demzufolge eine geringere Bedeutung haben.
- Die kleinsten Korrelationskoeffizienten finden sich bei den Stationen, die weit auseinanderliegen. Am schlechtesten ist der Zusammenhang zwischen Delémont und den übrigen Messstellen. Demgegenüber besteht zwischen den Regensammlern im Tafelland der Ajoie in der Regel eine gute Übereinstimmung.

Die weiteren Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass bei einer statistischen Sicherheit von 99% die meisten Unterschiede zwischen je zwei Korrelationskoeffizienten zufällig sind. Die signifikanten Ergebnisse scheinen die Annahme zu rechtfertigen, dass die Gebiete um Charmoille und Les Rangiers gegenüber dem Tafelland der Ajoie ein etwas verändertes Niederschlagsregime aufweisen. Bei Charmoille dürfte dies auf die Lage in einem Kessel, der nach Westen offen ist, zurückzuführen sein. Les Rangiers liegt relativ hoch in der Mont Terri-Kette. Dagegen sollte man aus den Unterschieden der Korrelationskoeffizienten in der Nord- und West-Ajoie, bzw. zwischen Les Rangiers und Charmoille, keine Schlüsse ziehen.

Fig. 34 gibt die Regressionsgleichungen an, die sich bei Anwendung der mehrfachen linearen Regression für die Regenmessstationen der Ajoie ergeben.

1	2	3	4	5a	5b
Alle	Bonfol 94,7%	Charmoille 3,4%	1,9%	$y_A = 9,3 + 0,9142x_B$ ***	$y_A = 6,5 + 0,5722x_B + 0,3341x_C$ *** ***
Bonfol	Alle 94,7%	Coeuve 2,4%	2,9%	$y_B = -5,0 + 1,0354x_A$ ***	$y_B = -6,4 + 0,6826x_A + 0,3493x_C$ *** ***
Charmoille	Alle 90,4%	Joncherey 2,8%	6,8%	$y_C = -5,8 + 1,1634x_A$ ***	$y_C = -8,6 + 1,6905x_A - 0,4617x_J$ *** **
Coeuve	Bonfol 89,6%		10,4%	$y_C = 7,3 + 0,9929x_B$ ***	
Fahy	Joncherey 86,3%		13,7%	$y_F = 7,9 + 0,9008x_J$ ***	
Joncherey	Montbéliard 94,0%	Fahy 2,0%	4,0%	$y_J = 3,4 + 0,9386x_M$ ***	$y_J = -3,0 + 0,6704x_M + 0,3200x_F$ *** **
Lugnez	Villars 89,9%	Montbéliard 2,9%	7,2%	$y_L = 5,9 + 0,8477x_V$ ***	$y_L = 5,3 + 0,4840x_V + 0,3721x_M$ *** **
Mormont	Villars 93,6%	Coeuve 1,8%	4,6%	$y_M = 2,4 + 0,9858x_V$ ***	$y_M = -0,9 + 0,6768x_V + 0,3605x_C$ *** **
Les Rangiers	Villars 83,1%	Charmoille 4,5%	12,4%	$y_R = 13,1 + 0,9845x_V$ ***	$y_R = 9,1 + 0,5626x_V + 0,4680x_C$ ** **
Roche d'Or	Mormont 83,6%		16,4%	$y_R = 14,9 + 0,9193x_M$ ***	
Vaufray	Liebvillier 91,4%	Alle 2,5%	6,1%	$y_V = 16,1 + 0,8601x_L$ ***	$y_V = 6,4 + 0,5716x_L + 0,4676x_A$ *** **
Villars	Mormont 93,6%	Alle 2,4%	4,0%	$y_V = 4,0 + 0,9497x_M$ ***	$y_V = -2,5 + 0,5536x_M + 0,5161x_A$ *** ***

Figur 34
Mehrfache lineare Regression für die Regenmessstationen der Ajoie während der gemeinsamen Beobachtungsperiode August 1965 bis Dezember 1967

Kolonne 1: Station, die als abhängige Variable bezeichnet wurde

Kolonne 2: Von den Schwankungen der abhängigen Variablen (= 100%) können p% durch die hier eingeführte unabhängige Variable erklärt werden

Kolonne 3: Durch Einführung einer zweiten unabhängigen Variablen können zusätzlich weitere q% erklärt werden

Kolonne 4: r% können nicht durch die eingeführten unabhängigen Variablen erklärt werden

Kolonne 5: Erhaltene Regressionsgleichungen und Signifikanz der Regressionskoeffizienten
*** Sicherheit grösser als 99,9%
** Sicherheit zwischen 99,9 und 99%
* Sicherheit zwischen 99 und 95%

2. Die oberirdischen Abflüsse

2.1 DAS OBERIRDISCHE FLUSSNETZ

Beinahe das gesamte Untersuchungsgebiet wird nach dem Doubs hin entwässert. Lediglich in den Wäldern östlich von Bonfol befinden sich einige Rinnsale, die jenseits der morphologisch kaum hervortretenden Wasserscheide zwischen Rhein und Rhone liegen.

Die Kartierung des Gewässernetzes stösst in der Praxis auf Schwierigkeiten. Die meisten der zahlreichen Tälchen sind beinahe während des ganzen Jahres trocken; dagegen können sich in ihnen nach Regenperioden oder nach der Schneeschmelze kleinere Wildbäche zu Tale stürzen. Zwischen diesen und den dauernd fliessenden Wasserläufen finden sich alle Übergänge, so dass es oft unmöglich ist zu entscheiden, ob ein Bach als periodisch oder als permanent kartiert werden soll (vergleiche Fig. 37).

Drei Flüsse, die dauernd Wasser führen, verlassen das Gebiet der Schweiz oberirdisch, nämlich die Allaine, die Vendline und die Cœuvatte. Sie vereinigen sich nur wenige Kilometer jenseits der Grenze und fliessen bei Montbéliard in den Doubs. Dazu kommen zwei unbedeutende Bächlein an der Südabdachung des Lomonthöhenzuges, die direkt in den Doubs münden, ein Bächlein bei Boncourt, das erst auf französischem Boden die Allaine speist, und die oben erwähnten Rinnsale, die in die Larg fliessen.

Die topographischen Wasserscheiden folgen selten den politischen Grenzen. Die nachstehenden Einzugsgebiete und Becken ohne oberirdischen Abfluss liegen zur Hauptsache auf schweizerischem Territorium:

Allaine (inkl. die Becken von Le Maira, Champs du Fol und Pré Petusa)	198,3 km²
Vendline	28,2
Cœuvatte	22,0
Trockental von Montignez	4,6
Bassin fermé von Bure	8,9
Bassin fermé von Fahy	7,0
Bassin fermé von Nalé	0,9
Bassin fermé von Damvant	2,7

Wie in einem späteren Kapitel gezeigt wird, fallen diese nicht vollständig mit der wirklichen, sich vor allem unterirdisch abwickelnden Entwässerung zusammen.

Die Flussdichte ist in der Ajoie sehr unterschiedlich. Während im Ostteil die Allaine eine ganze Reihe von Zuflüssen aufnimmt, fehlen diese im Westteil vollständig. Die wenigen Bäche, die am Nordhang des Mont Terri zu finden sind, versickern oder versinken, sobald sie in den Bereich der durchlässigen Kalke gelangen. Das Hochplateau von Bure-Fahy-Croix besteht sogar aus mehreren geschlossenen Becken ohne oberirdischen Abfluss, sogenannten Bassins fermés.

Die ungleichartige oberirdische Entwässerung ist nicht eine Folge verschiedenen Niederschlags oder ungleicher Verdunstung (Besonnung); sie ist einzig von der Beschaffenheit der am Aufbau beteiligten Gesteine abhängig. Die Malmkalke mit ihrer starken Zerklüftung verleihen den Charakter eines flussarmen Gebietes, der örtlich durch die Auflagerung von undurchlässigen Schichten zurücktreten kann.

Figuren 35 und 36
Regenmesskübel während einer Entleerung im Winter

Figur 37
Die Combe Vatelin südlich Courgenay. Nach heftigen Regenfällen wird an verschiedenen Stellen Wasser an die Erdoberfläche aufgepresst

Figur 38
Die Vendline in Beurnevésin

2.2 MESSSTATIONEN UND MESSMETHODEN

Vom 1. Januar 1922 bis 31. Mai 1927 las man in Porrentruy täglich einen Pegel in der Allaine und im periodischen Flusslauf Creujenat ab. Die Zahlen sind nicht publiziert, können aber beim Eidg. Wasserwirtschaftsamt eingesehen werden. Sie haben einen geringen Aussagewert, da keine parallelen Abflussmessungen durchgeführt wurden.

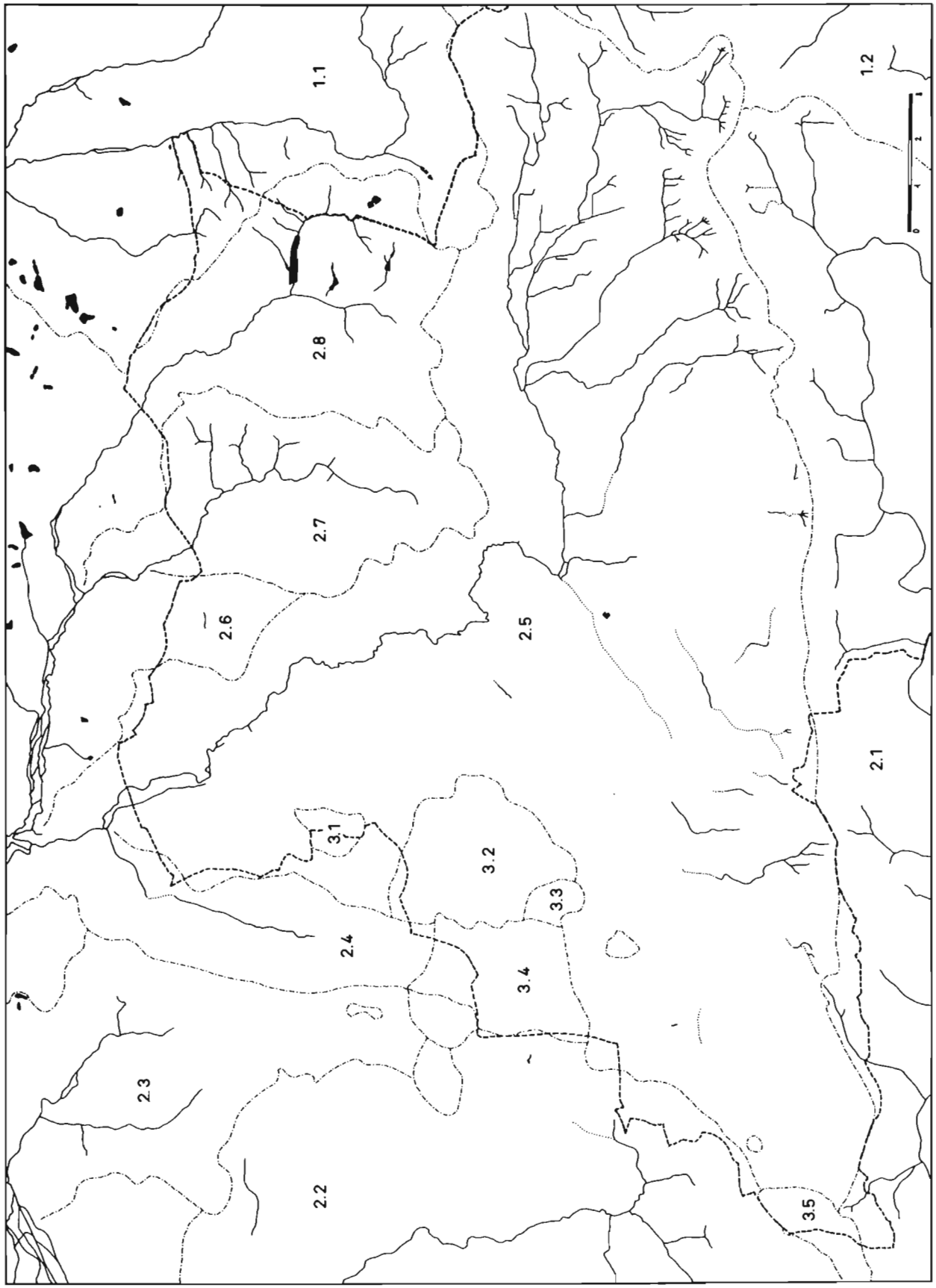
Ausser diesen Angaben sind im Untersuchungsgebiet keine weiteren Messresultate bekannt. Wir waren deshalb gezwungen, ein eigenes Beobachtungsnetz aufzubauen, um die Abflüsse der Ajoie erfassen zu können.

Dank der Unterstützung des Geographischen Instituts des Universität Bern, des Kantons Bern, einiger Firmen und Privatpersonen war es möglich, an der Allaine in Boncourt einen Limnigraphen aufzustellen und ab 13. Februar 1965 zu betreiben. Ein mit der Milch zur Käserei fahrender Bursche las ab 4. Mai 1966 täglich abends um 19 Uhr einen Pegel an der Vendline in Beurnevésin ab. Leider war dieses Vorgehen an der Cœuvatte nicht möglich, da diese unregelmässig aufgestaut wird und deshalb nur die direkte Bestimmung des Abflusses zuverlässige Zahlen liefern kann.

Rund 80 weitere Abflussmessungen wurden an verschiedenen Stellen der Ajoie durchgeführt, vor allem längs der Allaine. Dabei bestimmten wir mit Hilfe einer Stange und eines Messflügels von einer Brücke oder einem improvisierten Steg aus die Fliessgeschwindigkeiten an einer Vielzahl von Punkten, und zwar in einem Abstand von 5 bis 10 cm in der Tiefe und 10 bis 50 cm in der Breite. Hierauf wurden die in verschiedenen Tiefen einer Messlotrechten gemessenen Fliessgeschwindigkeiten zeichnerisch dargestellt und für jede Messlotrechte planimetrisch die Fläche dieses Geschwindigkeitsdiagramms bestimmt. Der Abfluss ergab sich alsdann durch Ausplanimetrieren der Abflussfläche (Breite des Wasserspiegels als Grundlinie, Flächen der Geschwindigkeitsdiagramme als Ordinaten in den Messlotrechten).

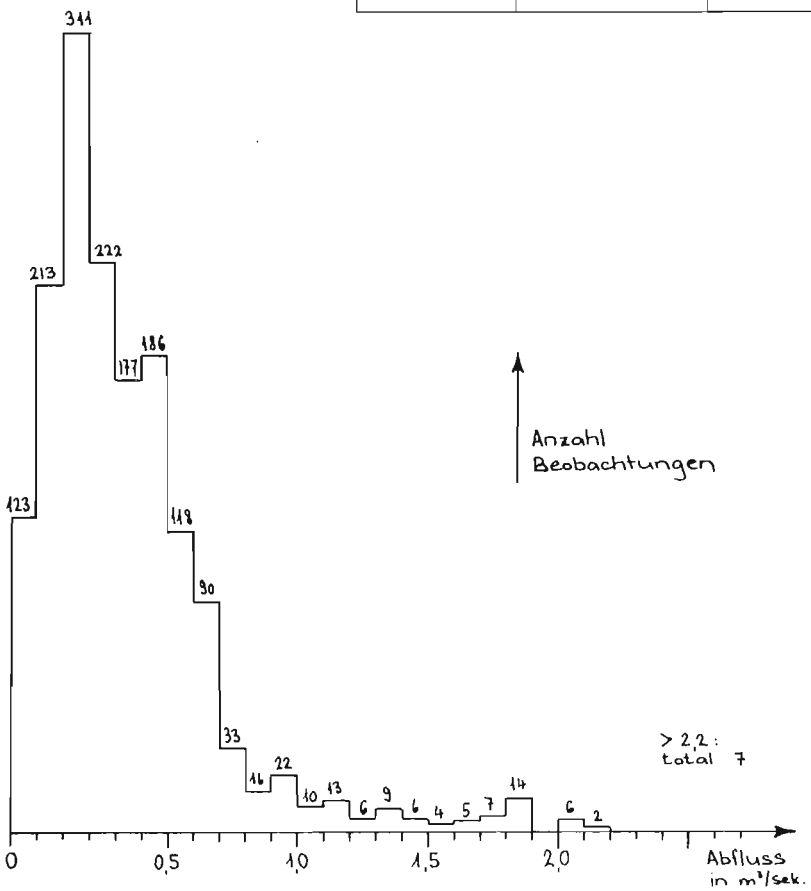
Figur 39 (nächste Seite)
Oberflächengewässer und oberirdische Wasserscheiden im Gebiet der Ajoie:

1. Einzugsgebiet des Rheins
   1.1 Larg
   1.2 Birs
2. Einzugsgebiet der Rhone
   2.1 Doubs (zwischen St. Ursanne und Montjoie)
   2.2 Le Gland
   2.3 La Feschotte
   2.4 La Batte
   2.5 L'Allaine
   2.6 Trockental von Montignez
   2.7 La Cœuvatte
   2.8 La Vendline
3. Becken ohne oberirdischen Abfluss
   3.1 Les Combalats (Le Maira)
   3.2 Bure
   3.3 Nalé
   3.4 Fahy
   3.5 Damvant


1.1
1.2
2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
2.6
2.7
2.8
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5

Figur 40
Monatlicher Abfluss der Vendline

	Abflussmenge		Abflussspende
	total in m^3:	durchschnittlich in l/Sek.:	in l/Sek.km^2 (28,2km^2):
1966			
Juni	741'658	286	10,3
Juli	754'445	282	10,0
August	986'170	368	13,1
September	681'178	233	8,3
Oktober	730'253	273	9,7
November	791'510	305	10,8
Dezember	1'057'795	395	14,0
1967			
Januar	850'867	350	12,4
Februar	877'997	363	12,9
März	1'037'318	387	13,7
April	843'264	325	11,5
Mai	848'880	317	11,2
Juni	898'906	347	12,3
Juli	793'152	296	10,5
August	764'122	285	10,1
September	896'486	346	12,3
Oktober	895'018	334	11,8
November	835'834	322	11,4
Dezember	981'504	366	13,0
1968			
Januar	1'617'235	604	21,4
Februar	866'765	346	12,3
März	943'142	352	12,5
April	959'386	370	13,1
Mai	1'076'198	402	14,3
Juni	826'330	319	11,3
Juli	911'693	340	12,1
August	930'874	348	12,3
September	1'419'293	548	19,4



Figur 41
Häufigkeitslinie des mittleren täglichen Abflusses der Vendline (Juni 1966 bis September 1968)

2.3 DIE WASSERFÜHRUNG DER VENDLINE

Sie entspringt als Festgesteinsquelle mitten im Dorf Vendlincourt und nimmt unterwegs das Wasser einiger kleinerer Bächlein, einer weiteren grossen Karstquelle sowie die Abwässer von Vendlincourt, Bonfol und Beurnevésin auf. Zwischen der letztgenannten Ortschaft und Réchésy verlässt sie das Schweizergebiet (vergleiche Fig. 38).

Ihre Wasserführung ist relativ konstant. Dies geht deutlich einerseits aus der monatlichen Abflussmenge und der Abflussspende (Fig. 40), anderseits aus der Verteilung der Häufigkeiten (Fig. 41) hervor. Doch kann auch die Vendline Hochwasser führen. Wir haben anlässlich eines heftigen Platzregens innerhalb einer knappen Stunde ein Ansteigen um 30 cm beobachtet. Während der ergiebigen Niederschläge am 22. September 1968 stieg sie im Laufe des Vormittags um rund 60 cm. Gegen Abend zeigte der Pegel bereits wieder 30 cm weniger an. Diese Spitzen, die durch den Sofortabfluss nach intensiven Regenfällen bedingt sind, dauern nur wenige Stunden. Das Verhältnis zwischen dem kleinsten und dem grössten Abfluss dürfte etwa 1:10 betragen.

2.4 DIE WASSERFÜHRUNG DER ALLAINE

2.4.1. GEFÄLLE, ABFLUSS UND FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DER ALLAINE

Erzinger führte eingehende Untersuchungen über die Gefällsverhältnisse der Allaine und der anderen Bäche der Ajoie durch. Für Einzelheiten sei auf dessen Arbeit verwiesen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Gefälle der Allaine von Delle bis Alle zwischen 1 und 9‰ schwankt. Oberhalb dieses Dorfes beginnt eine rapide Zunahme bis zu einem Maximum von 30‰.

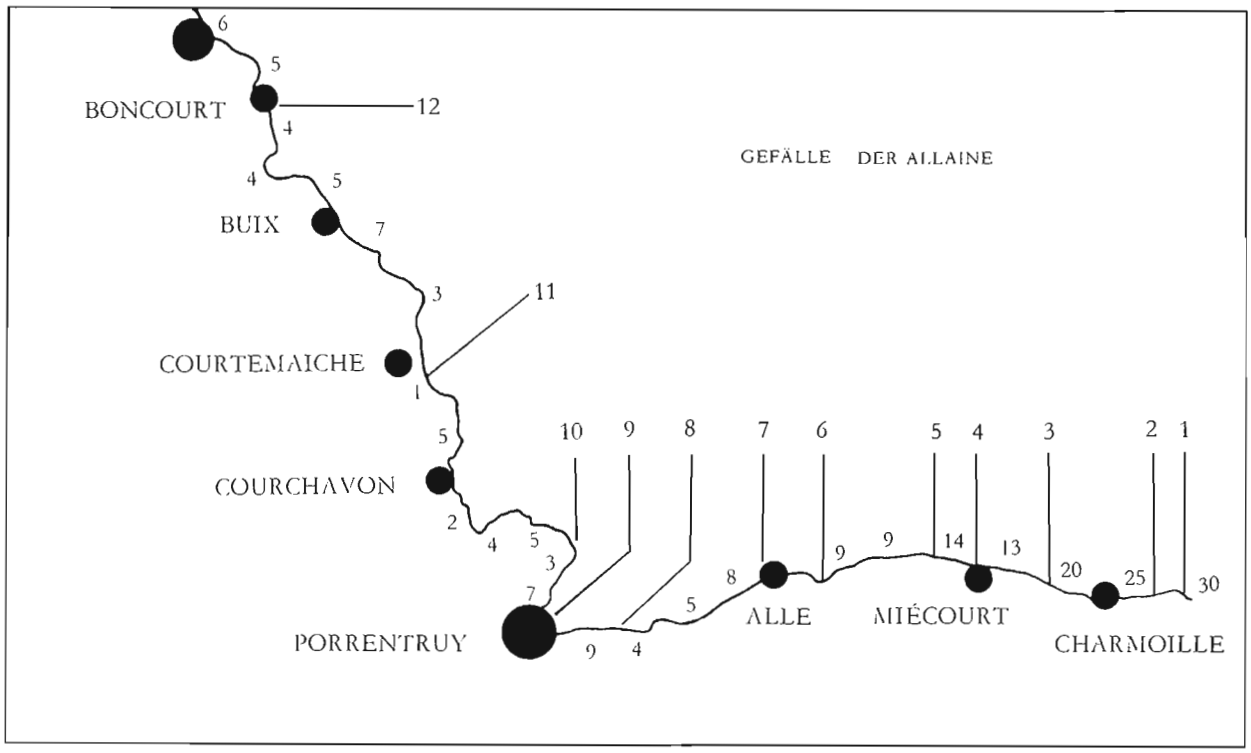
Die Fliessgeschwindigkeiten sind recht unterschiedlich. Sie hängen in erster Linie vom Gefälle und vom Abfluss, aber auch von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab (Ausbau der Ufer, Querschnitt des Bachbettes, Bewachsung mit Wasserpflanzen, Anzahl der Schwellen, Turbulenz usw.). Die am meisten gemessenen Werte lagen zwischen 0,5 und 1 m/Sek.

Um ein Bild über die Bedeutung der verschiedenen Seitenbäche zu erhalten, nahmen wir am 30./31. März 1965, im Anschluss an eine Regenperiode, eine Serie von Abflussmessungen bei konstanter, aber relativ hoher Wasserführung vor. Die Ergebnisse sind in Fig. 42 zusammengestellt. Daraus geht deutlich hervor, dass die Gegend um Porrentruy ein hydrographisches Zentrum darstellt, in dem die Wasserführung der Allaine rund auf das Fünffache ansteigt. Weitere Messungen bestätigten diese Grössenordnung:

30. 3. 1965: Zunahme um 380% von 0,840 auf 3,803 m^3/Sek.
27. 7. 1967: Zunahme um 425% von 0,147 auf 0,771 m^3/Sek.
3. 8. 1967: Zunahme um > 400% von < 0,100 auf 0,520 m^3/Sek.

Der dabei von Westen bei Quellen austretende Anteil ist in der Regel um weniges grösser als die von Osten ober- und unterirdisch zufliessende Wassermenge. Am 30. März 1965 bei hohem Wasserstand betrug das diesbezügliche Verhältnis 4:3, am 25. Juli 1967 während einer Trockenperiode 10:9.

Figur 42
Gefälle und Abfluss anlässlich der Messungen vom 30./31. März 1965



Messstelle 1:

Quelle der Allaine	0,019 m³/Sek.	0,4%

Messstelle 2:

Allaine 100 m unterhalb Zollhaus La Touillère (inkl. Überlauf Quelle Les Nods)	0,077 m³/Sek.	1,7%

Messstelle 3:

Allaine zwischen Charmoille und Miserez, vor dem Zusammenfluss mit dem Bächlein von Sur la Côte	0,187 m³/Sek.	4,1%
Bächlein von Sur la Côte	0,020 m³/Sek.	0,4%
Total (berechnet)	0,207 m³/Sek.	4,5%

Messstelle 4:

Allaine in Miécourt vor dem Zusammenfluss mit dem Bächlein von Miserez (berechnet)	0,206 m³/Sek.	4,5%
Bächlein von Miserez	0,012 m³/Sek.	0,3%
Total	0,218 m³/Sek.	4,7%

Messstelle 5:

Allaine zwischen Miécourt und Alle (vor dem Zusammenfluss mit dem Bächlein von Les Esserts)	0,228 m³/Sek.	4,9%
Bächlein von Les Esserts	0,032 m³/Sek.	0,7%
Total (berechnet)	0,260 m³/Sek.	5,6%

Messstelle 6:

Allaine vor der Einmündung des Ruisseau de Fregiécourt	0,271 m³/Sek.	5,9%
Ruisseau de Fregiécourt	0,308 m³/Sek.	6,7%
Total (berechnet)	0,579 m³/Sek.	12,6%

Messstelle 7:

Allaine in Alle (berechnet)	0,568 m³/Sek.	12,3%
Ruisseau de Cornol	0,179 m³/Sek.	3,9%
Ruisseau de Derrière Mont Terri	0,078 m³/Sek.	1,7%
Total	0,825 m³/Sek.	17,9%

Messstelle 8:

Allaine	0,840 m³/Sek.	18,2%
Voyebœuf	0,380 m³/Sek.	8,3%
Total (berechnet)	1,220 m³/Sek.	26,5%

Messstelle 9:

Allaine	1,074 m³/Sek.	23,3%
Bacavoine	0,365 m³/Sek.	7,9%
La Beuchire Süd	0,744 m³/Sek.	16,1%
La Beuchire Nord (Gewerbeschule)	0,862 m³/Sek.	18,7%
Creujenat	—	0,0%
Total	3,045 m³/Sek.	66,1%

Messstelle 10:

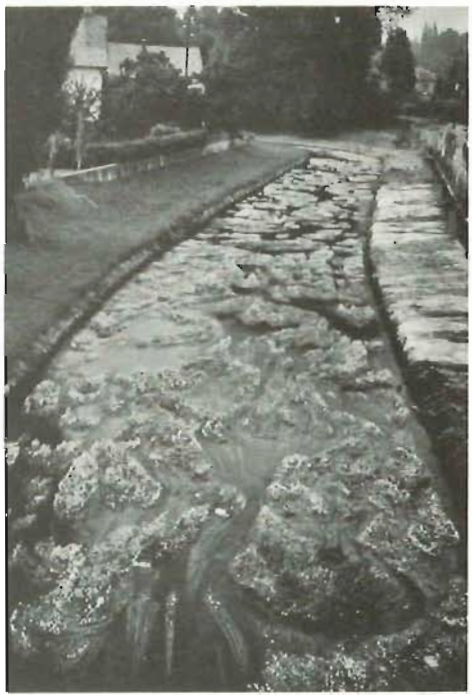
Allaine (inkl. Abwässer, Le Pâquis und Le Chaumont)	3,362 m³/Sek.	73,0%
Le Betteraz	0,398 m³/Sek.	8,6%
Div. Quellen und Bächlein	0,043 m³/Sek.	0,9%
Total (berechnet)	3,803 m³/Sek.	82,5%

Messstelle 11:

Allaine bei Courtemaîche	3,631 m³/Sek.	78,8%

Messstelle 12:

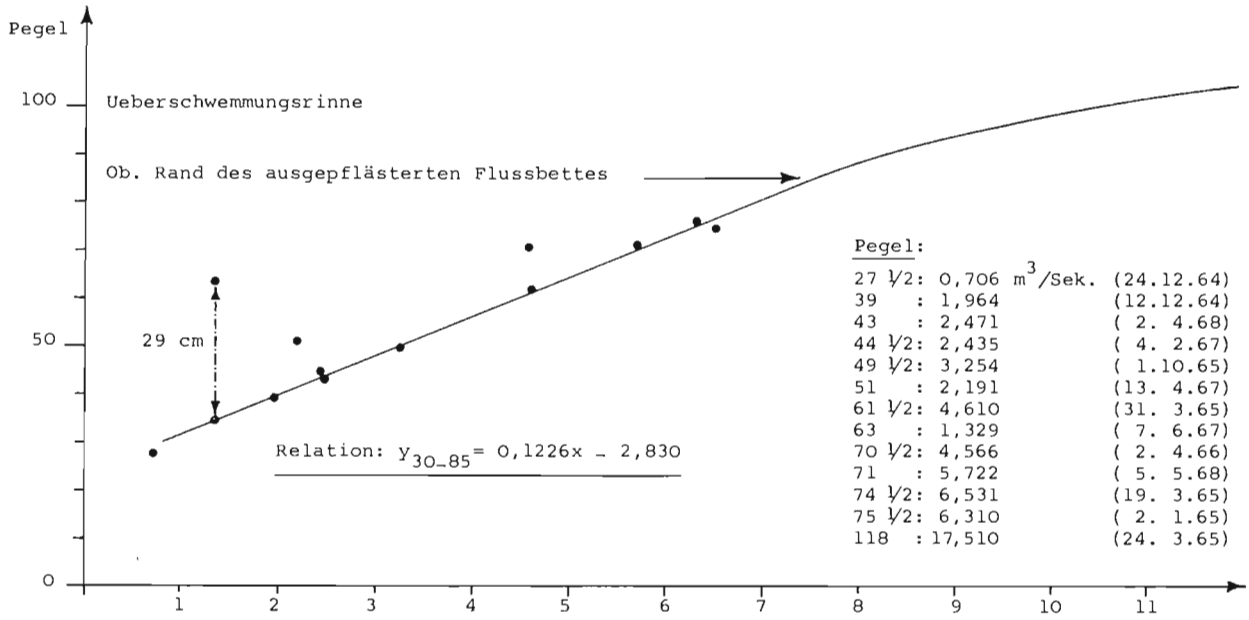
Allaine bei Boncourt	4,610 m³/Sek.	100,0%



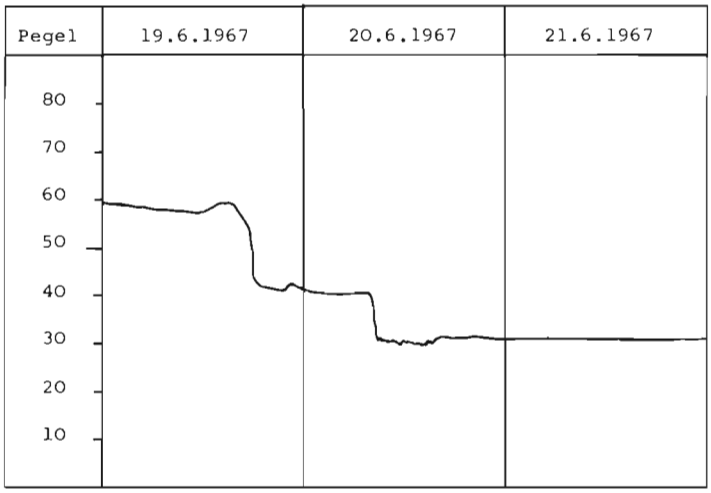
Figuren 43 und 44
Verkrautung im Allainebett bei Boncourt

Figur 45
Abflussmessstation in Boncourt

Figur 46
Cœuvatte: Messstelle beim Zoll von Lugnez



Figur 47
Abflusskurve der Allaine
in Boncourt

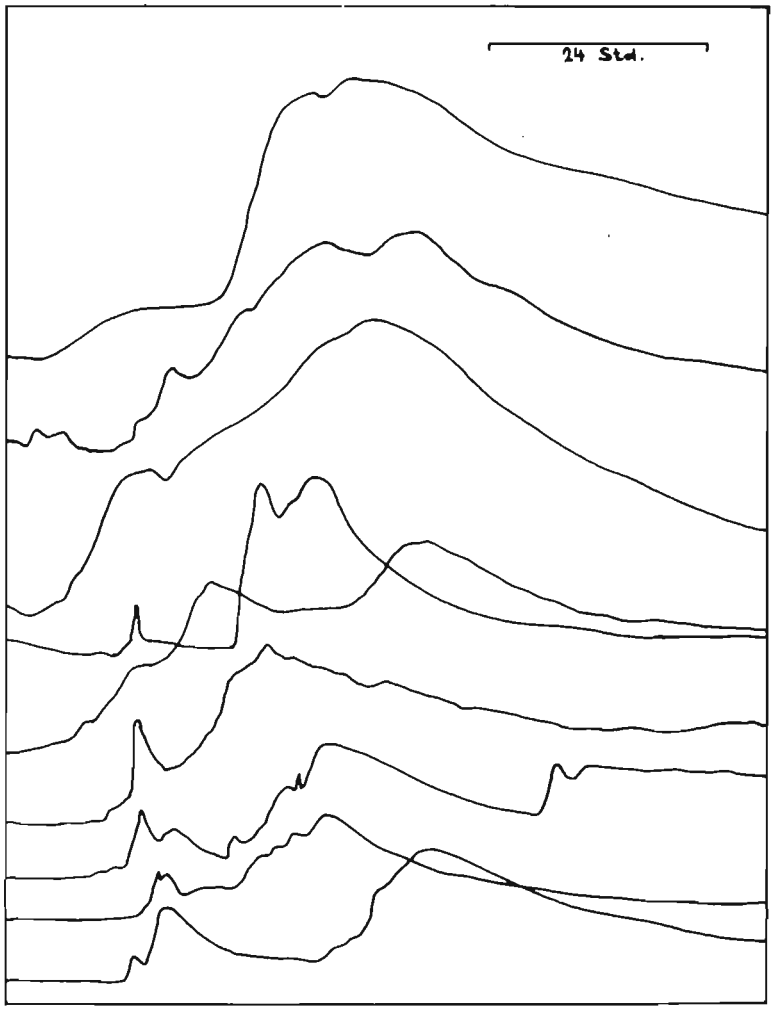


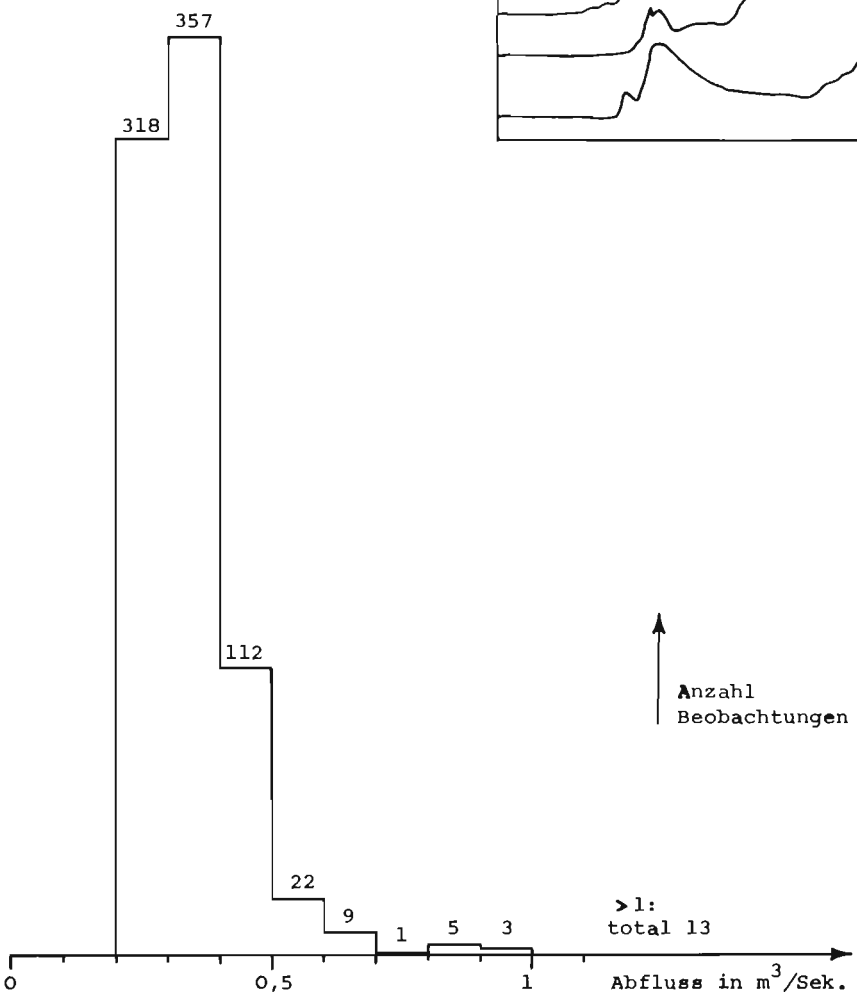
Figur 48
Das Abmähen der massenhaft vorkommenden Wasserpflanzen im Bett der Allaine zeigt das durch die Verkrautung bewirkte Heben des Wasserspiegels bei gleichem Abfluss

	Abflussmenge		Abflussspende	Schwankung im Laufe des Monats		
	total in m^3	durchschnittlich in m^3/Sek.	in l/Sek.km^2 (198,3 km^2)	Minimum in m^3/Tag	Maximum in m^3/Tag	Schwankungs-koeffizient
1965:						
März	16'457'731	6,144	31,1	94'435	1'823'818	19,3
April	16'016'832	6,179	31,3	179'194	1'521'418	8,5
Mai	13'249'699	4,947	25,1	242'784	1'192'838	4,9
Juni	11'289'562	4,356	22,1	189'821	721'786	3,8
Juli	3'997'555	1,493	7,5	59'530	444'010	7,5
August	3'115'584	1,163	5,9	41'126	285'120	6,9
September	11'355'379	4,381	22,2	126'230	1'294'618	10,2
Oktober	3'852'749	1,438	7,3	67'219	295'747	4,4
November	15'801'610	6,096	30,8	62'640	2'187'130	34,9
Dezember	29'384'122	10,971	55,6	433'382	1'953'590	4,5
1966:						
Januar	18'146'333	6,775	34,3	200'362	1'694'045	8,5
Februar	15'403'738	6,367	32,2	306'288	1'694'045	5,5
März	11'177'654	4,173	21,2	232'157	737'597	3,2
April	13'416'019	5,176	26,2	253'325	655'862	2,6
Mai	15'132'528	5,650	28,6	285'120	850'349	3,0
Juni	6'593'962	2,544	12,9	158'026	338'083	2,1
Juli	7'408'886	2,766	14,0	73'267	592'272	8,1
August	8'774'093	3,276	16,6	62'640	1'823'818	29,1
September	2'226'787	0,859	4,3	53'568	168'566	3,1
Oktober	2'234'909	0,834	4,2	41'126	274'493	6,7
November	6'096'038	2,352	11,9	73'267	401'674	5,5
Dezember	19'687'450	7,350	37,2	285'120	1'616'198	5,7
1967:						
Januar	11'127'110	4,154	21,0	200'367	771'725	3,8
Februar	6'595'517	2,726	13,8	115'603	465'178	4,0
März	12'404'016	4,631	23,4	210'989	1'040'515	5,1
April	6'085'584	2,348	11,9	136'858	274'493	2,0
Mai	9'666'086	3,609	18,3	179'194	667'354	3,7
Juni	4'749'408	1,832	9,3	62'640	316'915	5,1
Juli	2'151'274	0,803	4,1	38'016	168'566	4,4
August	2'456'525	0,917	4,6	44'237	295'747	6,7
September	5'572'195	2,149	10,9	56'506	496'973	8,8
Oktober	6'720'278	2,509	12,7	179'194	348'710	1,9
November	15'429'571	5,952	30,2	274'493	1'979'510	7,2
Dezember	16'046'726	5,991	30,3	285'120	1'366'762	4,8
1968:						
Januar	28'043'712	10,470	52,7	391'046	2'706'221	6,9
Februar	11'700'893	4,670	23,6	306'288	571'104	1,9
März	9'284'198	3,466	17,5	179'193	624'067	3,5
April	9'963'389	3,844	19,4	179'194	667'354	3,7
Mai	13'869'792	5,178	26,1	221'530	1'330'214	6,0
Juni	5'280'509	2,037	10,3	126'230	232'157	1,8
Juli	3'041'280	1,135	5,7	59'530	210'989	3,6
August	9'164'102	3,422	17,3	59'530	1'259'798	21,2
September	18'370'627	7,087	35,8	210'989	2'602'454	12,4

Figur 49
Monatlicher Abfluss der Allaine

Figur 50
Anstieg der Allaine bei Hochwasser. Charakteristisch ist der erste Buckel vor dem eigentlichen Hauptanstieg





Figur 51
Häufigkeitslinie der mittleren täglichen Abflüsse der Allaine in Boncourt (1965 bis 1968)

2.4.2. DIE MESSSTATION IN BONCOURT

Da der Limnigraph (mechanischer Schwimmerschreibpegel) im korrigierten Bett der Allaine, das durchwegs mit Steinen gepflästert ist, aufgestellt wurde und sich zudem kein regulierbares Stauwehr in der Nähe befindet, schien das Erstellen der Regressionsgeraden zwischen Pegel und Abflussmenge einfach zu sein. Die ersten Messresultate bestätigten diese Auffasung, lagen doch die im Winter 1964/65 erhaltenen Werte nahezu auf einer Geraden. Die Schwierigkeiten tauchten erst in der wärmeren Jahreszeit auf. Bereits im April ergab sich eine Abweichung, der wir zuerst wenig Bedeutung beimassen und die als Streuwert betrachtet wurde. Leider erwies sich dies als Irrtum. Vom Mai bis in den Juli entwickelten sich die Wasserpflanzen derart stark, dass zeitweise die gesamte Flussoberfläche mit blühendem Wasserhahnenfuss (Ranunculus aquatilis) bedeckt war.

Diese Verkrautung hatte auf die Strömung eine bremsende Wirkung, wodurch bei gleichem Abfluss der Wasserspiegel gehoben wurde. Eine Abflussmessung am 7. Juni 1967 unmittelbar vor der Hauptblütezeit ergab einen erschreckend niedrigen Abflusswert für den verhältnismässig hohen Pegelstand. Die Differenz machte rund 29 cm aus. Der Zufall wollte es nun, dass kurz darauf die Gemeindebehörden von Boncourt beschlossen, den gesamten Bestand an Wasserpflanzen im Kanal abmähen zu lassen. Dabei wurden – wie der Limnigraphenstreifen (Fig. 48) zeigt – die rein rechnerisch erhaltenen 29 cm aufs beste bestätigt. Am 19. Juni 1967 mähten die Arbeiter das Flussbett von Delle her bis ca. 60 m unterhalb der Messstation, am 20. Juni bis ca. 100 m oberhalb derselben.

Diese unerfreuliche Tatsache musste berücksichtigt werden. Als bekannt konnten wir die Abflusskurve in den Wintermonaten (Bezugskurve zwischen den Wasserständen und den zugehörigen Abflüssen), die Resultate der Abflussmessungen in den kritischen Wochen und den Absenkungsbetrag beim Mähen voraussetzen. Dazu kamen die Beobachtungen über das Wachstum des Wasserhahnenfusses, so dass sich die gemessenen zu hohen Pegelwerte mit guter Genauigkeit durch Interpolation reduzieren liessen.

Die Fig. 49 enthält für die einzelnen Monate die jeweilige Abflussmenge sowie die Abflussspende, wobei die Bestimmung der Grösse des Einzugsgebietes nach den oberirdischen Wasserscheiden erfolgte. Auffallend sind dabei die zum Teil grossen Schwankungen zwischen nassen und trockenen Perioden. Im Dezember 1965 ist die Abflussmenge in m^3/Monat 13,6 mal grösser gewesen als im Juli 1967.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den täglichen Abflussmengen. Vom 12. 2. 1965 bis 30. 9. 1968 verhält sich der grösste Wert (15. Januar 1968) zum kleinsten (31. Juli 1967) wie 71,2:1. Die Schwankungskoeffizienten zwischen dem Minimum und dem Maximum der einzelnen Monate sind ebenfalls in Fig. 49 festgehalten. Ihr Durchschnitt berechnet sich auf 1:6,5. Wie häufig eine bestimmte Abflussmenge vorkommt, geht aus Fig. 51 hervor.

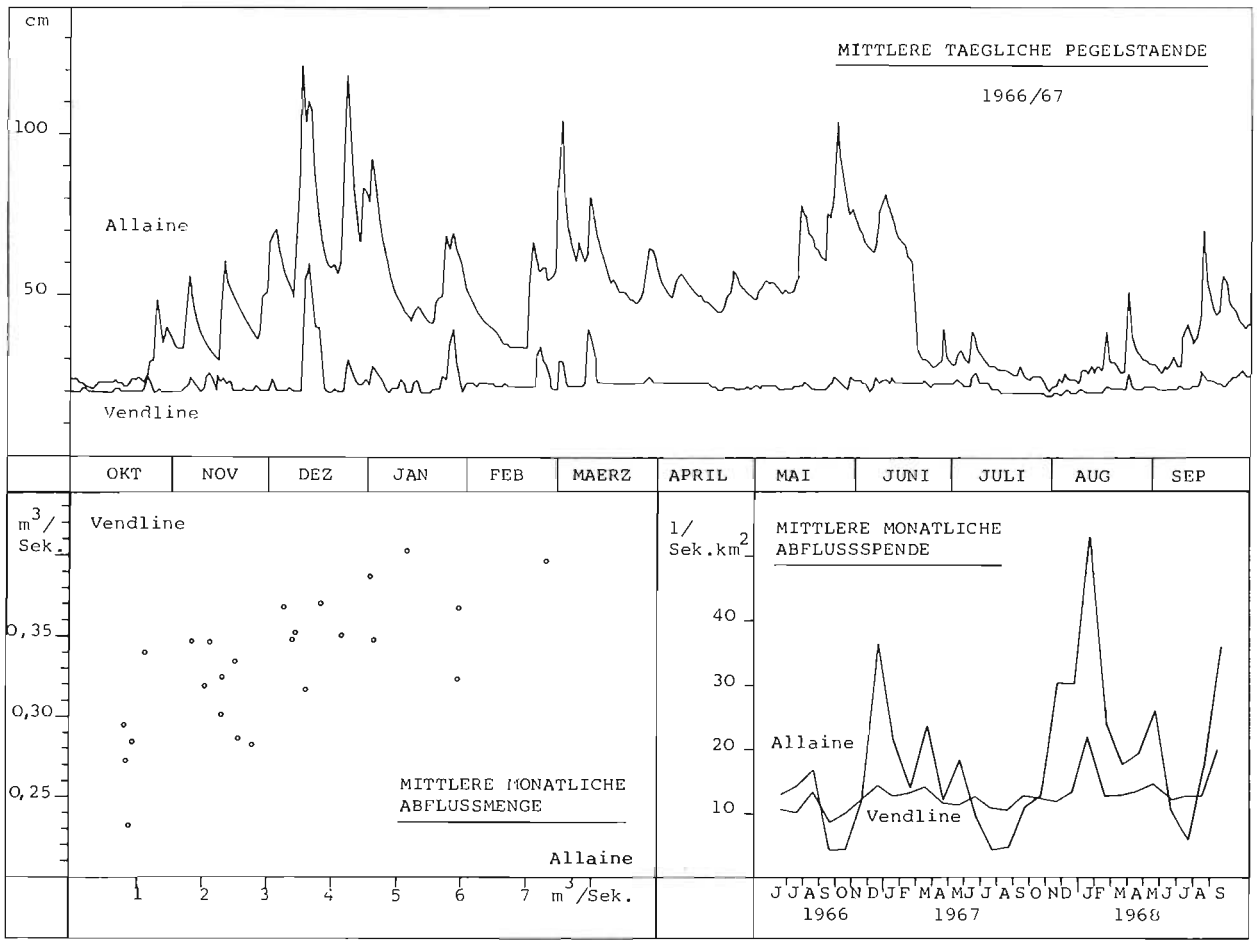
Die Hochwasserspitzen sind in der Regel nur von kurzer Dauer. Dabei fällt auf, dass meistens, jedoch nicht immer, nach einem kurzen Anstieg eine Stagnation oder sogar ein Rückgang der Wasserführung eintritt, bevor die Kurve relativ steil bis zum Maximum ansteigt (Fig. 50). Wir vermuten, dass der jeweils erste, kleinere Buckel auf den Limnigraphenstreifen den Sofortabfluss der Niederschläge im unteren Teil des Allainetales darstellt. Während dieser Zeit führen die Kanalisationen und einige der Trockentäler dem Fluss grössere Wassermengen zu. Der zweite Buckel ist eine Folge der besonderen pilzförmigen Form des Einzugsgebietes der Allaine. Die längs der Mont Terri-Antiklinale fallenden Niederschläge treffen ungefähr gleichzeitig im hydrographischen Zentrum von Porrentruy ein und benötigen hierauf noch einige Stunden, um nach Boncourt zu fliessen. Der Rückgang der Wasserführung erfolgt meist regelmässig, auf einige Tage verteilt.

2.4.3. VERGLEICH DER ABFLÜSSE VON ALLAINE UND VENDLINE

Wie Fig. 52 zeigt, ist es nicht möglich, mit genügender Genauigkeit den Abfluss der Vendline aus dem der Allaine zu berechnen. Die folgenden Gründe dürften dafür verantwortlich sein:

- Die Niederschläge im kleinen Nordostzipfel der Ajoie sind von denen im Gebiet des Mont Terri verschieden.
- Die Vendline ist ein ausgesprochener Quellfluss mit der damit verbundenen relativ konstanten Wasserführung (Verbrauch der Grundwasser-Reserven in Trockenzeiten).

- Die Allaine nimmt dagegen eine grosse Zahl von Wasserläufen auf, die nur bei heftigen Regenfällen Wasser führen; die Intensität der Niederschläge spielt hier eine wesentlich grössere Rolle.
- Die Allaine gibt in ihrem Unterlauf zwischen Porrentruy und Boncourt in Trockenzeiten Wasser als Uferinfiltrat an die Schotter ab; in feuchten Perioden wirkt sie dagegen als Vorfluter und wird durch Grundwasser gespiesen.
- In den Wintermonaten ist die Anlage von Reserven in Form von Schnee im Gebiet des Mont Terri viel eher möglich als im tiefer gelegenen Gebiet der Vendline.



Figur 52
Vergleich Abfluss Allaine – Vendline

2.5 DIE WASSERFÜHRUNG DER CŒUVATTE

Dieser Bach entwässert die Mulde mit den Dörfern Cœuve, Damphreux und Lugnez, nimmt jenseits der Grenze bei Florimont das Wasser der Vendline auf und fliesst rund zwei Kilometer unterhalb Delle in die Allaine. Sie wird durch eine Reihe von Quellen, die qualitativ meist schlecht und deshalb für die Trinkwasserversorgung weniger gut geeignet sind, gespiesen. Dazu kommen die Abwässer der obgenannten Dörfer, die ursprünglich als Trinkwasser in den Tälern der Vendline und der Allaine gefasst wurden und deshalb Fremdwasser darstellen.

Eine kontinuierliche Messung der Abflussmenge in der Nähe der Grenze ist zur Zeit nicht möglich, da es sich bei den Weiden unterhalb Lugnez um Wässermatten handelt. Einige Stauwehre verändern den Wasserstand derart unregelmässig, dass von den Pegelablesungen während eines Teils des Jahres nicht auf die Abflussmenge geschlossen werden darf. Eine Messstation weiter talaufwärts wäre insofern unbefriedigend, als dadurch zwei grössere Quellen nicht erfasst würden.

Die durchgeführten Flügelmessungen gegenüber dem Zollhaus (vergleiche Fig. 46) ergaben die folgenden Zahlen:

12. 12. 1964: 0,095 m^3/Sek.
4. 2. 1964: 0,239
13. 4. 1967: 0,223
7. 6. 1967: 0,397

Höhere Werte sind nur nach heftigen Regenfällen und nach der Schneeschmelze zu erwarten.

3. Die Wasserbilanz

3.1 BEZIEHUNGEN ZWISCHEN NIEDERSCHLAG UND OBERIRDISCHEM ABFLUSS

Fig. 53 zeigt den Verlauf der N- und A-Werte der Jahre 1965 bis 1968 sowie die Unterschiedshöhe N-A und das Abflussverhältnis A:N. Dabei haben wir uns vorläufig bei der Berechnung der Abflusshöhen ganz auf die oberflächlichen Wasserscheiden gestützt und das Trockental von Montignez und die verschiedenen Becken ohne oberirdischen Abfluss mit einbezogen.

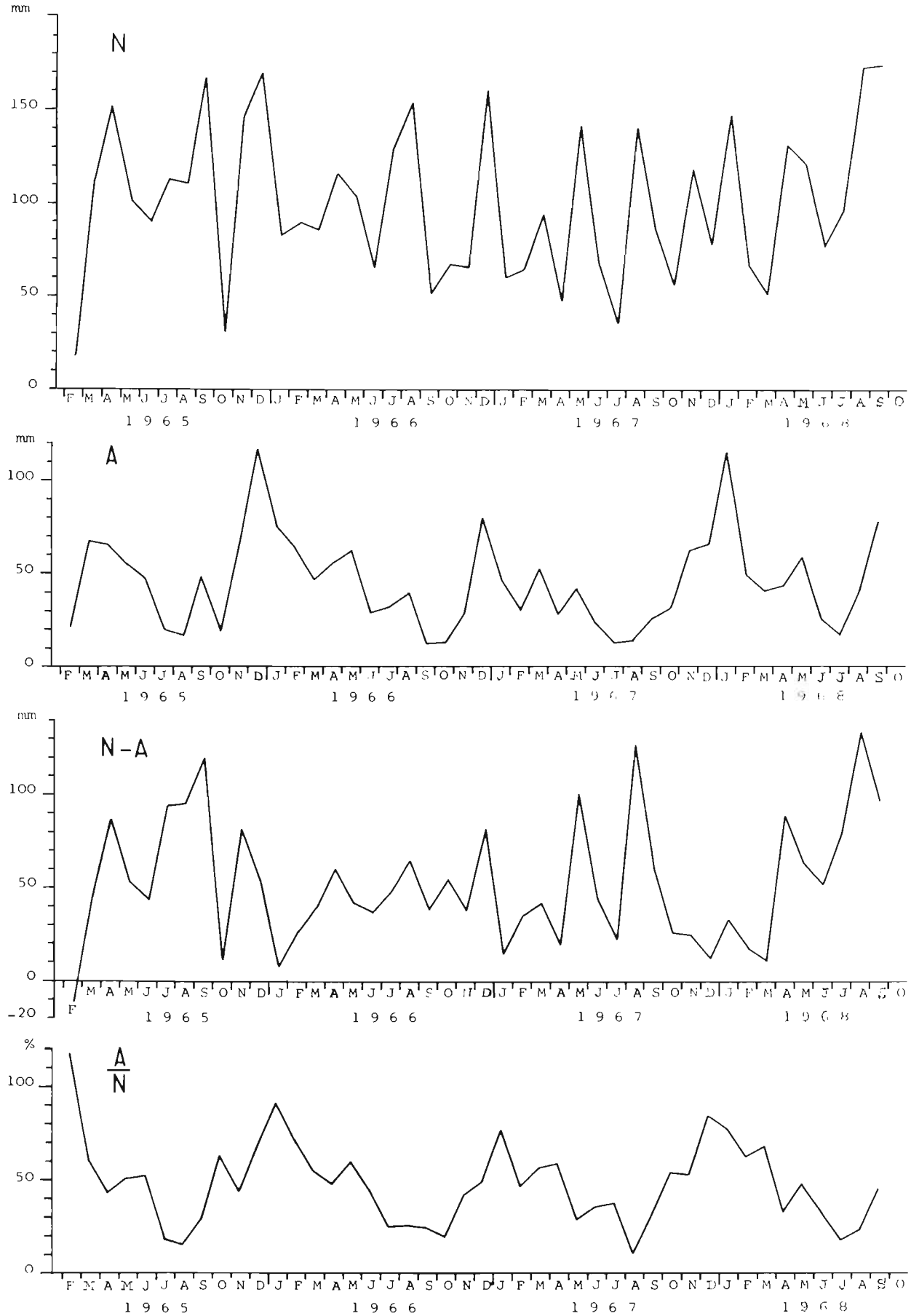
Erstes überraschendes Ergebnis dieser Darstellung ist, dass Niederschlag und Abfluss nur beschränkt parallel verlaufen. Wohl wirken sich grosse Niederschläge in Form von Abflussspitzen aus. Deren Ausmass ist jedoch von Jahreszeit zu Jahreszeit verschieden. Im August 1967 flossen von 140 cm Regen nur 14,1 cm oberirdisch ab; im August 1968 lauten die entsprechenden Zahlen 173 cm und 39,8 cm, im Juli 1966 130 cm und 32,2 cm. Im Gegensatz dazu betrug der Abfluss im Dezember 1965, als man 169 cm Niederschläge mass, 115,8 cm.

Es ist jedoch unverkennbar – und dies stellt das zweite wichtige Ergebnis unserer Messungen dar –, dass die Schwankungen der Abflusswerte den Jahreszeiten folgen. Diese Abhängigkeit ist derart ausgeprägt, dass sie trotz den unregelmässigen Niederschlägen beim Abflussverhältnis (A:N) noch deutlich zur Geltung kommt und auch bei der Unterschiedshöhe (N-A) erkennbar ist.

Dass bei derartigen Verhältnissen die Berechnung einer Regressionsgleichung wenig praktischen Sinn hat, geht auch aus Fig. 54 hervor. Wenn man nämlich die monatlichen Abfluss- und Niederschlagshöhen im Koordinatennetz aufträgt, entsteht eine Punktwolke, die nahezu den gesamten Quadranten umfasst. Dabei befinden sich die Werte für die Monate Juli, August und September durchwegs im unteren Teil dieses Schwarms, während diejenigen der Monate Dezember, Januar und Februar in der oberen Hälfte anzutreffen sind. Günstiger steht es in bezug auf die Jahreswerte, die – in zehnmal kleinerem Massstab eingezeichnet – eher eine mittlere Lage einnehmen.

Drittes und wichtigstes Ergebnis ist das Abflussverhältnis, das sich ergibt, wenn man den Gesamtabfluss aller Jahre in Prozenten der Niederschläge ausdrückt:

	N	A	A:N
1965 (Februar bis September)	871 mm	340 mm	39,1%
1965/66	1 226	615	50,2
1966/67	1 031	394	38,2
1967/68	1 291	620	48,0
Total (ohne 1965)	3 548 mm	1 629 mm	45,8%
Total (mit 1965)	4 419 mm	1 969 mm	44,5%



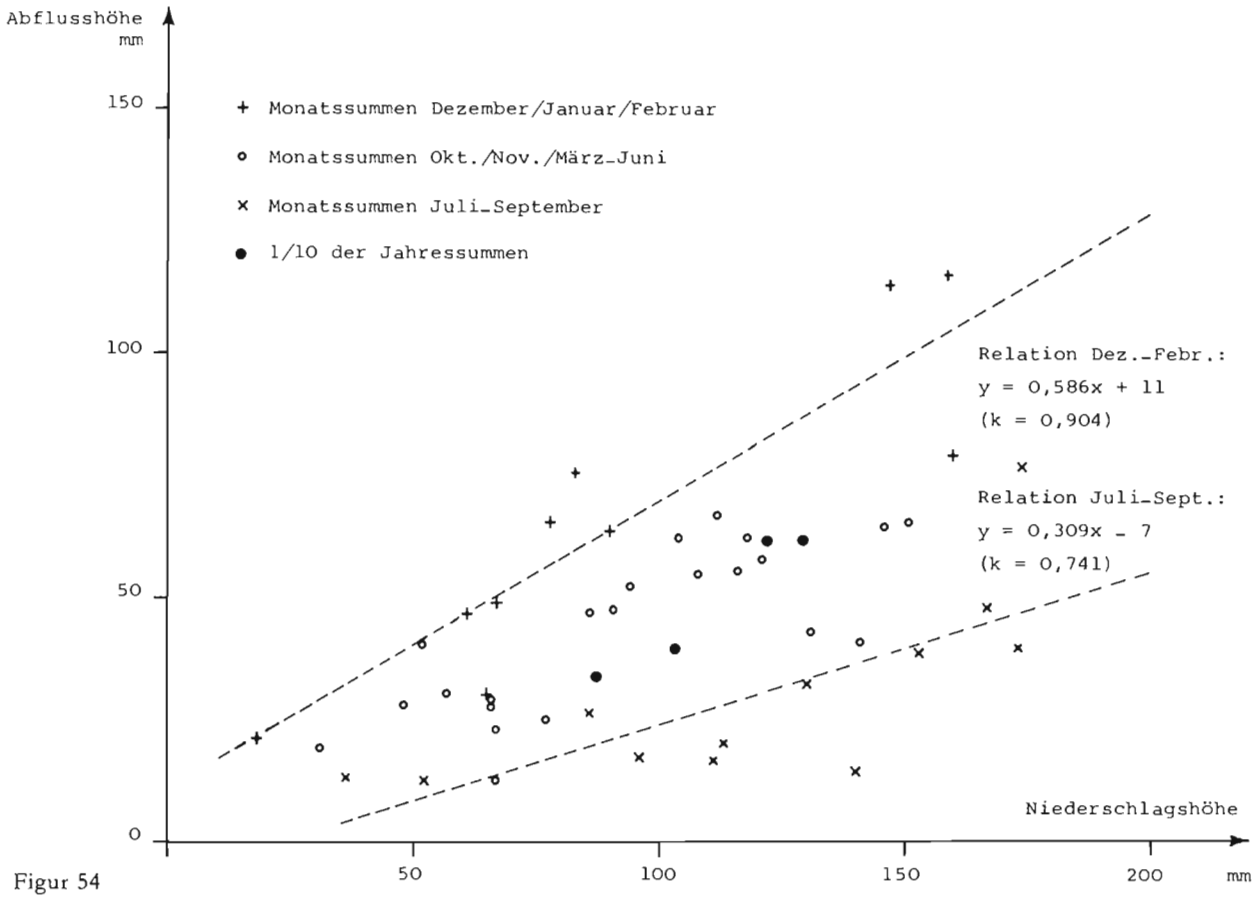
Figur 53
Niederschlag, oberirdischer Abfluss (Abflusshöhe), Abflussverhältnis A:N und Differenz zwischen Niederschlag und Abflusshöhe in der Ajoie (Februar 1965 bis September 1968). Die Abflusshöhe wurde aufgrund der topographischen Wasserscheiden berechnet

Vergleichen wir mit den Gebieten, die im Kanton Tessin vom Geographischen Institut der Universität Bern bearbeitet wurden, wird augenscheinlich, dass der in der Ajoie erhaltene Wert sehr klein ist:

Magliasina (GYGAX 1948)	72,0%
Onsernone (KISTLER 1954)	82,4
Greina (WITSCHI 1957)	87,0
Bosco (HIRSBRUNNER 1958)	87,7
Campo (HIRSBRUNNER 1958)	87,5
Bavona (REIST 1960)	72,3
Camadra-Brenno (BINGGELI 1961)	87,3
Lukmanier-Brenno (BINGGELI 1961)	97,3 (Fremdwasser!)

Allerdings sind die obigen Zahlen nur bedingt mit der Ajoie vergleichbar, da in diesen Alpentälern andere klimatische Verhältnisse herrschen und auch die Abflüsse anderen Bedingungen unterworfen sind (Gefälle, Gesteinsmaterial usw.). CORNELIUS gibt als Mittelwert für den Abflusskoeffizienten in den Alpen 90% an, für gewisse Flachlandgebiete Mitteleuropas dagegen nur 30%. Die Anwendung der Formel von L. TURC, die die Niederschläge und die mittlere Temperatur berücksichtigt, ergibt für die Ajoie ein Abflussverhältnis von rund 54%.

Auf Grund dieser Vergleichszahlen muss angenommen werden, dass das Abflussverhältnis, das unsere Messungen ergaben, zu klein ist. Da jedoch die Bestimmung der Abflüsse und der Niederschläge mit grosser Sorgfalt durchgeführt wurden und deshalb innerhalb kleiner Fehlergrenzen als zutreffend bezeichnet werden dürfen, folgt, sofern die Reserven nicht änderten, dass bei der Berechnung der Abflusshöhen die Einzugsgebiete zu gross gewählt wurden. Diese folgen anscheinend nicht den topographischen Wasserscheiden; vielmehr müssen beträchtliche Wassermengen das Untersuchungsgebiet unterirdisch verlassen und erst in Frankreich wieder an die Erdoberfläche gelangen. Diesem Problem nachzugehen ist Aufgabe des IV. Teils der vorliegenden Arbeit.



Figur 54
Relation zwischen Niederschlag und Abfluss in der Ajoie (Februar 1965 bis September 1968)

3.2 DIE VERDUNSTUNG

1966/67 war es dank dem Entgegenkommen der kantonalen Baudirektion möglich, einige Thermohygrographen an geeigneten Orten aufzustellen. Dabei ergaben sich für die relative Luftfeuchtigkeit die folgenden mittleren Monatswerte:

	Les Rangiers	La Malcôte	Porrentruy I	Porrentruy II	Boncourt
1966:					
November	87,3%	85,0%	77,4%	–%	–%
Dezember	88,4	84,3	78,9	–	–
1967:					
Januar	78,9	76,7	74,9	–	–
Februar	73,9	71,0	68,4	–	–
März	75,6	73,0	70,3	–	–
April	73,0	68,5	67,7	71,5	–
Mai	75,2	–	71,8	78,2	–
Juni	73,9	–	75,6	80,6	73,9
Juli	71,5	–	76,3	77,4	73,1
August	77,8	–	84,4	84,9	81,1
September	79,2	–	90,5	89,8	85,8
Oktober	78,6	–	89,8	88,2	86,9
November	84,6	88,1	96,0	–	–
Dezember	93,2	88,2	94,5	–	–

Die Mittelwertskurven weisen wohl eine gemeinsame Tendenz auf; doch sind die Unterschiede von einer Station zur anderen erheblich. Am relativ trockensten erwies sich die Luft in den Monaten Februar, März und April 1967.

Aus den kontinuierlich aufgeschriebenen Werten für die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur liesse sich die absolute Luftfeuchtigkeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt im Laufe der 14 Monate errechnen. Ich habe bewusst darauf verzichtet, weil man auch mit diesen Werten dem Ziel nicht näher käme. Änderungen der Luftfeuchtigkeit haben nämlich nur dann einen Einfluss auf die Wasserbilanz, wenn Winde die Luftsäule über einem bestimmten Ort durch trockenere Luft ersetzen und dadurch Wasserdampf aus dem Untersuchungsgebiet weggeführt wird. Herrscht Windstille, wird das im Laufe eines Tages verdunstete Wasser während der kühleren Nacht dem Erdboden in Form von Tau wieder zugeführt. Berechnungen, die auf der Luftfeuchtigkeit basieren, erlauben deshalb nur dann eine Aussage, wenn gleichzeitig die Windverhältnisse genau bekannt sind.

Dazu kommt, dass die Verdunstung nicht nur zeitlich, sondern auch örtlich im Untersuchungsgebiet, das 270 km² umfasst, grossen Schwankungen unterworfen ist. Sie stellt ein kompliziertes Spiel zwischen einer Vielzahl von Faktoren dar, die relativ rasch ändern und die im einzelnen kaum erfasst werden können. Die folgenden Beispiele mögen dies beleuchten:

- Die Verdunstung ist verschieden, je nachdem die Niederschläge in Form von Regen, Schnee oder Hagel fallen.
- Die Bodenbeschaffenheit hat einen Einfluss auf die Versickerungsgeschwindigkeit und die Wasseraufnahmekapazität, die Intensität der Niederschläge und die Oberflächentopographie einen auf den Sofortabfluss, was Auswirkungen auf die Verdunstung zeigt.
- Ein Teil des Niederschlags gelangt nicht auf den Boden, sondern verdunstet bereits auf der Pflanzendecke.
- Schnee, der längere Zeit liegen bleibt, sublimiert je nach Ausbildung verschieden intensiv.
- Je nach Art, Grösse und Gestalt der Pflanzen sowie der Nachbarschaft, in der sie wachsen, nimmt die Transpiration verschiedene Grössen an.
- Die Besonnung hat einen Einfluss auf die Verdunstung am Boden und die Transpiration.

Die Bestimmung der Werte für die Verdunstung lässt sich nicht einfach bewerkstelligen. Es können nur mittelbare, indirekte Verfahren zur Anwendung gelangen, die ein sehr reiches Beobachtungs- und Messmaterial voraussetzen, das einerseits in der Ajoie fehlt, anderseits aber den Rahmen der vorliegenden Studie weit überschreiten würde.

Allgemein stellt die Bestimmung der Verdunstung auch heute noch eines der grossen Probleme der Hydrologie dar. Dies ist auch der Grund, weshalb sie sehr oft als Unbekannte in die hydrologische Grundgleichung eingesetzt und als Differenz zwischen Niederschlag und Abfluss berechnet wird, ein Vorgehen, das in der Ajoie ohne genaue Kenntnis des unterirdischen Entwässerungsregime nicht angewendet werden darf.

3.3 DIE ÄNDERUNG DER RESERVEN

In der Ajoie sind keine Seen, keine Gletscher und kein ewiger Schnee vorhanden. Die Rücklagen setzen sich aus Wasser zusammen, das in den Boden einsickert und, allerdings nur in den Wintermonaten, aus Schneelagerung. Ganz allgemein kann der Ausdruck R-B (Rücklagen minus Aufbrauch) im langjährigen Mittel als 0 gesetzt werden. Dieses Vorgehen ist jedoch bei der Betrachtung kürzerer Zeitperioden nicht zulässig. Dies geht deutlich aus den zackig verlaufenden Kurven N-A und A:N in Fig. 53 hervor.

Sofern man mit hydrologischen Jahren rechnet, hat die Schneelagerung auf die Jahresbilanz keinen Einfluss. Dagegen ist es möglich, dass im Winter Schnee das Ende eines Monats überdauert, erst später schmilzt und zum Abfluss gelangt. Die dafür in Frage kommende Quantität ist eher bescheiden, da die Lomont-Mont Terri-Kette nur eine Höhe von 700 bis 940 m aufweist.

Einen bedeutend grösseren Einfluss haben die Änderungen des Grundwasserspiegels im Festgestein. Der wesentlichste Teil des Niederschlags, der nicht verdunstet, verschwindet in den klüftigen Kalken. Diese vermögen grosse Wassermengen zurückzuhalten, aufzuspeichern und erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzugeben. Dabei werden die Abflussüberschüsse der trockenen Monate durch die Rücklagen in feuchteren Perioden ausgeglichen.

Dieses Wechselspiel ist ebenfalls aus Fig. 53 ersichtlich. So registrierten wir im Anschluss an die Trockenperioden Oktober 1965, September bis November 1966, April 1967, Juni/Juli 1967, Oktober 1967, März 1968 und Juni/Juli 1968 trotz ausgiebigen Niederschlägen nur bescheidene Abflüsse. Die extremsten Fälle stellen die Augustmonate der Jahre 1967 und 1968 dar, als von 140 mm Niederschlag (bzw. 173 mm) ein ausserordentlich grosser Anteil, nämlich 126 mm (133 mm), nicht zum Abfluss gelangte. Je nach den Ergebnissen, die die Untersuchungen über die unterirdischen Entwässerungssysteme ergeben, können sich die beiden letzten Zahlen um einen noch zu bestimmenden Betrag reduzieren. Im Vergleich zu den übrigen Monaten bleibt jedoch dieses auffallende Anreichern der Grundwasserreserven in demselben Verhältnis bestehen. Demgegenüber war die Abflussmasse im niederschlagärmsten Monat meiner Untersuchungsperiode (Februar 1965) sogar grösser als die Wassermenge, die die Niederschläge zuführten. Offensichtlich erfolgte hier ein Verbrauch der unterirdischen Reserven.

Der Unterschied in der Wasserführung zwischen Allaine und Vendline zeigt sich auch hier. Betrachtet man die Flussgebiete einzeln, weist sich die Vendline in Trockenzeiten durch die grösseren, in feuchten Perioden dagegen durch die kleineren Abflusskoeffizienten aus. Das Retensionsvermögen des Bodens und die ausgleichende Wirkung der Grundwasserreservoire kommen bei der Vendline deutlicher zum Ausdruck.

GRUNDWASSER UND UNTERIRDISCHE WASSERLÄUFE

1. Die geologischen Verhältnisse der Ajoie

Grundwasser sowie ober- und unterirdische Wasserläufe sind in derart entscheidendem Masse von Stratigraphie und Tektonik abhängig, dass es sich als notwendig erwies, einen Abschnitt über die Geologie der Ajoie voranzustellen.

Leider standen nur für einen Teil des Untersuchungsgebietes geologische Aufnahmen im Massstab 1 : 25000 zur Verfügung. Wohl hatten bereits im vorigen Jahrhundert bedeutende Geologen, allen voran J. THURMANN, diesen Teil des Kantons Bern in ihren Arbeiten berücksichtigt. Doch befassten sie sich in erster Linie mit der Stratigraphie, betrachteten die Tektonik dieser flachen Tafel als zu wenig interessant und wandten sich der Erforschung des Faltenjuras zu.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren die Arbeiten im Elsgau spärlich. Herausragend sind die Dissertationen von KARL HUMMEL (Die Tektonik des Elsgaues, 1914) und von ERNST ERZINGER (Die Oberflächenformen der Ajoie, 1943).

Umfassende Detailkartierungen wurden erst nach dem 2. Weltkrieg begonnen. Die Aufnahmen von H. P. LAUBSCHER, R. TSCHOPP, P. DIEBOLD und A. SCHNEIDER fanden 1963 im Blatt St. Ursanne des Geologischen Atlas der Schweiz ihren Niederschlag. Das Blatt Bonfol steht zur Zeit noch in Bearbeitung; der Autor, H. LINIGER, erlaubte mir freundlicherweise, Einsicht in die Ergebnisse seiner Feldaufnahmen zu nehmen.

Der ganze übrige Elsgau ist im Detail noch nicht bearbeitet. Trotzdem enthält dieses Kapitel praktisch keine eigenen Erkenntnisse. Es handelt sich vielmehr um eine Zusammenfassung, in der die aus der Literatur erhaltenen Informationen in gedrängter Form wiedergegeben sind. Allerdings erfolgte – soweit dies die teilweise auseinandergehenden Auffassungen überhaupt zulassen – eine Anpassung an die Ergebnisse der neuesten Untersuchungen von H. FISCHER, H. P. LAUBSCHER, H. LINIGER und A. SCHNEIDER.

1.1 DAS MESOZOIKUM DER MONT TERRI-ANTIKLINALE

Im Kern des Gewölbes erreichte die Erosion die Trias. Dazu konnte man die Resultate verschiedener Bohrungen heranziehen. Die Beobachtungen beim Bau des SBB-Tunnels St. Ursanne–Courgenay wurden durch MATHEY, KELTERBORN und TSCHOPP-VONDERSCHMITT verschieden interpretiert (vergleiche R. TSCHOPP, Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt Miécourt, 1960).

1.1.1. TRIAS

Unterer Keuper

Ca. 6 m Grenzdolomit der Lettenkohle.

Mittlerer Keuper

Bunte Mergel, unten mit weissen oder rötlichen Gips- bzw. Anhydritlagen, oben mit Dolomit- und Sandsteinbänken.

Die Umwandlung von Anhydrit zu Gips erfolgt unter Druckentlastung. Dies bedeutet, dass Gips entweder nur oberflächlich oder dann in grösserer Tiefe als Kluftfüllung vorkommen kann. Dies ist auch der Grund, weshalb der ganze Komplex als Folge der Auffaltung von sekundärem Gips durchzogen ist.

Im 19. Jahrhundert wurde dieser Rohstoff südlich Cornol abgebaut. Eine Aufzeichnung der geologischen Verhältnisse in der 130 Fuss tiefen Gipsgrube (579975/249480) verdanken wir M. GRESSLY:

2,1 Fuss	Marnes noîratres
0,9	Grès
6,0	Marnes vertes
16,5	Marnes bigarrées et dolomies
1,5	Dolomies poreuses
6,5	Marnes vertes et lignites
17,4	Marnes irisées et carneules, marnes rouge tuiles, rognons de gypse blanc
1,8	Marnes schistoides
3,6	Dolomies
17,4	Grès et marnes violaces avec traces de lignites
1,5	Marnes et grès
33,0	Gypse rose, banc de gypse blanc et gris
12,0	Marnes, gypse bigarré, marnes, gypse noir
1,2	Dolomies
3,0	Gypse
6,0	Dolomies compactes, dolomies poreuses et cristallines

Weitere Angaben lieferte der Schacht, den Girard de Cornol et de Thurberg de la Male-Côte auf Grund einer Wünschelrutenprognose 1874 bei Pommeret südöstlich Cornol (580740/249740) abteufen liess. Der Erbauer hoffte, dabei auf Kohle zu stossen, fand aber nichts anderes als gipshaltige Mergel. In einer Tiefe von 96 Fuss erstellte man dann Richtung Norden zusätzlich eine 65 Fuss lange Galerie in ähnlichen Gesteinen (« . . . des alternances de gypse, de marne et quelque schistes micacés, avec trois minces filons de lignites piriteux pris pour la houille . . .»). 1888 befasste sich ein Zürcher Konsortium (M. A. Steffen) mit der Idee, an der gleichen Stelle eine tiefere Bohrung anzusetzen. Das Projekt kam jedoch – im Gegensatz zu der Annahme von A. Heim – nicht zur Ausführung.

Rhät (oberer Keuper)

4 m mächtige schwarze Tone und dünne Sandsteinbänke, nur in künstlichen Aufschlüssen und als Gerölle erhalten.

1.1.2. LIAS

Schichtfolge von Kalken und Mergeln (ca. 40 m): Gryphitenkalk, dunkelgraue, spätige Kalke mit Gryphaeen und Arietiten, graue Mergel mit grauen Kalkbänken, Posidonienschiefer, bituminöse, in papierdünne Blättchen zerfallende Schiefer mit einigen Bänken von Stinkkalken, Jurensismergel, Mergel mit flachen Kalkknollen.

1.1.3 DOGGER

Opalinuston (unteres Aalénien)

Ca. 80–100 m dunkelgraue, glimmerreiche Mergel. Die Mächtigkeit schwankt aus tektonischen Gründen.

Murchisonae-Schichten bis Humphriesi-Schichten (oberes Aalénien und unteres Bajocien)

Braun anwitternde, eisenoolithische, auf frischem Bruch meist dunkelgraue, oft sandige Kalke mit häufigen und oft mächtigen mergeligen Zwischenlagen (50–60 m). Die üblicherweise ebenfalls dem unteren Bajocien zugerechneten Blagdenischichten können in der Ajoie nicht nachgewiesen werden, da sie vermutlich bereits in Rogensteinfazies ausgebildet sind.

Unterer Hauptrogenstein (oberes Bajocien)

Diese Serie ist vorwiegend oolithisch ausgebildet. Die verschiedenen korallenreichen Schichten lassen sich nicht über weite Distanzen korrelieren (80–90 m).

Acuminata-Schichten (Homomyen-Mergel/Bathonien)
Lumachellen-Lagen, die in von Knauern durchzogene graue Mergel übergehen (10 m).

Oberer Hauptrogenstein (Bathonien)
Wechsellagerung von knauerreichen Mergeln und Oolith-Lumachellenbänken (20–30 m); dazwischen mehrere angebohrte, mit Austern besiedelte, von Limonit überkrustete Omissionsflächen. Die oberste, 60 cm dicke Bank ist dicht, weiss, malmähnlich (Pierre blanche) und oben durch eine regional verbreitete Ommissionsfläche begrenzt.

Calcaire roux sableux (Callovien)
Vorwiegend sandige, stark eisenschüssige, feinspätige Kalke und weiche, sandige, ebenfalls eisenschüssige Mergel (10–15 m). Die Kalke sind oft von Schlieren aus mergelig zementierten, limonitischen Ooiden durchzogen.

Callovien-Ton
Helle, blaugraue Mergel, reich an Foraminiferen und Ostracoden, die zur Unterscheidung von den ähnlichen Oxford-Tonen verwendet werden können (2–5 m).

Dalle nacrée (Callovien)
Über Wechsellagerung von sandigen Mergeln und Sandkalken folgt die eigentliche Dalle nacrée, d.h. meist dünnplattige Echinodermienbrekzien und Lumachellen mit auffälliger Kreuzschichtung. Häufig finden sich weisse Kieselschnüre. Im oberen Teil sind grobe Echinodermienbrekzien typisch.
Die Mächtigkeit beträgt total 30–40 m.

Fer sous-oxfordien (Anceps-Athleta-Schichten/Callovien)
Kalkig-mergelige Schichten mit etwas Eisenoolith und grösseren Brauneisenkonkretionen sowie reichlich Ammoniten (1 m).

1.1.4 MALM

Das Oxfordien diente als Schmiermittel für disharmonische Überschiebungen und ist deshalb häufig ausgequetscht oder angereichert. Als mittlere Mächtigkeit kann man 80–90 m annehmen; diese werden wie folgt unterteilt:

Renggeri-Tone
Helle, blaugraue Mergel, die vor allem im unteren Teil reich an Mikrofossilien sind; dazu finden sich typische pyritisierte Ammoniten.

Terrain à chailles
Wechselfolge von Knauerlagen und Mergeln; dazu treten grau-schwarze, dichte, mergelige bis sandige Kalkbänke. Gegen oben stellen sich Verkieselungen, Korallen und Crinoiden ein.

Die übrigen jüngeren Schichten des Malms legen sich wie ein Mantel um den Kern der Antiklinale. Sie sind ähnlich ausgebildet wie die entsprechenden Serien im Tafelland der Ajoie.

1.2 DAS MESOZOIKUM IM TAFELLAND DER AJOIE

1.2.1 DIE BOHRUNG VON BUIX

Die Erosion erreichte westlich Buix (La grande Valle) das Terrain à chailles. Ältere Schichten sind im Tafelland der Ajoie nirgends aufgeschlossen. Am östlichen Ausgang dieses Trockentales, in der Nähe des Schiessstandes, begann man im Sommer 1917 mit einer Bohrung nach Steinkohle, die im Frühjahr 1919 in einer Tiefe von 1052,75 m (bei einem Durchmesser von 9,2 cm) erfolglos aufgegeben wurde. C. SCHMIDT beschrieb das Bohrprofil wie folgt:

0 m bis	–13	m	Alluvionen
	–103		Oxfordien
	–298,5		Bathonien + Bajocien
	–456		Opalinustone
	–562,2		Lias
	–604,55		Keupermergel
	–610		Hauptsteinmergel
	–619,8		Untere bunte Mergel
	–643		Schilfsandstein
	–748		Gipskeuper
	–751		Lettenkohle
	–771,65		Trigonodusdolomit
	–822		Hauptmuschelkalk
	–839,5		Dolomite
	–869,35		obere Anhydritzone
	–909,2		Salz
	–915,6		Zwischenzone
	–953,2		Salz
	–959		untere Anhydritzone
	–992		Wellenmergel
	–1012,4		Oberer Buntsandstein
	–1043,2		Unterer Buntsandstein
ab	–1043,2		Rotliegendes

SCHMIDT nimmt an, dass das Karbon in einer Tiefe von ca. 1350 m zu finden wäre.

1.2.2 MALM

International wird der Malm nach ARKELL nur noch in die beiden Stufen Oxfordian und Kimmeridgian unterteilt. Bei den Bezeichnungen Rauracien und Sequanien handelt es sich um reine Faziesbegriffe. Trotzdem gestatte ich mir, die alten Benennungen zu verwenden, da die gesamte Spezialliteratur der Ajoie noch mit diesen arbeitet. Demnach sind die bereits im vorderen Kapitel erwähnten Renggeri-Tone und das Terrain à chailles dem unteren bzw. oberen Oxfordien zuzuzählen.

1.2.2.1 Oxfordien

Neben den Aufschlüssen westlich Buix wurde bis heute im Tafelland der Ajoie nur noch im Eisenbahntunnel durch das Pont d'Able-Gewölbe nördlich Porrentruy aufgepresstes Oxfordien gefunden.

1.2.2.2 Rauracien

Es handelt sich um 90–100 m mächtige Sedimente mit häufigem Fazieswechsel und fliessenden Grenzen. Während das untere Rauracien einem Korallenbiostrom (Rasen) auf flacher Plattform entspricht, dürfen mittleres und oberes Rauracien als Hinterriffzone bezeichnet werden. Die Grenze zwischen den beiden Abschnitten ist jedoch ohne paläontologische Untersuchungen kaum festzulegen.

Im unteren Rauracien (Liesbergschichten, bzw. Glypticien der älteren Autoren) finden sich dunkelgraue Mergel und Mergelkalke, die allmählich in harte, dunkelgraue oder rötliche, wulstig gebankte bis knauerige Kalke übergehen, aus denen weisse, verkieselte Fossilien (vor allem Seeigel, Crinoiden und Korallen) herauswittern. Nach oben werden die mergeligen Lagen noch spärlicher. Es folgen klotzige, gelbliche oder graue, fleckige Kalke, welche mehr oder weniger häufig Korallen führen.

Die lokalen Unterschiede sind jedoch sehr gross. So ist im Kettenjura, vermutlich bis zur Linie Alle-Vendlincourt, das mittlere Rauracien als sehr grober Oolith (Caquerelle-Oolith) entwickelt, dessen Körner nicht selten Erbsengrösse erreichen.

Den oberen Teil des Rauracien bauen charakteristische weisse bis leicht gelbliche Kalke auf, welche splitterig zerfallen, bisweilen aber auch kreidig-mürbe beschaffen sein können und sporadisch ebenfalls Korallenriffe und eingestreute grobbrekziöse Lagen enthalten. Diese kreidigen Kalke und Brekzien

entsprechen dem Riffschutt zwischen gewachsenen Korallenbiohermen (Stöcke). Eine besonders reine, weisse Ausbildung stellen die kreidigen Kalke von St. Ursanne dar.

Darüber folgen mit scharfer Grenze die fast fossilleeren Plattigen Kalke (Vorbourg-Schichten). Es sind sehr gut gebankte bis plattige, helle, dichte Kalke (12–13 m), die einen morphologisch auffällig hervortretenden Felssims bilden und sich ausgezeichnet als Leithorizont für die Kartierung eignen.

1.2.2.3 Sequanien, Kimmeridgien und Portlandien

Sie bestehen aus einer Wechsellagerung von Kalken, Mergelkalken und Mergeln. Eine Gliederung ist im Gebiet der Ajoie sehr schwierig, da die Grenzen der einzelnen Abteilungen kaum genau festzustellen sind. Besondere Leithorizonte, Mumienbänke oder ähnliches, wie sie anderwärts vorkommen, sind nicht vorhanden.

Natica-Horizont (Unteres Séquanien = Marnes astartiennes nach THURMANN*)*

Über den Plattigen Kalken finden sich zwischen den Kalkbändern einzelne Mergellagen, die allmählich an Bedeutung gewinnen. Die obere Hälfte der Natica-Schichten ist zum Teil fast rein mergelig ausgebildet. Die Mächtigkeit beträgt rund 30 m. Natica oder andere Gastropoden konnten in der Ajoie nicht gefunden werden.

Humeralis-Schichten (Mittelséquanien)

Gelbe oder graue, meist kalkige Mergel, wechselnd mit knauerigen Lumachellenbänken und Echinodermienbrekzien sowie einzelnen Lagen mit Eisenooiden. Sehr fossilreich, 8–15 m mächtig.

Oberes Séquanien – Unteres Kimmeridgien

Helle, dichte, im allgemeinen gut gebankte Kalke mit feinbrekziösen bis pseudoolithischen Lagen und Nestern (80–110 m). Erst im oberen Teil finden sich 1–2 dünne, ca. 20 cm mächtige Mergelbänder.

Pterocera-Mergel (Zone strombienne nach THURMANN, *Marnes du Banné)*

Fossilreiche Kalkmergel, sandige Mergel und Mergelkalke (2–15 m). Sie verwittern nicht zu Lehm, erscheinen jedoch morphologisch als Terrassen und Comben.

Oberes Kimmeridgien

Gut gebankte, manchmal sogar feinplattige, helle, im allgemeinen dichte Kalke ähnlich denjenigen des unteren Kimmeridgien (35–90 m). Dazwischen treten häufig fossilreiche Mergelkalke und Lumachellen auf.

Virgula-Mergel (Zone virgulienne nach THURMANN*)*

Graublaue bis braune, fette Mergel mit massenhaft Exogyra virgula. Darüber Wechsellagerung von feingeschichteten, lumachellösen Kalken und Mergellagen, ebenfalls fossilreich. Endlich an mehreren Stellen grünliche, krümelig zerfallende Kalkmergel mit Glaukonit und wenig Exogyren. Mächtigkeit: 10 m.

Unteres Portlandien

Ähnlich dem Kimmeridgien; an einigen Stellen ausserordentlich fossilreich, schneeweiss, kreidig und mürbe.

1.3 DIE KRETAZISCH-EOCAENE FESTLANDPERIODE

Während dieser Zeit war der Elsgau eine Karstlandschaft. Es entstanden die üblichen siderolithischen Bildungen (Bolus mit Bohnerzkörnern, Huppererde). Diese wurden aber durch die nachfolgende Überflutung weitgehend abgeräumt und umgelagert, so dass sie in der Ajoie nur in Klüften des Malms und aufgearbeitet in jüngeren Sedimenten zu finden sind.

1.4 DIE OLIGOCAENEN, MIOCAENEN UND PLIOCAENEN ABLAGERUNGEN

Sie spielen weniger wegen ihrer eher geringen Mächtigkeit eine Rolle als vielmehr deshalb, weil ihre Bildung in die Zeit der Reaktivierung der alten Brüche, der Anlage neuer Störungen und der Entstehung der Antiklinalen fällt. In den letzten Jahren brachten vor allem H. FISCHER, H.P. LAUBSCHER, H. LINIGER und A. SCHNEIDER neues Licht in den ganzen Problemkreis. Trotzdem ist man noch weit davon entfernt, in den seit über 100 Jahren dauernden Diskussionen über Abwicklung und Zeitpunkt der Jurafaltung ein Ende zu finden.

1.4.1 SANNOISIEN (UNTERES OLIGOCAEN)

A. SCHNEIDER wies als erster darauf hin, dass über dem Eocaen, aber unter dem marinen Gompholite d'Ajoie (Rupélien), Süsswasserablagerungen vorhanden seien, die er als Konglomerate von Porrentruy bezeichnete. In einer brieflichen Mitteilung machte mich nun H. FISCHER darauf aufmerksam, dass es auch in der Ajoie untersannoisische oder allenfalls mittelsannoisische Brackwasserablagerungen (Kalkarenite mit Foraminiferen) gebe, die vermutlich der Versteinerungsreichen Zone von Oltingue entsprechen und älter sind als die Konglomerate von Porrentruy (unpubliziert). Diese Gesteine wurden bis anhin als mitteloligocaenen Meeressand oder als Bildungen, die zu den Konglomeraten von Porrentruy gehören, gedeutet.

Dadurch ergibt sich folgende Gliederung:

Kalkarenite mit Foraminiferen

Konglomerate von Porrentruy: Relikte von Süsswasserkonglomeraten, die reichlich aufgearbeiteten Boluston und Bohnerz enthalten. Die Komponenten sind ausschliesslich Malm, in der Hauptsache Kimmeridgien. In der Nähe der Malmunterlage können einzelne Blöcke die Grösse eines Kubikmeters erreichen. Dazwischen liegen kleinere Gerölle, die gut gerundet, meistens unsortiert und – ausser in einzelnen Lagen – unverkittet sind. Dazu kommen vom Wind verfrachtete Quarzkörner.

Süsswasserkalk: Die Konglomerate von Porrentruy gehen lateral, nach oben und auch in Form von Einschaltungen allmählich in Süsswasserkalk über.

Diese eindeutig nicht marinen Ablagerungen finden sich in einer NE-SW streichenden, in den oberen Malm eingetieften, von Bressaucourt über Porrentruy und Cœuve gegen Réchésy verlaufenden Rinne. SCHNEIDER ist der Auffassung, dass damals die Ajoie in geringem Masse in das Absinken des Rheintalgrabens einbezogen wurde und sich einerseits Wildbachrinnen, andererseits Süsswasserseen bilden konnten, in welchen Konglomerate, abgeschwemmte eocaene Verwitterungsböden aus dem umliegenden Festland und Kalke zur Sedimentation gelangten. Wenigstens zeitweise dürften diese mit den Wasserflächen des Golfes von Montbéliard (Système de Bourogne), einer Ausbuchtung des Oberrheintalgrabens, in Verbindung gestanden haben (brackischer Einschlag). Durch dieses Geschehen wurden die gröbsten Unebenheiten in der Malmtafel der Ajoie ausgeebnet.

1.4.2 STAMPIEN (MITTLERES UND OBERES OLIGOCAEN)

Zu Beginn des RUPÉLIEN rückte die Küstenzone des Rheintalmeeres weiter nach Süden vor. Das Relief war bereits wieder recht beträchtlich; es entstand durch erneute tektonische Aktivität. Ob sich über die etwas höher gelegene Scholle des Berner Juras eine Verbindung zum Molassemeer bildete, ist nach wie vor umstritten.

Diese Rupélien-Transgression liess in der Ajoie eine wenig mächtige und sehr variable Folge küstennaher Sedimente zurück, die nur reliktweise erhalten ist.

Von unten nach oben finden sich:

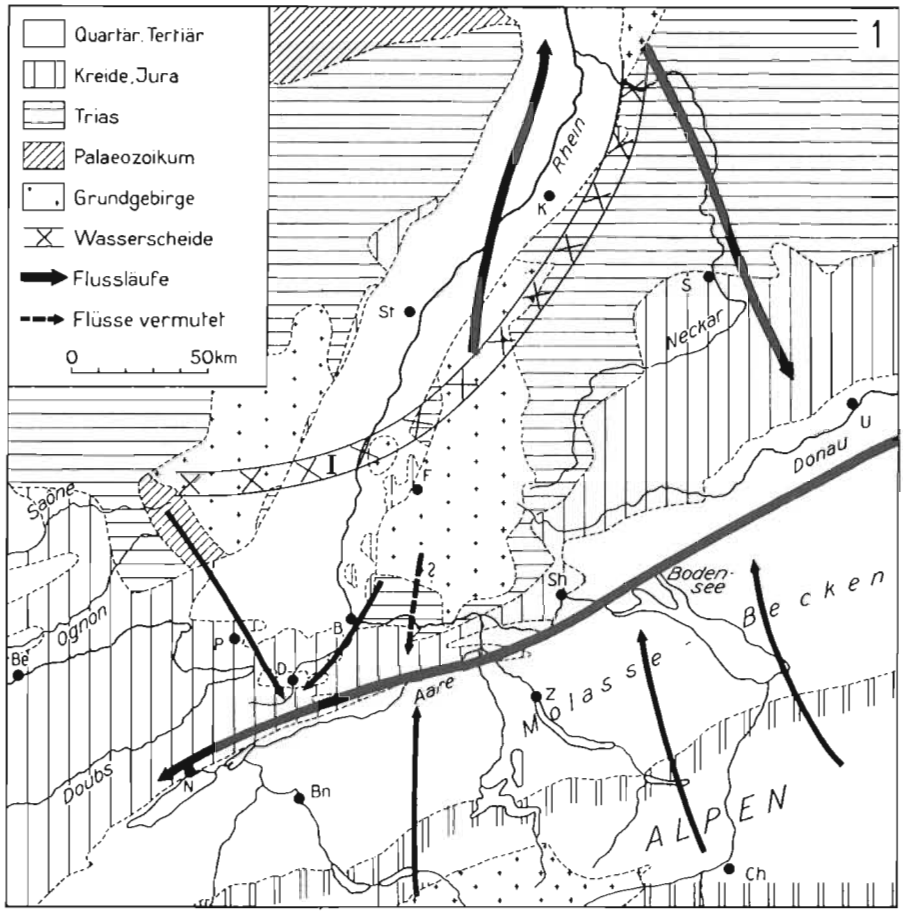
Gompholite d'Ajoie: Küstenkonglomerat, bei Bressaucourt 10–30 m mächtig.

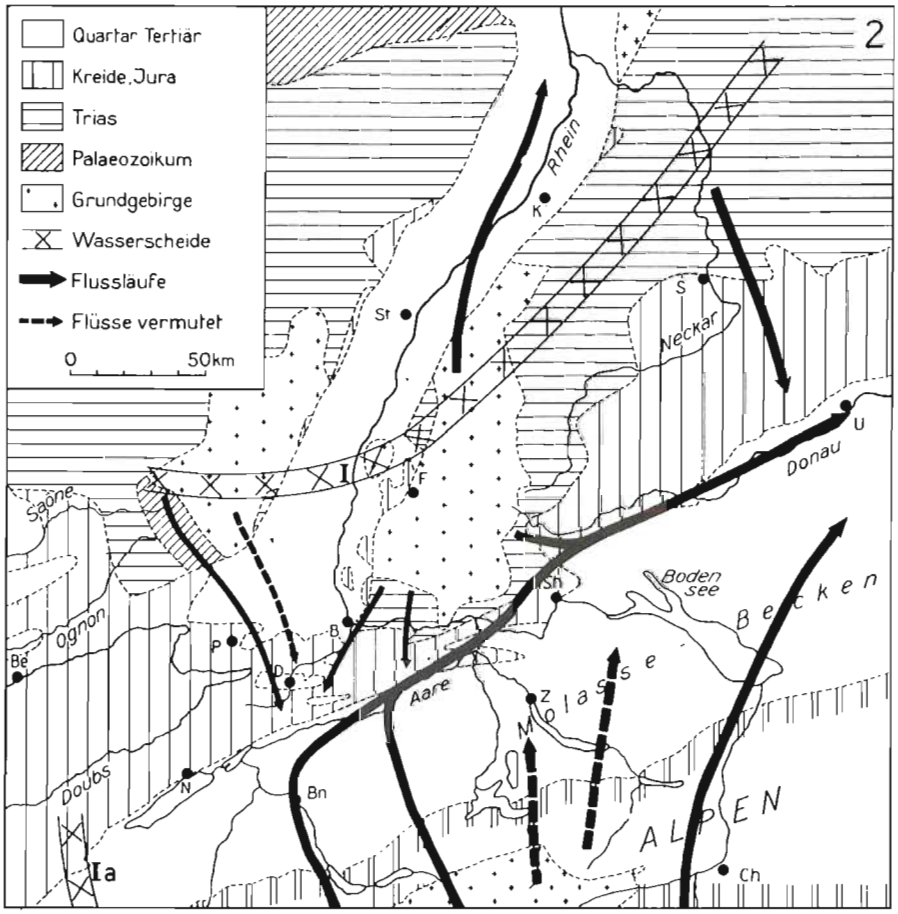
Figur 55
Renggeri-Tone, die beim Neubau der Gaststätte von Les Rangiers freigelegt wurden

Figur 56
Hipparionsande in der Grube von Bonfol

Figur 57
Tektonische Störung im Steinbruch von Courchavon

Figur 58
Zerklüftete Kalke des Sequanien in einem Steinbruch zwischen Nalé und Bure, die sich als gute Wasserleiter eignen

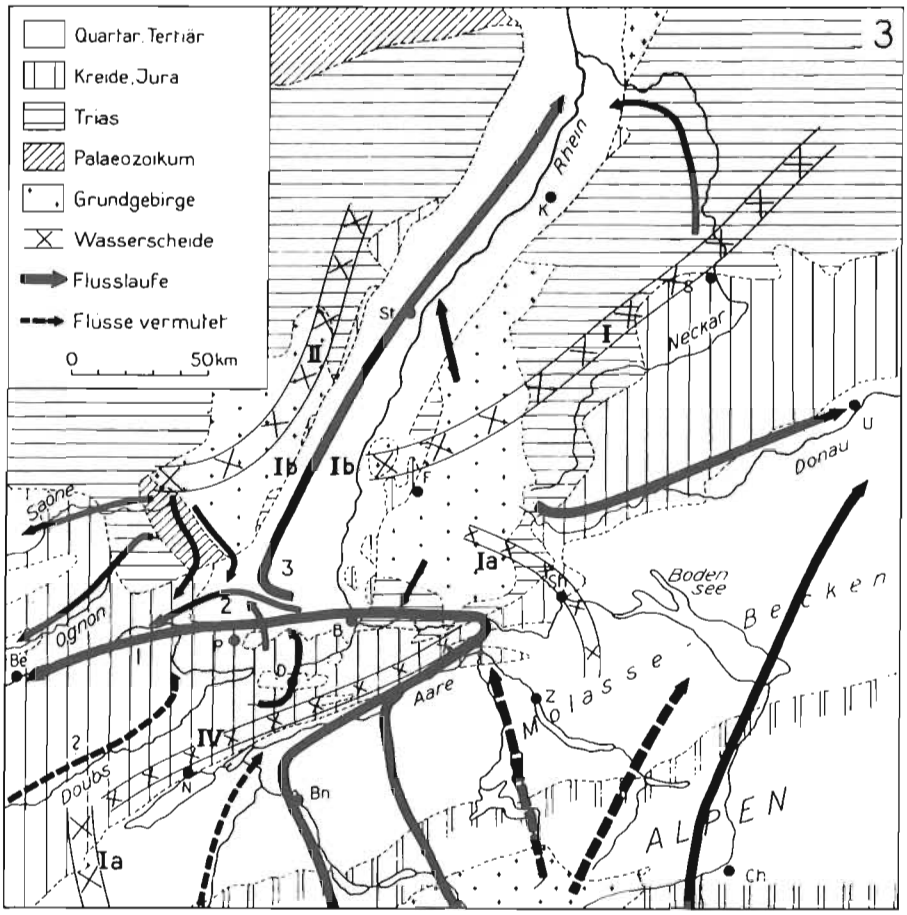


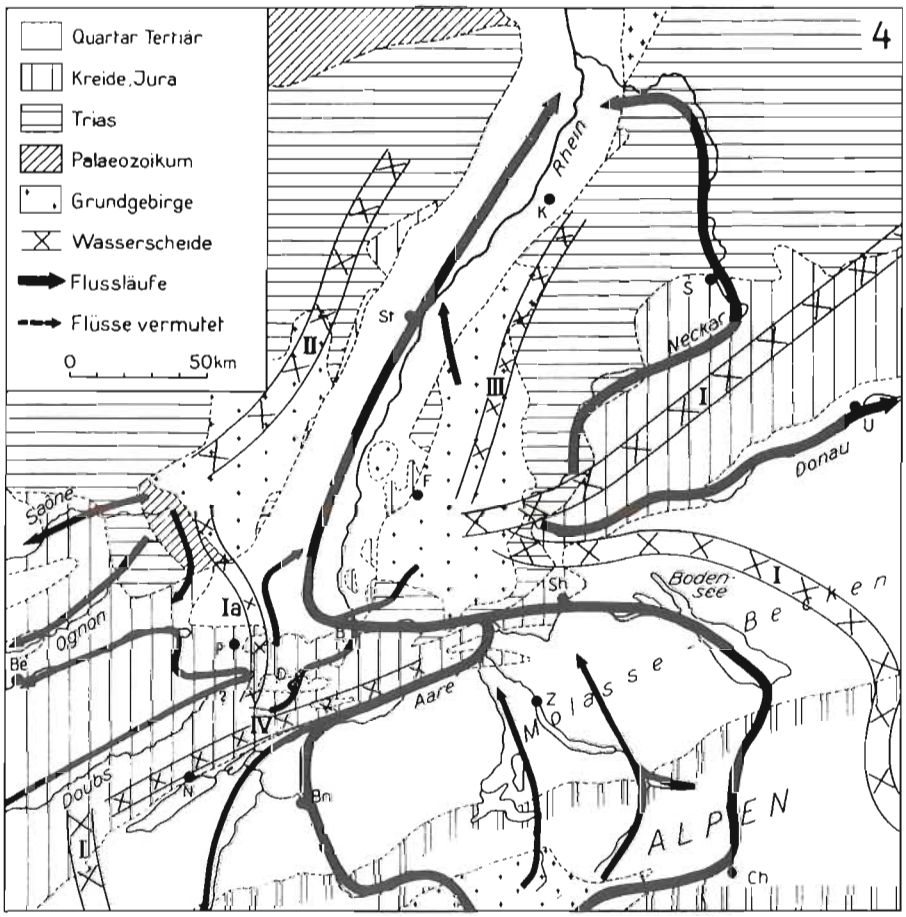


Figur 59
Das pliocaene-pleistocaene Flussnetz der Nordschweiz (aus H. LINIGER, Das plio-altpleistocaene Flussnetz der Nordschweiz, erschienen in REGIO BASILIENSIS Nr. VII/2, November 1966)

1. Pontien
2. Mittelpliocaen (vor der Jura-Hauptfaltung)

3. Oberpliocaen-Altpleistocaen (nach der Jura-Hauptfaltung). Es bedeuten:
   1 = oberpliocaene Ur-Aare in der Ajoie,
   2 = altpleistocaene Ur-Aare im Sundgau,
   3 = Lauf der nach Norden abgelenkten Ur-Aare am Ende der Meridionaliszeit im Altpleistocaen
4. Jungpleistocaen





Calcaire à cérithes d'Ajoie (Cerithienkalk): Quarzreicher, feinkörniger, stellenweise ausserordentlich fossilreicher Kalksandstein, der sich manchmal erst in Dünnschliffen von Malmkalken unterscheiden lässt und der verschiedenenorts mit den Konglomeraten wechsellagert. Er kann aber auch ohne Einschaltung von Konglomeraten eine ziemliche Mächtigkeit erreichen (z.B. am Nordausgang des SBB-Tunnels südlich Courgenay).

Sowohl Gompholite d'Ajoie als auch Cerithienkalk werden als *Meeressand* betrachtet, d.h. als typisch lithostratigraphische Einheiten, die von Ort zu Ort stratigraphisch verschiedenen Horizonten entsprechen.

Fischschiefer: Dunkle, bituminöse Schiefer mit Fischschuppen.

Septarienton (oberes Rupélien): Glimmerreiche, graue Tonmergel und Sande. Als Folge der Abschnürung vom offenen Meer ist in den oberen Lagen der Beginn einer langsamen Aussüssung feststellbar. Das Relief hat sich erneut ausgeglichen.

Im CHATTIEN zog sich das Meer zurück. Brackische, limnische (Süsswasserkalke und -mergel) und fluvioterrestrische Ablagerungen (Elsässer Molasse) kennzeichnen die Sedimente dieser Phase, die zu einer Zeit abgelagert wurden, als noch eine Entwässerung aus dem schweizerischen Molassebecken über das Gebiet des heutigen Delsbergerbeckens und die Ajoie nach der oberrheinischen Tiefebene bestand.

Dieser starke Einfluss der Sandschüttungen aus dem Alpenraum lässt sich bereits im oberen Teil des Septarientons feststellen (sandige Mergel und Sandeinlagerungen). Die Molasse alsacienne schliesslich besteht vorwiegend aus Glimmersanden und Sandsteinen.

1.4.3 MIOCAEN

ERZINGER äusserte sich dazu wie folgt (Die Oberflächenformen der Ajoie, Diss. Basel 1940):

«Die kontinuierlichen Einbruchsbewegungen des südlichen Rheintalgrabens und seiner Nachbargebiete setzten aus. Statt dessen hob sich die Ajoie mitsamt ihrem Vorland, tauchte auf und wurde der Abtragung ausgesetzt.» Die Entwässerung erfolgte von den Vogesen nach Süden, wobei die mittransportierten Geschiebe bis ins mittelschweizerische Molassebecken abgelagert wurden.

1.4.4 PLIOCAEN

Dieses ist durchgehend in terrestrisch-fluviatiler Fazies vorhanden und liegt auf Oligocaen oder verschiedenen Malmstufen auf. H. LINIGER revidierte seine ursprüngliche Arbeitshypothese 1964 und 1967 wie folgt:

«Im *Pontien* (= unteres Pliocaen) akkumulierte in der Gegend Bonfol–Charmoille–Bois de Robe ein N-S gerichteter Vogesenfluss in einer flachen, 30–80 m tiefen und 4–6 km breiten Rinne bis gegen das Mittelland und setzte Hipparion führende Sandmassen ab.»

Diese wurden bis dahin als Vogesensande bezeichnet, ein Wort, das LINIGER, um jegliche Missverständnisse auszuschalten, durch Hipparionsande ersetzt haben möchte. Sie weisen einen starken Gehalt an Zirkon, dagegen wenig Staurolith und Granat auf. Zudem fand HOFMANN aufgearbeitete Molasse alsacienne; diese äusserte sich im erhöhten Karbonatgehalt und im höheren Prozentanteil von Epidot.

«Da die Rinnen quer zum Faltenbündel verlaufen, die Sande in allen Aufschlüssen nur auf Oligocaen ruhen und völlig auf Muldenteile beschränkt sind, bestanden die heutigen Ketten noch nicht.» Damit hat sich LINIGER, entgegen seiner ursprünglichen Auffassung, der Ansicht von LAUBSCHER (1962) angeschlossen, der für eine postpontische Hauptphase der Jurafaltung plädierte.

Nachpontisch setzte eine erste schwache Faltungsphase ein. Die damit verbundene Erosion entfernte auf den Scheiteln der Falten das Tertiär und die obersten Bänke des Malms. Rauracien wurde nur da entblösst, wo es durch oligocaene und miocaene Erosion an rheintalischen Brüchen zutage trat. Bei dieser Einebnung blieb jedoch das Gefälle nach Süden erhalten; die Mont Terri-Linie machte sich nicht bemerkbar.

Im *Mittelpliocaen* hoben sich die Vogesen erneut. Durch das kräftige Gefälle wurden die Wasserläufe zu Wildbächen, die über der Peneplain auf breiter Front bis ins südliche Juragebiet (Tavannes) Vogesenschotter ablagerten. Diese Geschiebe zählte man bis 1963 zu den darunter liegenden Hipparionsanden. Erst LINIGER fasste sie als einheitliche Vogesenschüttung jüngeren Alters auf. Sie erwiesen sich bis anhin als völlig fossilfrei und könnten deshalb auch ins Oberpliocaen gestellt werden.

Vogesenschotter kommen in der ganzen N- und S-Ajoie auf einer Breite von mindestens 25 km vor. In den Mulden lagern sie auf Hipparionsanden, an den Rändern von Antiklinalen aber auch auf Oligocaen und verschiedenen Jurastufen auf. Ihre Mächtigkeit dürfte maximal 20–25 m betragen.

Über den Vogesenschottern finden sich (allerdings selten) meist pleistocaen verschwemmte, gebleichte Erden ohne Gerölle, Illite und weisse Quarzsande (falscher Hupper). Es handelt sich wahrscheinlich um Triasmaterial, das im Vogesenmassiv verwitterte und dann zu den heutigen Fundstellen disloziert wurde.

Eine zweite, ungleich stärkere Faltung unterbrach diese Ablagerungsphase. Sie knickte die Antiklinalschenkel, stellte sie steil, hob die Faltungsachsen zum Teil hoch, löste Überschiebungen aus und reaktivierte alte Brüche, wodurch die Auflagerungsfläche der Vogesenschotter stark verstellt wurde. Gleichzeitig – und das bedeutet einen wesentlichen Unterschied gegenüber der ersten Faltungsphase – wurde das Land südlich der Mont Terri-Kette gehoben, schräggestellt, nördlich der Kette aber nach Norden abgesenkt, so dass ein Gefälle von Süden gegen die Pforte von Belfort entstand. Dies hatte die Bildung einer schwachen Rinne nördlich der Pfirt zur Folge, in der möglicherweise die Vogesenflüsse, deren alte Wege ja versperrt waren, nach Westen abflossen.

Erst *Mitte Oberpliocaen* benützte auch ein aus dem schweizerischen Mittelland stammender Fluss diese Einwalmung zwischen dem Jura und den Vogesen. Bei diesem dürfte es sich auf Grund von sedimentpetrographischen Untersuchungen von HOFMANN um ein Gewässer gehandelt haben, das zum Teil Gerölle aus der oberen Napfschüttung, zum Teil solche vom Alpenrand mitführte. Die frühere Annahme, dass es sich um einen Ur-Rhein oder gar um eine Ur-Rhone handle, erwies sich als nicht zutreffend.

Dieses Ur-Aare genannte Gewässer floss früher nach Osten zur Donau, wurde dann jedoch infolge Hebung des Schwarzwaldmassivs über Koblenz–Basel nach Westen abgelenkt. In der Burgunderpforte benützte es vorerst eine Rinne am Nordrand der Ajoie, war leicht erosiv und lagerte Hipparionsande und Vogesenschotter um. Es entstanden Mischschotter sowie später die eigentlichen Sundgauschotter, die nur nördlich der Linie Bonfol–Montignez zu finden sind und nach LINIGER eine Mächtigkeit bis zu 21 m erreichen.

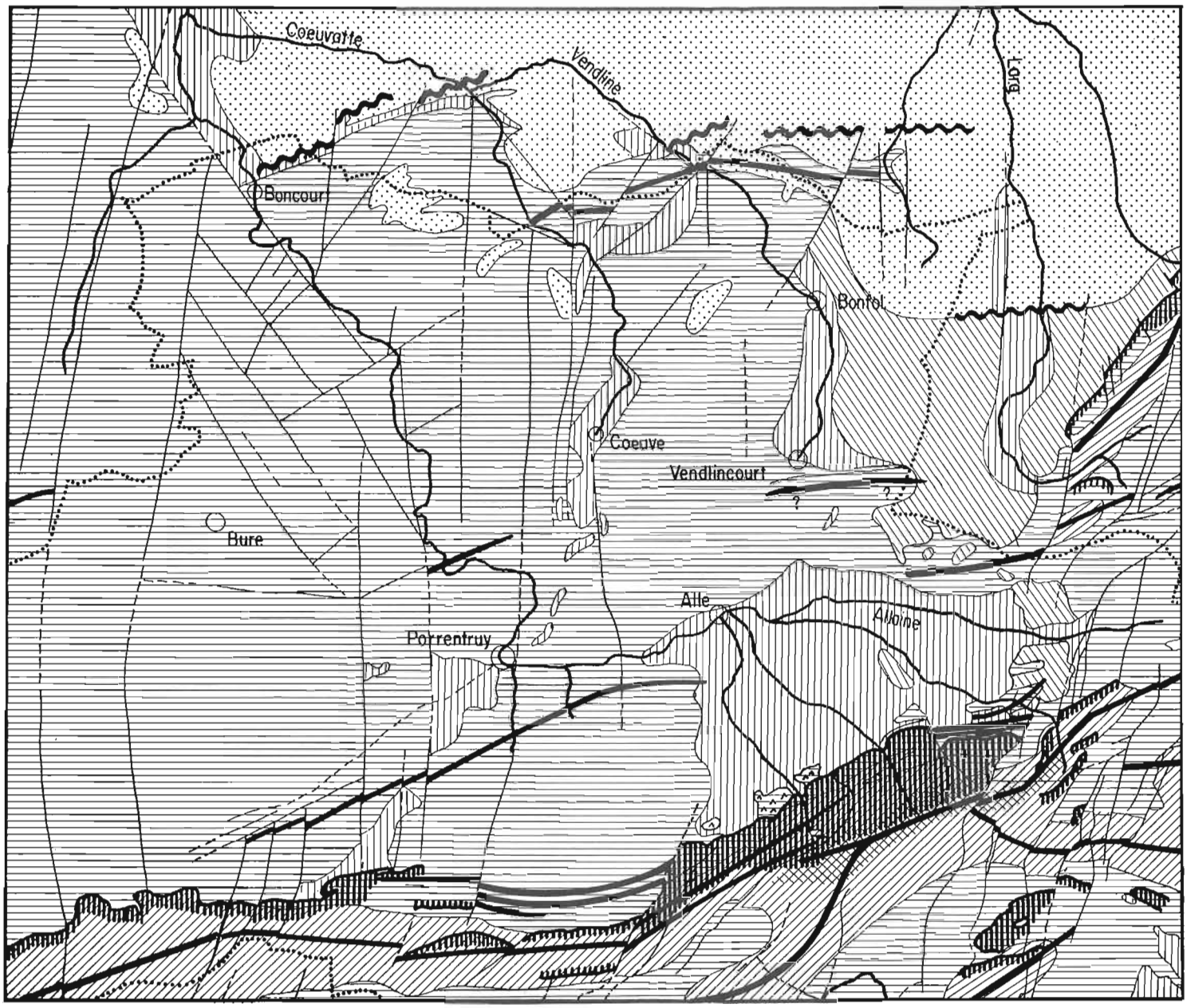
1.5 DAS QUARTÄR

Nach Oberpliocaen ist in der Nordajoie eine schwache Nachphase erkennbar. Die Antiklinalen, vor allem das Teilstück Pfetterhouse–Montignez, hoben sich. Der Sundgau senkte sich erneut. Dadurch wurde die Ur-Aare nach Norden abgedrängt. Ihre Absätze formten keinen Aufschüttungskegel, sondern verteilten sich auf mehrere, tektonisch nach Norden verlegte Flussbetten altpleistocaenen Alters.

Später, ungefähr *Mitte Alt-Pleistocaen*, erfolgte bei Basel die Ablenkung nach Norden durch den Rheintalgraben. Die Ost-Ajoie wurde zum Gebiet der Wasserscheide zwischen Rhein und Rhone.

In das Quartär fiel ebenfalls die Bildung der Plateaulehme. Diese überdecken heute über weite Gebiete die mesozoischen und tertiären Ablagerungen. Viele sind verschwemmt worden. Verschiedenenorts weisen sie eine Mächtigkeit von mehr als 10 m auf. Ob es sich dabei um reine Verwitterungslehme oder evtl. auch um Lösslehme handelt, steht zur Zeit noch nicht fest.

Auffallend ist die Schotterarmut in den Tälern, die auf die vorherrschende Karstentwässerung zurückzuführen sein dürfte.



Antiklinalachsen

Flexuren

Brüche, Verwerfungen

Überschiebungen

Abgesackte Malmkomplexe

Lias und Keuper

Dogger

Malm

Oligocaen

Vogesenschotter und Hipparionsand

Sundgauschotter und Weisse Serie

Figur 60
Geologisch-tektonische Übersicht der Ajoie

1.6 ÜBERSICHT ÜBER DIE TEKTONIK

Die Ajoie gehört zum Jura-Nordrand und ist deshalb ein kompliziertes Interferenzgebiet von Flexuren, Bruchbündeln und Faltungen. Ältere Schollen, die zum Teil schon herzynisch angelegt, später neu aufgerissen und wieder mobilisiert, zum Teil im Eocaen und Oligocaen neu gebildet wurden, vergittern sich mit der jungpliocaenen ENE-WSW-Auffaltung der Juraketten, deren jugendliches Alter durch die Lage der oligocaenen und unterpliocaenen Ablagerungen gegeben ist. In der Zeit vom Eocaen bis Miocaen sind keine Anzeichen von Faltungstektonik, sondern nur Distension (Zerrbrüche und Flexuren) vorhanden.

Die Brüche gehören den folgenden Systemen an:

Eggische (meridionale) Richtung	N–S und NNW–SSE
Rheinische (rhenorhodanische) Richtung	NNE–SSW
Variszische Richtung	NE–SW
Herzynische Richtung	NW–SE

Zusätzlich dazu zeigen sich im Faltengebiet deformierte Brüche der obigen Systeme, streichende Brüche und abirrende, durch Lateraldruck bei der Faltung entstandene Risse.

In bezug auf die Ursache und den genauen zeitlichen Ablauf konnten einzelne Ereignisse genau geklärt werden. Vielfach gehen jedoch die Auffassungen noch stark auseinander. Darauf einzugehen würde den Sinn dieses eingeschobenen Kapitels zweifellos übersteigen. Es sei deshalb in erster Linie auf die letzten Publikationen von H. P. Laubscher und H. Liniger sowie N. Pavoni, der betr. Faltungsmechanismus eine völlig andere Auffassung vertritt, verwiesen.

Tektonisch lässt sich das Untersuchungsgebiet in die folgenden Teilgebiete gliedern:

1.6.1 DAS TAFELLAND DER AJOIE

Es ist eine flache Schichttafel, die gitterförmig von vereinzelten Flexuren und einer grossen Zahl von Brüchen mit Sprunghöhen bis gegen 200 m durchsetzt ist. Dazu kommt eine Serie schwacher Malmwellen, deren Aufwölbung grösstenteils derart geringfügig ist, dass kaum von einer Antiklinale gesprochen werden darf:

Perchet-Falte nördlich Damvant
Banné-Falte
Pont d'Able-Gewölbe (Fahy-Gewölbe nach Rollier, Erzinger und Hummel)
Réchésy-Kette
Morimont-Falte
Fahy- (oder Vendlincourt-) Gewölbe

Für das Bestehen einer Florimont-Falte im Nordwesten von Boncourt konnte Liniger keine Anhaltspunkte finden. Das bei Boncourt beobachtete Abtauchen der Schichten ist auf die winklig verlaufende Flexurzone zurückzuführen, die den nördlichen Abschluss der Tafel bildet und die auch für die Aufwölbung der Réchésy-Kette verantwortlich sein dürfte.

1.6.2 DIE LOMONT-KETTE

Sie stellt ein W-E streichendes Gewölbe dar, dessen Ostteil zwischen Doubs und Damvant in das Untersuchungsgebiet übertritt und auf der Höhe der Grotten von Réclère ausklingt.

1.6.3 DIE MONT TERRI-ANTIKLINALE

Am Osthang des Vallée des Bois (zwischen Montavon und La Vaux südwestlich Roche d'Or) beginnt die eigentliche Mont Terri-Kette. Es handelt sich um eine asymmetrische Antiklinale, die mit einer Viel-

zahl präexistierender Brüche durchsetzt ist und mehr oder weniger über das Tafelland der Ajoie geschoben wurde. Der Beweis für die Überschiebungstheorie konnte bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts erbracht werden. Von 1828–1835 wurde südöstlich Cornol (580300/249200) durch A. Koehli eine Bohrung nach Salz abgeteuft, die in bezug auf die Erschliessung von Salzlagern keinen Erfolg zeitigte. Dagegen gelang es Thurmann lange Jahre nach Beendigung derselben in einer Gesteinsprobe, die in 330 m Tiefe unter der Trias genommen wurde, Fossilien des Oxfordien nachzuweisen.

Diese nördlichste Kette des Faltenjuras weist nach Laubscher einen sehr unterschiedlichen Bau auf: Im Westen ist sie mit mässig steilem Südschenkel nach Norden über das Tafelland gekippt.

Von Bressaucourt bis auf die Höhe von Seleute verringert sich die Bedeutung der Überschiebungen; an ihrer Stelle entwickeln sich im Vorland eine Reihe kleiner Stauchfalten. Die Antiklinale nimmt eine mehr oder weniger pilzförmige Gestalt an.

Zwischen Courgenay und Seleute wird sie von zwei SSW-NNE verlaufenden Querbrüchen durchzogen, die vermutlich bereits im Alttertiär, also vor der Auffaltung, angelegt wurden. Sie bedingen eine weitere Veränderung des Bauplanes. Die Vorfalten verschwinden; die Antiklinale ist um ca. 1,3 km mit überkipptem Nordschenkel und zusätzlichen Komplikationen über die flache Tafel der Ajoie vorgebrandet. Zudem verschmilzt der Südschenkel mit der Clairmont-Antiklinale, was der Grund für die ungewöhnliche Hochpressung des Triaskernes sein dürfte. Südlich von Fregiécourt verringert sich zunächst das Ausmass der Randüberschiebung, wobei wiederum sozusagen stellvertretend 3 kleine Vorlandfalten auftauchen.

Knapp östlich Fregiécourt beginnt die Caquerelle-Zone.

In bezug auf das Alter der Gebirgsbildung ist Liniger seit 1964 der Auffassung, dass eine vorpontische Faltungsphase nicht bestand. Eine erste Auffaltung mit schwachem Ausmass soll nachpontisch erfolgt sein. Als Hauptphase bezeichnet er eine solche nach dem Mittelpliocaen, obschon bis heute unter den Überschiebungsmassen des Mont Terri und der Pfirt noch keine Vogesenablagerungen gefunden werden konnten.

1.6.4 DIE NÖRDLICHE CAQUERELLE-ZONE AM OSTRAND DER AJOIE

Es handelt sich um eine Serie von Transversalverschiebungen und Überschiebungen mit knapp einem Kilometer nach Norden verschobenem Ostflügel, um eine Scherzone zwischen der nahezu ungefalteten Tafel der Ajoie und den Falten des rheintalischen Juras.

2. Die Grundwasservorkommen in der Ajoie

2.1 DEFINITION DES BEGRIFFS «GRUNDWASSER»

Gemäss der modernen geologisch-hydrologischen Literatur wird als Grundwasser dasjenige unterirdische Wasser bezeichnet, das die Hohlräume der Erdrinde vollständig und zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere unterliegt. Diese Definition geht auf MEINZER zurück, der die obere lufthaltige, nur teilweise von Wasser in verschiedenen Zustandsformen erfüllte Zone als «zone of aeration» und die untere Grundwasserzone als «zone of saturation» bezeichnete. Beide Zonen schliessen unmittelbar aneinander an und stehen in enger Wechselwirkung zueinander. Der Übergang zwischen ihnen ist in der Natur nicht scharf ausgeprägt; vielmehr muss ein Grenzsaum vorausgesetzt werden.

Man betrachtet das Grundwasser, wie das Wasser in der Atmosphäre und die Oberflächengewässer, als ein klar begrenztes Teilstück des Wasserkreislaufs der Erde. Die Quellen sind nichts anderes als konzentrierte Austritte von Grundwasser an die Erdoberfläche.

Im Interesse der Vollständigkeit sei nachstehend die Formulierung des Fachnormenausschusses Wasserwesen im Deutschen Normenausschuss (DIN 4049, Blatt 1, 1954), an die ich mich halten werde, beigefügt:

«Grundwasser ist Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere (hydrostatischer Druck) unterliegt.

Das Grundwasser fliesst, wenn Gefälle vorhanden ist oder erzeugt wird. Es steht im Vergleich zu Luft unter höherem oder an seiner Oberfläche unter dem gleichen Druck. Der Begriff Grundwasser besagt nichts über die Art der Entstehung und hängt nicht davon ab, ob die betreffenden Teile der Erdrinde locker oder fest, ob sie verwittert oder unverwittert sind, ob sie Lebewesen oder Reste von ihnen enthalten oder nicht, ob sie dicht unter der Erdoberfläche oder in grösserer Tiefe liegen. Die Hohlräume, die Grundwasser enthalten, können sehr verschiedene Grössen besitzen. Die Grenze ihrer Grösse nach unten ist dadurch gegeben, dass in sehr kleinen Hohlräumen, z.B. denen des Tones, das Wasser praktisch am Fliessen verhindert wird. Eine Grenze der Hohlraumgrösse nach oben ist nicht festgelegt. Grundwasser kann also in Poren, Haarrissen, Klüften, Höhlen und auch unterirdischen Gerinnen vorhanden sein. Doch werden unterirdische Teilstücke oberirdischer Wasserläufe vom Begriff Grundwasser ausgenommen und als unterirdische Wasserläufe bezeichnet. Ist es zweifelhaft, ob unterirdisches Wasser in Höhlen den Wasserläufen oder dem Grundwasser zuzurechnen ist, so ist die Bezeichnung Höhlenwasser oder Karstwasser anzuwenden.»

2.2 BESCHREIBUNG DER IN DER AJOIE VORKOMMENDEN GRUNDWASSERLEITER

Unter den Schichten, die Grundwasser enthalten und in denen solches zirkuliert, nehmen in der Ajoie die Kalke die erste Stelle ein. Die Bedeutung der kiesig-sandigen Lockergesteine tritt im Gegensatz zum Mittelland in den Hintergrund. Die vorhandenen Gehängeschuttmassen haben eine zu geringe Mächtigkeit, und die geeigneten Talböden weisen sich durch eine ausgesprochene Schotterarmut aus; sie enthalten dementsprechend wenig Wasser.

Die Eignung der Kalke als Grundwasserleiter ist sehr unterschiedlich. Damit nämlich ein Gesteinskomplex hydrographisch wirksam sein kann, müssen Hohlräume vorhanden sein, die von Sickerwasser erfüllt sind. Solche sind primär durch die tektonische Beanspruchung während der Gebirgsbildung entstanden, und zwar teils durch einfache Kluftbildung, teils durch Verstellungen (vergleiche Fig. 57 und 58).

Sobald diese Fugen, Risse, Spalten, Klüfte usw. vom Wasser durchflossen werden, kann hauptsächlich durch chemische Verwitterung eine Erweiterung derselben erfolgen. Der Kalk wird aufgelöst und als Bicarbonat weggeführt. Aus dem Mineralgehalt eines normalen Jurawassers lässt sich leicht berechnen, dass eine Quelle mit einer Schüttung von 100 l/Min. in einem Jahr über 10 Tonnen Kalk fördert. Man darf sich jedoch von dieser an sich grossen Zahl nicht täuschen lassen, entspricht sie doch nur einer durchschnittlichen jährlichen Erniedrigung von wenigen Hunderstelsmillimetern.

Nicht alle dieser Urhohlräume (Primärfugen) eignen sich für eine Wasserzirkulation, sondern in erster Linie diejenigen, deren Querschnitt eine gewisse Minimalbreite übersteigt. Sind sie zu klein, erfolgt mit Vorzug eine Verstopfung durch mineralische Ausscheidungen, Tone und Silte. Nach O. LEHMANN liegt die Trennung von hydrographisch wegsamen und unwegsamen Fugen bei 2–3 mm, ein Wert, der im Untersuchungsgebiet relativ häufig überschritten wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in den Kalken der Ajoie in der Regel die tektonischen Störungsflächen das Anlagemuster eines embryonalen unterirdischen Entwässerungssystems bilden. In einer zweiten Phase erfolgt dann eine ständige Erweiterung des Hohlraumquerschnittes, wobei die zuerst mit Wasser erfüllten Räume teilweise entleert werden. An Stelle der einstigen Druckströmungen treten Sohlengerinne und Durchfluss-Seen mit schwankendem Wasserstand.

2.3 DIE HÖHE DES GRUNDWASSERSPIEGELS IM FESTGESTEIN

Die Grundwasser enthaltenden Gesteinskörper sind nur bis zu einem bestimmten Niveau mit Wasser angefüllt. Es stellt sich ein Wasserspiegel ein, der nicht konstant ist, sondern je nach den vorliegenden Verhältnissen höher oder tiefer liegt. Sein niedrigster Stand entspricht dem permanenten Karstwasserspiegel. Der darunterliegende Raum, in dem alle Hohlräume Wasser enthalten, wird von vielen Autoren als phreatisch, von anderen als tiefer Karst oder zone noyée bezeichnet. Der darüberliegende vadose Bereich (seichter Karst oder zone dénoyée) führt nur bei starken Niederschlägen Wasser. Die hier vorhandenen Täler sind in der Regel trocken; sobald der Karstwasserspiegel ansteigt, können sie vorübergehend wieder Wasser führen.

Die Lage der Grundwasseroberfläche hängt von verschiedenen Faktoren ab:

Von der Stratigraphie, im besonderen von der Reihenfolge und von der Mächtigkeit der durchlässigen und undurchlässigen Schichten:

Während die ersteren das Wasser sammeln, stauen es die zweiten. Grundsätzlich wirken alle Mergel, Tone und ähnlichen Gesteine als Sperrzonen, d.h. als sogenannte Grundwasserstauer. Doch auch die dichtesten sind nicht vollständig undurchlässig, sondern lassen geringe Wassermengen passieren, jedoch so wenig und in so langer Zeitdauer, dass dies für das hydrologische Regime keine Rolle spielt. Viele sind derart dünn und unkompakt, das ihre Bedeutung gering ist und sie lediglich eine Verlangsamung der Einsickerungsgeschwindigkeit zur Folge haben.

In der Ajoie wirken die folgenden Schichten als Grundwasserstauer:

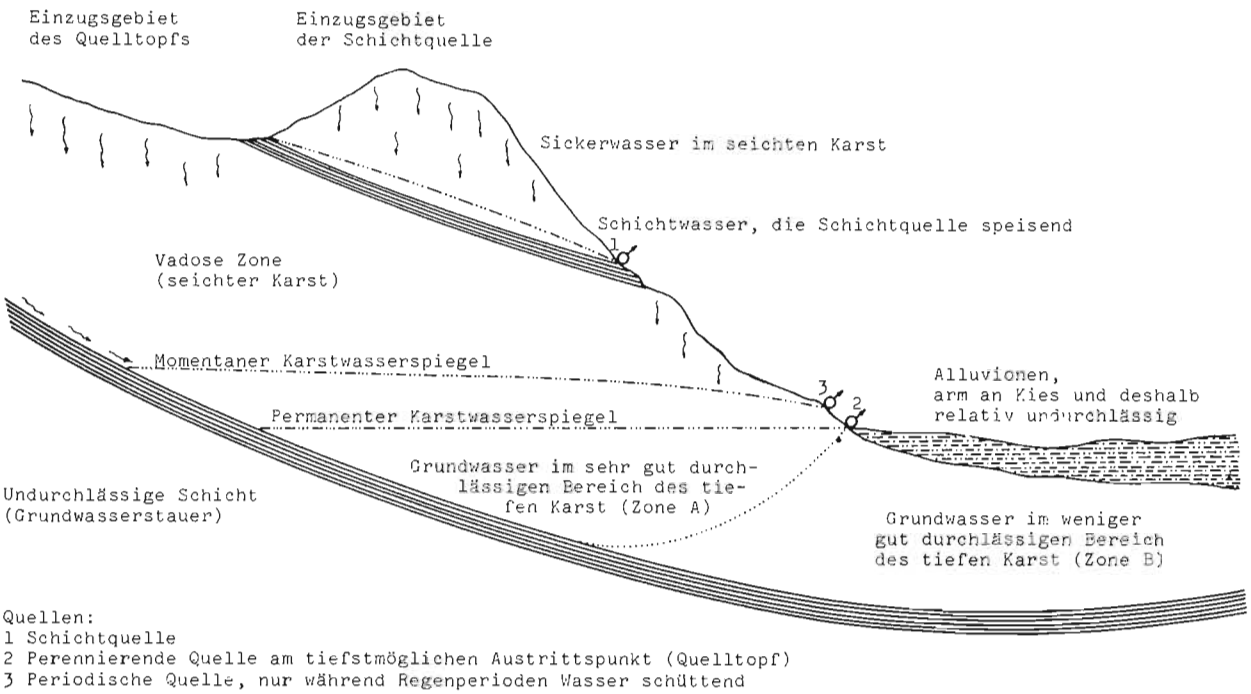
Lehme des Quartärs
Mergel des Tertiärs
Virgula-Mergel des Portlandien
Pterocera-Mergel des Kimmeridgien
Natica-Horizont (marnes astartiennes) des Séquanien
Renggeri-Tone des Oxfordien
Opalinustone des Doggers

Von der Struktur der Karstwasserstauer:

Da das Wasser den Gesetzen der Schwere folgt, bewegt es sich über die undurchlässigen Gesteinsschichten hinweg zu den tiefsten Stellen. Im Bereich von Faltungen bedeutet dies ein Fliessen von den Antiklinalen zu den Synklinalen. In Gebieten mit Verwerfungen folgt es der Neigung der einzelnen Schollen. Abweichungen sind nur dann zu erwarten, wenn ältere, vor den letzten tektonischen Bewegungen entstandene Hohlräume mit einer grösseren hydrographischen Wegsamkeit benützt werden können.

Von der Oberflächentopographie:

Der Karstwasserspiegel stellt sich auf die tiefen Täler ein. Wenn undurchlässige Schichten ein mit durchlässigem Material gefülltes Becken unten abschliessen, lässt sich dieses nur so weit mit Grundwasser auffüllen, bis es bei einem Tal angeschnitten wird, überläuft und eine Quelle zu Tage treten kann.



Figur 61
Die Höhe des Grundwasserspiegels im Festgestein

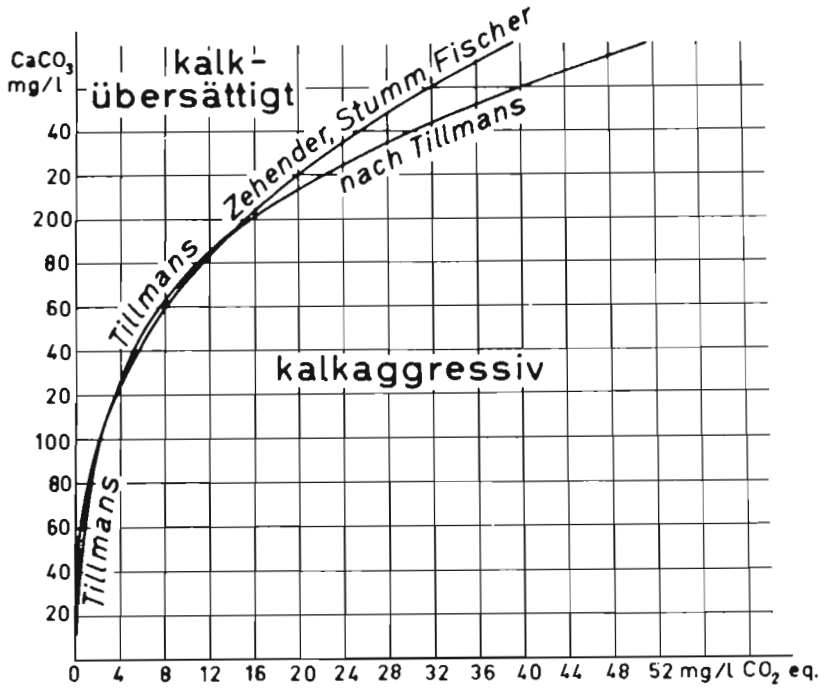
Vom Vorhandensein grösserer Verwerfungen:

Bruchflächen können auf zwei gerade entgegengesetzte Arten wirksam werden. Einerseits erfolgt hier vorzugsweise die Anlage der ersten unterirdischen Entwässerungssysteme. Anderseits können sie gelegentlich mit Mergeln oder anderem undurchlässigem Gesteinsmaterial ausgefüllt sein, so dass sie auf Flüssigkeiten stauend wirken und Quellen entstehen lassen.

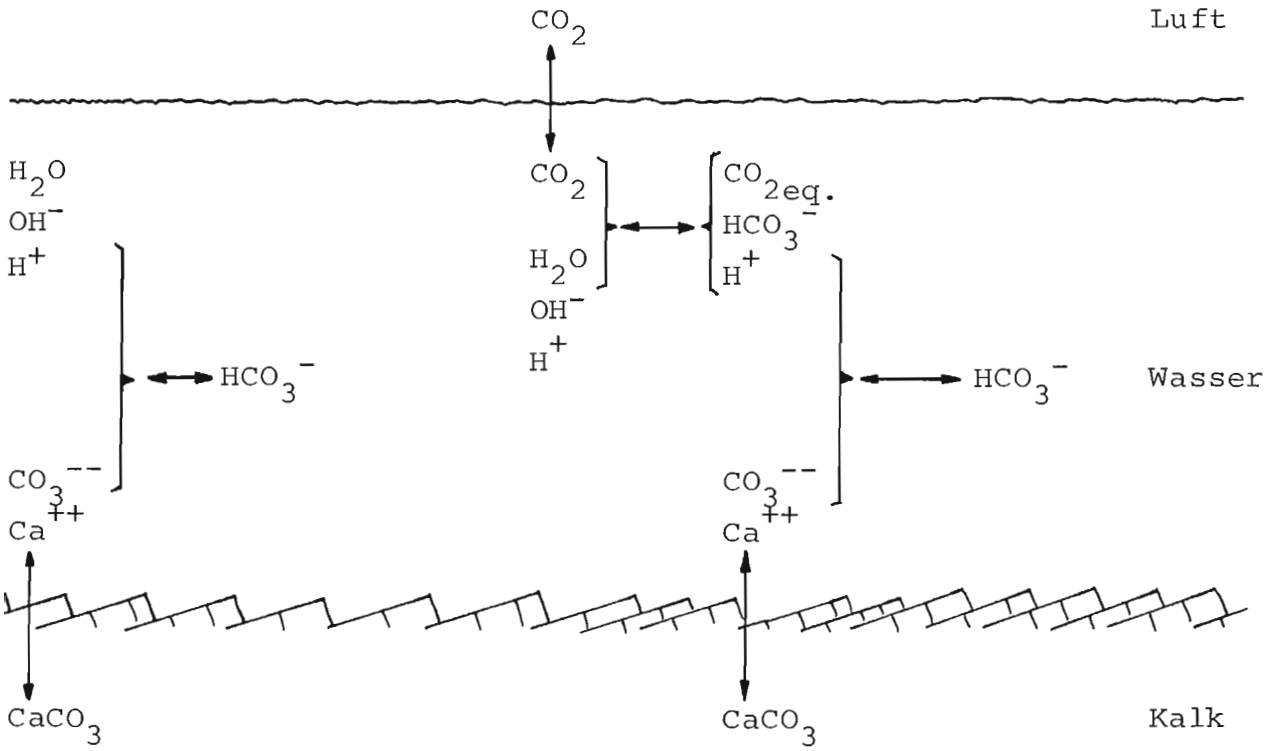
Von der Wasserdurchlässigkeit des Festgesteins:

Ist diese klein (und damit die Fliessgeschwindigkeit entsprechend langsam), lässt sich eine höhere Aufstauung feststellen; der Grundwasserspiegel nimmt eine konvexe Form an. Ist sie dagegen gross, vermag das Wasser rasch abzufliessen; unter der Voraussetzung, dass kein Zufluss erfolgt, bildet der Wasserspiegel nahezu eine Horizontale auf dem Niveau der Quelle.

Der Grad der Wasserdurchlässigkeit nimmt in allen Karstgebieten im Laufe der Zeit zu. Hiefür verantwortlich ist in erster Linie die Auflösung von Kalk, auf die ich im nächsten Kapitel noch näher eingehen werde. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass die sogenannte karsthydrographische Wegsamkeit selbst innerhalb des gleichen Schichtkomplexes recht unterschiedlich sein kann. Dies fällt vor allem dann auf, wenn der Zufluss (z.B. durch Niederschläge oder Versinkung eines Baches) grösser ist als der maximal mögliche Wasseraustritt bei der Quelle. In einem solchem Fall erfolgt eine Aufstauung, bei der eventuell vorhandene, höher gelegene und deshalb ältere Höhlensysteme erneut reaktiviert werden und als periodische Quellen in Funktion treten können, wie man dies sowohl bei den Grotten von Milandre als auch beim unterirdischen Flusslauf im Trockental der Haute-Ajoie sehr schön beobachten kann.



Figur 62
Kurven des zugehörigen CO_2 ($CO_{2eq.}$) nach TILLMANS sowie nach ZEHENDER, STUMM und FISCHER



Figur 63
Schematische Darstellung der Teilreaktionen bei der Lösung von Kalken (links ohne, rechts unter Mithilfe von CO_2)

2.4 DIE KALKLÖSUNG UND IHRE KONSEQUENZEN BEI DER BILDUNG VON HOHLRÄUMEN

Es dürfte bekannt sein, dass Kalk in reinem Wasser nur wenig löslich ist. Ein Liter vermag höchstens 13 mg aufzunehmen. Durch den Gehalt an CO_2 erfährt dessen Lösungsfähigkeit eine wesentliche Steigerung, indem eine chemische Reaktion hervorgerufen wird. Die quantitativen Beziehungen im Gleichgewicht zwischen gelöstem Kalk und zugehörigem Kohlendioxyd ($CO_{2eq.}$) sind auf Grund der Werte von TILLMANS bzw. ZEHENDER, STUMM und FISCHER in Fig. 62 graphisch dargestellt. Die Kurven zeigen, wann ein Wasser von bestimmtem Kalk- und CO_2-Gehalt aggressiv oder kalkausscheidend ist.

Über den Lösungsvorgang selbst besteht heute eine einheitliche Auffassung. Er erfolgt in verschiedenen Phasen, wie dies die schematische Darstellung in Fig. 63 zeigt. Dabei wird ein Gleichgewichtszustand angestrebt, der seinerseits von den chemischen oder physikalischen Gleichgewichten der einzelnen Teilreaktionen abhängig ist und der meist durch die nachstehende Sammelgleichung dargestellt wird:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca^{++} + 2\,(HCO_3)^-$$

Während die chemischen Prozesse im Wasser unmittelbar vor sich gehen, braucht es für die Diffusion des Luftkohlendioxydes ins Wasser nach BOEGLI 24–60 Stunden, um das Gleichgewicht zu erreichen. Dieses ist nicht nur vom CO_2-Gehalt der Luft, sondern auch von der Wassertemperatur, dem Luftdruck und einigen anderen, weniger bedeutenden Faktoren abhängig. Für Einzelheiten sei auf die ausgezeichneten Schriften von A. BOEGLI verwiesen, der 1963 mit der Entwicklung seiner Theorie über die Mischungskorrosion neues Licht in den ganzen Problemkreis gebracht hat.

Je nachdem, woher die H-Ionen stammen, mit denen zusätzlicher Kalk gelöst werden kann, können rein nomenklatorisch verschiedene Kalklösungsarten unterschieden werden. Die wichtigsten sind:

Kalklösung infolge Zufuhr von kalkaggressivem Wasser:

Regenwasser enthält in der Regel eine beträchtliche Menge von aggressivem CO_2. Nach Niederschlägen können sich in den Kanalisationen der Städte und Dörfer, aber auch auf Strassen, ganze Bäche mit derartigem Wasser bilden. Bei direktem Kontakt mit Kalkgestein ist das aggressive CO_2 bereits nach wenigen Minuten vollständig aufgebraucht; es bildet sich ein Gleichgewichtszustand.

Dies bedeutet, dass derartiges, in den Boden eindringendes Wasser vor allem in den obersten Metern Kalk aufzulösen vermag, da die transportierte Wassermenge und die Fliessgeschwindigkeit in den engen Spalten sehr klein sind. Dort, wo Bäche durch bereits erweiterte Klüfte in Höhlen hinunterstürzen, können solche Wasser auch in tieferen Bereichen lösend wirken.

Kalklösung infolge Aufnahme von CO_2 aus der Luft:

Diese ist nur möglich, wenn eine freie Wasseroberfläche vorhanden ist. Entspricht die CO_2-Konzentration im Wasser dem CO_2-Partialdruck der Luft, wird weder Kalk aufgelöst noch ausgeschieden. Ist sie dagegen kleiner, wird vom Wasser CO_2 aufgenommen und damit bis zum Erreichen des Gleichgewichts, was erst nach 2–3 Tagen der Fall ist, Kalk aufgelöst. Umgekehrt erfolgt Kalkausscheidung, wenn CO_2 an die weniger konzentrierte Luft abgegeben werden muss.

Hieraus folgt, dass diese Kalklösungsart nur im vadosen und im allerobersten Teil des phreatischen Bereiches wirksam sein kann.

Kalklösung infolge Mischung von zwei verschiedenen harten Wassern (Mischungskorrision nach BOEGLI*):*

Wenn man zwei Wasser mischt, von denen sich jedes einzelne bezüglich des Kalkes und des CO_2-Gehaltes im chemischen Gleichgewicht befindet und die daher nicht korrodieren, wird überschüssiges aggressives CO_2 frei. Wie aus Fig. 62 deutlich hervorgeht, benötigt der gesamte Gehalt an $CaCO_3$ weniger zugehöriges Kohlendioxyd ($CO_{2eq.}$) zur Aufrechterhaltung des chemischen Gleichgewichtes als die Teilbeträge einzeln, da die gelöste Kalkmenge und das $CO_{2eq.}$ nicht linear voneinander abhängig sind. Die Mischungen liegen auf einer Mischungsgeraden, die von der wirklichen Gleichgewichtskurve oft wesentlich abweichen kann. Dies hat zur Folge, dass ein Teil des $CO_{2eq.}$ nicht mehr als solches be-

nötigt wird und zur Auflösung von Kalk bzw. für das dadurch zusätzlich benötigte $CO_{2eq.}$ verwendet werden kann. Daraus folgt, dass auch hartes Wasser in beliebigen Tiefen beim Mischen Hohlräume jeder Grösse hervorrufen kann.

Die Mischungskorrosion umfasst nahezu die gesamte Kalklösung (und Höhlenbildung) in der phreatischen Zone. Sie kommt aber auch in der vadosen Zone zur Geltung, wirkt sie doch nicht nur bei Druckfliessen, sondern auch bei Gravitationsgerinnen mit freier Oberfläche.

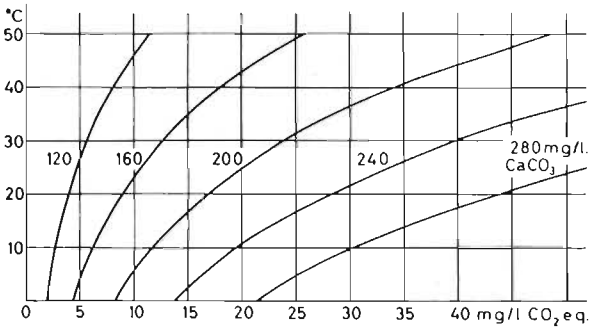
W_1	W_2	9 : 1	3 : 1	1 : 1	1 : 3	1 : 9
10	120	0,8	1,7	2,5	2,1	1,0
10	240	5,5	11,9	16,0	11,6	5,4
10	320	12,1	25,6	31,7	21,7	9,4
10	400	22,3	44,9	51,5	33,3	14,7
80	120	0,2	0,3	0,5	0,3	0,2
80	240	3,4	6,8	8,8	6,3	3,0
80	320	8,5	17,0	20,6	14,1	6,4
80	400	16,6	31,9	36,5	23,7	11,4
120	180	0,5	1,0	1,3	0,9	0,3
120	240	2,0	4,0	5,2	3,8	2,0
120	320	6,2	12,2	15,0	10,1	4,6
120	400	13,0	34,6	28,4	17,8	8,4
180	240	0,5	1,0	1,1	1,1	0,6
180	320	3,0	6,0	7,4	5,2	2,4
180	400	7,9	15,1	17,7	11,7	5,5
240	320	0,9	1,9	2,5	1,7	0,7
240	400	3,9	7,7	9,3	2,8	1,2
320	400	0,9	1,8	2,3	1,7	0,8

Figur 64
Zusätzlich lösbare Kalkmengen nach der Gleichung von ZEHENDER, STUMM und FISCHER (aus A. BOEGLI, Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem, 1964)

Kalklösung infolge Abkühlung (Abkühlungskorrosion):

Je niedriger die Wassertemperatur ist, umso weniger zugehörige Kohlensäure ist notwendig, um eine bestimmte Kalkmenge in Lösung zu behalten. Dies bedeutet, dass bei jeder Abkühlung etwas Kohlendioxyd zur zusätzlichen Lösung von Kalk verwendet werden kann. Obschon die in der Natur vorkommenden Temperaturdifferenzen eher bescheiden sind, darf deren Ausmass nicht übersehen werden (vergleiche Fig. 65 und 66). Sie ist, da in der Ajoie keine Thermalquellen vorhanden sind, umso grösser, je ausgeprägter die Jahreszeiten und je deutlicher die täglichen Temperaturschwankungen sind.

Dies wirkt sich in der Praxis in zweifacher Hinsicht aus. Bekanntlich weisen die oberflächennahen Schichten in einer Tiefe von 10–25 m eine Temperatur auf, die dem Jahresmittel entspricht. Wenn die Aussentemperatur über diesem liegt, kühlt sich das in den Boden eindringende Wasser ab und vermag selbst dann, wenn es in bezug auf den Kalkgehalt zu Beginn gesättigt war, neues $CaCO_3$ aufzulösen. Anderseits erfolgt in den tieferen Schichten eine erneute Ausscheidung und Verstopfung der Fugen als Folge der Erwärmung.



Figur 65
Abhängigkeit des $CO_{2eq.}$ von der Temperatur für ausgewählte Kalkgehalte (aus A. BOEGLI, Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem, 1964)

CO_2eq. inAbhängigkeit von der Temperatur bei konstantem $CaCO_3$-Gehalt

$CaCO_3$ mg/L.	CO_2eq. in mg/L. 0° C	3° C	6° C	10° C	15° C	17° C	20° C	24° C
120	1,94	2,15	2,40	2,78	3,33	3,59	4,00	4,62
160	4,38	4,86	5,40	6,26	7,50	8,08	9,00	10,41
200	8,23	9,13	10,15	11,76	14,11	15,19	16,93	19,57
240	13,77	15,28	16,99	19,69	23,61	25,41	28,31	32,74
280	21,29	23,60	26,23	30,40	36,46	39,27	43,75	50,56

$CaCO_3$ mg/L.	Zusätzlich lösbare Kalkmengen bei einer Abkühlung von 6°—0°	10°—6°	15°—10°	20°—15°	24°—20°	24°—15°	15°—6°
120	1,0	0,9	1,2	1,5	1,4	2,8	2,1
160	2,3	1,9	2,7	3,2	3,0	6,3	4,6
200	4,2	3,5	5,0	5,9	5,5	11,4	8,5
240	6,9	5,7	8,1	9,6	8,8	19,2	13,8
280	10,3	8,5	12,0	14,3	12,9	27,1	20,7

Figur 66
Tabellen zur Bestimmung des Ausmasses der Abkühlungskorrosion (aus A. BOEGLI, Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem, 1964)

Kalklösung als Folge der Lebenstätigkeit von Tieren und Pflanzen:

Lebewesen brauchen zur Aufrechterhaltung des Zustandes «Leben» Energie, die sie durch die Umwandlung energiereicher, meist organischer Substanzen in energieärmere gewinnen. Dabei wird in einer Vielzahl von Fällen Sauerstoff aufgenommen und Kohlendioxyd abgegeben. Diese Umsetzung kann sogar im phreatischen Bereich durch Mikroorganismen erfolgen, die die verschiedensten organischen, in einigen Fällen sogar anorganische Stoffe (z.B. Sulfide) verarbeiten. Dadurch entsteht oft ein leicht saures Milieu, das eine zusätzliche Kalklösung zur Folge hat. Doch auch diese Lösungsart setzt erweiterte Fugen voraus, die imstande sind, die erforderlichen Stoffe in genügender Menge zu transportieren.

2.5 DIE DURCHLÄSSIGKEIT DES PHREATISCHEN BEREICHES

Aus dem Abschnitt 2.3 ging hervor, dass die Höhe des Grundwasserspiegels die Folge eines komplizierten Zusammenspiels von Stratigraphie, Tektonik, Oberflächentopographie und Entwicklungsreife des Karstes ist. Die wasserundurchlässigen Schichten sind, wie dies bereits ERZINGER festhielt, nur lokal, in der Zone ihres Ausstreichens, unmittelbare Träger von konzentriert fliessendem Wasser. Vielmehr hält das einsickernde Nass in einer bestimmten Tiefe unter der Oberfläche an, sammelt sich und bewegt sich in geschlossenen, konzentrierten Massen durch das Gestein. Die dabei gewählten Bahnen dürften eine Auswirkung der Lage der durch Klüftung primär vorhandenen Hohlräume und der Höhe der piezometrischen Grundwasseroberfläche gewesen sein. Erst in einer zweiten Phase folgte dann eine Erweiterung der benützten Wege, bei der die Lösungsarbeit den Hauptanteil zu haben schien, Verbruch und mechanische Ausräumung aber zweifellos mitbeteiligt waren. Von dieser Vergrösserung der karsthydrographischen Wegsamkeit werden in erster Linie die intensiver durchflossenen, nahe an der Oberfläche des Grundwasserspiegels gelegenen Schichten betroffen. Dies hat zur Folge, dass im phreatischen Bereich zwei ineinander übergehende Zonen verschiedener Durchlässigkeit entstehen, wie dies in Fig. 61 schematisch dargestellt ist.

Die Zone A weist stark erweiterte Fugen auf. Ihre Durchlässigkeit ist gross, die Reinigung des darin fliessenden Wassers ungenügend. Die durch sie gespiesene Überlaufquelle reagiert nach kurzer Zeit auf Niederschläge, Verschmutzungen und Färbungen im Einzugsgebiet. Sie zeigt öfters eine starke Trübung.

Die Zone B ist ebenfalls von Grundwasser erfüllt. Dessen Zirkulation ist aber geringer. Obschon auch dieses Wasser in den meisten Fällen aus der Zone A gespiesen wird, treten bei einem eventuellen Heraufpumpen desselben Unterschiede in den physikalischen und chemischen Eigenschaften auf. Wegen den kleineren Fliessgeschwindigkeiten dürfte eine bessere mechanische Reinigung erfolgen. Trübungen sind deshalb seltener zu erwarten. Durch den längeren Aufenthalt im Boden geht aber auch ein Abbau der organischen Substanzen vor sich, so dass in bezug auf die Oxydierbarkeit mit Kaliumpermanganat wesentliche Besserungen zu erwarten sind. Andererseits besteht die Gefahr, dass es dort, wo kaum mehr eine Zirkulation stattfindet, sauerstoffarm ist, Eisen und Mangan zu lösen vermag und andere stagnierende Eigenschaften aufweisen kann. Bezüglich die bakteriologischen Anforderungen dürfte aber auch dieses Wasser zu beanstanden sein.

Ziemlich genau die hier geschilderten Verhältnisse zeigten die 1965–1968 von MORNOD durchgeführten Bohrungen bei der Quelle La Foule südwestlich Moutier, die der Erschliessung von neuen Trinkwasservorkommen dienten. Die gleichen Feststellungen machten bereits WATERLOT, GOSSELET und MEGNIEN in Karstgebieten Frankreichs und Englands. Auf Grund meiner Beobachtungen dürfte dieses Schema auch für die Ajoie zutreffen. Eine Eigenart ist allerdings zu beachten. Die Überdeckung der undurchlässigen Schichten mit von Wasser erfüllten Kalken ist im allgemeinen geringer als dies bei Moutier der Fall ist. Dies hat zur Folge, dass die durchlässigere Zone A mehrmals bis auf die undurchlässige Schicht hinunterreicht und die Zone B deshalb überhaupt fehlt oder dann nur eine geringe Mächtigkeit aufweist.

3. Die Quellen als örtlich begrenzte Grundwasseraustritte

3.1 INVENTAR DER IN DER AJOIE VORHANDENEN QUELLEN

Wo Grundwasser örtlich begrenzt auf natürliche Art und Weise zu Tage tritt, entstehen Quellen.

Sie sind in der hydrogeologischen Grundlagenkarte eingezeichnet und in Fig. 67 aufgezählt. Die bereits vorhandenen Angaben in den Akten des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern (WEA), des Kantonalen Laboratoriums, der Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern und verschiedener privater Betriebe wurden – soweit überhaupt möglich – im Felde überprüft, zum Teil korrigiert und ergänzt. Bei dieser Arbeit ergaben sich öfters erhebliche Schwierigkeiten. Ähnlich wie bei der Kartierung der oberirdischen Gewässer finden sich zwischen nie versiegenden Quellen und solchen, die nur nach Niederschlägen während einigen Stunden Wasser liefern, alle Übergänge. Die letzteren sind erstaunlich häufig. Sie finden sich überall dort, wo die Einsickerungsgeschwindigkeit des Wassers wegen der Änderung der Zusammensetzung und der Beschaffenheit des Gesteinmaterials etwas verringert wird. Da sie ohne irgendwelchen praktischen Nutzen sind, wurden sie bewusst nicht festgehalten und nur diejenigen sporadisch schüttenden Quellen aufgenommen, die durch ihre bedeutenden Emissionen auffallen oder während des grössten Teils des Jahres Wasser liefern. Bei den meisten mit einer Schüttung von weniger als 5 l/Min. eingezeichneten Grundwasseraustritten handelt es sich um solche, deren Schüttung in den trockenen Sommermonaten und in extremen Kälteperioden auf weniger als 1 l/Min., zum Teil sogar auf Null sinkt.

Bei der Beurteilung der Quellschüttung muss man berücksichtigen, dass es nur in zwei Fällen möglich war, auf mehrjährige Untersuchungen zurückzugreifen. In der Regel handelt es sich um eine Anzahl von Einzelbeobachtungen, bei denen es oft schwierig ist, auf einen Mittelwert zu schliessen. Allgemein bemühte ich mich, dabei die Witterungsverhältnisse vor und während den Feldaufnahmen mitzuberücksichtigen.

Wie aus der hydrogeologischen Grundlagenkarte hervorgeht, befinden sich nahezu alle Quellen entweder am Nordfuss der Mont Terri-Antiklinale oder in tiefen Lagen in den Quertälern der Allaine, der Cœuvatte und der Vendline. Die hochgelegenen Teile des Tafellandes zeichnen sich durch eine ausgesprochene Wasserarmut aus, die dem hohen Durchlässigkeitsgrad des Malms vom mittleren Sequanien bis zum unteren Portlandien zuzuschreiben ist. Diese Kalkplatte wird von einem verästelten System von Versinkungs- und Versickerungstrichtern und kommunizierenden Querverbindungen durchsetzt, die nicht nur der Entwässerung der Platte selbst dienen, sondern zudem die einmündenden Bäche aufnehmen.

3.2 VERSUCH EINER EINTEILUNG DER QUELLEN DER AJOIE NACH GEOLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN GESICHTSPUNKTEN

Verschiedentlich bestehen einige Unsicherheiten als Folge der noch zu wenig geklärten geologischen Verhältnisse. Zudem ist eine endgültige Beurteilung vor allem im stark ausgequetschten und mit Brüchen durchsetzten Überschiebungsgebiet sowie in der Caquerelle-Zone oft sehr schwierig.

3.2.1 FESTGESTEINSQUELLEN

Der wasserführende Gesteinskörper ist Festgestein, meistens klüftiger Kalk. Undurchlässige lithologische Einheiten und einige mit Tonen, Mergeln oder Lehmen ausgepflästerte und deshalb ebenfalls undurchlässige Verwerfungen verhindern in der Regel ein weiteres Eindringen von Flüssigkeiten in den Untergrund. An verschiedenen Stellen sind jedoch infolge der tektonischen Beanspruchung

Figur 67
Die Quellen der Ajoie

Kolonne 1: Koordinaten:
*** nach der Karte 1 : 10000 auf 10 m genau
** nach der Karte 1 : 10000 auf 25 m genau
* nach der Karte 1 : 10000 auf 50 m genau

Kolonne 2: Name der Quelle, in Klammer Name der Gegend

Kolonne 3: Schüttung in l/Min.
*** die Zahlen beruhen auf mehrjährigen, regelmässigen Messungen
** die Zahlen beruhen auf einer grösseren Zahl von Messungen, worunter auch solchen in extremen Trockenzeiten
* die Zahlen beruhen auf einzelnen Messungen und geben deshalb nur einen Begriff von der Grössenordnung

Kolonne 4: Nutzung
G Fassungsanlage einer öffentlichen Druckwasserversorgung
P Fassungsanlage einer privaten Druckwasserversorgung
g Fassungsanlage für einen Brunnen
T Nutzung des Wassers nur zu technischen Zwecken
t Nutzung des Wassers vorwiegend zu technischen Zwecken
J Nutzung des Wassers nur für Bewässerungszwecke
U Ungefasst

Kolonne 5: Geologisch-hydrologische Verhältnisse:
ST Undurchlässiger Stauhorizont, über dem sich das Wasser sammelt und eventuell aufgestaut wird
UG Quelle im Überschiebungsgebiet Faltenjura-Tafeljura. Die geologisch-hydrologischen Verhältnisse sind im Detail oft schwer zu beurteilen
CZ Quelle in der Caquerelle-Zone
KS Karstschlot, der nach Regenfällen als «trou émissif» in Funktion treten kann

Alle				
576'995/252'130 ***	La Louvière	30_150_600 **	t Filature des laines	Wasser führende Kies_schicht in Alluvionen
577'090/253'070 **	Morte Eau	20_40_100 *	g Alle (aufge_lassen)	_ do _
577'690/252'550 **	_ (Varoche)	weniger als 5 *	U	_ do _
578'170/253'730 **	Le Pouche	0_5'000 *	prov. gefasst, ohne Nutzung	KS
Asuel				
581'270/249'800 ***	Crât_es_Juifs untere Quelle	0_100 *	U	ST Opalinustone (über_kippter N_Schenkel)
581'410/249'710 ***	Crât_es_Juifs mittlere Quelle	5_100 *	U	ST Keuper. An Verwer_fung gelegen
581'400/249'580 **	Crât_es_Juifs obere Quelle	5_100 *	P alte Häuser La Malcôte	ST Opalinustone (über_kippter N_Schenkel)
581'740/249'225 ***	Pré Martin W (Les Ecouais)	5_100 *	U	ST Opalinustone (S_Schenkel)
581'825/249'165 ***	Pré Martin E (Les Ecouais)	6_20_50 **	P neue Häuser La Malcôte	_ do _
Diverse Quellen	Kessel La Mal_côte/Asuel		U	ST Keuper (Kern der Mont Terri_Antiklinale)
582'645/249'600 **	Dernière Maison	2_40 *	g	ST Opalinustone (S_Schen_kel). Bruch?
582'645/250'380 ***	Cras Collon (Courtes Roies)	20_40_100 **	G Pleujouse seit 1965	ST Opalinustone (N_Schenkel)
582'650/250'815 ***	Scierie	5_40_100 *	U	ST Oxfordien (N_Schenkel) Bruch?
582'870/250'130 **	La Golatte	200_400_1'200 **	G Service Eaux Vendline	ST Opalinustone (S_Schenkel)
583'070/249'780 **	Rière la Roche supérieure	10_40_150 **	G Asuel (unt. Dorfteil)	CZ (ST Oxfordien?)
583'010/249'840 **	Rière la Roche inférieure	10_30_100 **	G _do_	_do_
583'120/249'675 **	Le Gypse	0_10_80 **	G Asuel (ob. Dorfteil)	ST Oxfordien (S_Schenkel)

583'330/249'560 ***	La Doub (La Toulière)	35-200-1'000 **	G -do-	CZ (ST Natica-Horizont?)
Diverse Quellen	Le Creux		P Le Creux U	ST Opalinustone (Kern der Vorbourg-Antiklinale)
Diverse Quellen	Grangiéron		P Grangiéron U	-do-
Beurnevésin				
575'965/260'070 ***	- (En Rôlie-Les Dôs)	0-25 *	g	ST Natica-Horizont
577'180/260'360 ***		5-100 *	U	-do-
577'315/260'250 ***		5-100 *	g	-do-
577'460/260'080 **		25-250 *	U	-do- Bruch?
577'380/259'810 **	Ledermann	700-1'500-10'000 **	prov. gefasst, ohne Nutzung	-do- Bruch?
577'325/259'630 **	Fontaine de la Dame	0-5'000 **	U	ST Natica-Horizont KS
Boncourt				
566'580/258'090 *	Fontaine des Pigeons	0-5 **	U	
567'250/260'080 *		0-1'000 **	U	KS
567'860/260'290 **		weniger als 5 **	g	ST Natica-Horizont
568'160/259'540 ***	La Bâme	0-50'000 **	U	Ausgang des Höhlensystems von Milandre. ST Oxfordien
567'980/259'690 ***	Le Saivu	2'000-14'000 **	U	-do-
568'015/260'305 ***	La Font	1'000-3'000-20'000 **	T (Burrus)	ST Oxfordien. Am Natica-Horizont gelegen. Bruch?
568'140/260'900 ***	La Locomotive (Vergers au-delà du Pont)	300-2'000-20'000 **	U	ST Natica-Horizont. Im Bereich Flexur Boncourt, an Pterocera-Mergeln.
568'780/260'000 *	La Fontenatte	0-25 *	U	ST Natica-Horizont
Bonfol				
577'880/259'070 ***	St. Fromont	5-40-300 *	g	ST Natica-Horizont. Bruch
578'535/258'460 *		0-10 *	g Haus Morgenthaler	ST Pterocera-Mergel. Vogesensande?
578'565/258'430 *	Sous les Crêts	10-300 *	g	-do-
579'010/259'180 ***	Les Advins	5-100 *	g aufgelassen	Vogesensande
579'335/258'950 **	Aux Queues de Chat	0-25 *	U	-do-
579'465/258'800 **	-do-	0-25 *	U	-do-
579'770/258'680 zwei Quellen **	-do-	je 5-100 *	U g ob.Dorfteil Bonfol	-do-
581'885/259'975 **	Goutte de Fahy	0-25 *	P Le Largin	-do-
Bressaucourt				
Diverse Quellen	Pietchiesson	10-70-300 ** 0-10 * 0-10 *	G Courtedoux P Hof Pietch. g Weidbrunnen	ST Opalinustone (Kern der Mont Terri-Antiklinale), von Gehängeschutt überdeckt. Bruch?
568'475/247'010 **	Sous les Roches	10-20-100 **	P Hof Sous les Roches G Bressaucourt	ST Opalinustone, von Gehängeschutt überdeckt
568'070/247'280 **	Le Pâturage (Beukia)	10-70-100 **	G Bressaucourt	-do-
568'935/247'070 ***	La Loge	5-20-80 **	G -do-	-do-

569'030/247'390 **	La Carrière du Beaulieu	20-100-500 **	G -do-	UG
569'060/247'020 *	- (Les Fosses)	0-25 *	U	ST Opalinustone (Kern der Mont Terri-Antiklinale)
569'310/246'760 **		5-25 *	P Zoll Montancy	-do-
569'640/248'730 ***	Le Faubourg	40-200-500 *	G Bressaucourt	ST Natica-Horizont
570'130/248'220 *	Dô Tchété	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	ST Septarienton (Oligocaen)
570'910/249'630 *	Mavaloz	20-80 *	P Mavaloz	In Konglomeraten von Porrentruy gefasst
Buix				
566'990/257'000 **		weniger als 5 *	g Weidbrunnen	
568'700/259'670 **		0-25 *	g	ST Oxfordien. Bruch
568'845/259'300 **	La Mairmitaine	30-150-500 **	G Montignez	ST Oxfordien. Bruch?
568'860/259'285 **	SBB	5-250 *	U	
569'000/259'380 **	Derrière le Moulin (Combe St. Jean)	40-100-600 *	U	ST Oxfordien. Bruch?
569'010/259'000 ***		0-5 *	U	ST Oxfordien
569'185/258'390 ***	Les Grottes	5-100 *	g	ST Oxfordien
569'425/258'140 **	Cotais-Hügli	100-250-1'000 **	G Buix	ST Oxfordien
569'735/258'025 **	Les Cotais W	30-50-250 **	G Buix	ST Oxfordien
569'775/258'005 **	Les Cotais E	5-20-80 **	G -do-	-do-
Bure				
565'420/254'340 ***	La Fontaine	weniger als 5 *	U	ST Natica-Horizont
567'900/255'000 ***	Dô Buratte	weniger als 5 *	g	-do-
568'510/254'690 ***	- (Le Teurion)	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	-do-
568'640/255'025	- (Punkt 561)	0-25	g	-do-
Charmoille				
581'950/253'180 *	Beau-Site	3-5-50 *	P Beau-Site	ST Septarienton?
582'660/253'300 *	Sur la Vigne (Sur la Côte)	0-30-250 **	G Alle	ST Natica-Horizont. Austritt aus Vogesensanden
582'990/252'540 ***	Captage inf.	50-200-500 **	-do-	
583'560/252'570 *	Captage sup,	50-250-300 **	-do-	
583'075/253'300 **	Devant le Val	80-200-1'000 **	G Charmoille	ST Natica-Horizont
583'660/252'510 ***	La Touillère	80-500-2'000 **	-do-	-do-
582'765/252'375 ***	L'Ante	200-800-1'400 ***	G Porrentruy	Austritt aus Vogesensanden
584'225/252'715 ***	Les Nods	700-2'000-4'000 ***	G Porrentruy La Touillère	ST Oxfordien. Bruch
583'370/252'650 **	Chertemps	100-250-2'000 **	G Miécourt	ST Oxfordien. Bruch
584'935/252'800 **	Scholis-en-haut	50-250-5'000 *	P Hof Mont Lucelle	ST Natica-Horizont
584'520/253'395 ***	- (Fontaine)	0-25 *	P Fontaine-dessous	ST Oxfordien
584'320/253'725 *	- (Fontaine)	0-100 *	P Fontaine-dessus	ST Oxfordien. Bruch

584'220/253'650 **	_ (Fontaine)	0_25 *	g	ST Oxfordien
Chevenez				
564'740/246'855 **	_ (Vacherie_ dessous)	weniger als 5 *	U	
564'810/246'920 *	_do_	weniger als 5 *	U	
564'820/247'110 ***	Libécourt	50_200_500 **	G Fahy Rocourt	ST Virgula_Mergel (?) Bruch
564'870/247'180 *	_ (Libécourt)	weniger als 5 *	U	
565'310/247'690 *	Le Pichoux de la Louvière	10_20_50 *	G Chevenez	ST Virgula_Mergel (?)
565'595/247'470 565'600/247'550 565'650/247'485	Fontaine_l'Er_ mite	50_150_500 **	_do_	UG ST Virgula_Mergel
Quellgruppe 566'115/246'910	Pré Feusier (en Chexbres)	10_80_400 *	G Bure	ST Opalinustone (?), von Gehängeschutt überdeckt
566'125/246'520 *	Pré Chapuis (en Chexbres)	10_80_300 **	G Grandfontaine	ST Opalinustone (?) von Gehängeschutt überdeckt
Diverse Quellen 566'940/248'150	à Bôs des graind Vies	25_10'000 *	g Chevenez U	ST Pterocera_Mergel und Natica_Horizont. Bruch
567'150/249'710 *	La Fontenatte	2_20 *	g Chevenez	ST Pterocera_Mergel
Diverse Quellen 567'690/247'860	Les Sources (Combe de Varuz)	5_20_50 ** 15_100_300 **	U G Chevenez	ST _do_
568'070/247'740 **	Pré de Monnin	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	
Coeuve				
574'080/255'080 *	Dô Coeuvatte	10_30_200 *	g Coeuve	ST Natica_Horizont
574'290/255'990 **	Fontaine Noirat Emil	2_10_100 *	g Coeuve (auf_ gelassen	ST _do_
574'450/255'800 **	Fontaine du Milieu	2_10_50 *	g Coeuve	ST _do_
574'600/257'030 **	Dô_le_Bôs	20_80_300 *	U	ST Natica_Horizont. Bruch?
575'140/256'900 ***	Fontaine de Beurnevésin	20_60_300 *	g Weidbrunnen	ST _do_
Cornol				
578'280/250'130 ***	St. Gélin (St. Gilles)	25_200 *	P Hof + Villa St. Gélin	Austritt aus tertiären Sedimenten
578'875/250'520 *	Le Breuil E	5_200 *	U	_do_
578'620/250'500 *	Le Breuil W	5_100 *	U	Austritt aus tertiären Sedimenten
579'360/250'480 **	Vieille Motié	5_250 *	g chez Baume	UG
579'420/250'190 *	Roche Bourquin	0_50 *	G Niederdruck_ netz Cornol	ST Oxfordien
579'550/250'130 *	Champs Mariattes	0_50 *	G _do_	ST _do_
579'790/250'160 *	Les Marnières (Bois d'Ecré)	10_200 **	G _do_	ST _do_
579'820/249'790 **	Fouille Gerber		G Nieder_ + Hochdrucknetz Cornol	Sod im Dogger
579'860/249'820 **	La Creuse	100_300_1'000 **	G Niederdruck_ netz Cornol	ST Oxfordien? UG
579'450/249'020 *		0_25 *	P Hof Mont Terri (M.dessous)	ST Opalinustone (N_Schenkel)
579'550/249'520 *	Fontaine les Esserts (La Thio)	15_200 **	G Hochdruck_ netz Cornol	_do_
579'610/249'270 *		0_25 *	P Hof La Tiau	_do_
579'650/248'910 *	_ (Sous le Bois)	0_25 *	U	ST Keuper (Kern der Mont Terri_Antiklinale)

579'655/248'835 **	- -do-	0-25 *	U	-do-
Diverse Quellen 580'300/248'800	La Ronde-Faulx (La Montagne- Sous les Roches)		G Hochdruck- netz Cornol	ST Keuper und Opalinustone (S-Schenkel)
580'150/249'350 580'060/249'560 *	Essert-Ali (La Gypsière)	5-40-200 *	G Nieder- + Hochdrucknetz Cornol	ST Keuper (Kern der Mont Terri-Antiklinale)
580'650/249'600 580'715/249'430 *	- (Pommeret)	0-50 0-25 *	g Weidbrunnen U	-do-
579'420/251'925 *		5-250 *	P Le Fâtre- dessous	Austritt aus Alluvionen, ev. aus Vogesensanden
579'460/252'050 *	- (Le Fâtre)	5-100 *	U	-do-
Courchavon				
569'290/254'230 *	Les Comprenez	10-50-200 **	G Mormont	ST Natica-Horizont
569'790/254'355 ***		5-100 *	g Mormont	ST -do-
569'925/254'490 ***		5-100 *	g Weidbrunnen	ST -do-
570'120/254'660 ***		0-25 *	U	ST -do-
569'835/253'030 ***	Le Varieu (ob. Quelle)	25-150-600 **	G Porrentruy	ST -do-
569'970/253'170 *	Le Varieu (unt. Quelle)	5-20-60 *	U	ST -do-
570'720/254'100 ***	- (Bois de Sapins)	weniger als 5 *	U	ST -do-
570'425/254'580 ***	Le Fahy de Roûene	20-80-250 **	G Courchavon	Austritt aus ob. Rauracien Bruch?
570'945/254'815 ***	- (Le Poirerat)	weniger als 5 *	g	ST Natica-Horizont
571'085/254'625 ***		0-25-120 *	g Courchavon	ST Oxfordien. Bruch
571'185/254'230 **		5-25-120 *	U	ST -do-
571'230/254'015 ***		5-1'000 *	U	ST -do-
571'380/254'750 *	- (Le gros Prés)	0-5'000 *	U	KS
571'790/254'800 ***	- (Les Réchennes)	0-25 *	g Weidbrunnen	ST Natica-Horizont
Courgenay				
573'950/251'070 **	Le Voyeboeuf (Bied)	1'200-5'000- 40'000 **	U	ST Natica-Horizont
Diverse Quellen 574'520/246'860	Vacherie Mouillard		P Vacherie Mouillard g Weidbrunnen U	ST Opalinustone (Kern der Mont Terri-Antiklinale)
Diverse Quellen 575'700/247'250	Le Toinou		U	Austritt aus unt. Dogger. Bruch
575'440/247'710 **	- (En lai Tschèusse)	5-30-500 *	g Weidstall (lange Zulei- tung)	UG
575'450/247'860 *		weniger als 5 *	U	ST Pterocera-Mergel?
576'250/248'400 *	- (Les Ecos)	5-50 *	P Sous Plainmont	UG
576'310/248'830 **	- (Sous Plain- mont)	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	ST Septarienton, ev. Pterocera-Mergel
576'390/249'125 **	La Doux (Sous Plainmont)	10-50-200 *	G Courgenay	-do-
577'120/248'375 *	Tunnel de la Croix	160-400-500 **	G -do-	ST Opalinustone
577'110/249'190 ***	- (Le Martinet)	5-100 *	U	ST Septarienton

577'220/249'030 *	La Bailli (Le Martinet)	0-100 *	U	UG ST Septarienton?
577'300/249'030 *	- (Le Martinet)	weniger als 5 *	P Hof Le Martinet	-do-
576'900/247'530 ***	Sur Plainmont	4-10-100 **	P Hof Sur Plain-mont	ST Oxfordien
577'100/247'590 577'410/247'260 577'225/247'490 **	- (Pré Piérion)	0-1'000 *	U U P Sur la Croix	ST Oxfordien, von Schutt überdeckt
Diverse Quellen 577'410/247'700	Le Pichou	15-80-500 **	G Courtemautruy	ST Opalinustone (S-Schenkel)
Diverse Quellen 577'700/248'100	En Voiré	5-1'000 *	U	ST Opalinustone (N-Schenkel)
Diverse Quellen	Kessel Derrière M. Terri		U	ST Keuper und Opalinustone (Kern M.Terri-Antiklinale)
578'000/247'900 **	- (En Méchaimé)	weniger als 5 *	g	ST Opalinustone (S-Schenkel)
578'770/247'850 **	- (Les Efougelles)	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	-do-
578'820/248'800 **	- (Mont Terri)	weniger als 5 *	P Hof Derrière Mont Terri	ST Opalinustone (N-Schenkel)
578'950/248'620 **	- (Derrière M. Terri)	5-1'000 *	P -do-	-do-
579'300/248'200 *	- (Pré Bachat)	5-100 *	P Sous le Bois (M.dessus)	ST Opalinustone (S-Schenkel)
Diverse Quellen 578'100/249'300	Le Mennelet	75-300-1'000 **	G Courgenay	UG ST Oxfordien
577'710/249'740 577'775/249'720 577'820/249'680 *		0-50 *	P Mühle Paplemont	UG Austritt aus Molasse alsacienne
577'970/249'930 ***		weniger als 5 *	P Hof Paplemont (aufgelassen)	-do-
578'125/249'610 **	Champs Grains	2-50 *	P Champs Grains	UG ST Oxfordien
576'730/250'890 *	- (Chêne brûlé)	5-25 *	P Hof Pré au Prince	Wasserführende Kiesschicht in Alluvionen

Courtedoux

568'010/252'460 **	La Pouche	0-1'000 *	U	KS

Courtemaîche

568'550/256'250	Le Vâloin	weniger als 5 *	P Hof Vâloin (aufgelassen)	ST Natica-Horizont
569'040/255'300 569'030/255'000 *	- (Varmen)	0-30 *	U	ST -do-
Diverse Quellen 569'420/255'685	Varmen	2-100-1'000 **	G Courtemaîche	ST Natica-Horizont
569'940/257'635 ***	La Favergeatte	80-500-20'000 *	P Grandgourt	ST Oxfordien
570'380/257'275 ***	Chapelle St.Symphorien	weniger als 5 *	U	ST -do-
570'515/256'830 ***	La Fontaine (du Bas, Cramatte)	1'300-2'000-8'000 **	U	ST -do-
571'585/255'430 **	Matala	2-100-500 **	G Courtemaîche	ST Natica-Horizont. Bruch?
572'140/256'000 ***	Combe de Coeuve	5-100-250 **	G Montignez	ST Natica-Horizont

Damphreux

574'755/258'110 ***		5-250 *	g Damphreux (aufgelassen)	
575'400/258'130 *	- (Tschièvre moûetche)	weniger als 5 *	g Weidbrunnen	ST Pterocera-Mergel
575'635/258'315 ***	- -do-	5-100 *	U	ST -do-

Damvant				
558'120/245'820 *	Bois Juré	2-15-100 **	G Damvant	ST Oxfordien?
558'680/246'000 *	Les Auges	2-30-100 **	G Damvant	ST -do-
559'070/247'290 559'180/247'170 559'210/247'210 *		weniger als 5 *	g Damvant g Damvant (aufgelassen)	ST Natica-Horizont?
Fontenais				
572'940/250'450 ***	Bonne Fontaine (Bacavoine)	1'500-5'000- 30'000 *	G Fontenais	ST Natica-Horizont
Diverse Quellen 570'970/247'580	Calabri-du-Bas (Le Bétchailat)	3-80-400 **	G Fontenais (aufgelassen)	ST Oxfordien (N-Schenkel)
571'780/247'330 **	Calabri-du-Haut (Pré Feuillet)	5-80-200 *	G Fontenais	ST -do-
Diverse Quellen 572'900/246'850	En Brère (ob. Quellen)	0-25-200 *	G Villars	ST Opalinustone?
572'935/247'260 *	En Brère (unt. Quelle)	0-100 *	G Villars	ST Oxfordien (N-Schenkel)
573'420/247'915 *	La Doux (Côte des Gez)	1-10-80 *	G Villars	ST Pterocera-Mergel
Fregiécourt				
580'575/250'660 *	La Valletaine	20-100-1'000 **	G Fregiécourt	UG Vorfalten von Fregié- court
581'000/250'875 *	Essert-la-Ville	1-20-100 *	U	-do-
581'250/250'845 **	La Golatte	2-20-200 *	U	-do-
581'640/251'200 **	S. de Fregiécourt	200-800-5'000 **	G Alle Bonfol	ST Pterocera-Mergel
581'960/251'890 **	Les Aidges	2-10-50 *	G Miécourt (aufgelassen)	ST -do-
582'130/250'750 *	Essert-Valtet	1-20 *	g	CZ
Grandfontaine				
562'425/249'045 ***	S. de Grand- fontaine	0-1'000 *	g Grandfontaine	KS ST Natica-Horizont
562'660/249'580 ***		weniger als 5 *	U	ST -do-
Lugnez				
573'160/259'930 ***	- (Zoll)	80-3'000 *	U	ST Oxfordien. Bruch
573'200/259'860 ***	- -do-	0-10'000 *	U	KS
573'690/259'730 ***		80-4'000 *	U	ST Oxfordien. Bruch
574'130/259'670 574'210/259'560 *		weniger als 5 *	U	ST Natica-Horizont
Diverse Quellen 574'480/259'060	Le Breuil	25-5'000 *	U	ST Pterocera-Mergel
574'800/259'780 ***	Chapelle St. Imier	0-25 *	U	
575'630/259'985 **		weniger als 5 *	U	
Montignez				
571'390/259'700 ***	S. de Montignez	0-25 *	g Montignez (aufgelassen)	ST Natica-Horizont
Miécourt				
Diverse Quellen 580'470/252'950	Rue du Moulin	5-20-100 *	g Miécourt	Wasserführende Kiesschicht in Alluvionen
580'500/253'150 *		2-5-20 *	U	-do-

Pleujouse

582'540/251'220 582'480/251'400 *	_ (Vers les Ponts)	0_25 *	g PTT P 2 Wohnhäuser	Austritt aus Vogesensanden
582'690/251'160 *	Les Oeuchattes	0_25 *	g Punkt 544	_do_
582'790/251'400 *		0_25 *	g Gindrat Catherine	_do_
582'860/251'325 **	Puit (Sur la Fontaine)	weniger als 5 *	g	_do_
582'950/251'185 **	La Côte (Au des_ sous du Château)	2_20_100 *	g	CZ ST Oxfordien
583'500/251'425 *	S. de M. le Maire (Les Grands Prés)	0_25 *	g	CZ ST Opalinustone
583'670/251'330 **	Vieux Ban	0_20_30 **	G Pleujouse	CZ
583'640/251'480 ***	Pâturage (Sous la Chaux, La Périère)	1_10_80 **	G _do_	CZ
Diverse Quellen	_ (Bois Juré)		U	CZ ST Opalinustone + Oxfordien

Porrentruy

572'280/251'795 ***	_ (Flussbett Creujenat, Entre_ prise Masset)	5_200 *	U	Grundwasseraustritt aus Alluvionen?
572'410/251'865 ***	La Chaumont	30_500_5'000 *	U	ST Pterocera_Mergel
572'590/251'860 ***	La Beuchire	2'000_10'000_ 50'000 *	U	ST _do_
573'190/252'820 ***	Le Pâquis	500_1'000_5'000 *	U	ST Natica_Horizont
573'260/252'890 ***	Le Betteraz	6'000_10'000_ 40'000 **	U	ST _do_
572'930/253'260 *		weniger als 5 *	U	
572'980/253'110 *	_ (Entreprise Parietti+Gindrat)	5_100 *	T	ST Natica_Horizont
573'310/253'420 **	Fontaine St. Nicolas	5_30_200 *	g	ST _do_
573'340/253'260 ***		0_4'000 *	U	ST _do_
571'990/254'290 **	Combe Sarmière	0_25 *	P SBB Pont d'Able	ST Natica_Horizont

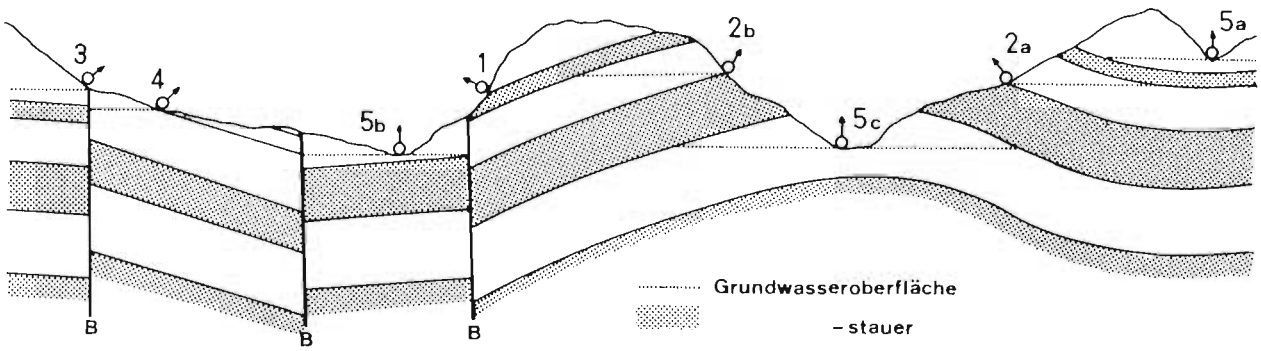
Réclère

560'950/247'330 561'060/247'430 ***	S. de Réclère	0_25 weniger als 5 *	g Réclère g (aufgelassen)	ST Natica_Horizont
561'285/246'285 *		weniger als 5 *	U	
561'395/245'300 561'510/245'280 ***	Montavon	weniger als 5 *	g Hof Montavon	ST Oxfordien

Roche d'Or

562'280/245'400 *		5_50 *	P Hof La Vaux	UG ST Oxfordien
562'980/245'690 **	Les Voillattes	3_40_100 **	G Réclère SEHA	_do_
563'090/245'875 ***	Les Grands Prés	9_80_300 **	G _do_	ST Oxfordien. Von Gehänge_ schutt überdeckt
563'790/246'440 563'840/246'450 **		weniger als 5 *	U	UG ST Oxfordien
563'850/246'260 **	Le Pâquis	0_20_100 **	G Roche d'Or	

564'270/246'545 564'360/246'430 *	- (Vacherie- dessous)	5-50 weniger als 5 *	U P Vach.dessous	
564'570/245'680 *		weniger als 5 *	P La Combe (aufgelassen)	
564'580/246'000 ***	- (Vacherie- dessus)	weniger als 5 *	g (aufgelassen)	
Rocourt				
563'535/248'655 ***	S. de Rocourt	weniger als 5 *	g (aufgelassen)	ST Natica-Horizont
Vendlincourt				
578'120/255'580 ***	La Vendline	600-2'000-20'000 **	G Syndicat Eaux Vendline	ST Pterocera-Mergel
577'625/256'500 ***	Combe aux Chiens	5-20-50 *	g Weidbrunnen	ST -do-

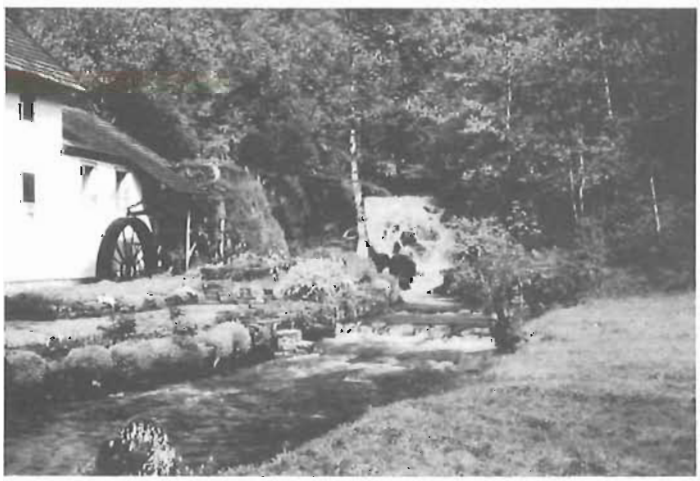


Figur 68
Entstehung von Festgesteinsquellen

1. Schichtquelle i.e.S. mit absteigendem Schichtwasser
2. Überfallquelle über einer ausstreichenden undurchlässigen stratigraphischen Einheit,
   a durch Synklinale bedingt
   b bei Isoklinalstruktur durch eine mit Tonen, Mergeln oder Lehmen ausgepflästerte Verwerfung (B) bedingt
3. Überfallquelle an einer mit undurchlässigem Material ausgepflästerten Verwerfung («Verwerfungsquelle»)
4. Überfallquelle, beim Ausstreichen einer undurchlässigen Deckschicht austretend
5. Stauquelle an der riefstmöglichen Austrittstelle im Talgrund (Quelltopf),
   a durch Synklinale bedingt
   b durch zwei mit undurchlässigem Material ausgepflästerte Verwerfungen bedingt
   c durch Synklinale und Bruch bedingt

Figur 69
Le Betteraz (Trou des Autrichiens). Ein Quelltopf in der Prairie d'Able unterhalb Porrentruy

Figur 70
Quelltopf nördlich Cœuve (Fontaine de Beurnevésin). Das Wasser tritt an der tiefstmöglichen Stelle aus und wird hierauf in einer Röhre in die Cœuvatte geleitet



Figur 71
Source de la Doue östlich Glay, eine Karstquelle am Westabhang des Plateau von Fahy. Sie schüttet normalerweise einige 10000 l/Min., in extremen Perioden einige 100000 l/Min.

Verbindungen zu einem unteren Stockwerk möglich. Diese können derart eng sein, dass sie nur einen beschränkten Anteil des darüber liegenden Wassers durchlassen und deshalb schwer erkennbar sind.

Dort, wo eine wenig durchlässige lithologische Einheit ausstreicht, können sich direkt über dieser an den tiefsten Anschnittpunkten Quellen, manchmal Quellhorizonte bilden. Wenn die Schichten gegen das Tal einfallen, fliesst das Wasser im Grundwasserleiter abwärts; wir sprechen von Schichtquellen im engeren Sinne mit absteigendem Wasser. Fallen sie jedoch gegen den Berg ein, wird ein nach unten geschlossenes Becken aufgefüllt und zum Überlaufen gebracht (Überfallquellen). Besonders häufig sind in der Ajoie die sogenannten Quelltöpfe in den Talböden. Sie verdanken ihre Entstehung einem in der Tiefe liegenden Karstwasserstauer. Dieser staut Grundwasser auf, das am tiefsten Punkt, bei dem das aufgestaute Grundwasserbecken angeschnitten wird, überläuft (vergleiche Fig. 68).

3.2.1.1 Quellen über den Mergeln des Keupers und den Opalinustonen

In der Combe, die von La Malcôte in westsüdwestlicher Richtung über La Gypsière und Derrière Mont Terri nach Voiré (südlich Courtemautruy) streicht, ist der Kern der nach Norden überkippten Mont Terri-Antiklinale bis auf die Mergel des Keupers aufgerissen. Die Opalinustone finden sich als Mantel um diese herum, zudem im Kessel von Grangiéron (nördlich Les Rangiers), bei Asuel und bei Vacherie-Mouillard sowie in den Kesseln von Sous les Roches-Pietchiesson und Sous les Roches südsüdwestlich Chevenez.

Diese beiden Schichtkomplexe sind die Ursache einer ganzen Reihe von kleineren Quellen, deren Einzugsgebiete durchwegs in der Nähe der Wasseraustritte zu suchen sind. In feuchten Perioden gleicht das Weideland einem Sumpfgebiet, in dem bei einer Vielzahl von Löchern Wasser austritt. In Trockenzeiten geht die Schüttung dieser Quellen rasch zurück; sehr oft versiegen sie vollständig. Nur gerade die ergiebigsten dienen einer Dorfwasserversorgung:

La Golatte in Asuel (Service des Eaux de la Vendline)
Pré Martin in Asuel (Neue Häuser des Weilers La Malcôte)
Cras Collon in Asuel (Pleujouse)
Verschiedene Quellen im Kessel von Sous-les-Roches (Bressaucourt)
Verschiedene Quellen im Gebiet von Pietchiesson (Courtedoux)
Quellgruppe La Ronde Faulx (Hochdruckreservoir Cornol)
Fontaine les Essert in Cornol (Hochdruckreservoir Cornol)
Essert-Ali in Cornol (Niederdruckreservoir Cornol)
Le Pichou in Courgenay (Courtemautruy)
Tunnel de la Croix in Courgenay (Courgenay)

3.2.1.2 Quellen über den Renggeri-Tonen des Oxfordien

Die Renggeri-Tone sind in feuchtem Zustand praktisch undurchlässig. Wegen ihrem grossen Porengehalt vermögen sie wohl sehr viel Wasser aufzunehmen, erlauben dagegen aber wegen der geringen Porengrösse nahezu keine Wasserbewegung.

Im Faltenjura ist die zwischen dem Nordschenkel des Oxfordien und dem Lias als Einzugsgebiet von Quellen in Frage kommende Zone sehr schmal. Zudem ist vereinzelt eine Ausquetschung des Oxfordien festzustellen. Aus diesen Gründen sind die vorhandenen Wasseraustritte eher bescheiden:

Source du Pâturage in Pleujouse
La Creuse in Cornol
Le Mennelet in Courgenay
Sources de Calabri in Fontenais
Les grands Prés, Les Voillattes und Le Pâquis in Roche d'Or.

Der Südschenkel liegt zum grössten Teil ausserhalb des Untersuchungsgebietes. Innerhalb finden sich lediglich die recht bescheidenen Quellen im Gebiet von Pré Piérion-Le Pichou, die zum Teil für die Höfe Sur Plainmont und Sur la Croix gefasst sind.

Im Tafelland der Ajoie dichtet das Oxfordien die wasserführenden Malmkalke von den liegenden Schichten sehr gut ab. Eine Zirkulation von oben nach unten oder umgekehrt wäre bei Verwerfungen mit grosser Sprunghöhe denkbar. Die nachstehenden Quellen im untersten Allaine-Tal dürften auf ihre aufstauende Wirkung zurückzuführen sein:

Le Saivu und La Font in Boncourt
Les Cotaies und Cotaies-Hügli in Buix
La Favergeatte in Grandgourt
Source de la Fontaine in Courtemaiche.

Wie weit allerdings auch Brüche mit hineinspielen, ist heute mangels Unterlagen noch nicht zu beantworten.

3.2.1.3 Quellen über dem Natica-Horizont des Sequanien

Auch diese ziemlich fetten Mergel, die in der älteren Literatur als zone astartienne bezeichnet werden, sind nahezu undurchlässig. Sie bilden unter den durchlässigeren Humeralisschichten einen guten Quellhorizont, der von verschiedenen Geologen zum Kartieren der Schichtgrenzen herangezogen wurde.

Im eigentlichen Faltenjura gelten dieselben Bemerkungen, wie sie bereits für die Renggeri-Tone gemacht wurden. Das Einzugsgebiet ist zu schmal, als dass es für die Entstehung von grösseren Quellen reichen würde. Einzig östlich Charmoille, in der Caquerelle-Zone, haben wir mit den gefassten Quellen Scholis-en-haut (Geburtsstätte der Allaine), La Touillère und Devant le Val eine Ausnahme.

Dagegen erlangen die Natica-Mergel im Tafelland der Ajoie eine grosse Bedeutung. Am Südrand des Banné-Gewölbes wird der von Süden herkommende Festgesteins-Grundwasserstrom zum Aufsteigen gezwungen. Es entstehen die beiden ergiebigen Quellen von Fontenais und Voyebœuf (Bied). Während die letztere nur dem Hof Noires Terres dient, pumpt man in Fontenais bis zu 2200 l/Min. Nur äusserst selten vermag die Quelle diese Menge nicht zu liefern. Unterhalb des Gaswerkes von Porrentruy taucht dieser Karstwasserstauer erneut auf und lässt einige Wasseraustritte entstehen, unter denen Le Betteraz (Trou des Autrichiens) mit einem Erguss von mindestens 6000 l/Min. die herausragende Rolle einnimmt. Am Ostabfall des Plateaus von Bure schliesslich entspringen eine ganze Reihe von kleineren und mittleren Quellen (Varmen in Courtemaîche, Source du Varieu in Courchavon, Source des Comprenez in Mormont, verschiedene Quellen in Mormont u.a.), deren Wasser entweder gefasst wird oder dann bereits nach kurzer Zeit im kalkigen Untergrund erneut versickert.

3.2.1.4 Quellen über den Pterocera-Mergeln des Kimmeridgien

Diese Mergel erscheinen nicht als sehr deutlicher Quellhorizont. Sie sind vermutlich nicht fett genug, um vollständig abzudichten. Trotzdem finden sich eine ganze Reihe von Quellen:

La Doux in Courgenay
La Doux (Côte des Gez) in Fontenais
Les Sources, Les grandes Vies (Côte Rigolat) und Les Fontenattes in Chevenez
La Beuchire, La Chaumont, La Favergeatte u.a. in Porrentruy.

Bei den letzteren handelt es sich gesamthaft gesehen um die ergiebigsten Quellen der Ajoie. Da sie verhältnismässig stark verunreinigt sind, fliessen sie ungenützt in die Allaine.

3.2.1.5 Quellen über den Virgula-Mergeln des Portlandien

Die zone virgulienne wäre an sich zur Bildung eines Quellhorizontes sehr geeignet, da deren Mergel ebenfalls sehr fett sind. Da sie jedoch auf die höheren Teile des Tafellandes beschränkt bleiben und nur von einer relativ dünnen Kalkschicht überdeckt werden, kommen sie hiefür kaum in Frage. Eine Ausnahme bilden die Quellen Libécourt, Pichoux de la Louvière und Fontaine l'Ermite, die auf Gemeinde-

gebiet von Chevenez liegen. Da sie sich nahe an einer Verwerfung bzw. nahe an der Überschiebungszone Faltenjura-Tafeljura befinden, ist eine endgültige Beurteilung schwierig. Jedenfalls dürfte das Einzugsgebiet dieser Wasseraustritte in den Faltenjura hinüberreichen.

3.2.1.6 Quellen über den tertiären und quartären Mergeln, Tonen und ähnlichen Gesteinen

Diese Sedimente sind – wie aus dem Kapitel über die geologischen Verhältnisse hervorgeht – recht unterschiedlich zusammengesetzt. Da jedoch für die Nutzung geeignete Grundwasservorkommen grösstenteils fehlen, erübrigt sich eine feinere Klassifikation.

Einzig auf die Hipparionsande von Bonfol und Charmoille sei speziell verwiesen. Diese sind an einzelnen Stellen völlig undurchlässig; andere enthalten Grundwasser, dessen Menge in der Regel gering ist. Auffallendste Quelle dieser Gruppe ist die Source de l'Ante in Charmoille, die durch die Stadt Porrentruy gefasst wurde. Es handelt sich hier in bezug auf Qualität und konstante Schüttung um die beste Quelle der gesamten Ajoie. Zudem seien erwähnt:

Source Rue du Moulin in Miécourt
La Louvière und Morte-Eau in Alle
Diverse kleinere Quellen in Pleujouse
Diverse kleinere Wasseraustritte im oberen Stadtgebiet von Porrentruy

3.2.1.7 Stauquellen an Verwerfungen

Der grösste Teil dieser Quellen liegt in der Caquerelle-Zone bei Asuel, Pleujouse und Charmoille-La Touillère. Die bedeutendsten heissen:

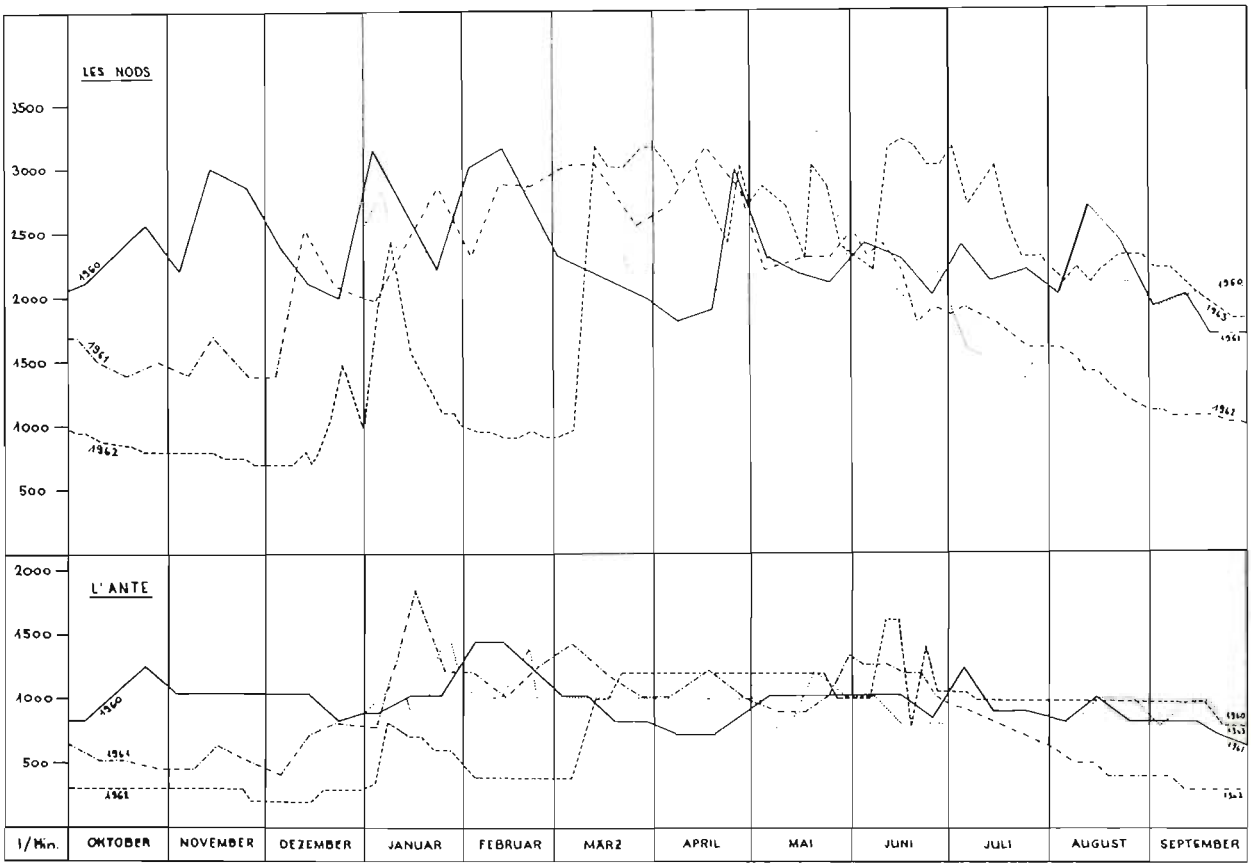
Rière la Roche und Source de la Touillère (La Doub) in Asuel
Les Nods (Scholis-en-bas) oberhalb La Touillère
Chertemps oberhalb Charmoille

Weniger geklärt sind die Verhältnisse im Tafelland zwischen Allaine und Vendline, da das ganze Gebiet sehr wenig Aufschlüsse aufweist und grösstenteils mit Verwitterungslehmen oder Humus überdeckt ist. In vielen Fällen lässt sich aber der Standort einer Quelle nur durch das Vorhandensein einer stauend wirkenden, verdeckten tektonischen Linie erklären, da weder Oberflächentopographie noch eine undurchlässige lithologische Einheit dafür verantwortlich gemacht werden können. Es sind dies im besonderen:

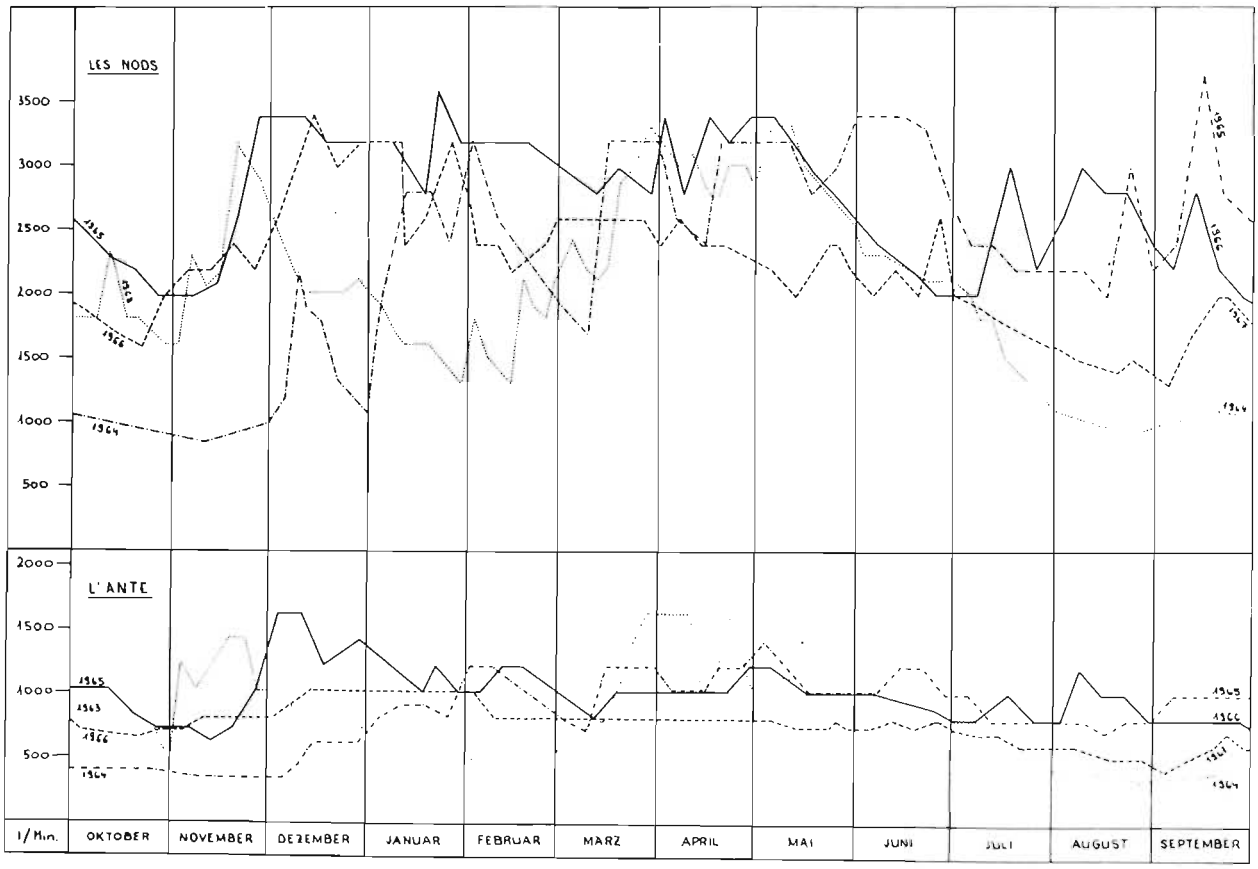
Source Ledermann oberhalb Beurnevésin
Fontaine de Beurnevésin und Dô le Bôs unterhalb Cœuve
Le Fahy de Roûenne westlich Courchavon
La Mairmitaine und Combe St. Jean unterhalb Buix
Source Locomotive in Boncourt
2 Quellen zwischen Zoll und Dorf Lugnez

3.2.2 LOCKERGESTEINSQUELLEN

Obschon grosse Teile der Mont Terri-Kette mit Gehängeschutt überdeckt sind, finden sich in der Ajoie keine eigentlichen Schuttquellen. Der vorhandene Gehängeschutt weist eine zu geringe Mächtigkeit auf und kommt deshalb für die Speicherung von grösseren Grundwassermengen nicht in Frage. Wenn daraus dennoch Quellen hervortreten, so deshalb, weil oft Grundwasser aus dem Festgestein in die Schuttmassen übertritt und einige 10 m in diesen zirkuliert. Dadurch wird der Standort eines Wasseraustritts, der sein Vorhandensein eigentlich einer undurchlässigen Schicht oder einem Bruch verdankt, um eine gewisse Distanz talabwärts verlegt.



Figur 72 Die Schüttungen der Quellen Les Nods und L'Ante in Charmoille 1960–1963



Figur 73 Die Schüttungen der Quellen Les Nods und L'Ante in Charmoille 1964–1967

3.3 DIE QUELLSCHÜTTUNG

Es fällt auf, dass die Schüttung der meisten Quellen sehr rasch ändern kann. Besonders deutlich wird dies bei denjenigen, die in Trockenzeiten nahezu versiegen. Leider sind nur wenige Unterlagen vorhanden. Einzig die Gemeinde Porrentruy lässt regelmässig die Schüttung der Quellen Les Nods und L'Ante in Charmoille feststellen. Bei den übrigen Zahlen handelt es sich um sporadische Messungen und Schätzungen, wobei diejenigen während Trockenzeiten überwiegen. Grosse Schüttungen registrierte man praktisch überhaupt nicht, da die für die Wasserversorgung verantwortlichen Behörden in der Regel erst dann ein Interesse zeigen und sich Sorgen machen, wenn das kostbare Nass langsam Mangelware wird.

Aus den vorhandenen Messungen geht hervor, dass die meisten Quellen sehr grosse Differenzen zwischen minimalem und maximalem Erguss aufweisen. Bessere Verhältnisse finden sich bei einigen Wasseraustritten, die man schon um die Jahrhundertwende fasste und die offensichtlich über ein grosses Reservoir verfügen, sowie bei einigen Karstquellen, die einem System angehören, das derart funktioniert, dass bei Hochwasser wegen der zu kleinen karsthydrographischen Wegsamkeit nur ein Teil des Wassers, das austreten möchte, den üblichen Ausgang benützt, während der Rest bei einem sogenannten «trou émissif» überläuft.

Gesprächsweise hört man durch die einheimische Bevölkerung immer wieder, dass die Schüttung der Quellen in den letzten 50–100 Jahren zurückgegangen sei. Obschon man derartigen Äusserungen skeptisch gegenüberstehen muss, sind tatsächlich eine Reihe von Quellen bekannt, die früher regelmässig Wasser lieferten, heute aber entweder ganz versiegt sind oder dann eine Schüttung aufweisen, die nur noch ein Bruchteil von der früherer Jahrzehnte darstellt. Der Grund für diese langsame Trockenlegung ist in einigen Fällen auf unglücklich angelegte Fassungsanlagen zurückzuführen, bei denen die abdichtende wasserundurchlässige Schicht verletzt wurde. Meist dürfte jedoch die kalklösende Wirkung des Grundwassers dafür verantwortlich sein. Durch sie erfolgt im Laufe der Zeit eine Vergrösserung der karsthydrographischen Wegsamkeit, die mit einer Tieferlegung des Wasserspiegels verbunden ist und beim Vorliegen besonderer Verhältnisse bis zum vollständigen Versiegen einer Quelle, zuerst in Trockenzeiten, später während des ganzen Jahres, führen kann. Diese Erscheinung betrifft aber nur die an Abhängen entspringenden Quellen. Das dort nicht mehr geschüttete Wasser ist nicht verloren, sondern tritt irgendwo in einem tieferen Stockwerk zu Tage. Der Abnahme der Schüttung bei den Quellen an Talhängen steht demzufolge eine Zunahme der Schüttung bei den Quellen im Talgrund gegenüber.

Leider sind die beiden durch Porrentruy überwachten Quellen für die Ajoie nicht sehr repräsentativ. Vor allem die aus den Vogesensanden austretende Source de l'Ante stellt in mancher Beziehung einen Einzelfall dar. Doch auch Les Nods, die ihre Entstehung dem Oxfordien und einer Verwerfung verdankt, gehört zu denjenigen, die für eine Fassung besonders geeignet waren. Die in den Fig. 72 und 73 aufgetragenen Ergebnisse der Schüttungsmessungen ergeben aber dennoch interessante Feststellungen:

– Die Source de l'Ante zeichnet sich im Laufe von kürzeren Zeitabschnitten durch geringe Schüttungsschwankungen aus, wie sie meines Wissens in der Ajoie sonst nirgends anzutreffen sind. Demgegenüber reagiert Les Nods auf die gefallenen Niederschläge bedeutend rascher und kräftiger. Bereits einige Stunden nach einem heftigen Gewitter lassen sich Trübungen feststellen. Die Schwankungen liegen aber immer noch unter den für die Ajoie üblichen Werten.

– In den Jahren 1960–1968 mass man bei der Source de l'Ante als Minimum 200 l/Min. (Ende November/Anfang Dezember 1962), als Maximum 1850 l/Min. Die entsprechenden Zahlen für die Source des Nods heissen 700 l/Min. bzw. 3600 l/Min. Im Anschluss an den trockenen Sommer 1947 soll die Schüttung gar auf 650 l/Min. zurückgegangen sein. Dies ergibt für die Quelle L'Ante überraschend einen ungünstigeren Schüttungskoeffizienten, nämlich 1 : 9,25 gegenüber 1 : 5,15 (bzw. 1 : 5,53).

– Die kleinen Schüttungen registrierte man in der Regel in den Sommer- und Herbstmonaten. Vereinzelt traten sie auch im Winter auf, wenn der Frost ein Eindringen von Wasser in den Untergrund verhinderte. Die extrem niedrigen Werte stellte man im Herbst 1962 und 1964 fest. Dies ist auf die Trockenperioden, die mehrere Monate dauerten, zurückzuführen.

– Am wenigsten niedrige Werte findet man in den Monaten März, April und Mai.

– Trockenperioden wirken sich erst nach einer gewissen Zeit auf die Schüttung der beiden Quellen aus. Diese geht nur langsam zurück. Umgekehrt genügt ein kräftiger Regen nicht, um einen grossen Anstieg zu bewirken. Offensichtlich müssen die verbrauchten Reserven zuerst neu aufgefüllt werden.

– Die beiden Quellen Les Nods und L'Ante verhalten sich verschieden, so dass es nicht möglich ist, an irgend einem Tag aus der Schüttung der einen Quelle mit sinnvoller Zuverlässigkeit die Schüttung der anderen zu berechnen.

3.4 DIE TEMPERATUR DES QUELLWASSERS

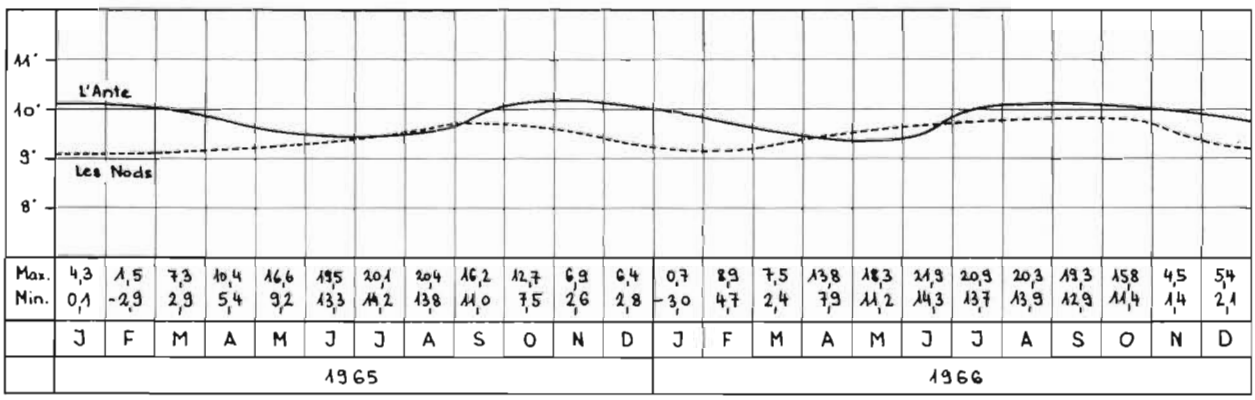
Sämtliche durch den Verfasser in allen Jahreszeiten sporadisch durchgeführten Temperaturmessungen liegen zwischen 7½ und 10½°C. Die Zahlen in den durchgearbeiteten Akten ergaben dasselbe Bild. Nur ganz selten, vor allem im Zusammenhang mit bakteriologischen Analysen, waren niedrigere Werte notiert. Die Nachprüfungen zeigten aber, dass es sich dabei entweder um Messungen in Sammelbrunnstuben, die von der Oberflächentemperatur beeinflusst sind, oder um Mess-Ungenauigkeiten handelte.

Diese Zahlen stimmen gut mit der mittleren Jahrestemperatur überein. Der Wert für Porrentruy, der auf Messungen aus den Jahren 1867–1877 und 1898–1906 beruht und der mit Hilfe der Station Basel-Bernoullianum auf die internationale Periode 1901–1930 reduziert wurde, beträgt 8,7°C.

In den Jahren 1965 und 1966 liessen wir wöchentlich einmal die Temperatur der bereits im vorigen Kapitel näher untersuchten Quellen Les Nods und L'Ante in Charmoille messen. Wie bereits bei den Schüttungen ergaben sich auch hier Unterschiede zwischen den beiden Wasseraustritten. Bei der Source des Nods verlaufen Luft- und Quellwassertemperatur ungefähr synchron. Einzig die höchsten Werte treten etwas verspätet, gegen den Herbst zu, auf.

Ganz anders bei der Quelle L'Ante. Die niedrigsten Temperaturen stellten wir mit einer Verzögerung von rund 5 Monaten gegenüber der Luft zu Beginn des Sommers fest. Erst Anfang August 1965 bzw. Ende Juni 1966 erfolgte ein relativ rascher Temperaturanstieg. Diese Abweichung von einem Jahr zum anderen dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Lufttemperaturen vom Februar bis Juni des zweiten Untersuchungsjahres im Mittel um einige Grad höher lagen als 1965. Eine ähnliche, vielleicht etwas weniger krasse Verzögerung gegenüber der Lufttemperatur ergibt sich für das Maximum, auf das ein sehr langsamer Temperaturabfall während des ganzen Winterhalbjahres folgt.

Die Berechnung der mittleren Jahrestemperatur des Quellwassers ergab für die Source de l'Ante 9,38°C (1965) und 9,42°C (1966). Die entsprechenden Zahlen für die Source des Nods sind in beiden Jahren zufälligerweise gleich gross, nämlich 9,78°C.



Figur 74
Die Temperaturen der Quellen Les Nods und L'Ante in Charmoille. Im oberen Teil der Figur sind die Quelltemperaturen graphisch aufgetragen. Im mittleren Teil sind zum Vergleich die Monatsmittel der maximalen und der minimalen täglichen Lufttemperaturen von Joncherey (bei Delle) festgehalten

4. Der Chemismus des Grundwassers

In den zur Verfügung stehenden Archiven konnten bis zum Frühjahr 1968 die Resultate von rund 150 chemischen Analysen aufgefunden werden, die jedoch oft unvollständig sind und leider nicht durchwegs die ähnlichen Angaben enthalten. Es handelt sich grösstenteils um Einzeluntersuchungen, die im Zusammenhang mit Neufassungen für die Trinkwasserversorgung oder mit Problemen der Abwasserbeseitigung vorgenommen wurden. Dazu kommen die Ergebnisse einiger von mir in Auftrag gegebener Analysen, für deren Ausführung ich dem bernischen Kantonschemiker, Herrn Dr. BAUMGARTNER, und seinen Mitarbeitern meinen aufrichtigen Dank schulde.

In Fig. 75 sind die Resultate der chemischen Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Messung des «natürlichen» Tritium- und Deuteriumgehaltes der Quelle der Vendline in Vendlincourt durch das Kantonale Laboratorium in Bern durchgeführt wurden, graphisch dargestellt.

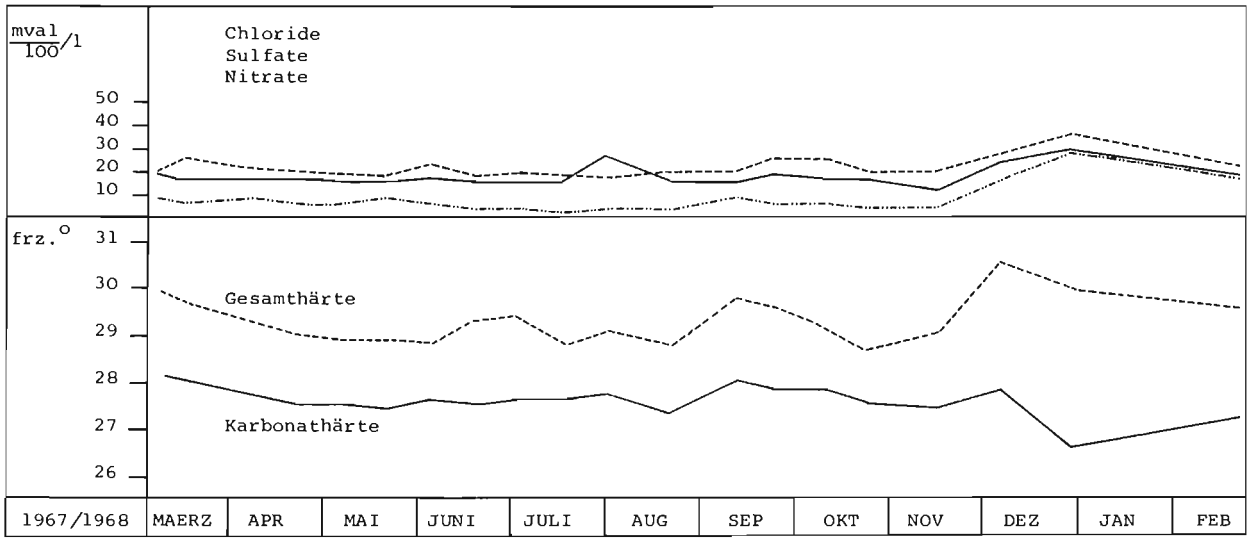
Figur 76 gibt ein Bild über die Veränderlichkeit der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers in der Alluvialebene von Courtemaîche. Sie dient zum Vergleich zwischen dem Grundwasser und den in der Nähe austretenden Quellen.

Bei den Fig. 77 und 78 handelt es sich um die Ergebnisse von Proben, die alle innerhalb von einem oder zwei Tagen erhoben wurden (28./29. Mai 1962 bzw. 2. Juni 1967). Sie orientieren über die Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung einer grösseren Zahl von Quellen und Grundwasser zu demselben Zeitpunkt.

Fig. 79 schliesslich enthält alle übrigen Analysen, wobei diese nicht zeitlich, sondern nach der geographischen Lage geordnet sind. Leider muss man hier einige Vorbehalte anbringen. Die nachträglichen Berechnungen der Ionenbilanzen haben ergeben, dass bei einigen älteren Analysen grössere Differenzen vorhanden sind, die sich nur durch unzulängliche Analysen oder Arbeitsmethoden erklären lassen. Die Aussage «praktisch null» der Untersuchungen von Dr. RIAT und Dr. KOBY ist nicht als quantitative Angabe aufzufassen, sondern bedeutet lediglich, dass der Gehalt an entsprechenden Stoffen in bezug auf die Verwendung als Trinkwasser den Anforderungen entspricht.

In den Aufstellungen der Fig. 75 bis 79 werden die nachstehenden Abkürzungen verwendet:

A	Untersuchung durch: 1 Kantonales Laboratorium in Bern 2 EAWAG in Zürich 3 Dr. G. RIAT in Delémont 4 Dr. F. KOBY in Porrentruy
GH	Gesamthärte in frz.°
CaH	Calciumhärte in frz.°. Die Magnesiumhärte berechnet sich als Differenz zwischen Gesamthärte und Calciumhärte
KH	Karbonathärte
Cl	Chloride in mg Cl^-/l
SO_4	Sulfate in mg SO_4^{--}/l
NO_3	Nitrate in mg NO_3^-/l
Ox	Gehalt an organischen Substanzen, die mit Kaliumpermanganat oxydiert werden können, ausgedrückt in mg $KMnO_4$/l
NO_2	Nitrite in mg NO_2^-/l
NH_3	Freies Ammoniak in mg NH_3/l
Fe	Eisen in mg Fe/l
Mn	Mangan in mg Mn/l
O_2	Sauerstoffgehalt in mg O_2/l
O_2-S	Sauerstoffgehalt in % der theoretischen Sättigung



Figur 75
Chemische Untersuchungen der Quelle La Vendline in Vendlincourt (1967/68), durchgeführt durch das Kantonale Laboratorium in Bern

Name	A	Datum	GH	CaH	KH	Cl	SO_4	NO_3	Ox	NO_2	NH_4	Fe	Mn	O_2	pH
SEHA I	3	7. 8.44			27,0										7,3
SEHA I	3	17. 6.58				10,6	15,0								6,9
Gemeindefassung	1	20. 2.61	29,8	28,3	28,5	4,1	9	3,5	3,0	neg.	0,02	0,035	neg.	4,0	7,1
SEHA I	1	20. 2.61	30,7	29,8	29,5	3,9	10,0	6,0	3,3	neg.	<0,01	0,020	neg.	4,9	7,2
SEHA II	1	20. 2.61	29,1	28,0	27,8	4,0	11	7,2	3,6	neg.	0,03	0,030	neg.	8,3	7,2
SEHA II	3	13.10.61	32,0		30,5		12		9,1	0	pos.				7,1
SEHA I	1	21.12.61	33,2		32,4	6,1	10,8	5,9		neg.	0,02	0,018	neg.		7,2
SEHA II	1	21.12.61	32,8		32,0	5,6	10,8	7,3		neg.	0,05	0,015	neg.		7,2
Gemeindefassung	2	28. 5.62	27,8	27,5	26,2	3,8	10,0	2,8	2,8	<0,001	<0,01	0,03	<0,01	2,5	7,0
SEHA	2	28. 5.62	28,5	28,0	26,5	4,1	11,1	3,2	3,6	<0,001	<0,01	0,02	<0,01	4,4	6,9
SEHA I	1	7. 9.62	28,3		26,2	7,3	11,0	4,8	1,6	pos.	neg.				
SEHA II	1	7. 9.62	28,4		26,6	7,5	11	4,8	1,6	pos.	neg.				
Gemeindefassung	1	17. 3.67	29,4	28,8	28,1	3,6	8	4	1,4	neg.	neg.	0	neg.		
Gemeindefassung	1	3. 4.67	29,4	28,9	28,5	4,1	18	5	2,3	neg.	neg.	0	neg.		
Gemeindefassung	1	18. 4.67	29,5	28,7	28,1	4,5	10	5	2,2	neg.	neg.	0,021	neg.		
Gemeindefassung	1	2. 5.67	29,3	28,7	28,2	5,2	8	5	3,3	neg.	neg.	0	neg.		
Gemeindefassung	1	17. 5.67	30,2	29,4	28,7	5,3	10	5	2,2	neg.	neg.				
Gemeindefassung	1	30. 5.67			28,8	6,0	10	5							
Gemeindefassung	1	13. 6.67	31,3		29,4	5,5	9	5	1,7	neg.	neg.	0,022	neg.		
Gemeindefassung	1	28. 6.67	32,0	31,2	30,2	5,4	8	5							
La Fontaine	1	21.12.61	25,9		24,5	5,9	3,2	13,6		pos.	0,35	0,65	pos.		7,3
La Fontaine	1	7. 9.62	26,4		24,7	7,7	10	3,1	5,1	pos.	0,05				
La Fontaine	1	20. 2.61	27,6	26,4	26,0	4,7	9	8,1	4,0	neg.	0,03				
La Fontaine		27.10.65	28,3		26,6	6	8	10	2,6	pos.	0,1	neg.	neg.		7,9
La Fontaine	2	11. 7.62	26,5	25,5	25,5	5,0	10,6	6,4	8,3	<0,001	<0,01	0,02			7,0
Allaine	1	20. 2.61	29,4	28,0	27,5	5,5	14	10,5	7,3	pos.	0,09				

Figur 76
Änderungen der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers in den Schottern von Courtemaiche

pH pH-Wert
PO_4 Ortho-Phosphate in mg P/l
Si Kieselsäure in mg SiO_2/l
Alk Berechnete Alkalien (Differenz zwischen Ca-Mg-Aequivalent und Summe der Anionen-Aequivalente) in $^1/_{10}$ mval

4.1 DIE VERÄNDERLICHKEIT DER CHEMISCHEN ZUSAMMENSETZUNG IM LAUFE DER ZEIT

Regelmässige chemische Analysen von Quell- oder Grundwasser, die sich über längere Zeiträume erstrecken, fehlen im allgemeinen in der Ajoie. Eine Ausnahme bilden die im Kantonalen Laboratorium in Bern während über einem Jahr durchgeführten Untersuchungen des Quellwassers der Vendline. Wie die Fig. 75 zeigt, schwankt die Gesamthärte unsystematisch zwischen 28,7 und 30,6 frz.°. Die Ganglinien der Nitrate, Sulfate und Chloride sind nahezu konstant. Einzig vom 15. November bis zum 27. Dezember 1967 erfolgt ein auffallend paralleler Anstieg, der mit einem gleichzeitig erfolgenden, wegen der Beibehaltung der Summe der Anionen verständlichen Abfall der Karbonathärte verbunden ist.
Von den übrigen Grundwasseraustritten im Untersuchungsgebiet sind weitaus am meisten Resultate über das Grundwasser in der Alluvialebene von Courtemaîche vorhanden, die ebenfalls einige Feststellungen zulassen. So variieren:

die Gesamthärte von 27¾ bis 33,2 frz.°
die Karbonathärte von 26,2 bis 32,0 frz.°
der Chloridgehalt von 3,6 bis 10,6 mg Cl^-/l
die Sulfate von 8 bis 18 mg SO_4^{--}/l
die Nitrate von 2,8 bis 7,3 mg NO_3^-/l

Da die verhältnismässig wenigen Analysen aus verschiedenen Jahren stammen, wäre die Vertretung einer durch die Jahreszeiten oder die Niederschläge verursachten Schwankung nicht gesichert.

Derart unterschiedliche Beobachtungen sind nicht neu. So wurden bei der Karstquelle in Cormoret (St. Immertal) in den Jahren 1967/68 Schwankungen der Gesamthärte zwischen 21,5 und 26 frz.° gemessen. Die von BAUER über fünf Jahre durchgeführte tägliche Bestimmung der Härte der Wasser von sieben Karstquellen im Dachsteinmassiv ergab, dass diese bis über 30% um den langfristigen Mittelwert pendeln können. Die Minimalwerte traten dabei während der Schneeschmelze bei grossen Quellschüttungen, die Maximalwerte im Spätwinter unmittelbar vor derselben bei sehr kleiner Wasserführung auf.

Die Gründe für die Schwankungen der Gesamthärte dürften in der Ajoie in erster Linie bei den Niederschlägen (und damit bei der Schüttung der Quellen) zu suchen sein. Ebenfalls vorhanden ist nach meiner Auffassung der Einfluss der Kleinstlebewesen. Nach der Kälteperiode des Winters bzw. nach der Schneeschmelze beginnt die biologisch aktive Humusschicht wegen des Temperaturanstiegs einerseits und der Wiederherstellung der krümeligen Struktur des Bodens andererseits vermehrt die organischen Abbau- und Verwesungsprodukte in Kohlendioxyd und Wasser zu oxydieren, worauf sich $CaCO_3$ zu $Ca(HCO_3)_2$ löst. Die dadurch entstehenden Schwankungen werden aber durch die grösseren Ausschläge, die durch die Niederschläge verursacht werden, überdeckt. Näheres liesse sich nur durch tägliche Härtebestimmungen und Messungen der Quellschüttungen, der Temperaturen, der Niederschlagsintensitäten und -mengen im Einzugsgebiet feststellen.

4.2 DIE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG EINER GROSSEN ZAHL VON QUELLEN UND GRUNDWASSER ZU DEMSELBEN ZEITPUNKT

Sowohl Fig. 77 als auch Fig. 78 fallen durch die relative Eintönigkeit der Analysenergebnisse auf. Die Unterschiede von einer Quelle zur anderen sind mit einer Ausnahme kleiner als die in Fig. 76 beobachteten Veränderungen im Laufe der Zeit.

Name	GH	CaH	KH	Cl	SO_4	NO_3	Ox	NO_2	NH_4	Fe	Mn	O_2	PO_4	Si
Courtemaîche SEHA	28,5	28,0	26,5	4,1	11,1	3,2	3,6	<0,001	<0,01	0,02	<0,01	4,4 46	0,013	5,0
Courtemaîche Gemeindefassung	27,8	27,5	26,3	3,8	10,0	2,8	2,8	<0,001	<0,01	0,03	<0,01	2,5 28	0,009	5,5
Buix La Mairmitaine	27,0	26,5	26,0	2,4	7,9	0,8	5,4	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,2 109	0,014	5,5
Buix Cotaies-Hügli	26,3	25,5	24,5	4,3	5,0	4,8	3,6	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,3 118	0,005	4,5
Buix Les Cotaies W	24,5	24,0	23,0	2,5	5,2	0,5	3,2	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,5 119	0,001	4,0
Buix Les Cotaies E	28,3	27,3	26,5	4,7	4,8	6,0	3,8	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,6 115	0,051	4,5
Grandgourt La Favergeatte	25,0	24,3	23,5	2,1	5,2	0,5	2,4	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,3 112	0,023	4,0
Boncourt Le Saivu	26,8	26,0	25,0	4,0	5,1	4,0	2,8	0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,2 106	0,005	4,0
Boncourt Les Lômennes	26,8	26,3	25,5	5,0	10,9	2,4	3,3	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	6,8 69	0,018	5,0
Courtemaîche La Chapelle	26,3	26,3	25,0	2,0		0,5	3,8	0,001	<0,01	<0,01	<0,01		0,018	4,0
Buix SBB	27,3	25,5	25,5	3,9	10,2	1,2	10,1	0,015	0,45	0,05	<0,01		0,072	3,0

Figur 77
Untersuchung einer grösseren Zahl von Quellen und Grundwasser durch die EAWAG im Zusammenhang mit der Abwasserbeseitigung des Waffenplatzes Bure (28./29. 5. 1965)

Name			GH	CaH	MgH	Alk	KH	Cl	SO_4	NO_3
Quelle	Le Moulin	Buix	31,1	29,7	1,4	0,6	28,5	8,7	5	14
Quelle	La Mairmitaine	Buix	27,3	26,7	0,6	0,3	26,3	3,4	5	2
Quelle	SBB	Buix	28,4	27,2	1,2	0,9	27,0	4,8	8	4
Quelle	Le Saivu	Boncourt	29,2	28,5	0,7	1,3	27,8	5,9	4	10
Grundwasser	SO 5/1966	Boncourt	31,6	30,8	0,8	1,4	30,3	6,8	5	7
Grundwasser	SO 4/1966	Boncourt	28,0	27,0	1,0	2,1	26,0	8,4	10	10
Quelle	-	Boncourt	27,7	26,0	1,7	2,0	23,0	15,4	5	38
Quelle	La Font	Boncourt	28,3	27,4	0,9	1,0	26,9	6,2	4	8
Grundwasser	Les Lômennes	Boncourt	28,7	27,7	1,0	1,4	27,0	6,4	8	8
Quelle	La Locomotive	Boncourt	29,8	28,6	1,2	0,7	28,6	4,7	5	5
Grundwasser	Hof neben der Kirche	Boncourt	31,7	30,6	1,1	3,5	30,3	8,2	10	12
Grundwasser	Garten Montavon	Boncourt	16,7 17,4	16,0 16,6	0,7 0,8	9,0 9,9	15,9 16,8	5,6 7,0	14 15	38 38

Figur 78
Untersuchung einer grösseren Zahl von Quellen und Grundwasser zwischen Buix und Boncourt im Zusammenhang mit einem Markierversuch des Verfassers (2. 6. 1967)

Das einzige abweichende Ergebnis (Grundwasser Garten Montavon) wurde durch eine zweite Analyse 2½ Monate später bestätigt. Während der erhöhte Gehalt an Nitraten und berechneten Alkalien auf Stickstoffdüngung im Einzugsgebiet schliessen lässt, ist das Ergebnis der Gesamthärtebestimmung überraschend, da sich der Sod in der Talebene von Boncourt nur rund 140 m von demjenigen im Hof neben der Kirche entfernt befindet. Ich kann mir diese niedrige Zahl nur dadurch erklären, dass es sich um ein kleines Grundwasserbecken handelt, das unabhängig vom Grundwasserstrom ist und das in erster Linie durch Niederschläge gespiesen wird, die in unmittelbarer Nähe des Brunnens fallen und in den Lehmen des Talgrundes nur wenig Kalk zu lösen vermögen.

Zusammenfassend darf gesagt werden, dass chemische Untersuchungen in der Ajoie nur in Ausnahmefällen (auf die im Kapitel 4.3.1 noch hingewiesen wird) zur Abgrenzung der Einzugsgebiete von Quellen herangezogen werden können. Diese Methode, die in den Schottern des Mittellandes, zum Teil aber auch in den Alpen, oft erfolgreich angewandt werden kann, versagt hier nahezu vollständig. Es wäre allerdings möglich, dass mit mehrjährigen, in kurzen Zeitintervallen erhobenen Untersuchungsreihen und evtl. unter Anwendung statistischer Methoden mehr herauszuholen wäre. Doch bin ich der Auffassung, dass auf andere Art und Weise (vor allem mit Markierstoffen) rascher und mit kleinerem Aufwand ans Ziel zu gelangen ist.

4.3 BEURTEILUNG DER EINZELNEN CHEMISCHEN KOMPONENTEN DES WASSERS

4.3.1 ANIONEN

Die Hauptmenge der in Lösung vorhandenen Anionen bewegt sich zwischen den folgenden Grenzen:

	Kleinster Wert	Bereich des häufigsten Vorkommens	Grösster Wert
Karbonathärte frz.°	13,8	23,0 bis 30,3	32,4
Chloride mg Cl/l	1,6	2,0 bis 8,3	19,8
Sulfate mg SO_4/l	1,6	3,0 bis 14,0	228
Nitrate mg NO_3/l	0,5	2,0 bis 12,0	23

Die Werte, die ausserhalb des oben angegebenen Bereichs des häufigsten Vorkommens liegen, sind sehr selten.

Wie die Aufstellung zeigt, sind die HCO_3^-- und CO_3^{--}- Ionen am häufigsten vertreten. Lediglich in den Quellen südlich Cornol, vor allem aber in denjenigen der Combe von Derrière Mont Terri, finden sich sehr viele Sulfate. Dies ist darauf zurückzuführen, dass dort der gipshaltige Keuper als Grundwasserstauer wirkt. Zum Teil sind diese Wasser als Trinkwasser in chemischer Hinsicht zu beanstanden. Bei der technischen Verwendung ist zum mindesten Vorsicht geboten, da sie bei einem Gehalt von mehr als 250 mg SO_4^-/l betonaggressiv werden. Dieser kritische Wert wurde allerdings in den vorliegenden Untersuchungen noch nicht erreicht.

Der zum Teil höhere Gehalt an Nitraten hat seinen Grund darin, dass Kleinstlebewesen den Stickstoff der eiweisshaltigen Verunreinigungen, die mit dem Oberflächenwasser versickern, vollständig zu Nitraten aufgearbeitet haben. Er lässt deshalb auf Düngung im Einzugsgebiet schliessen. Nach Angaben von Kantonschemiker Dr. BAUMGARTNER zeigen in der Regel auch Hangwasser gegenüber eigentlichen Talgrundwassern einen erhöhten Nitratgehalt. Dieser erreicht aber nirgends die nach neuesten ärztlichen Befunden für Kleinkinder gefährliche Grenze von 45 mg NO_3^-/l.

Der Gehalt an Chloriden darf als normal bezeichnet werden. Doch auch hier sind die höheren Werte Indizien für Verunreinigungen durch Ausscheidungsstoffe. Das Kantonale Laboratorium in Bern toleriert maximal 30 mg Cl^-/l.

4.3.2 KATIONEN

Die zur Verfügung stehenden Messungen der Gesamthärte (Ca^{++}- und Mg^{++}-Ionen), ohne die Reihenuntersuchung von Vendlincourt, ergeben das nachstehende Bild:

Name	A	Datum	GH	CaH	KH	Cl	SO_4	NO_3	Ox	NO_2	NH_4	Fe	Mn	O_2	pH
Beurnevésin	3	23. 9.64	29,6		27,1		1,6		2,8	neg.	neg.	0			7,2
Ledermann	1	11. 1.67	30,6		25,9	17,5	6	23	2,8	neg.	neg.	0,008			
	1	1. 2.67	30,6	29,9	26,7	17,0	2	22	1,4	neg.	neg.	0,005	neg.		
	1	29. 5.67	29,1	28,3	25,0	17,8	10	23	10,2	neg.	neg.	0,08	neg.		7,3
	1	12. 6.67	30,2		26,7	14,1	3	19	8,6	neg.	neg.	0,026	neg.		
	1	13. 7.67							4,1						
	1	18.11.67	30,2	29,5	26,0	19,8	2	22	13,4	pos.	pos.				
	1	20.11.67							7,6	pos.	0,1				
Vendlincourt	3	5. 9.45			26,0						pos.	pos.			7,5
La Vendline	1	14.10.65	28,8		26,9	6,3	3	10,5	1,4	neg.	neg.	neg.	neg.	85,5%	
	1	9. 2.66							22,6	pos.	neg.				
	1	19. 4.66							7,9	neg.	0,2				
	1	20. 4.66							6,9	neg.	0,2				
	1	21. 4.66							4,3	neg.	neg.				
	1	22. 4.66							3,0	neg.	neg.				
	1	18. 9.67	30,2	29,3	27,3	13,8	5	12,9	9,3	neg.	0,2	0,089	neg.		
	1	18.11.67	29,9		26,1	16,9	8	13,2	8,9	pos.	0,1	0,110	neg.		
Charmoille	1	15. 1.62	27,2		26,0	4,0	10,3	7,2	3,2	neg.	neg.				
Scholis-en-haut		18.12.62							87,5	pos.	10				
Les Nods	3	14. 4.54	27			pos.	0	0	0,1	pos.	0				7,4
L'Ante	3	18. 3.54	28				0	0	0,1	0	0				7,6
Chertemps		10. 4.64	27,7		25,6	3,4	9	6,0	2,5	neg.	neg.				
G'wasser Alle	3	13. 4.53			26,0		0			neg.	pos.	neg.	neg.		7,2
	3	29. 4.55	27,3		23,5	1,0	0	6,8	4,1	neg.	neg.	0,04			
Devant le Val	1	22. 9.67	27,0		26,1	2,9	2	3	2,4	neg.	neg.	0,042	neg.		
La Touillère	1	22. 9.67	27,5		26,4	3,4	0	6	3,2	neg.	neg.	0,020	neg.		
Asuel	1	28. 8.67	28,3	26,0	27,1	6,0	17,6	1	0,8	neg.	neg.				
Cras Collon	3	18.10.62	28,8		27,5		15,0		3,0	neg.	neg.				7,3
Scierie	3	21. 8.62	24,5		23,2				4,9	neg.	neg.				7,9
La Golatte	1	14.10.65	24,2		22,6	2,9	10	3,3	1,9	neg.	neg.	neg.	neg.	88%	
	1	9. 2.66							5,1	neg.	neg.				
	1	18. 9.67	25,2	24,4	23,7	6,0	3	4,5	4,7	neg.	0,2	0,042	neg.		
Fregiécourt		4. 8.60	27,8		27,5	6,8	20,4	3,1	16,0	pos.	pos.				
La Valletaine	1	18.11.64							4,9	neg.	neg.				
	1	18.11.67	23,7		22,5	3,5	5	2	5,9	neg.	neg.				
	1	22. 1.68	28,4		24,5	7,9	30	4	4,6	neg.	neg.				
S. de F'court	1	4. 1.67	30,0		27,8	4,1	9	5	3,0	neg.	neg.	0,005			
Cornol															
Fouille Pape	1	16. 9.64	34,8	31,6	25,1	3,8	80,0	3,4	2,4	neg.	neg.				
Fouille Gerber	1	16. 9.64	33,4	30,1	23,1	4,3	86,4	3,9	2,3	neg.	neg.				
Courgenay	3	26. 8.54	50,8		31,2	0	viel	0		0	0				
Derrière M.Terri	3	24. 4.61	57,8		19,5	5,0	228	5,5	7,5	pos.	pos.				
Voyeboeuf	2	13.12.57	29,5		28,7	4,1		8,4	5,8	0,015	0,08				
	4	30.11.25	31			7,5		3,6		0					
Fontenais	3	14. 4.54	21,8			pos.	0	0		pos.	0				7,5
Bonne Fontaine	4					7,5	0	0			0				
Bressaucourt	1	10.10.49	30,4		27,0	7,2	10	15	4,6	neg.	neg.				
Faubourg	1	10.11.66	32,2		31,0	10,3	6	14	9,6	pos.	0,15				
	1	18. 9.67	30,0		28,7	2,7	5	15,3	5,8	neg.	0,2	0,028			

Figur 79
Zusammenstellung der übrigen dem Verfasser bekannten chemischen Analysen im Gebiet der Ajoie

Name	A	Datum	GH	CaH	KH	Cl	SO_4	NO_3	Ox	NO_2	NH_4	Fe	Mn	O_2	pH
La Carrière	1	30. 4.68	21,1		20,2	1,6	14	1,8	2,1	neg.	neg.				
La Loge	1	30. 4.68	21,3		20,0	1,8	19	2,2	3,5	neg.	0,1				
Sous les Roches	1	30. 4.68	15,3		14,5	2,3	10	3,0	2,5	neg.	neg.				
Pâturage	1	30. 4.68	22,8		22,4	4,0	6	5,1	3,0	pos.	0,4				
Chevenez															
Pré Feusier	1	28. 3.68	17,0		15,3	1,9	11	4	2,7	neg.	neg.				
Pré Chapuis	1	26. 3.68	15,1		13,8	1,7	11	2	2,1	neg.	neg.				
Libécourt	1	28.10.66	25,0		24,9	2,8	8,0	4,0	10,3	pos.	0,5				
Roche d'Or	1	15. 8.63	16,2		14,4				17,7	neg.	neg.				
Le Pâquis	1	6. 6.68	22,0	21,3	20,3	4,5	15	8							
Alle															
La Pouche	3	4. 9.64	30,0		28,2		4,3		3,1	neg.	neg.	0			7,4
Porrentruy	1	4. 5.62	30,3		28,5	5,3	11,0	8,6	1,9	neg.	neg.				
Pont d'Able	1	20. 6.62	30,1		28,5	6,0	7,5	5,4	1,4	0	0,02	0,014	0	4,12	
	1	10. 9.62	30,5		29,0	6,9	7,0	3,1	2,2	pos.	neg.	0,002	0	2,45	
	1	15. 1.64	30,8	29,4	29,3	6,1	13,0	4,4	2,1	neg.	neg.	0,009	neg.	1,59	7,1
	1	23. 6.64	30,2		28,6	12,3	9,0	12,1	3,9	neg.	neg.	0,010	neg.	4,81	
	1	27. 8.64	30,6	29,6	29,0	9,5	9,0	3,9	3,2	pos.	neg.	0	neg.	4,27	
Le Betteraz	2	13.12.57	31,0		29,0	5,1		10,0	3,6	0	0				
	3	3. 9.59	30,3						10,3	pos.	pos.				
Courchavon															
Le Varieu	3	14. 4.54	26,8			pos.	0	0		pos.	0				7,4
Le Fahy Roûene	1	18.12.67	29,0		24,5	4,5	14	10	5,6	neg.	neg.				
	1	18.12.67	28,7		24,1	5,6	10	12	2,6	neg.	neg.				
Les Comprenez	1	18.12.67	31,9		28,5	1,0	3	5	2,3	neg.	neg.				
Courtemaîche	1	10. 7.67	29,2		27,9	4,8	2	8	4,1	neg.	neg.				
La Favergeatte	1	21.11.67	31,2		28,2	10,3	4	6	2,9	neg.	neg.				
Buix															
La Mairmitaine	1	19. 7.60	27,5		27,2	2,1	3	2,2	2,6	neg.	neg.				
	2	24. 8.60	27,7	27,0	27,0	1,8		2,8	2,5		neg.				
	2	28. 5.62	27,0	26,5	26,0	2,4	7,9	0,8	5,4	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	10,2	7,1
	1	8. 7.64	27,2		26,4	3,4	4	1,2	2,9	neg.	neg.				
	1		27,7		26,7	3,0	5,4	2,4	2,7	pos.	neg.				
SBB	1	1. 2.62	29,2		26,8										
	2	28. 5.62	27,2	25,5	25,5	3,9	10,2	1,2	10,1	0,005	0,15	0,05	<0,01		7,2
	1	8. 7.64	27,8		26,2										
prov. G'wasser	1		28,4		27,0	5,3	9,0	10,1	1,8	pos.	neg.				
	1	1. 2.62	27,0		26,8	4,1	8,5	6,6	3,2	neg.	neg.				
Boncourt	3	20. 8.48	28,2		24,2	7,2	0	pos.	1,6	neg.	neg.	<0,01	neg.		
Les Lômennes	2	28. 5.62	26,7	26,2	25,5	5,0	10,9	2,4	3,3	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	6,8	7,3
	1	2. 6.67	28,7	27,7	27,0	6,4	8,0	8,0							
SO 4/1966		18. 5.66	28,4		26,2	5,1	13	8	3,3	neg.					
	1	2. 6.67	28,0	27,0	26,8	8,4	10,0	10,0							
SO 5/1966	1	8. 6.66	23,9		21,9	5,2	14	10	3,3	neg.					
	1	2. 6.67	31,6	30,8	30,3	6,8	5	7							
		10.67	30,0		28,6	8,3	4,0	11	4,3	neg.	neg.	0,015			

Figur 79 (Fortsetzung)
Zusammenstellung der übrigen dem Verfasser bekannten chemischen Analysen im Gebiet der Ajoie

35 und mehr frz.°:	2 Analysen	(Derrière Mont Terri)
34,0 bis 34,9 frz.°:	1 Analyse	(Cornol)
33,0 bis 33,9 frz.°:	2 Analysen	(Cornol)
32,0 bis 32,9 frz.°:	4 Analysen	
31,0 bis 31,9 frz.°:	10 Analysen	
30,0 bis 30,9 frz.°:	19 Analysen	
29,0 bis 29,9 frz.°:	17 Analysen	
28,0 bis 28,9 frz.°:	23 Analysen	
27,0 bis 27,9 frz.°:	23 Analysen	
26,0 bis 26,9 frz.°:	8 Analysen	
25,0 bis 25,9 frz.°:	4 Analysen	
24,0 bis 24,9 frz.°:	3 Analysen	
23,0 bis 23,9 frz.°:	3 Analysen	(Quellen Kessel Sous les Roches Bressaucourt, Grundwasser Boncourt)
22,0 bis 22,9 frz.°:	2 Analysen	(Pâquis Roche d'Or, Pâturage Bressaucourt)
21,0 bis 21,9 frz.°:	3 Analysen	(Bacavoine Fontenais, La Carrière Bressaucourt, La Loge Bressaucourt)
20,0 bis 20,9 frz.°:	0 Analysen	
19,0 bis 19,9 frz.°:	0 Analysen	
18,0 bis 18,9 frz.°:	0 Analysen	
17,0 bis 17,9 frz.°:	1 Analyse	(Pré Feusier Chevenez)
16,0 bis 16,9 frz.°:	3 Analysen	(Pâquis Roche d'Or, Grundwasser Boncourt)
15,0 bis 15,9 frz.°:	2 Analysen	(Pré Chapuis Chevenez, Sous les Roches Bressaucourt)
14,9 od.weniger frz.°:	0 Analysen	

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Proben unregelmässig zu verschiedenen Zeiten während mehreren Jahren erhoben wurden und dass einzelne Fassungen mehrmals darin enthalten sind. Es handelt sich deshalb nur bedingt um eine für die Ajoie repräsentative Stichprobe. Immerhin scheinen sich die Quellen, die relativ hoch am Abhang der Mont Terri-Kette entspringen, durch eine kleine Gesamthärte auszuzeichnen.

Die Aufteilung der Gesamthärte (Summe der Erdalkalien) in Ca^{++}- und Mg^{++}-Ionen ist in den wenigsten Fällen möglich, da nur selten Angaben über die Ca-Härte vorliegen. Immerhin zeigt sich, dass das Calcium gegenüber dem Magnesium deutlich überwiegt und meistens sogar mehr als 95% der Summe ausmacht.

Die Alkalien (primär Na^{+} und K^{+}) lassen sich durch Berechnung der Differenz zwischen Anionen und Erdalkalien mit genügender Genauigkeit bestimmen. Sie stellen einen bescheidenen Anteil der gelösten Kationen dar. Grössere Werte treten nur dann auf, wenn infolge Verunreinigung ein höherer Nitrat- oder Chloridgehalt vorliegt.

4.3.3 VERUNREINIGUNGSINDIKATOREN

Als solche können bei einer chemischen Untersuchung gelten:

- Organische, gelöste Substanzen, die Oxydierbarkeiten von mehr als 6 mg $KMnO_4$/l zur Folge haben
- Positive Nitritreaktion
- Positive Ammoniakreaktion (nach Schweiz. Lebensmittelbuch mehr als 0,02 mg/l freies oder 0,05 mg/l albumoides Ammoniak)

Auch wenn nur einer dieser drei Punkte positiv bzw. zu hoch ausfällt, ist das Wasser gemäss den Richtwerten des kantonalen bernischen Laboratoriums als Trinkwasser zu beanstanden.

Wie in einem Karstgebiet mit derart schlechten Filtriermöglichkeiten nicht anders erwartet werden kann, ist dies relativ häufig der Fall. Von den 116 in der vorliegenden Arbeit aufgeführten Untersuchungen lieferten 54 zu beanstandende Werte. Auffallend ist dabei, dass die gleiche Quelle innerhalb kurzer

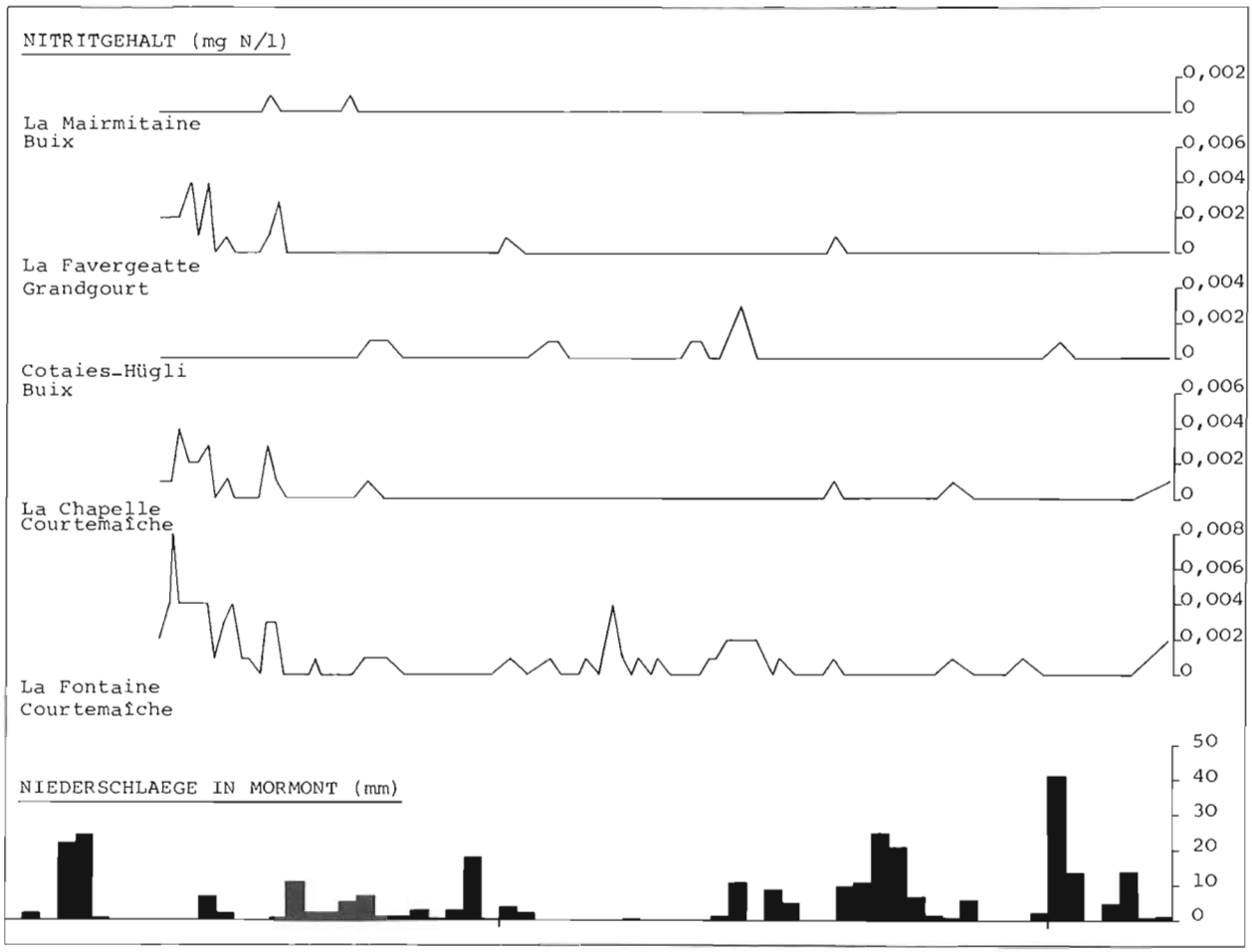
Zeit sowohl verschmutztes als auch gutes Trinkwasser schütten kann (La Vendline in Vendlincourt, La Valletaine in Fregiécourt, Le Faubourg in Bressaucourt, Le Betteraz in Porrentruy). Es zeigt sich hier mit aller Deutlichkeit, dass eine einzige Untersuchung nicht zur Beurteilung herangezogen werden darf. Die meteorologischen Verhältnisse im vorangegangenen Monat sowie die Bewirtschaftung des Einzugsgebietes sind von entscheidender Bedeutung und müssen unbedingt mitberücksichtigt werden.

4.3.4 ÜBRIGE KOMPONENTEN

Der Eisen- und Mangangehalt ist durchwegs derart gering, dass nirgends Vorbehalte bezüglich die Eignung als Trinkwasser anzubringen sind.

Sauerstoffarmes Wasser kann erfahrungsgemäss zu Leitungskorrosionen und eisenhaltigem Leitungswasser führen. Aus diesem Grund verlangt man bei grösseren Versorgungen einen Sauerstoffgehalt von mindestens 50% der theoretischen Sättigung. Diese Zahl wird beim Grundwasser in den Alluvionen von Pont d'Able nur selten, bei demjenigen von Courtemaîche manchmal nicht erreicht.

Der pH-Wert variiert in den meisten Fällen zwischen 6,9 und 7,5. Einmal wurde ein Extremwert von 7,6 und zweimal ein solcher von 7,9 gemessen.



Figur 80
Natürlicher Nitritgehalt von 5 Quellen der Ajoie, anlässlich eines Markierversuches vom 4. Juli bis 7. September 1965 unter der Leitung von Dr. P. Nänny durch die Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz erhoben

5. Die bakteriologischen Untersuchungen des Grundwassers

Die Beschaffung von qualitativ gutem Trinkwasser stellt eines der Hauptprobleme der Ajoie dar. Bei den chemischen Untersuchungen wies vor allem der Gehalt an organischen Substanzen, Nitriten und Ammoniak auf die ständige Verunreinigungsgefahr hin. Dasselbe Bild ergibt sich bei den bakteriologischen Analysen, von denen mir fast tausend Ergebnisse, vorwiegend von gefassten Quellen und Grundwasserbrunnen, zur Einsicht zur Verfügung standen. Um Missverständnissen vorzubeugen, seien vorerst die für Quellen, Grundwasserfassungen, Reservoire und Pumpwerke höchstzulässigen Werte kurz in Erinnerung gerufen:

Keimzahl:	max. 100
Coliforme Bakterien:	max. 1, sofern es wirklich nur vereinzelt vorkommt
Wärmeliebende Bakterien:	max. 100

Wiederum zeigte sich deutlich, dass die Verschmutzung bei ein und demselben Wasseraustritt innert kurzer Zeit ausserordentlich stark wechseln kann. Aus einer einzigen Untersuchung dürfen deshalb keinesfalls Schlüsse gezogen werden. Vielmehr sind eine ganze Reihe von Analysen während mindestens einem Jahr notwendig, wobei die Zeitpunkte der Probenentnahmen sorgfältig ausgewählt werden müssen. Kontrollen, die viermal jährlich nach der Schneeschmelze, während einer Trockenperiode, nach ausgiebigen Regenfällen und während der Düngezeit stattfinden, stellen das absolute Minimum dar.

Die Zusammenstellung der Einzelergebnisse ergab, dass in der ganzen Ajoie vorläufig nur zwei Quellen in bakteriologischer Hinsicht nicht beanstandet werden mussten. Es sind dies die Source de l'Ante in Charmoille, gefasst für Porrentruy, und die Quelle Sur la Vigne (Sur la Côte), ebenfalls in Charmoille, gefasst für Alle. Daneben gibt es einige wenige, bei denen nur eine allerdings gute Analyse vorliegt, über die jedoch noch keine endgültigen Aussagen gemacht werden dürfen. Alle übrigen der Trinkwasserversorgung dienenden Fassungsanlagen genügen den Normen, wie sie vom kantonalen bernischen Laboratorium verlangt werden, zum mindesten zeitweise nicht.

In einem Teil der Gemeinden wird der bakteriologischen Verschmutzung durch Desinfektion zu Leibe gerückt. Vor allem in den letzten Jahren verlangte der Kantonschemiker an einigen Orten den Einbau einer entsprechenden Apparatur. Die vorhandenen Anlagen sind auf der beiliegenden Karte «Die Wasserversorgung in den Gemeinden der Ajoie» mit der Signatur A festgehalten. Der Erfolg bleibt aber überall dort aus, wo diese Apparate nicht mit der notwendigen Sorgfalt unterhalten werden.

Die fast durchwegs schlechte bakteriologische Qualität des gefassten Wassers beruht in erster Linie auf der Beschaffenheit des kalkigen Untergrundes. Grosse Gebiete, die als Acker- oder Weideland genutzt werden, weisen nur eine sehr dünne Humusschicht auf. Die Düngstoffe und andere Verunreinigungen dringen deshalb leicht bis zum Festgestein ein. Die Zirkulation in diesem erfolgt in Klüften und erweiterten Hohlräumen, in denen die Reinigung ungenügend ist.

Dazu kommt, dass der hohe Wohnkomfort und die Entwicklung von Industrie und Gewerbe neben den an sich unbestrittenen positiven Seiten schwere Schäden in den Wasserhaushalt der Ajoie gebracht haben. Mit Ausnahme der Abwasserreinigungsanlage für Waffenplatz und Dorf Bure werden die häuslichen und industriellen Abwasser praktisch ungereinigt entweder in Karstschloten zur Versinkung gebracht oder dann in die oft nur sehr wenig Wasser führenden Oberflächengewässer geleitet. Die hie und da vorhandenen Absetzbecken werden nicht oder zu wenig häufig geleert und haben deshalb nur eine ungenügende mechanische Klärung zur Folge. Aus diesem Grunde sind auf der hydrogeologischen Grundlagenkarte die Abwasser mit Ausnahme der ARA Bure durchwegs als ungereinigt eingezeichnet.

Ein weiteres, auf der gleichen Ebene liegendes Problem, auf das bei dieser Gelegenheit aufmerksam gemacht werden muss, stellen die Kehrichtdeponien dar. Nur zu oft wird der häusliche Unrat – oft aber auch mehr – in Dolinen und Karstschloten abgelagert, in denen sie dem menschlichen Auge wohl weitgehend entzogen werden, andererseits aber Teile davon auf dem kürzesten Weg ins Grundwasser gelangen. Dieses wird dadurch aufs Bedenklichste verschmutzt und zwar in einer Art und Weise, die in Zukunft nur schwer wieder gutzumachen sein wird.

6. Die Bewegung des Grundwassers im Festgestein

In der Ajoie folgt das Grundwasser in erster Linie den Klüften in den Kalken. Dabei werden die Gesetze der Hydromechanik befolgt. Zum Teil sind eigentliche Höhlensysteme ausgebildet.

Mit guten geologischen Karten lässt sich vor allem in Gegenden mit häufigen Aufschlüssen (und damit einer grossen Zahl von Fallmessungen) die Fliessrichtung in vielen Fällen festlegen. Sobald aber solche fehlen, die Schichten nahezu horizontal liegen oder durch eine Vielzahl von Brüchen verstellt sind, ist man auf die Erforschung von Höhlen, Dolinen und Karstschloten, auf die Beobachtung von Quellen, lokalen Gewittern, Versickerungs- und Versinkungsstellen sowie auf die Arbeit mit Markierstoffen angewiesen.

6.1 HÖHLEN, DOLINEN UND KARSTSCHLOTE

Als Folge der in der Tiefe vor sich gehenden Auflösung der Gesteine finden sich in der Ajoie überall dort, wo die Kalke an die Oberfläche treten oder nur von einer dünnen Humus- oder Lehmschicht bedeckt sind, eine Vielzahl von Eingängen zu kleineren und grösseren Höhlen, von Dolinen und Karstschloten sowie von Becken ohne oberirdische Abflussmöglichkeiten. ERZINGER berichtet sogar von mächtig ausgeweiteten Klüften bei Lugnez, die er unter den 10–20 m mächtigen Vogesensanden (mit Zwischenlagerungen von gut abdichtenden Tonschichten) beobachten konnte; an einzelnen Stellen soll die Sanddecke sogar in die Spalten abgesackt sein.

Des öfteren wurde von der einheimischen Bevölkerung berichtet, dass an verschiedenen Stellen neue Löcher entstanden oder bei Aushubarbeiten Höhlen von mehreren Metern Tiefe entdeckt worden seien. Unangenehmer waren die Fälle, bei denen Pferde, Pflüge, Fahrzeuge und Karren während der Arbeit plötzlich versanken und beträchtlicher Schaden entstand. Der Kampf gegen diese Einbruchstellen hat kein Ende. Nach Möglichkeit werden die Dolinen mit Schutt aufgefüllt, die in die Tiefe führenden Schlote mit Balken verschlossen und zum Schluss mit Humus überdeckt. Doch eines Tages erfolgt ein neuer Einbruch, und der Kreislauf beginnt von vorne.

Die Form dieser Öffnungen im Erdboden ist unterschiedlich. Am meisten findet man trichterförmige Dolinen mit Durchmessern von 2 bis 30 m. Einige davon verschlucken irgend ein Gewässer oder die Abwasser eines Dorfes. Verschiedentlich liegen sie derart eng beieinander, dass man von grösseren Einsturzzonen sprechen muss. Karstschlote führen in grössere unterirdische Hohlräume, von denen allein im Untersuchungsgebiet über zwei Dutzend von KOBY, PERONNE, LIEVRE und Mitgliedern der Société de Spéléologie Jura erforscht und kartiert wurden.

Touristen können zwei davon, nämlich die Grotten von Réclère und die Höhlen von Milandre, praktisch gefahrlos besuchen. Auf sie und den unterirdischen Flusslauf im Trockental der Haute-Ajoie sei im folgenden näher eingegangen.

6.1.1 DIE GROTTEN VON RÉCLÈRE

Südlich von Réclère, nahe der Grenze am Weg nach Vaufray und Montjoie, war der Bevölkerung im 19. Jahrhundert unter dem Namen Trou de Fahy ein Karstschlot bekannt, der als Ablagerungsort für Tierleichen und anderen Unrat diente. Korber drangen dann im Schutze der Dunkelheit mit Hilfe von Seilen durch die enge Öffnung in die sich darunter befindliche Höhle ein, um Stalagmiten und Stalaktiten herauszubrechen, die sie teuer verkaufen konnten. Als der Landbesitzer von diesen geheimnisvollen nächtlichen Besuchen hörte und sich selber ein Bild von den unterirdischen Schätzen machen wollte, begann die Zeit der systematischen Erforschung. Durch einen künstlich herausgebrochenen Tunnel ermöglichte man einen wesentlich angenehmeren Einstieg, womit die Grotten von Réclère zur vielbestaunten Sehenswürdigkeit wurden.

Figur 81
Das Einsturzgebiet Le Seineu
nordöstlich Le Maira

Figuren 82 und 83 (links unten)
Le Creux-Genaz, eine 17 m tiefe Doline, die nach intensiven Niederschlägen als Karstquelle in Funktion tritt

Figur 84 (rechts unten)
Färbung der Abwasser von Courtedoux. Dank der an einen Hydranten angeschlossenen Wasserstrahlpumpe kann der aufgelöste Farbstoff (im Kübel links) während längerer Zeit regelmässig dem Abwasser beigemischt werden

Die eine rundliche Form aufweisende Höhle hat eine Tiefe von knapp 70 m unter der Erdoberfläche und eine Längenausdehnung von über 100 m. Am Boden liegen gewaltige Blöcke, die von der Decke heruntergestürzt sind. Der Verbruch ist aber älter als die zum Teil prächtigen Tropfsteinbildungen, für die LIEVRE ein Alter von mindestens 60000 Jahren berechnet hat.

6.1.2 DAS HÖHLENSYSTEM IM TROCKENTAL DER HAUTE-AJOIE

6.1.2.1 Die Emissionen des Creux-Genaz

Das Trockental der Haute-Ajoie erstreckt sich von Damvant bzw. Grandfontaine in östlicher Richtung dem Nordfuss der Mont Terri-Antiklinale entlang über eine Distanz von gut 15 km bis nach Porrentruy.

In seiner Talsohle befinden sich eine ganze Reihe von Dolinen und Karstschloten, die zum Teil zur Einleitung der Dorfabwässer verwendet werden. Bei heftigen Regenfällen oder während der Schneeschmelze kommt es vor allem oberhalb von Porrentruy vor, dass einzelne davon umgekehrt als Wasseraufstösse in Funktion treten, Überschwemmungen verursachen und manchmal sogar bedeutende Schäden anrichten. Das bekannteste dieser Trou émissif ist zweifellos Le Creux-Genaz, übersetzt Hexenloch, das zwischen Courtedoux und Chevenez liegt und die Geburtsstätte des respektablen, periodisch fliessenden Flusses Creujenat darstellt. Andere sind unter den Namen Creux-des-Prés, Emergence de la Fontenate, Prés de Courtedoux, Source de Beauprés etc. bekannt.

Vom Januar 1922 bis Mai 1927 wurde im Auftrag des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft im Bett des Creujenat in Porrentruy täglich ein Pegel abgelesen, der über die Aktivität des Hexenlochs in diesen Jahren Auskunft gibt. Weitere Angaben publizierte LIEVRE für die Jahre 1913–1915 (Le Karst jurassien).

Daraus geht hervor, dass die Häufigkeit der Emissionen von Jahr zu Jahr ändert. Die nachstehende Aufstellung gibt einen Überblick über deren Anzahl und die Dauer:

1913	4 Emissionen während total 18 Tagen	(1+1+8+8)
1914	11 Emissionen während total 43 Tagen	(3+3+3+6+9+3+2+1+3+8+2)
1915	7 Emissionen während total 24 Tagen	(5+1+9+4+1+1+3)
1922	8 Emissionen während total 56 Tagen	(9+13+12+6+6+3+4+3)
1923	7 Emissionen während total 23 Tagen	(2+2+2+4+2+3+8)
1924	2 Emissionen während total 5 Tagen	(3+2)
1925	2 Emissionen während total 8 Tagen	(4+4)
1926	2 Emissionen während total 5 Tagen	(2+3)
1927	bis Ende Mai keine Emission.	

Auffallend ist der rasche Anstieg dieses periodischen Flusses. Der höchste Pegelstand wird bereits wenige Stunden nach Beginn des Überlaufens erreicht. Das Abschwellen erfolgt zum Teil ebenfalls sehr steil, zum Teil erstreckt es sich über einige Tage.

An der ehemaligen Messstelle registrierte man Wassertiefen bis zu 60 cm. Leider wurden während diesen 5½ Jahren nie Abflussmessungen durchgeführt, so dass die geschüttete Wassermenge nicht aus den Pegelständen berechnet werden kann. Eine eigene Messung bei einer Tiefe von 15 cm in der schmalen Niederwasserrinne ergab 0,382 m^3/Sek., das heisst 22920 l/Min. Die oben erwähnten 60 cm Pegelstand dürften dem 10 bis 20-fachen dieser Wassermenge entsprechen. LIEVRE nannte sogar Spitzenwerte von 900000 l/Min. (15 m^3/Sek.), was mir als etwas hoch erscheint, wenn man zum Vergleich den Querschnitt des Bachbettes und den Abfluss in Boncourt heranzieht.

6.1.2.2 Die Entdeckung eines unterirdischen Flusslaufes zwischen Porrentruy und Chevenez

Eine Vielzahl von Forschern befasste sich seit dem Ende des 18. Jahrhunderts mit diesen merkwürdigen Wasseraustritten. Damals war im Volk die Auffassung, es handle sich um Hexenwerk, noch weit verbreitet. Das Verdienst, Ordnung in die verschiedenen Mutmassungen und vermehrtes Licht in die rätselhafte Erscheinung gebracht zu haben, kommt zweifellos dem Pruntruter Gymnasiallehrer Lucien LIEVRE zu. Ihm verdanken wir eine ganze Reihe von Publikationen. In einem Aufsatz in der Zeitschrift «Les Intérêts du Jura» (Nr. 4/1936) fasste er die um die Jahrhundertwende vertretenen, ernsthaft diskutierten Auffassungen wie folgt zusammen:

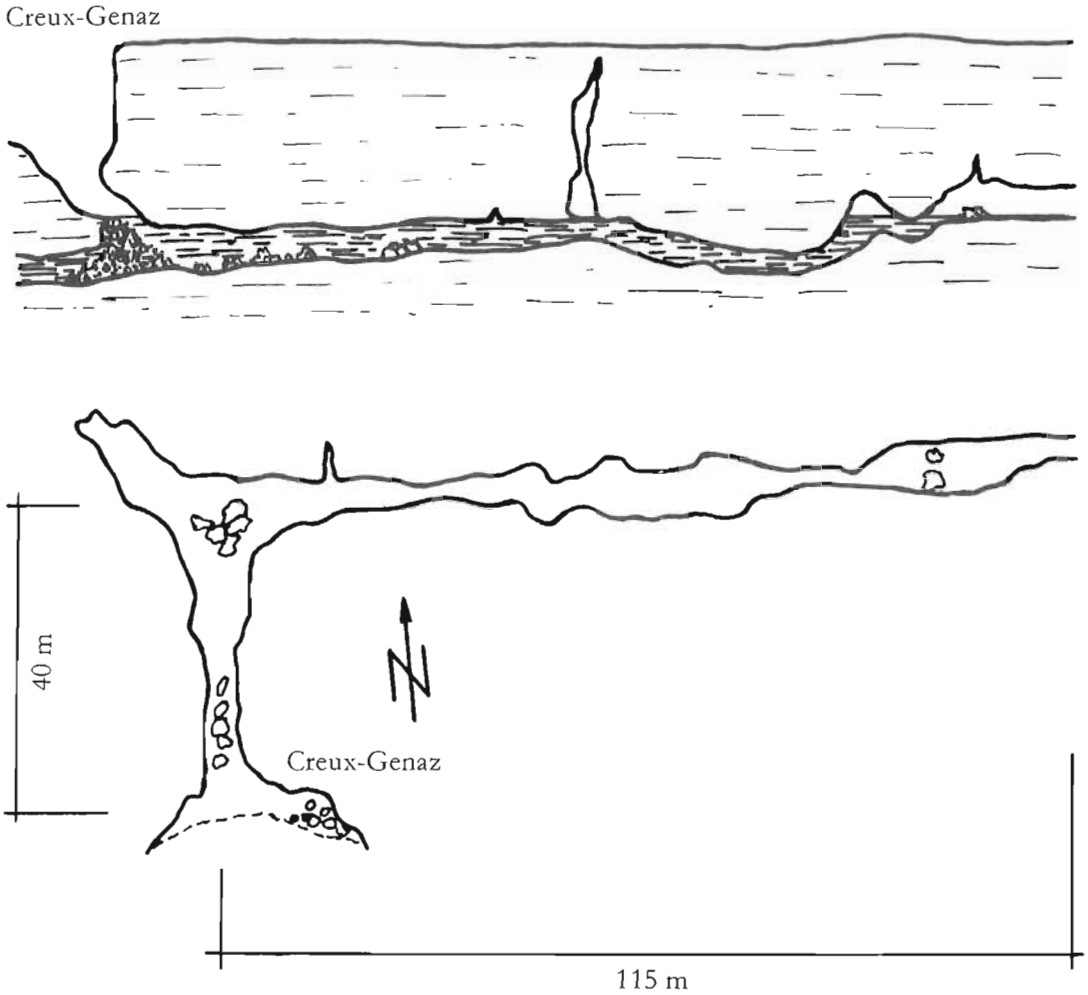
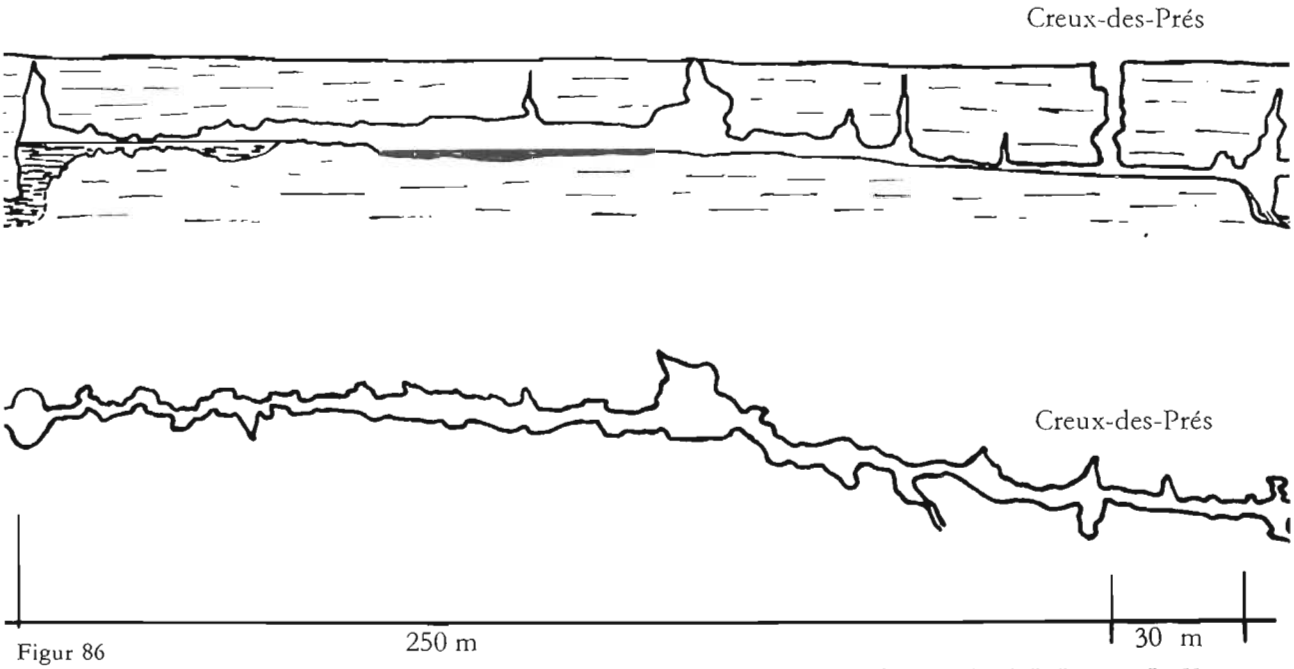


Fig. 85
Plan und Profil des unterirdischen Flusslaufes L'Ajoulote in der Gegend des Creux-Genaz (nach L. Lievre, Le Karst jurassien, 1939)



Figur 86
Plan und Profil des unterirdischen Flusslaufes L'Ajoulote in der Gegend des Creux-des-Prés (nach L. Lievre, Le Karst jurassien, 1939)

1. «L'Hypothèse suivant laquelle le Creux-Genaz aurait des relations souterraines avec le Doubs – comme c'est le cas, par exemple, pour la Loue et le Doubs;

2. l'hypothèse de grands réservoirs souterrains, réceptacle des eaux de la Haute-Ajoie, que se videraient périodiquement par un jeu de siphons dont l'orifice d'écoulement serait précisement le gouffre du Creux-Genaz;

3. l'hypothèse suivant laquelle le Creux-Genaz formerait le trop-plein, l'estavelle d'une nappe souterraine dont les issues ordinaires seraient les nombreuses sources pérennes qui jaillissent en divers point de la ville de Porrentruy: La Beuchire, La Favergeatte, La Chaumont, Le Maupertuis et Le Pâquis.»

Die erste Hypothese konnte sehr bald fallengelassen werden. Die Beobachtung ergab, dass die Emissionen des Creux-Genaz unabhängig von den Hochwassern des Doubs auftreten. Jegliche weitere Diskussion erübrigt sich jedoch, wenn man weiss, dass der Doubs in St. Ursanne, dem höchst gelegenen Teil, der für eine Belieferung in Frage käme, eine Höhe von 440 m über Meer, der Ausfluss des Creux-Genaz dagegen eine solche von 451 m aufweist. Überhaupt wäre eine derartige Verbindung durch die Mont Terri-Antiklinale auf Grund des geologischen Baues unwahrscheinlich. Wie sehr jedoch diese Auffassung noch heute im Volk herumgeistert, zeigte sich, als ich bei Gesprächen während meinen Feldarbeiten vor allem von älteren Leuten allen Ernstes gefragt wurde, ob es sich bei dieser oder jener Quelle wirklich nicht um Wasser des Doubs handle.

Die zweite Hypothese hatte eine grosse Zahl von Anhängern, und zwar deshalb, weil es nie gelungen war, die dritte Theorie durch Färbungen zu beweisen. Ein erster Versuch durch Koby mit Fuchsin geht auf das Jahr 1888 zurück. Weitere folgten mit den verschiedensten Farbstoffen, vor allem Eosin und Fluoreszin, alle aber ohne positives Ergebnis.

Lievre versuchte deshalb, den Nachweis für die dritte Auffassung durch genauen Vergleich der Schüttung der Quelle La Beuchire in Porrentruy mit den Aufstössen des Creux-Genaz sowie durch die Auswertung einiger örtlich begrenzter Gewitter zu erbringen. Wenn auch sein gesammeltes Material nicht durchwegs nur den Schluss zulässt, den er zog, so gelang es ihm doch, trotz hartem Widerstand, nach 20-jährigen Anstrengungen Mitbürger von seiner Idee zu überzeugen und beträchtliche finanzielle Mittel freizumachen, um damit den vermuteten unterirdischen Flusslauf suchen zu können.

Im Dezember 1933 liess er die Öffnung am Grund des 17 m tiefen Creux-Genaz erweitern. Nach 6 m Grabarbeit legte man ein Wasserbecken frei, durch das Taucher im Februar und Mai 1934 40 m in nördlicher Richtung vorstossen und von dort den tatsächlich vorhandenen Flusslauf auf einer Strecke von weiteren 115 m erforschen konnten. Die sehr wechselvoll gestaltete Höhle wies eine Breite von 4 bis 7 m und eine Höhe von 2 bis 5 m auf.

Im Juli 1934 setzte man eine Pumpe von 18000 l/Min. in Betrieb, die das sich am Grunde des Creux-Genaz befindende Wasser sowie das neu hinzufliessende absog. Dieses Vorgehen erlaubte den Einstieg ohne spezielle Ausrüstung. Damit war die Existenz eines unterirdischen Flusslaufes im Gebiet des Creux-Genaz bewiesen. Lievre taufte ihn mit dem Namen L'Ajoulote.

Im Januar 1935 ergab sich die Gelegenheit, die Suche nach dem Flusslauf weiter talaufwärts, beim Creux-des-Prés, fortzusetzen. Im Zusammenhang mit der Erstellung eines Kanalisationsnetzes in Chevenez liess man eine schmale, 6 bis 7 m tiefe Felsspalte erweitern; dies erlaubte den Einstieg in einen Karstschlot. In ca. 20 m Tiefe fand sich der Fluss, der rasch talabwärts floss und auf einer Strecke von 280 m von einem mit Wasser gefüllten Siphon bis zu einem kleinen Wasserfall begangen werden konnte.

Dabei beobachtete man Kamine, durch die das Wasser bei vollständiger Erfüllung der Hohlräume an die Oberfläche steigt, die aber auch als Versickerungsschlote funktionieren. Durch sie kann Geröll in den unterirdischen Fluss eingeschwemmt werden. Die Höhle offenbarte sich mit verschiedenartig gestaltetem Querschnitt, bald stollenartig hoch, bald niedrig mit weit gespanntem Gewölbe; stellenweise war sie kaum begehbar. Mächtige heruntergefallene Blöcke deuteten auf Einsturzerscheinungen. Einmündungen kleinerer Gänge wurden festgestellt. 1966 konnten zwei Mitglieder des Spéléo-Club Jura durch eine dieser Seitenröhren das obere Siphon umgehen und rund 500 m weiter talaufwärts vorstossen.

Dank dieser Entdeckungen war es möglich, sich ein gutes Bild über das Funktionieren des Creux-Genaz und der übrigen Aufstösse zu machen. Offensichtlich handelt es sich beim Ajoulote um einen unterirdischen Flusslauf, bei dem verschiedene Entwicklungsstadien festzustellen sind. Unmittelbar vor dem Austritt in Porrentruy stellt er ein Druckgerinne dar, wobei durch Kalklösung im Laufe der Zeit die Röhren langsam vergrössert werden. Erst weiter talaufwärts entwickelt sich dieses zu einem Sohlen-

gerinne, bei dem zwei entgegengesetzte Vorgänge nebeneinander vorkommen. Auf der Sohle räumt die chemische und mechanische Erosion weiter aus, während sich an der Decke und an den Wänden die Wirkung des Sickerwassers zeigt, welches durch Absatz von Kalk in Form von Sinter das Gestein überzieht.

Die Emissionen sind nur unter der Annahme der vollständigen Füllung der Hauptröhre denkbar. Sie treten bei Hochwasser der Reihe nach in Funktion, und zwar zunächst diejenigen im unteren Teil des Tales zwischen Porrentruy und Courtedoux, später das Hexenloch selber. Nur bei sehr grosser Wasserführung sprudelt auch oberhalb des Creux-Genaz Wasser aus dem Creux-des-Prés. 1910 soll die Auffüllung der Flussröhre sogar bis Rocourt erfolgt sein, wo Wasser aus einem Schlund in der Talsohle zu Tage trat.

Als unmöglich erwies sich der Versuch, zwischen dem Auftreten der Emissionen und den Niederschlagsmengen eine Gesetzmässigkeit nachzuweisen. In den Jahren, aus denen Unterlagen vorliegen, stand nur eine Regenmess-Station in Betrieb, nämlich Mormont. Diese befindet sich wohl nur rund 4 km von Porrentruy entfernt, liegt jedoch ausserhalb des eigentlichen Einzugsgebietes. Selbst dann, wenn man vergleichsweise die Ergebnisse der meteorologischen Stationen im südlichen und mittleren Faltenjura heranzieht, können Unterschiede in der Intensität der Niederschläge die Ergebnisse verfälschen. Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen darf immerhin angenommen werden, dass die Niederschlagsmenge wohl eine wichtige, jedoch nicht die allein entscheidende Rolle für ein Überborden spielt. Die Höhe des Karstwasserspiegels muss unbedingt mitberücksichtigt werden. Nach einer längeren Trockenzeit verliert der unterirdische Fluss eine grössere Menge Wasser an das Grundwasser in den zerklüfteten Kalken. Es braucht deshalb bedeutend mehr, um die Höhlen und Schlote aufzufüllen und an geeigneten Stellen zum Überlaufen zu bringen. Im Gegensatz dazu kann nach einer feuchteren Periode praktisch das gesamte in den Boden eindringende Wasser für die Auffüllung der grossen Hohlräume verwendet werden.

6.1.2.3 Die Fortsetzung des Ajoulote nach Westen

Leider verlief der dritte Teil der Forschungsarbeiten von LIEVRE westlich von Chevenez ohne sichtbares Ergebnis. Es gelang ihm nicht, in einem der Karstschlote, von denen es eine ganze Reihe gibt, den unterirdischen Bachlauf zu finden. Dass dieser wahrscheinlich dennoch vorhanden ist, zeigen die Felsspalten und Dolinen, in denen die Abwässer der Dörfer zur Versinkung gebracht werden.

Eine weitere wichtige Information liefert die sehr schöne Brunnenanlage im unteren Dorfteil von Grandfontaine, die heute nur noch nach ausgiebigen Regenfällen Wasser enthält. Die Quelle versiegte vor einem Vierteljahrhundert von einem Tag auf den anderen. Dagegen lässt sich jederzeit ohne wesentliche Absenkung des Wasserspiegels Wasser aus dem alten Quellschacht heraufpumpen. Beim Nachgraben fand man in einigen Metern Tiefe eine ca. ½ m hohe Öffnung unter einer Felsplatte, in der Wasser von Westen nach Osten floss. Offensichtlich hatte sich hier der unterirdische Hohlraum erweitert, so dass heute der Druck bei normaler Wasserführung nicht mehr ausreicht, um das Nass bis an die Erdoberfläche aufzustauen.

Im Nordosten des Dorfes, südlich Grandgourt, findet sich eine ähnliche Erscheinung in einem früheren Entwicklungsstadium. In einem Seitental tritt ein kleines Bächlein zu Tage, das nach ca. 100 m wieder versickert. Keinen Erfolg hatte man mit einer 12 m tiefen Grabung in der Combe im Westen von Grandfontaine an einer Stelle, bei der nach starken Regenfällen stets grosse Wassermengen an die Erdoberfläche gelangen.

6.1.2.4 Die Sondierbohrungen von Courtedoux

In den Akten des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern (WEA) finden sich die Profile von zwei Sondierbohrungen mit einem Durchmesser von 66 mm, die in der Talebene südlich Courtedoux abgeteuft wurden.

Sondage Nr. 1 (569970/250160), ausgeführt vom 6. bis 29. Oktober 1947

0,00 bis –0,30 m Humus
0,30 bis –0,70 m Schotter jaune
0,70 bis –4,25 m Lehm jaune avec sable
4,25 bis –6,85 m Lehm jaune mélangé du sable et des pierres
6,85 bis –19,92 m Calcaire jaunâtre très fortement fissuré (Kimmeridgien inférieur)
Grundwasser konnte nicht gefunden werden.

Sondage Nr. 2 (569930/250300), ausgeführt vom 6. November bis 6. Dezember 1947

0,00 bis	–0,30 m	Humus
0,30 bis	–0,80 m	Lehm jaune mélangé des pierres (Schotter)
0,80 bis	–6,30 m	Sable jaune et gravier mélangé du Lehm
6,30 bis	–44,00 m	Calcaire jaunâtre très fortement fissuré (Kimmeridgien inférieur)
44,00 bis	–55,00 m	Calcaire gris compact
55,00 bis	–71,53 m	Calcaire brun-jaunâtre fortement fissuré (Séquanien supérieur), Grundwasser enthaltend.

Die oberen Gesteinsschichten waren vollständig trocken. Erst in einer Tiefe von 16,70 m erfolgte ein Wasserzufluss, wobei vorerst der Zusammenhang mit dem unterirdischen Fluss nicht nachgewiesen werden konnte. Verschiedene Markierversuche, zum Teil mit Fluoreszin, zum Teil mit anderen Stoffen, verliefen negativ. Dagegen deckten die Schwankungen des Grundwasserspiegels im Bohrloch den Zusammenhang mit dem Ajoulote in einer Art und Weise auf, die an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrigliess. Während einer Emission des Creux-Genaz stieg dieser um 15 m, um dann vollständig synchron mit dem Wasserspiegel im Hexenloch wieder auf das ursprüngliche Niveau zurückzugehen.

6.1.2.5 Der Zusammenhang des Höhlenbachs mit den Quellen im Becken von Porrentruy

Nach Lievre soll das Leerpumpen des Creux-Genaz den Beweis erbracht haben, dass der Höhlenbach tatsächlich im Becken von Porrentruy wieder an die Oberfläche gelangt. So sollen die Quellen La Beuchire, La Chaumont, La Favergeatte und andere (nicht jedoch Le Betteraz) während der Zeit des Pumpens, mindestens aber am 19. Juli 1934, beinahe kein Wasser mehr geliefert haben.

Andererseits wurde bereits erwähnt, dass alle je im Tal der Haute-Ajoie durchgeführten Färbungen keine Resultate ergaben.

Es lag deshalb nahe, dass wir uns die Erkenntnisse von Lievre bestätigen lassen wollten. Zudem interessierte, welche der vielen Quellen und Brunnen im Becken von Porrentruy tatsächlich durch den unterirdischen Flusslauf gespiesen werden und wie gross die Fliessgeschwindigkeit ist.

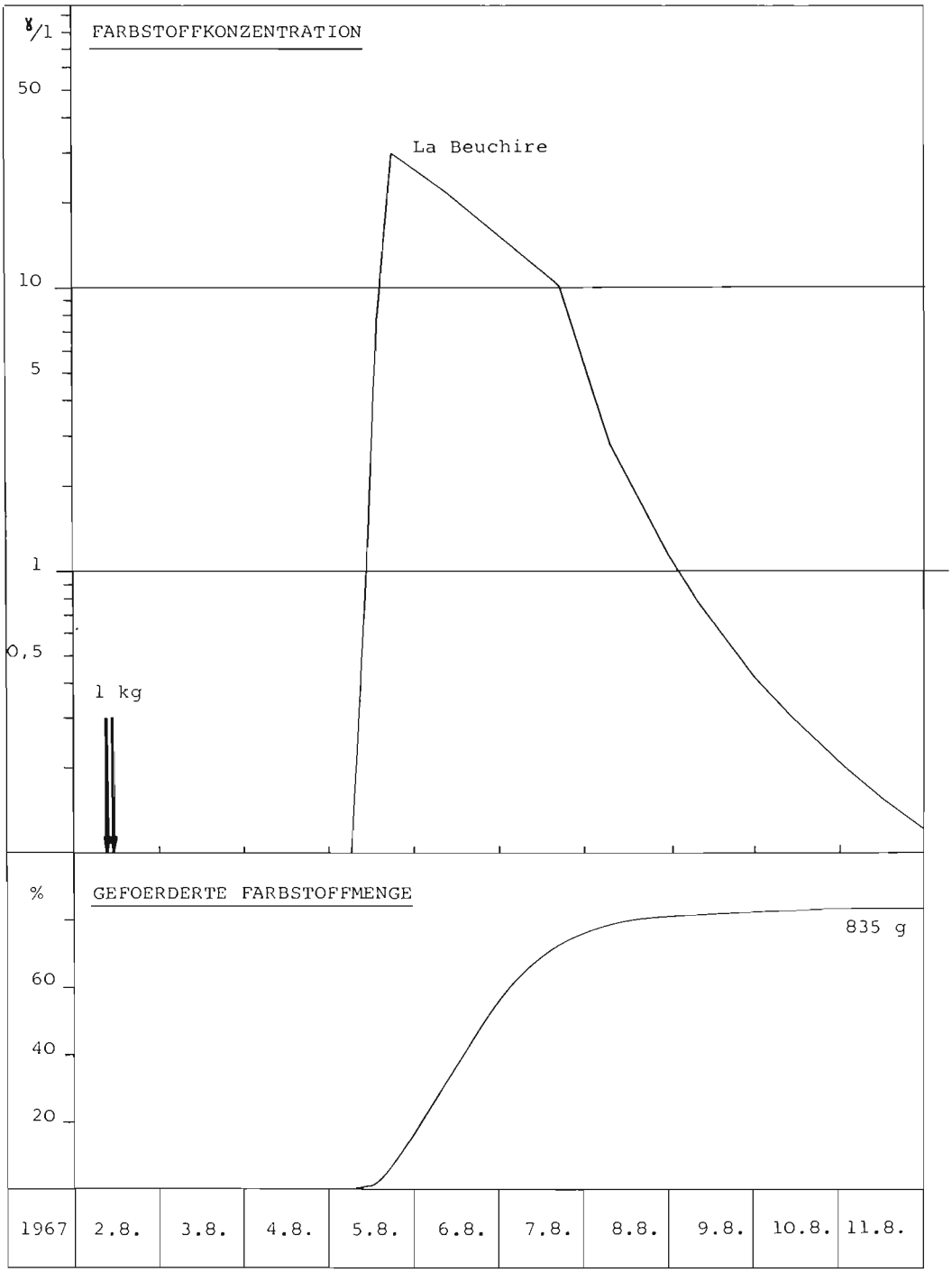
Als Impfstelle wählten wir die im Durchschnitt etwa 40 l/Min. führende Abwasserversinkung von Courtedoux, die rund drei Kilometer oberhalb von Porrentruy mitten im Talboden liegt. Mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe wurden am 2. August 1967 zweimal während je einer halben Stunde (09.35 bis 10.05 und 11.05 bis 11.35 Uhr) total 1 kg Sulforhodamin G Extra mit zusätzlichem Spülwasser (ca. 10 l/Min.) vermischt und laufend dem Abwasser beigegeben. Das intensiv rot gefärbte Gemisch drang ohne irgendwelche Stauung durch eine Felsspalte in das Gestein ein, ein Indiz, das auch hier auf das Vorhandensein eines unterirdischen Höhlensystems hinweist.

Während einer Woche entnahmen wir regelmässig Proben, und zwar bei 8 Quellen und an 4 mit einer Pumpe versehenen Stellen im Grundwasser. Die Auswertung erfolgte nach der von Schwab am Geographischen Institut der Universität Bern entwickelten Methode mit Hilfe eines Turner-Fluorometers. Allerdings wurde das Vorgehen leicht vereinfacht, so dass wir gegenüber dem Originalverfahren nur noch mit dem Nachweis von Konzentrationen bis $^1/_{12}$ Gamma/l (gegenüber $^1/_{200}$ Gamma/l) rechnen konnten. Dies ist immerhin noch rund 60 mal feiner als bei der Verwendung von Fluoreszin. Dabei ergaben sich die folgenden Resultate (vergleiche Seiten 138, 158 und 159):

– Positiv sprachen nur die beiden nahe beieinander liegenden Quellen La Beuchire und «Innovation» an. Die grösste gemessene Konzentration betrug 30 Gamma/l. Diese Farbstoffmenge war zu gering, als dass sie von Auge hätte wahrgenommen werden können. Dadurch hatten die negativen Färbresultate früherer Zeiten ihre Erklärung gefunden.

– Bei der Quelle La Chaumont war keine Aussage möglich, da deren Wasser vor der zugänglichen Stelle in der Kanalisation mit Abwasser vermischt wird. Aus diesem Grunde wiesen die Proben eine sehr grosse Schwankung der Eigenfluoreszenz auf. Die Frage, ob auch sie durch den unterirdischen Fluss gespiesen wird, musste vorläufig offen bleiben. Lievre bejahte, Koby verneinte sie.

– Alle übrigen untersuchten Quellen, also auch Le Pâquis und diejenige im Bett des Creujenat, enthielten keinen Farbstoff. Diese Feststellung steht im klaren Gegensatz zu den Annahmen von Lievre.



Figur 87
Färbung der Abwasser von Courtedoux vom 2. August 1967

Nach meiner Auffassung dürfte aber auch die etwas vorsichtigere Formulierung von ERZINGER nicht zutreffen, der die Beuchire nur als dauernd funktionierendes Überlaufventil und sicher nicht als endgültigen Ausguss der Creux-Genaz-Röhre ansah.

– Berechnet man rückwärts aus den festgestellten Konzentrationen die durch die Quelle wieder zu Tage geförderte Farbstoffmenge, erhält man 835 g (d.h. 83½%). Dieses Resultat darf als gut bezeichnet werden und liegt zweifellos innerhalb den Fehlergrenzen, vor allem wenn man berücksichtigt, dass es sich bei der eingesetzten Zahl für die Schüttung nicht um eine Flügelmessung gehandelt hat.

– Die Durchlaufzeit bis zum Eintreffen der ersten Farbspuren betrug 69 Stunden, bis zum Schwerpunkt der Farbwolke sogar 101 Stunden. Dies ergibt für die 3 km Luftlinie messende Strecke eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von nur 43 m/Std.; für die mittlere Abstandsgeschwindigkeit lässt sich 30 m/Std. errechnen. Der Grund für dieses langsame Fliessen dürfte einerseits in der damals herrschenden Trockenheit, andererseits aber im minimen Gefälle zu suchen sein. Dieses kann nicht genau berechnet werden, da der Wasserspiegel des Ajoulote in Courtedoux nicht sichtbar ist; es dürfte zwischen 2 und 2½‰, keinesfalls aber über 3⅓‰ liegen.

– Die oft vertretene Auffassung, dass sich zwischen Courtedoux und Porrentruy ein grosser unterirdischer See befinde, muss verworfen werden, da in diesem Fall die Konzentrationskurve nicht derart steil ansteigen würde.

Vielmehr erscheint die von LIEVRE und ERZINGER vertretene Theorie einer unterirdischen Flusshöhle mit Ausweitungen und mehreren Überläufen, in der sich das Wasser sammelt und sich in geschlossenen, konzentrierten Massen durch das Festgestein bewegt, als richtig. Einzig in einem können wir uns ERZINGER nicht anschliessen: Eine Entwicklung des untersten Abschnittes des Ajoulote vom Druckgerinne zum Sohlengerinne ist nur dann möglich, wenn gleichzeitig die Abflussöffnungen des Flusssystems, das heisst die Quellen in Porrentruy (Beuchire und evtl. andere), tiefer gelegt werden. Eine grössere hydrographische Wegsamkeit, wie sie zweifellos im Entstehen begriffen ist, hat nicht notgedrungen eine Trockenlegung zur Folge, wie dies von ERZINGER angenommen wird. Kalklösung ist auch im phreatischen, dauernd inundierten Bereich möglich. Die Trockenlegung hängt einzig von der Höhe der piezometrischen Wasseroberfläche im Festgestein ab, die ihrerseits Funktion verschiedener Komponenten ist.

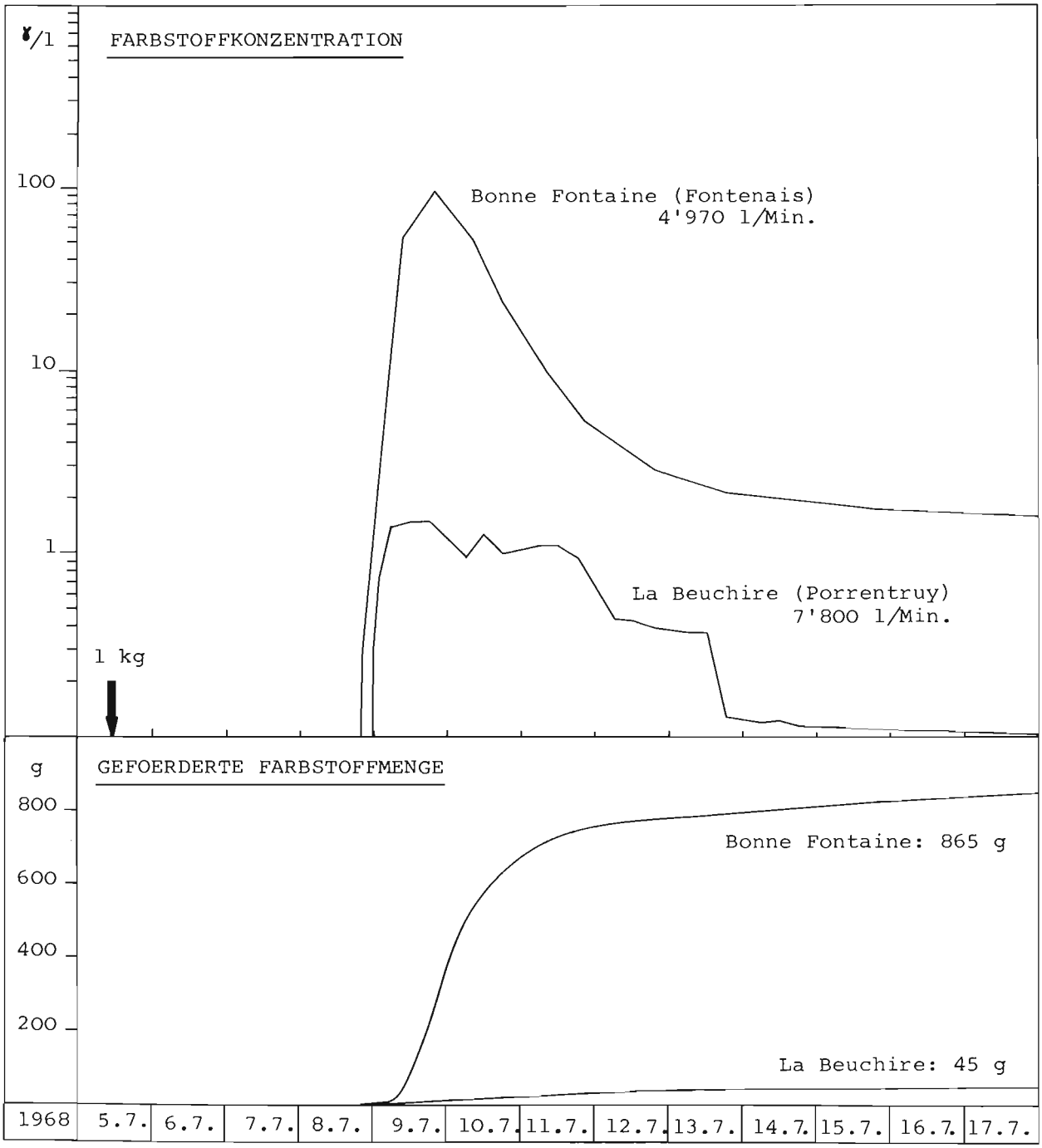
– Im Grundwasser konnten keine Farbspuren nachgewiesen werden.

Für die Brunnen im Garten der Gärtnerei Aebi und im Keller der Sägerei Güdel sowie die Trinkwasserfassung Pont d'Able hat dieses Ergebnis keinen grossen Aussagewert. Da die Permeabilität der Grundwasserleiter zu klein bzw. die Entfernungen von den kontaminierten Quellen zu gross sind, muss damit gerechnet werden, dass die Durchflusszeit über die Dauer der Probenentnahme hinausging oder gar eine Verdünnung unter die Nachweisgrenze erfolgte.

Besser steht es in bezug auf die Baugrube beim Hotel International. Diese befindet sich rund 200 m von der Beuchire entfernt, keine 50 m unterhalb des durch diese gespiesenen Baches. Pausenlos wurden während der gesamten Versuchsdauer mindestens 200 l/Min. gepumpt; dabei erfolgte eine Absenkung des Grundwasserspiegels unter das Niveau der Quellen und des Baches. Sofern das Grundwasser durch das kontaminierte Wasser gespiesen worden wäre – sei es direkt durch Übertritt aus dem Festgestein in der Umgebung der Quellen, sei es durch Infiltration aus dem Bachbett nach dem Quellaustritt – hätte auf Grund der durchgeführten Rechnung eine nachweisbare Verfärbung erfolgen müssen. Es darf deshalb angenommen werden, dass das Grundwasser im Stadtgebiet von Porrentruy nicht durch den Ajoulote gespiesen wird.

6.1.2.6 Die Färbung in Bressaucourt

Unterhalb Bressaucourt, auf der Höhe des Hofes Mavalau, befindet sich ein Karstschlot, der bereits 1883 von KOBY erforscht worden ist. Er ist normalerweise bis zu einer Höhe von 28 m unter der Erdoberfläche mit Wasser aufgefüllt, das nach Aussagen von LIEVRE absolut unbeweglich erscheint. In Zeiten mit sehr starken Niederschlägen kann es aber vorkommen, dass der Wasserspiegel ansteigt und mehrere bis zu 1 m hohe Springbrunnen im Gelände bildet. LIEVRE vertrat die Meinung, dass sich im



Figur 88
Färbung des Dorfbaches von Bressaucourt vom 5. Juli 1968

Tal von Bressaucourt ein unterirdischer Bachlauf befindet, der sich, dem oberirdischen Gefälle folgend, einen Weg durch die Banné-Antiklinale hindurch geschaffen habe und dem Ajoulote zufliesse. Das Trou de Mavaloz trete immer dann in Funktion, wenn der unterste Teil des unterirdischen Flusslaufes der Haute-Ajoie aufgefüllt sei, dieser beim Creux-Genaz überlaufe und der Bach von Bressaucourt deshalb aufgestaut werde.

Anderseits fiel beim Abgrenzen des Einzugsgebietes der Quelle von Fontenais auf, dass – wenn die Hypothese von LIEVRE stimmen sollte – der Bacavoine im Verhältnis zu viel Wasser führt. Es galt deshalb, vermehrtes Licht in die unklaren Verhältnisse zu bringen. Aus diesem Grunde wurde am 5. Juli 1968 das mit Abwasser vermischte Bächlein unterhalb Bressaucourt, unmittelbar bevor es in die Erde versinkt, gefärbt. Seine Wasserführung betrug an diesem Tag rund 180 l/Min.; als Farbstoff verwendeten wir einmal mehr Sulforhodamin G Extra, von dem zweimal je ½ kg dem Wasser beigemischt wurde (10.25 bis 10.55 und 11.45 bis 12.15 Uhr). Dabei ergaben sich die folgenden Resultate:

– Nach 80 Stunden konnten in der Quelle Bonne Fontaine in Fontenais, die den Bach Bacavoine speist, die ersten Farbspuren festgestellt werden. Die Konzentration stieg relativ rasch an, um dann langsam wieder abzufallen. Dies zeigt, dass das Wasser der Synklinale folgt und trotz der oberirdischen Wasserscheide von Champs Graitoux nach Fontenais fliesst.

– Der Quelltopf von Fontenais wird von mehreren Wasseradern gespiesen, die bis zu 100 m voneinander entfernt liegen. Drei davon wurden untersucht, nämlich diejenige, die am weitesten im Westen entspringt, die in der Mitte des Quellteiches und die eigentliche Trinkwasserfassung. Alle drei enthielten Farbstoff, und zwar stets in derselben Konzentration. Diese Feststellung lässt auf ein zusammenhängendes Grundwasserbecken im Festgestein schliessen, wie es im Kapitel 2 beschrieben wurde.

– Nach 86 Stunden zeigte sich Farbe in der Quelle La Beuchire in Porrentruy. Dies bedeutet, dass ein Teil des Wassers von Bressaucourt vermutlich längs von Brüchen durch die Banné-Antiklinale hindurch in das Tal der Haute-Ajoie gelangt.

– Von den 1000 g Farbstoff konnten rund 91% wieder gefunden werden, und zwar 865 g in Fontenais und 45 g in der Beuchire. Dieser mengenmässige Vergleich zeigt mit aller Deutlichkeit, dass nur ein kleiner Teil, nämlich rund $^1/_{20}$, den Weg nach Norden einschlägt. Deshalb zweifeln wir an der von LIEVRE aufgestellten Theorie, die sich auf das Überlaufen des Trou de Mavaloz bezieht. Viel eher scheint uns, dass dieses unabhängig vom Creux-Genaz, aber wie dieses, immer dann zu spielen beginnt, wenn der Zufluss grösser ist als durch die engeren unteren Stockwerke weiterfliessen kann.

– Die maximale Abstandsgeschwindigkeit betrug für den Anteil Beuchire 41 bis 42 m/Std. (3575 m Luftlinie, 76 m Höhendifferenz und 86 Std. Laufzeit), für Fontenais 36 m/Std. (2900 m Luftlinie, 57 m Höhendifferenz und 80 Std. Laufzeit). Die entsprechenden Zahlen für die mittlere Abstandsgeschwindigkeit lauten 32 bzw. 25 m/Std. (108 bzw. 114 Std. Laufzeit).

– In der Quelle La Chaumont in Porrentruy konnte keine Farbe nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass vermutlich KOBY (und nicht LIEVRE) Recht hatte, der für eine gegenseitige Unabhängigkeit von Beuchire und Chaumont plädierte. Immerhin ist die Möglichkeit, dass sich der unterirdische Flusslauf der Haute-Ajoie vor der Einmündung des Seitenbächleins aus Bressaucourt teilt, nicht auszuschliessen. Wir glauben jedoch eher, dass die Chaumont ihr Wasser aus der Gegend Waldegg–Les Minoux–Rouge Terre–Ostteil Grand Fahy bezieht.

6.1.3 DAS HÖHLENSYSTEM ZWISCHEN BONCOURT UND BURE

6.1.3.1 Die Grotten von Milandre

Oberhalb Boncourt, bei der alten Mühle von Milandre, öffnet sich wenig über dem Talboden eine Höhle, La Bâme genannt, die auf einer Strecke von rund 50 m begangen werden kann. Ungefähr 30 m darüber, unterhalb des Turmes von Milandre, befindet sich der Eingang zu einem oberen Stockwerk des Höhlensystems. Dieses ist für den Besuch von Touristen eingerichtet und erlaubt eine Besichtigung auf

einer Länge von 170 m bis zu einem runden, vollkommen geschlossenen Saal von 8 m Durchmesser und 6 m Höhe.

Früher trat während des ganzen Jahres aus der unteren Höhle (La Bâme) ein Bächlein aus. Heute ist dies nur noch nach heftigen Niederschlägen der Fall. Der dabei entstehende Bach vermag mehrere 10000 l/Min. zu schütten. Da jedoch zuhinterst die Hohlräume eng sind, kann zeitweise nicht der gesamte Zufluss passieren. In solchen Fällen wird das Wasser bis in die touristischen Grotten aufgestaut. Die Verbindungsgänge zwischen den beiden sind aber eng und mit Lehm ausgepflastert, so dass eine Erforschung überhaupt nicht oder dann nur unter schwersten Bedingungen möglich ist.

Im Jahre 1815 versuchte der damalige Besitzer der Grotten, durch Sperrmauern das Wasser des unterirdischen Baches am Ausfluss zu hindern. Er hoffte, diesen dadurch aufstauen und die Höhle in ein grosses Wasserreservoir verwandeln zu können, dessen Überlauf durch einen 24 m tiefen Schacht in der Decke der obersten Galerie erfolgen sollte. Dadurch wäre es möglich geworden, die Felder bei Milandredessus künstlich zu bewässern. Dieser auf den ersten Blick geniale Plan musste in einem Karstgebiet scheitern, da der Erfinder offensichtlich nicht mit der Zerklüftung der Kalke rechnete, die eine genügende Abdichtung verunmöglichen.

Die Höhlen von Milandre zogen verständlicherweise das Interesse der Speläologen auf sich. 1926 und 1928 erforschten Koby und Peronne das System. Es gelang ihnen, von den touristischen Grotten mehrere Male durch die engen und lehmigen Gänge, in denen man kaum Halt findet, immer und immer wieder ausrutscht, kriechen und auf den Knien gehen muss, einen halben Kilometer bis zu einem unterirdischen Bachlauf vorzudringen. Es blieb ihnen aber versagt, diesen auf eine längere Strecke als gut 50 m zu verfolgen. Nach unten verlor er sich in engen Felsspalten, und nach oben verhinderte ein grosses Siphon jegliches Weiterkommen. Sie zogen deshalb den Schluss, dass die Berichte, wonach es früher gelungen sein soll, 2 km in das Erdinnere vorzustossen, falsch seien und dass sich diese Gruppe des schwierigen Vordringens wegen in der Distanz geirrt haben müsse.

Am 11. September 1964, im Anschluss an den sehr trockenen Sommer, gelang es einer Gruppe des Spéléo-Club Jura bei sehr niedrigem Wasserstand den oben erwähnten Siphon zu passieren. Es gelang, bis südlich Le Maira vorzustossen, ohne das Ende des unterirdischen Baches oder seiner Zuflüsse zu erreichen. Ein erster Teil der Resultate dieser Forschungen wurde im Sommer 1966 an der Gewässerschutz-Ausstellung in Bellelay erstmals einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

6.1.3.2 Die Markierversuche zur Abklärung der Abwasserableitung des Panzerwaffenplatzes Bure

Um feststellen zu können, wohin das Wasser am Ende des Reinigungsprozesses aus der projektierten Abwasserreinigungsanlage fliessen wird, unternahm die EAWAG 1965 vier Markierversuche mit Natriumnitrit im Tal La grande Valle, das von Buix Richtung Bure führt. Bei den nachstehenden neun Quellen und drei Grundwasserfassungen im Tal der Allaine wurden während zwei Monaten täglich Proben entnommen und auf den Nitritgehalt hin untersucht:

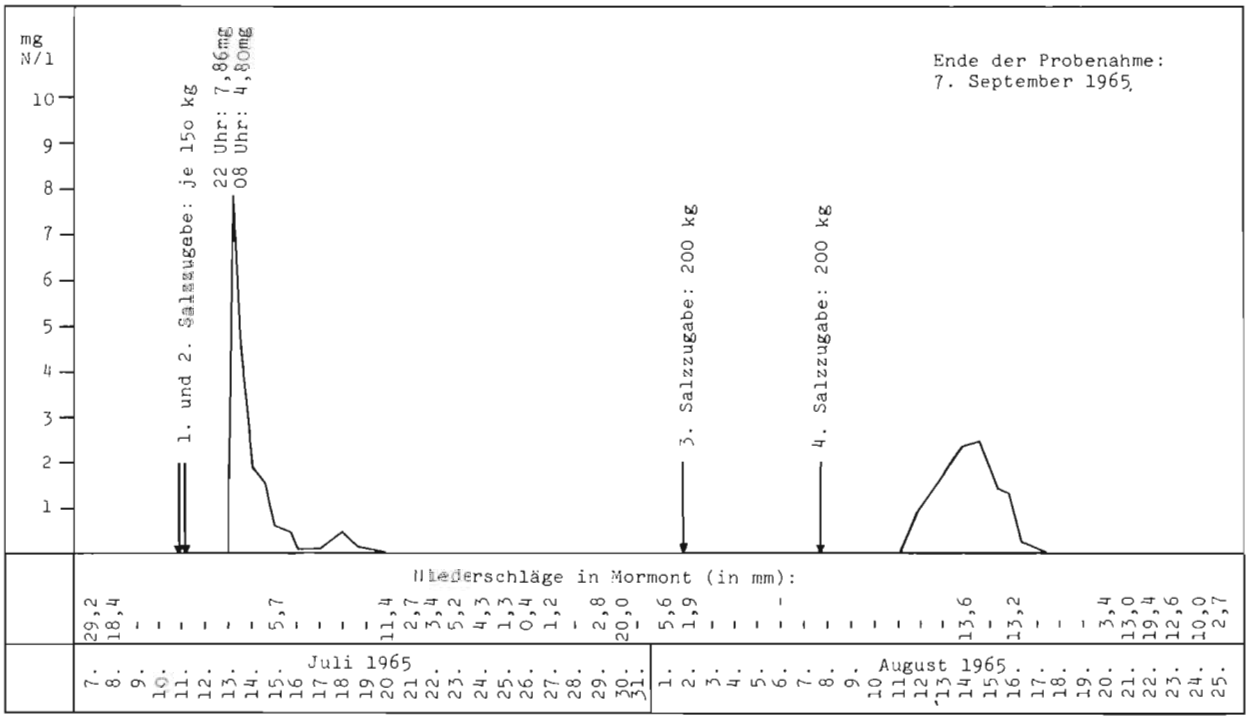
Grundwasser von Courtemaîche, Fassungen des SEHA (570870/256395)
Grundwasser von Courtemaîche, Fassung der Gemeinde (570710/256400)
Quelle Mairmitaine in Buix (568845/259300)
Quelle Cotais-Hügli in Buix (569425/258140)
Quelle Les Cotais-West in Buix (569735/258025)
Quelle Les Cotais-Ost in Buix (569775/258005)
Quelle Le Saivu in Boncourt (567980/259690)
Quelle La Favergeatte in Grandgourt (569940/257635)
Grundwasser in Boncourt (567970/260180)
Quelle neben der Kapelle St. Symphorien in Courtemaîche (570380/257275)
Quelle (evtl. Schottergrundwasser) neben dem SBB-Damm in Buix (568860/259285)
Quelle La Fontaine in Courtemaîche (570515/256830)

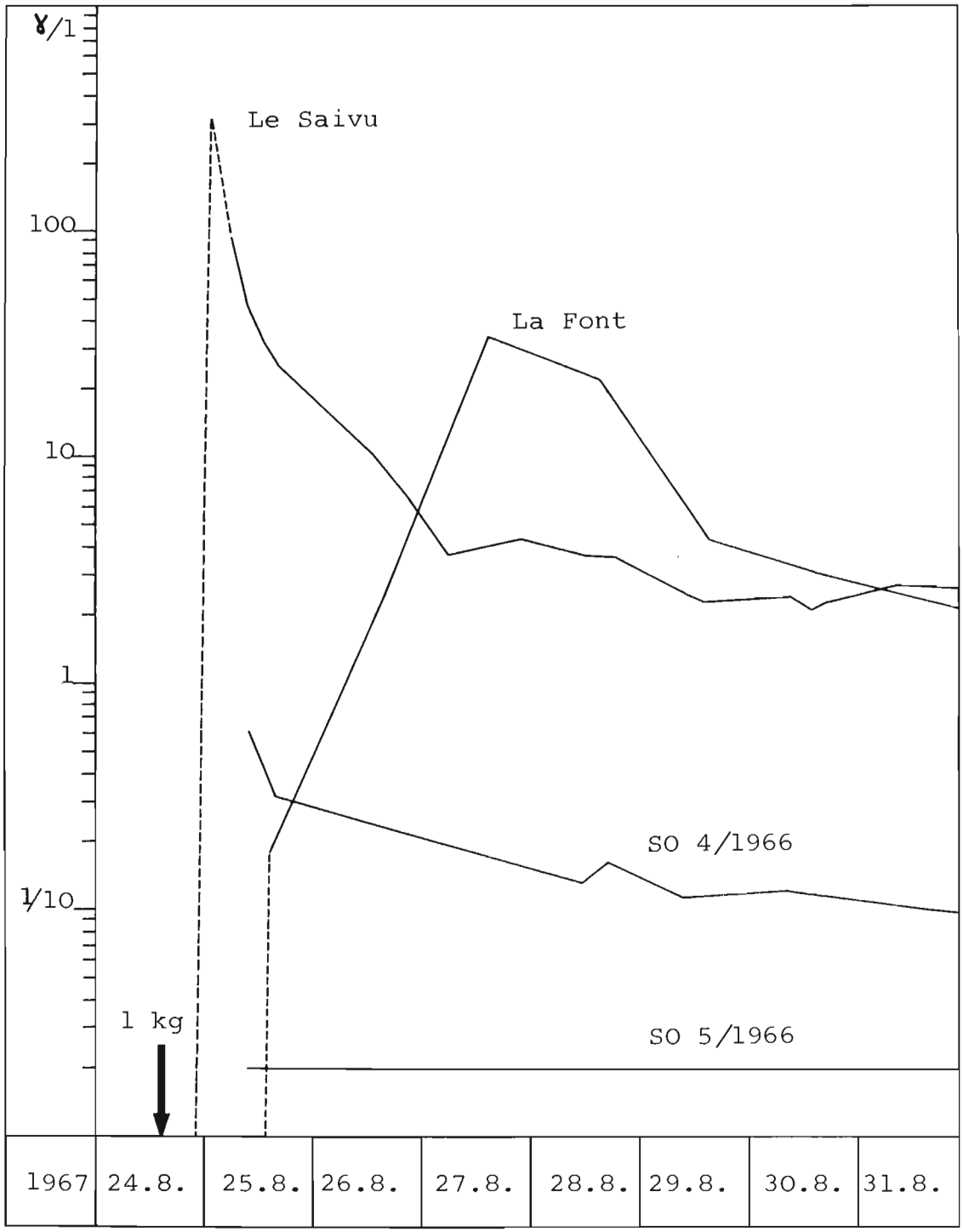
Aus den uns von der EAWAG überlassenen Graphiken lassen sich die folgenden Ergebnisse herauslesen:

– Bei der ungefassten Quelle Le Saivu oberhalb Boncourt stieg der Nitritgehalt nach den Salzungen Nr. 1 (568050/256850), Nr. 2 (568140/257025) und Nr. 4 (567725/256300) sprungartig auf 7,86 bzw.

Figur 89
Die engen, mit Lehm ausgepflasterten Verbindungsgänge zwischen dem obersten und den unteren Stockwerken der Höhle von Milandre

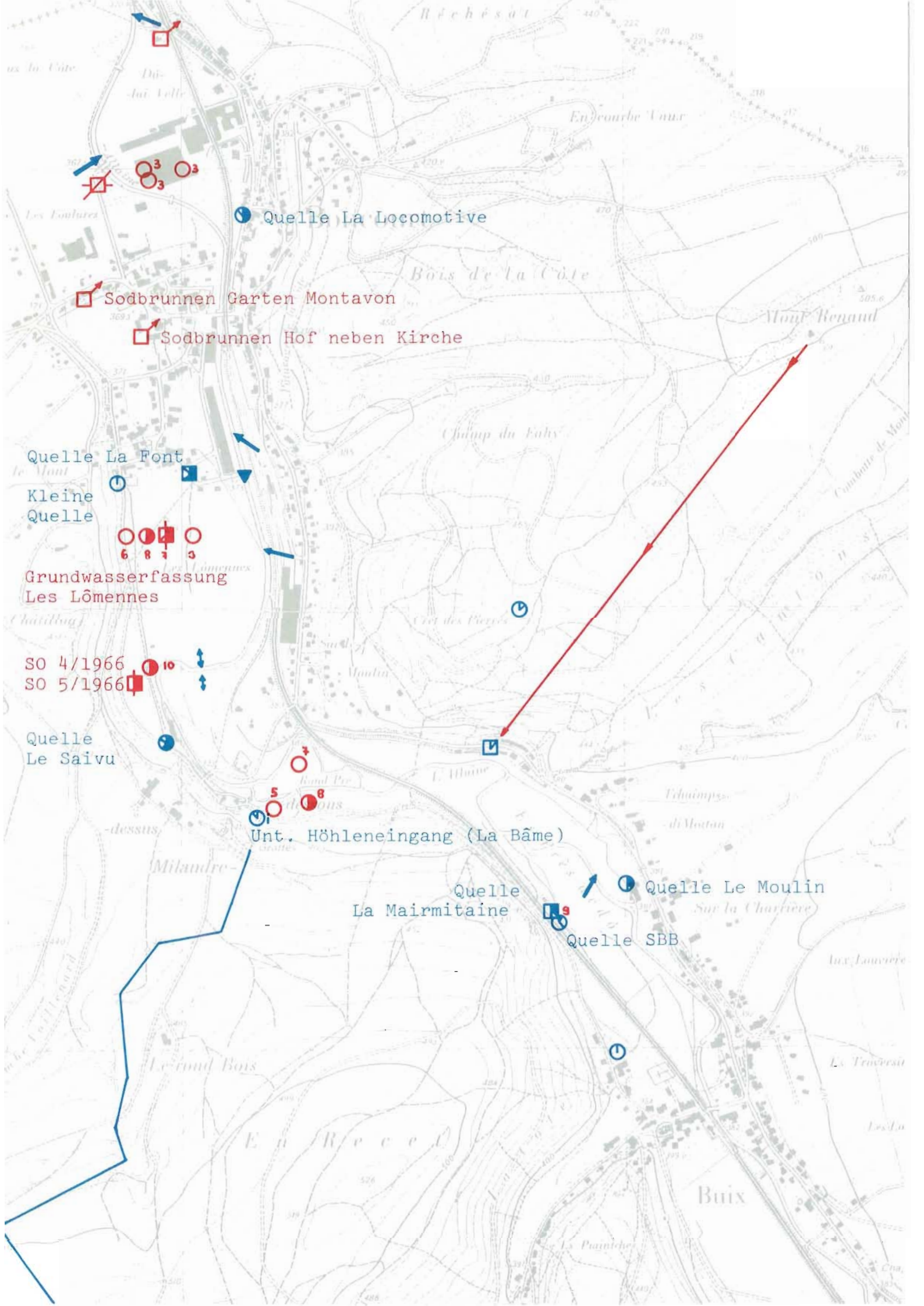
Figur 90
Nitrit-Konzentration im Wasser der Quelle Le Saivu unterhalb Boncourt anlässlich des Markierversuchs mit Natriumnitrit, durchgeführt im Sommer 1965 durch die Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH Zürich





Figur 91
Färbung der Abwasser von Le Maira
am 24. August 1967

Figur 92 (rechte Seite)
Hydrologische Grundlagenkarte 1 : 10000 von Boncourt und Buix (mit Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 22.6.1970)


Quelle La Locomotive
Sodbrunnen Garten Montavon
Sodbrunnen Hof neben Kirche
Quelle La Font
Kleine Quelle
Grundwasserfassung Les Lômennes
SO 4/1966
SO 5/1966
Quelle Le Saivu
Unt. Höhleneingang (La Bâme)
Quelle La Mairmitaine
Quelle Le Moulin
Quelle SBB
Bois de la Côte
Mont Renaud
Milandre
Buix

2,43 mg N/l. Dieser Wasseraustritt befindet sich rund 200 m unterhalb der Grotten von Milandre neben der dortigen Sägerei im Talboden. Die Schüttung betrug am 5. März 1967 13180 l/Min., am 13. April 1967 11820 l/Min. und am 7. Juli 1968 4900 l/Min.

Bei allen übrigen Wasserproben schwankte der Nitritgehalt meist zwischen 0 und 0,004 mg N/l; in zwei Einzelfällen stieg er auf 0,015 mg N/l an.

Hieraus folgt, dass eindeutig ein Zusammenhang zwischen den Impfstellen und der Quelle Le Saivu besteht. Ein solcher zu den anderen Entnahmestellen ist unwahrscheinlich, wobei allerdings in bezug auf die drei Grundwasserfassungen eine Durchlaufzeit von mehr als zwei Monaten nicht a priori auszuschliessen wäre.

– Das Salz der Impfung Nr. 3 (568400/257500) liess sich nicht feststellen. Es konnte nur wenig in den Untergrund eindringen, da hier das Oxfordien stellenweise bis an die Erdoberfläche reicht. Es dürfte sich im Humus und Schutt langsam Richtung Buix zu bewegt haben und dort ins Grundwasser oder bei starken Regenfällen in die Kanalisation und in die Allaine gelangt sein.

– Bei den Impfungen Nr. 1 und Nr. 2 benötigte der Schwerpunkt der Salzwolke für die 2,6 bis 2,8 km Luftlinie messende Strecke 50 bis 60 Stunden, was einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von 43 bis 56 m/Std. entspricht. Der genaue Zeitpunkt kann nicht errechnet werden, da die Proben in den ersten Tagen zu wenig fleissig erhoben wurden. Nach 8 Tagen war der Nitritgehalt wiederum normal.

– Bei der Impfung Nr. 4 (3,3 km Luftlinie) ist eine deutliche Verflachung der Konzentrationskurve festzustellen. Das erste Salz fand man nach 85 bis 90 Stunden, während das letzte nach 9 Tagen passierte. Die durchschnittliche Abstandsgeschwindigkeit betrug ca. 21 m/Std.

– Eine quantitative Berechnung der geförderten Salzmenge ist nachträglich kaum möglich, da die damaligen Quellschüttungen heute nur sehr grob geschätzt werden können und anderseits die Spitzen mit den grössten Konzentrationen, auf die es vor allem ankommt, nicht genau genug bekannt sind.

Dieser Markierversuch, kombiniert mit den Forschungsergebnissen der Speläologen, unterstützte die Vermutung, dass es sich bei der Quelle Le Saivu um den regelmässigen Ausfluss des Höhlenbachs von Milandre handelt und dass die periodische Quelle La Bâme lediglich den Überlauf darstellt, der nur dann funktioniert, wenn die unteren, mit Wasser aufgefüllten Stockwerke des Höhlensystems nicht den gesamten Zufluss aufzunehmen vermögen.

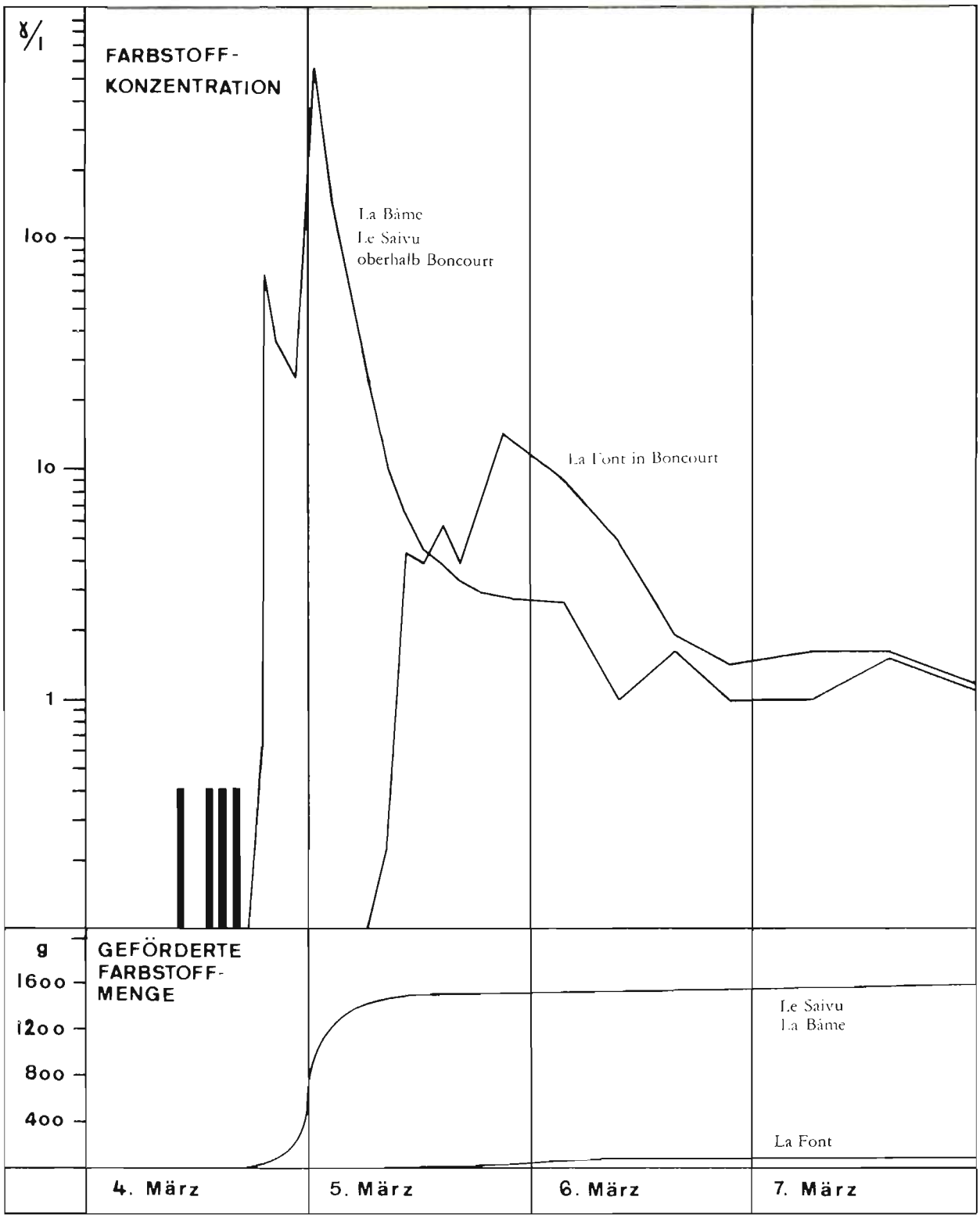
Aus den unterschiedlichen Durchlaufzeiten und der Verflachung der Konzentrationskurve dürfen vorläufig keine weiteren Schlüsse gezogen werden, da diese – wie wir in einem späteren Kapitel noch zeigen werden – von einer Vielzahl von Faktoren abhängen können, die leider nicht oder nur ungenügend protokolliert wurden und deshalb zu wenig genau bekannt sind. Im Vordergrund stehen natürlich verschieden lange Wege in den klüftigen Kalken (bzw. in einem unterirdischen Bachlauf) oder aber Unterschiede in der Wasserführung, die durch die Niederschläge oder durch die Menge des Spülwassers verursacht wurden.

6.1.3.3 Die Färbung der Abwasser von Le Maira am 4. März 1967

Ziel dieses Versuches war, die Zusammenhänge des Höhlenbaches von Milandre mit den Quellen im Tal der Allaine definitiv zu klären. Beim Begehen der Höhle hatten nämlich die Speläologen ein seitlich einmündendes Bächlein entdeckt, das mit grösster Wahrscheinlichkeit die in einer Doline versinkenden Abwasser des Dorfes Le Maira enthielt und das sie sinnigerweise Source Rouge tauften.

Am 4. März 1967 gaben wir dem Abwasser von Le Maira mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe viermal während je einer halben Stunde total zwei Kilogramm Sulforhodamin G Extra bei. Mit Hilfe eines kleinen Zisternenwagens konnte zusätzliches Spülwasser herbeigeschafft werden.

Die Wasserproben entnahmen wir in Abständen von zwei Stunden allen Quellen zwischen Boncourt und Buix sowie einer Anzahl von Grundwasserbrunnen, bei denen mit Hilfe einer kleinen Benzinmotorpumpe (200 l/Min.) für zusätzliche Zirkulation gesorgt wurde. Witterungsmässig fiel die Färbung in das Ende einer Regenperiode. Dies hatte den grossen Vorteil, dass der untere Höhleneingang (La Bâme) Wasser schüttete, was einen direkten Vergleich mit der Quelle bei der Sägerei (Le Saivu) ermöglichte.



Figur 93
Färbung der Abwasser von Le Maira am 4. März 1967

Dagegen waren die Alluvionen im Tal der Allaine mit Wasser gesättigt, so dass die Bedingungen für einen Übertritt von Festgesteinsgrundwasser in diese Lockergesteine als weniger günstig angesehen werden mussten.

Die Auswertung mit dem Turner-Fluorometer, wobei die Arbeitsmethode eine Nachweisgrenze von $^1/_{12}$ γ/l zuliess, ergab:

– La Bâme und Le Saivu reagierten ungefähr zur gleichen Zeit. Die Farbstoffkonzentration war stets nahezu gleich, so dass beim Auftragen in der Grafik kein Unterschied zwischen den beiden Quellen gemacht werden konnte. Dieses Ergebnis bestätigte die Vermutung, dass der Wasseraustritt bei der Sägerei ein unteres Stockwerk des Höhlensystems von Milandre darstellt. Die Grenze, bei der das obere System zu funktionieren beginnt, dürfte zur Zeit auf Grund der durchgeführten Messungen bei 14000 l/Min. liegen. Eine langsame Erweiterung entspricht dem natürlichen Entwicklungsgang in Karstgebieten.

Die Zeitdauer von der Impfung bis zum Auftreten des ersten Farbstoffes betrug ungefähr 8 Stunden. Dies ergibt für die 2,1 km lange und 110 m Höhendifferenz aufweisende Strecke eine Abstandsgeschwindigkeit von 262 m/Std., was im Vergleich zu den Salzungsversuchen als rasch erscheint. Der Grund dürfte darin liegen, dass einerseits mehr Wasser vorhanden war, dass es sich anderseits aber bei der kurzen Durchlaufzeit grösstenteils um ein offenes Fliessen in einer Höhle handelte, während sich das Wasser 1965 anlässlich der Salzungsversuche seinen Weg zuerst durch die Klüfte des Kalks suchen musste, um schliesslich in den Höhlenbach zu gelangen.

Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit betrug 133 m/Std., denn nach ungefähr 15 Stunden war die Hälfte des Farbstoffes ausgetreten.

Die erste Spitze (69 γ/l), der Färbung von 10.00 bis 10.30 Uhr entsprechend, ist deutlich sichtbar. Die drei Farbstösse am Nachmittag äusserten sich in nur einem Maximum (550 γ/l).

– Nach ziemlich genau 22 Stunden wurden die ersten Farbspuren in der am Südausgang von Boncourt gelegenen Quelle La Font festgestellt. Diese schüttet 2000 bis 30000 l/Min. und diente bis zum Jahre 1953 der Wasserversorgung von Boncourt, wurde dann aber aufgegeben, da sie eine zu grosse Verschmutzung aufwies(!). Dieses Ergebnis war neu und sollte uns noch einige Probleme aufgeben.

Die Farbstoffkonzentration stieg weniger steil als bei den beiden anderen Wasseraustritten auf 17 γ/l, um dann langsam wieder abzufallen. Entsprechend kleiner sind die maximale und die mittlere Abstandsgeschwindigkeit. Die Berechnung ergab 123 bzw. 59 m/Std.

– Bei allen drei Quellen wurde nach der deutlichen Spitze während längerer Zeit eine Konzentration von 1 bis 2 γ/l eingehalten. Erst nach 10 Tagen war es nicht mehr möglich, Farbspuren nachzuweisen.

– Die quantitative Berechnung ergab, dass rund 90% des Farbstoffes gefördert wurden, und zwar 1680 g bei den Quellen Le Saivu und La Bâme, 120 g bei der Quelle La Font.

– Bei den übrigen Quellen konnte während 10 Tagen kein Farbstoff festgestellt werden. Es darf deshalb mit an Bestimmtheit grenzender Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass diese kein Wasser aus dem Höhlenbach von Milandre enthalten.

– Etwas anders liegen die Verhältnisse beim Grundwasser in den Schottern. Wie bereits erwähnt, war dessen Spiegel zur Zeit der Färbung relativ hoch. Er lag wenig über demjenigen der Allaine. Das Nichtvorhandensein von Farbstoff darf deshalb nicht dahin gedeutet werden, dass grundsätzlich kein Wasser aus dem Festgestein in das Lockergestein übertritt. Zu einem günstigeren Zeitpunkt könnten sich wesentlich andere Resultate ergeben.

6.1.3.4 Die Färbung vom August 1967

Um den bestehenden Grundwasserbrunnen in der Talebene oberhalb Boncourt entlasten zu können, wurden 1966 und 1967 durch die Gemeinde Boncourt verschiedene Versuchsbohrungen in die Alluvionen abgeteuft. Am erfolgversprechendsten erschienen zwei Filterrohre, die sich 150 bis 180 m unter-

halb der Quelle Le Saivu befinden. Das eine, Sondage 5, liegt neben dem durch einen Teil der obigen Quelle gespiesenen Bach, das andere, Sondage 4, im schmalen Streifen zwischen diesem und der Allaine, keine 10 m vom Fluss entfernt.

Während einem ersten Pumpversuch beim Filterrohr SO 4 nahm das Grundwasser sehr rasch die Temperatur der Allaine an. Es stand deshalb fest, dass dieses mindestens während dem Pumpen vom Fluss gespiesen wird.

Der zweite Pumpversuch, mit 600 bis 1000 l/Min., fand Ende August/Anfang September 1967 beim Filterrohr SO 5 statt. Dieser schien mir geeignet, um abzuklären, ob ebenfalls ein Zufluss aus dem Festgestein, im besonderen durch den Höhlenbach von Milandre, erfolge. Zu diesem Zweck färbten wir am 24. August 1967 von 14.00 bis 14.30 Uhr die Abwasser von Le Maira nach der bewährten Methode mit 1 kg Sulforhodamin G Extra. Die Nachweisgrenze der Auswertungen mit dem Fluorometer lag bei $^{1}/_{100}$ γ/l.

Die Farbstoffkonzentrationen im Wasser der Quellen Le Saivu und La Font bestätigten die Ergebnisse des Versuchs vom März. Da die Schüttungen etwas geringer waren, sind die um weniges längeren Durchlaufzeiten verständlich. Die maximale Farbstoffkonzentration bei der Quelle La Font wurde erst nach 70 Stunden erreicht. Mit 34 γ/l ist sie etwas grösser als im Frühjahr, als man 17 γ/l mass. Die Spitze der Quelle Le Saivu konnte infolge eines Missgeschicks beim Transport der Fläschchen nicht erfasst werden. Die 93 γ/l befinden sich bereits auf dem absteigenden Ast der Konzentrationskurve.

Im Filterrohr SO 4 nahe der Allaine, aus dem kein Wasser gepumpt wurde, konnte man bereits am Tag nach der Impfung Farbe feststellen ($^{61}/_{100}$ γ/l). Die Konzentration nahm aber parallel zu derjenigen in der Quelle Le Saivu regelmässig ab. Wesentlich geringer war die Farbstoffkonzentration im Rohr SO 5, nämlich nur $^{2}/_{100}$ γ/l. Dieser Wert lag sehr wenig über der Nachweisgrenze. Er darf jedoch als gesichert betrachtet werden, da die Untersuchung je 6 mal mit verschiedenen Probenfläschchen durchgeführt wurde.

Theoretisch bestehen für die Kontaminierung des Grundwassers drei Möglichkeiten:
- Versickerung aus dem Bächlein, das durch einen Teil der Quelle Le Saivu gespiesen wird,
- Versickerung aus der Allaine, die das übrige Wasser der Quelle Le Saivu aufnimmt,
- Übertritt von verfärbtem Wasser aus dem Festgestein in die Alluvionen.

Die erste Möglichkeit ist nach unserer Auffassung auszuschliessen, da in einem solchen Fall die Farbe viel eher ins Filterrohr SO 5 gelangen müsste als in die Nummer 4.

Für die zweite Variante spricht die sofortige Kontaminierung von SO 4, die hier erfolgte rasche Abnahme der Farbstoffkonzentration und die geringe Farbstoffmenge bei SO 5.

Schwieriger zu beurteilen ist die dritte Möglichkeit. Wenn die Farbstoffspuren bei SO 5 daher stammen, dass Wasser aus dem Höhlenbach durch Klüfte in die Alluvionen übergetreten ist, zeigt der Vergleich der Farbstoffkonzentrationen, dass dies nur ein sehr kleiner Teil sein kann, nämlich weniger als $^{1}/_{00}$. Wenn sie dagegen durch die Pumpe vom Allaineufer her angesogen wurden, muss überprüft werden, ob während genügend langer Zeit Proben entnommen wurden oder ob eventuell die Farbe erst später beim Filterbrunnen hätte ankommen können. Berechnet man deshalb rückwärts die in diesen 10 Tagen geförderte Wassermenge und vergleicht die so erhaltene Zahl mit der Mächtigkeit der Alluvionen, muss man zum Schluss kommen, dass sehr grosse Mengen «sauberen» Wassers von irgendwoher zufliessen müssten, damit diese Annahme möglich würde. Man darf deshalb annehmen, dass vom 24. 8. bis 3. 9. 1967 während des Pumpversuchs kein oder nur sehr wenig Wasser des Höhlenbachs aus dem Festgestein direkt in die Schotter übergetreten ist.

6.1.3.5 Der Zusammenhang der Quelle La Font mit dem Höhlensystem von Milandre

Die beiden Färbungen vom 4. 3. 1967 bzw. 24. 8. 1967 bewiesen eindeutig, dass Wasser aus der Doline, in der man die Abwasser von Le Maira versinken lässt, in die Quelle La Font gelangt. Andererseits zeigt die geschüttete Farbstoffmenge, die weniger als ein Zehntel derjenigen der Quelle Le Saivu ausmacht, dass es sich hier nicht einfach um einen weiteren Ausgang des Höhlenbachs handelt. Beobachtungen von Herrn G. Bregnard, Gemeinderat in Boncourt, die sich über Jahre erstrecken und die er mir freundlicherweise zur Verfügung stellte, bestätigen dieses Resultat. Die Notizen über zwei Gewitter scheinen mir besonders typisch zu sein.

Das eine ging am 14. Mai 1967 zwischen 16.00 und 16.30 Uhr nieder. Die telefonischen Anfragen ergaben folgende Regenkarte (vergleiche Fig. 95):

Les Bornes	kein Regen	Bure S-Teil	kurzer Platzregen
Le Paradis	kein Regen	Courchavon	kurzer Platzregen
Croix	kein Regen	Fahy	Platzregen
Villars-le-Sec	kein Regen	Nalé	sehr heftiger Platzregen
Abbévillers	kein Regen	Mormont	sehr heftiger Platzregen
Vâloin	kein Regen	Le Varandin	ausserordentlich heftiger Platzregen
Courtemaîche	kein Regen	Courtedoux	heftiger Platzregen
Bure NW-Teil	einige Tropfen	Porrentruy	heftiger Platzregen

Diese nur südlich von Bure gefallenen Niederschläge bewirkten ein Ansteigen des Höhlenbachs in dem Masse, dass die untere Höhle (La Bâme) am Montagmorgen um 5 Uhr in Funktion trat, am frühen Vormittag intensiv Wasser schüttete und gegen Abend wieder versiegte. Im Gegensatz dazu war bei der Quelle La Font kein Unterschied in der Schüttung und Trübung festzustellen.

Die zweite Beobachtung datiert vom 11. Februar 1958. Damals ging in der Gegend von St. Dizier (Frankreich) ein lokales Gewitter nieder, das eine starke Trübung und einen Anstieg der Quelle La Font zur Folge hatte, während die übrigen Wasseraustritte nicht beeinflusst wurden.

Hieraus folgt, dass die Einzugsgebiete der beiden zur Diskussion stehenden Quellen nicht dieselben sind. Während Le Saivu durch den Bach im Höhlensystem von Milandre gespiesen wird, muss La Font ihr Wasser von den Niederschlägen beziehen, die in den Weide- und Waldgebieten westlich von Boncourt fallen (Les Coires, Grande Combe, Bois de Mont Michel, La Vie de Porrentruy, Bois de Cinq Sols, Combe Bernard). Anderseits besteht aber irgend eine Verbindung zwischen den beiden Entwässerungssystemen, über die der Markierversuch vom 6. Juli 1968 Auskunft gab.

Es ging darum, festzustellen, ob der Höhlenbach die knapp 10% Wasser bereits im Gebiet von Le Maira oder erst kurz vor Boncourt an die Quelle La Font verliert. Aus diesem Grunde färbten wir von 16.15 bis 16.35 Uhr den Höhlenbach in der Nähe des erwähnten ersten Siphons, unmittelbar bevor das Wasser in den Felsspalten endgültig verschwindet. Das Resultat war klar und eindeutig, fanden sich doch die ersten Farbspuren nach 2 Std. 55 Min. in der Quelle Le Saivu und nach 37 Stunden in der Quelle La Font.

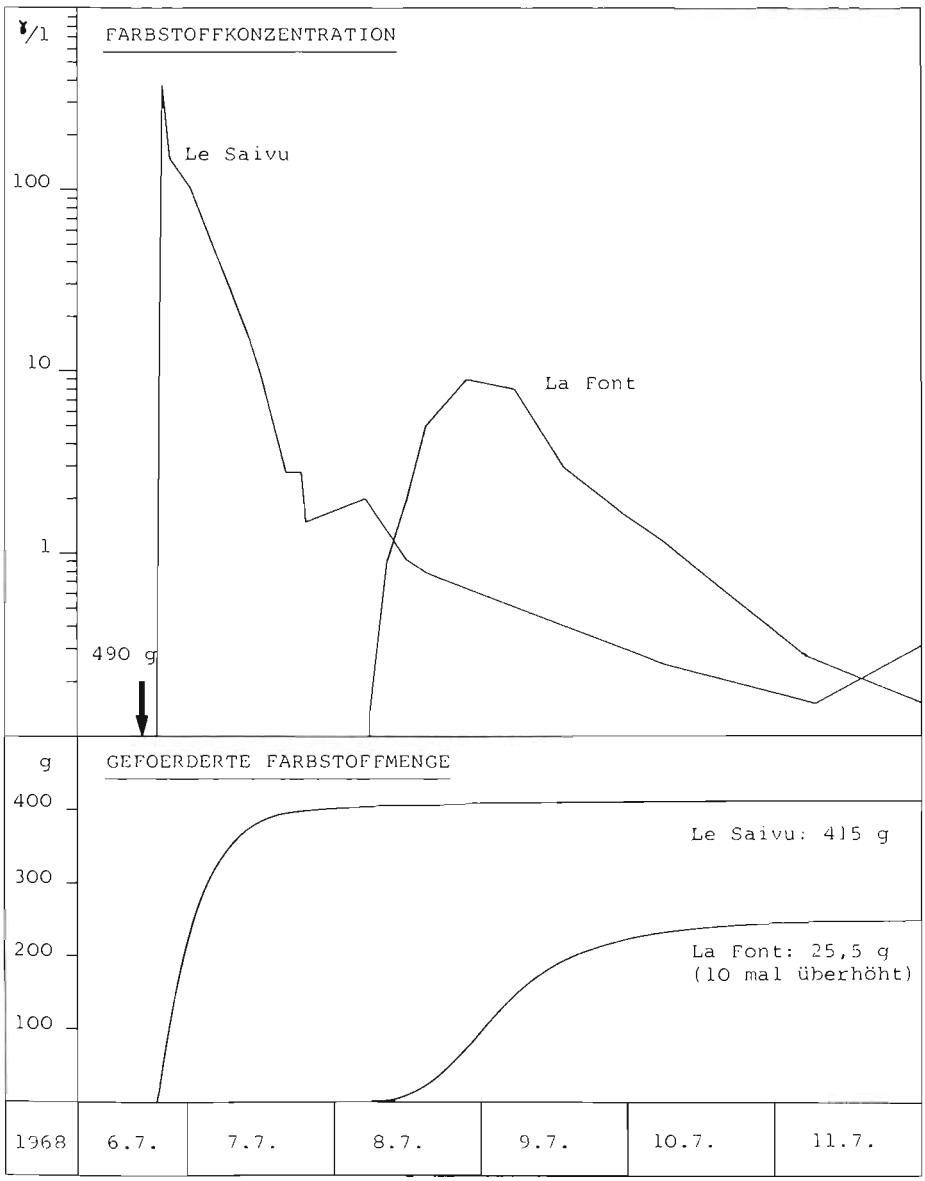
Dies bedeutet, dass unter dem durch Druckfliessen gekennzeichneten Stockwerk, das zu der Quelle bei der Sägerei führt (Le Saivu), bereits heute ein neuer Weg in Bildung begriffen ist, dessen Durchlässigkeit vorläufig höchstens ca. 1000 l/Min. beträgt. Er trifft zufällig mit dem die Quelle La Font speisenden Wasser zusammen, so dass eine Durchmischung stattfindet. Dadurch haben wir für das Höhlensystem von Milandre das Vorhandensein von vier übereinanderliegenden Ausflussöffnungen bewiesen, nämlich zuoberst den Eingang zu den touristischen Grotten, dann La Bâme, Le Saivu und zuunterst die Verbindung, die zu der Quelle La Font führt.

Aus Fig. 94 lassen sich zudem die folgenden Angaben herauslesen:

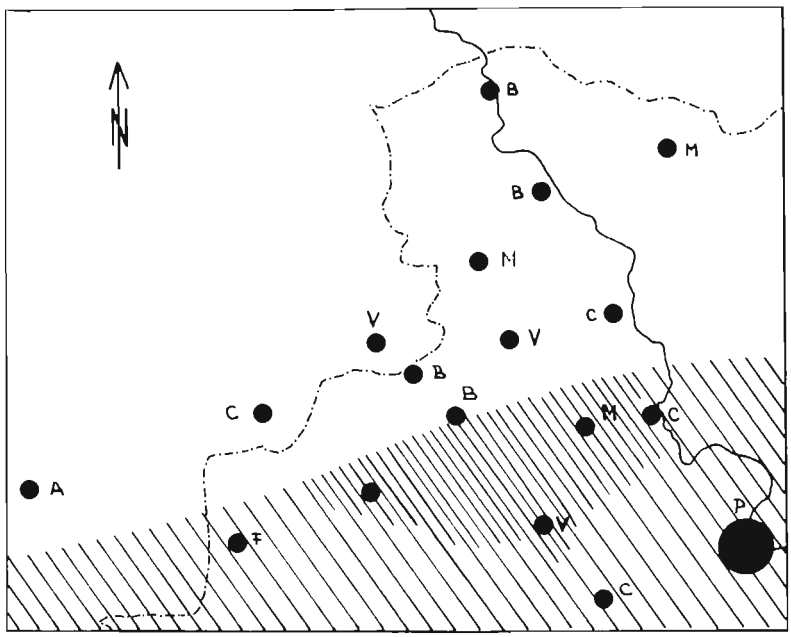
– Die maximale Abstandsgeschwindigkeit betrug bei der Quelle Le Saivu 146 m/Std. (bei 425 m Luftlinie und 2,9 Std. Laufzeit), bei der Quelle La Font 28 m/Std. (1050 m Luftlinie, 37 Std. Laufzeit). Die entsprechenden Zahlen für die mittlere Geschwindigkeit heissen 60 m/Std. (7 Std. Laufzeit) bzw. 18 m/Std. (59 Std. Laufzeit).

– Während bei der Quelle Le Saivu die Farbstoffkonzentration innert kürzester Zeit gewaltig zunimmt und dann langsam wieder abfällt, ist die Durchmischung bei der Quelle La Font sehr viel grösser. Die nur langsam ansteigende Konzentrationskurve wird nach meiner Auffassung nicht durch eine Vielzahl von kleinen Bassins hervorgerufen, sondern ist vielmehr durch ein verästeltes, sich immer wieder zusammenfindendes System von kleinen, wassererfüllten Hohlräumen bedingt, in denen die Fliessgeschwindigkeit gross ist.

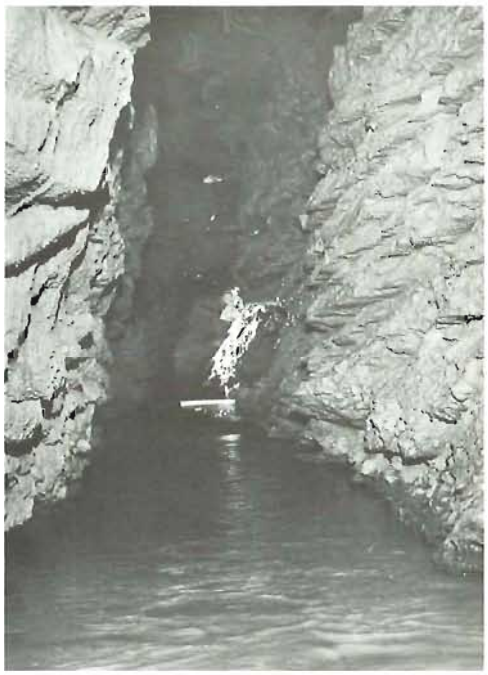
– Die quantitative Berechnung ergab, dass von den 490 g Farbstoff rund 440 g wieder zum Vorschein kamen. Diese knapp 90% verteilen sich mit 415 g auf die Quelle Le Saivu (Schüttung 4900 l/Min.) und mit 25 g auf die Quelle La Font (Schüttung 1900 l/Min.).

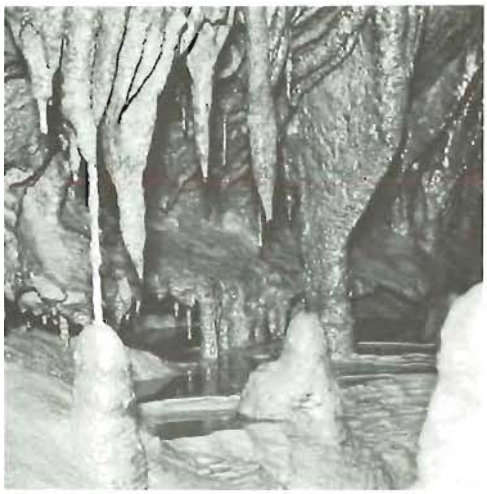


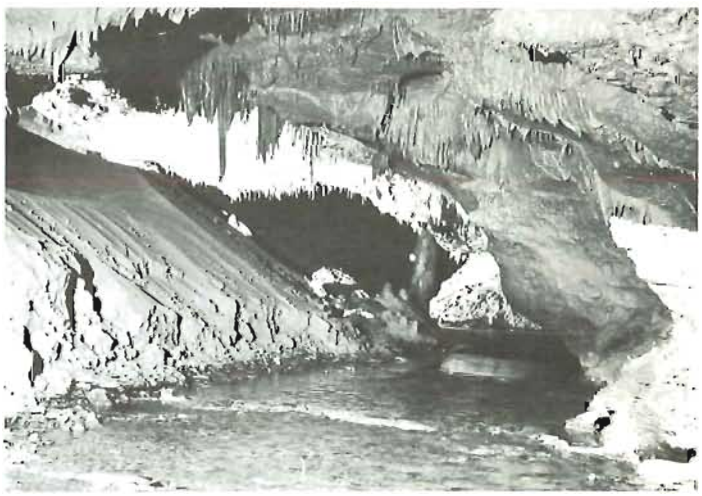
Figur 94 (oben)
Färbung des Höhlenbachs von Milandre am 6. Juli 1968



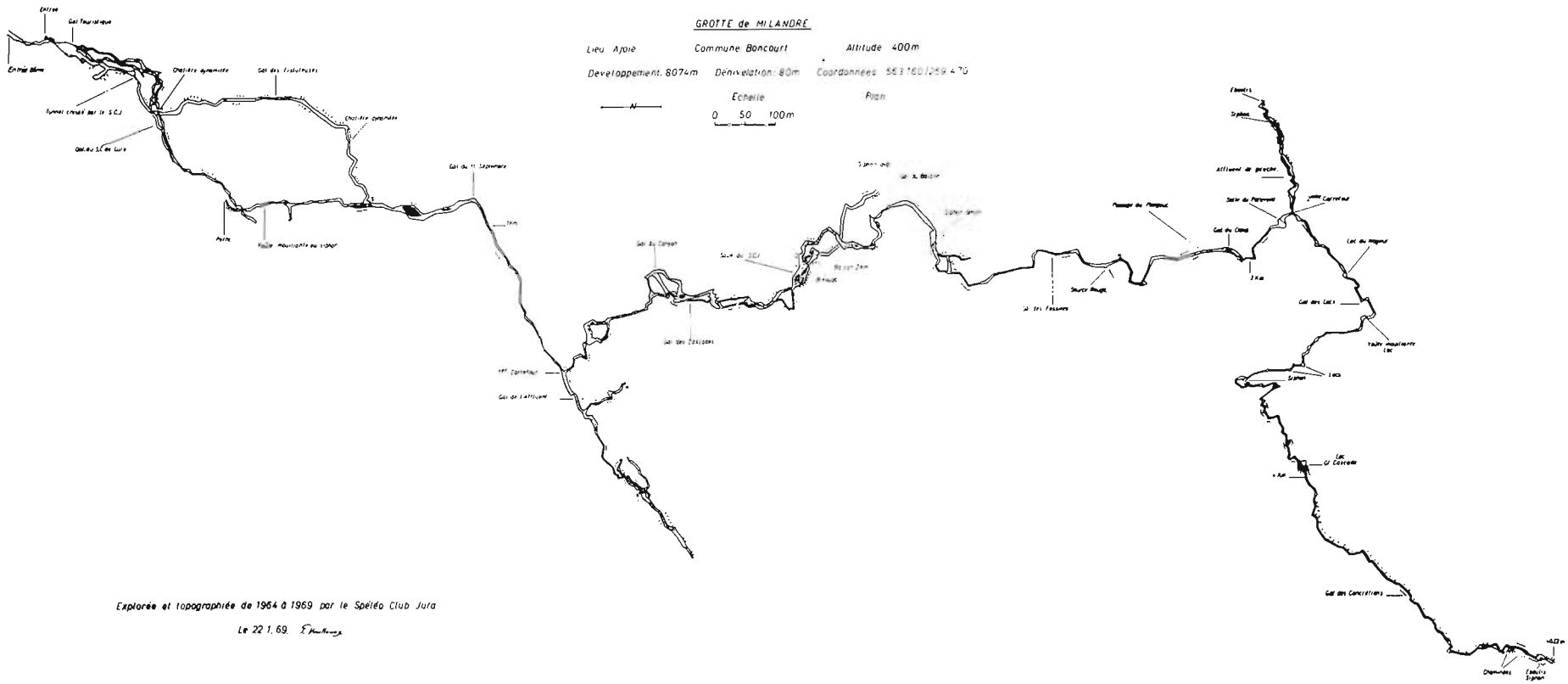
Figur 95
Einzugsgebiet der Quelle Le Saivu: Das Gewitter vom 14. Mai 1967, 16.00 – 16.30 Uhr, bewirkte ein Ansteigen des Höhlenbachs von Milandre



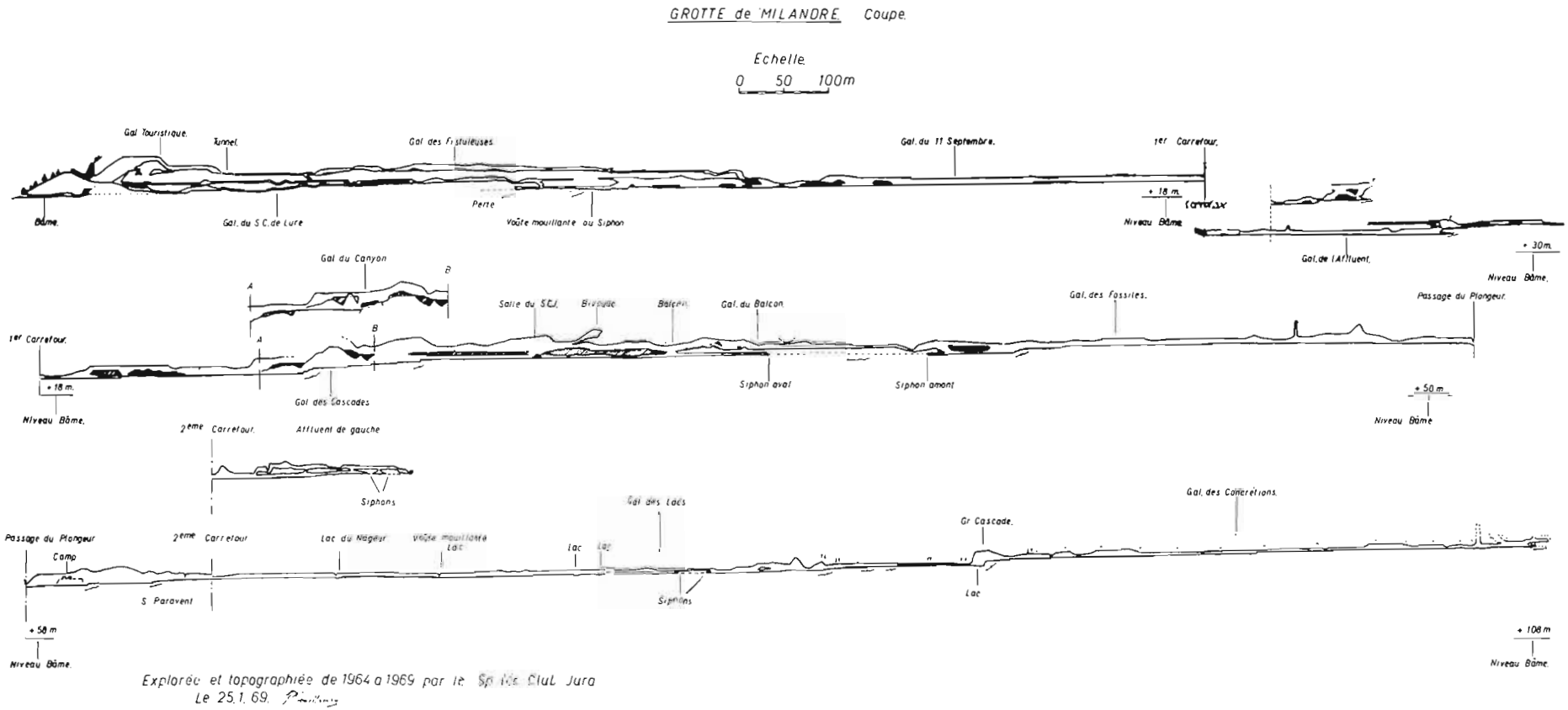




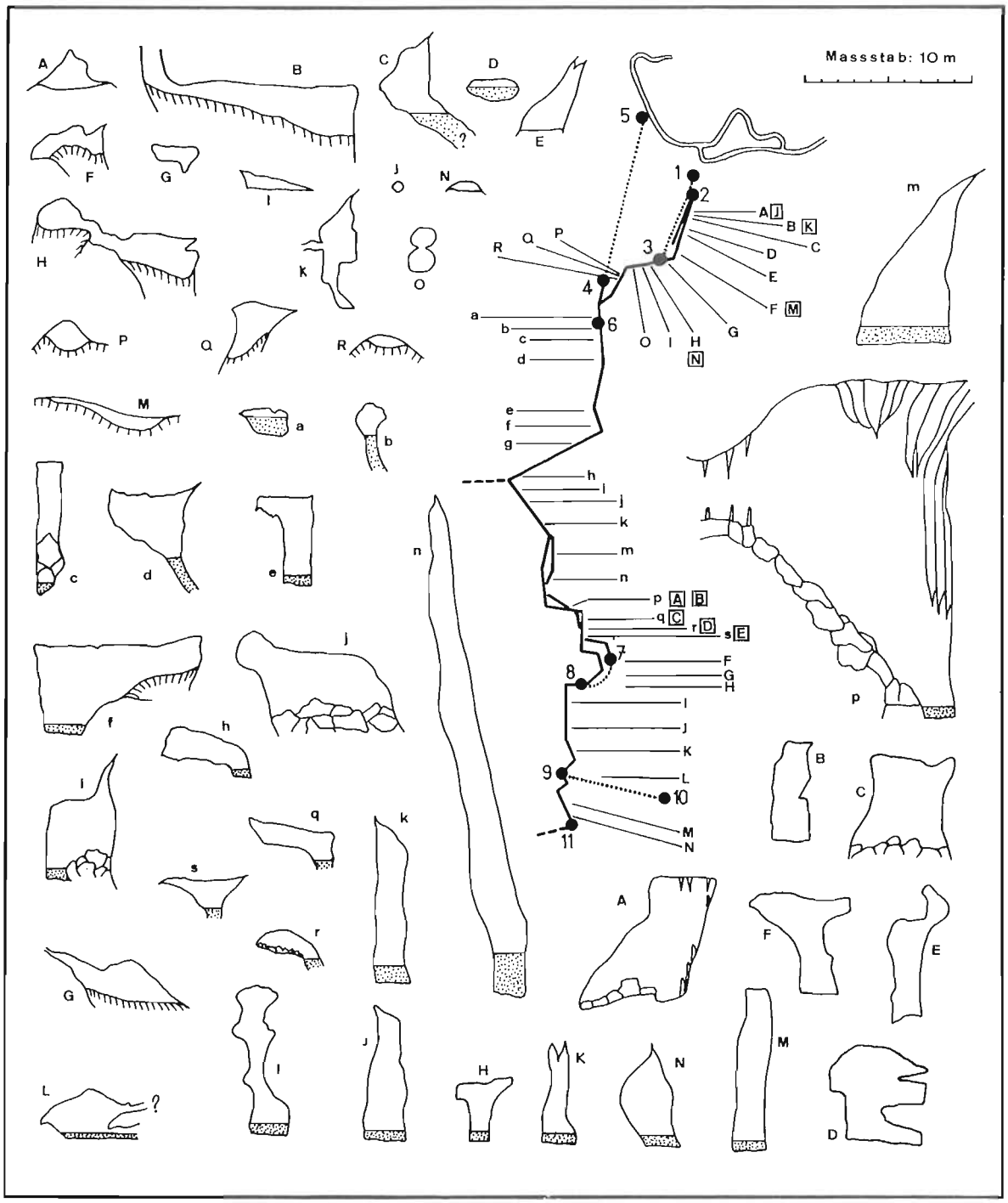
Figur 96
Der unterirdische Bach im Höhlensystem zwischen Boncourt und Bure (Photo A. Geiser)



Figur 97
Grundriss des Höhlensystems von Milandre, von 1964 bis 1969 erforscht und vermessen durch den Spéléo-Club Jura (Leitung: P. Vouillamoz, Delémont)



Figur 98
Aufriss des Höhlensystems von Milandre, von 1964 bis 1969 erforscht und vermessen durch den Spéléo-Club Jura (Leitung: P. Vouillamoz, Delémont)



Figur 99
Ausgewählte Querschnitte im Höhlensystem von Milandre, zusammengestellt nach Aufnahmen des Spéléo-Club Jura

Es bedeuten:
1. La Bâme
2. Eingang zu den für Touristen erschlossenen Grotten (zugleich Einstieg zu den unteren Stockwerken der Höhle)
3. Abzweigung der nicht begehbaren Verbindung zu La Bâme
4. Versickerung des Baches in Felsspalten. Die Verbindung zu der Quelle Le Saivu ist nachgewiesen
5. Le Saivu
6. Erstes Siphon
7. Zweites Siphon. Dieses kann in einem oberen Stockwerk leicht umgangen werden
8. Versickerung des Baches in Felsspalten. Der Zusammenhang mit dem zweiten Siphon ist anzunehmen
9. Source Rouge, Abwasser enthaltend
10. Doline, in der die Abwasser von Le Maira zur Versinkung gebracht werden
11. Drittes Siphon

A-O: Höhlenquerschnitte im ersten Teil der Grotten. Die eingerahmten Buchstaben beziehen sich auf die touristischen Grotten
a-n: Höhlenquerschnitte im zweiten Teil der Grotten (vom ersten zum zweiten Siphon)
A-N: Höhlenquerschnitte im dritten Teil der Grotten (vom zweiten zum dritten Siphon). Die eingerahmten Buchstaben beziehen sich auf das obere Stockwerk

6.1.3.6 Die Forschungen der Speläologen

In der Zeit von 1964 bis 1969 haben sich die Mitglieder des Spéléo-Club Jura mit Sitz in Moutier unter der Leitung von VOUILLAMOZ in über 100 Exkursionen der Erforschung des Höhlensystems von Milandre gewidmet.

Diesen Erforschungen waren aber Grenzen gesetzt. Einerseits ist der erste Teil des Weges derart anstrengend und zeitraubend, dass bei eintägigen Exkursionen ein zu weites Vordringen aus Gründen der Sicherheit nicht verantwortet werden darf. Anderseits war das erste Siphon beispielsweise vom September 1964 bis Ende 1966 trotz verschiedenen Arbeiten, die ein allerdings bescheidenes Absenken des Wasserspiegels bewirkt hatten, während 21½ Monaten, das heisst während rund 80% der Zeit, geschlossen.

Welche Gefahren die örtlichen Verhältnisse in sich bergen, zeigte die noch glücklich abgelaufene Exkursion vom 16. Oktober 1965, als vier Speläologen der Rückweg abgeschnitten wurde, weil der Höhlenbach plötzlich anstieg. Berücksichtigt man die vorhin genannten Zahlen, so mutet es fast wie ein Wunder an, dass sich der Wasserspiegel verhältnismässig rasch wieder senkte und der zusätzliche, unfreiwillige Aufenthalt in der Höhle «nur» 29 Stunden dauerte. Die anschliessend daran erfolgte Errichtung eines Telefons von 2 km Länge bis zum letzten bestimmt trockenen Ort, die Anlage eines Lebensmitteldepots sowie weitere Massnahmen konnten die Sicherheit nur unwesentlich erhöhen. Es ist deshalb verständlich, dass sich der Club im Jahre 1967 das Ziel setzte, unter allen Umständen eine Möglichkeit zu finden, um das gefährliche Siphon und wenn möglich auch den ersten beschwerlichen Teil des Weges zu umgehen. Versuche, eine Einstiegsmöglichkeit von der Erdoberfläche her zu finden, wurden bald einmal aufgeschoben. Man konzentrierte sich vorerst darauf, irgend eine Verbindung zwischen dem Bach und einem evtl. oberen Stockwerk der Höhle zu finden. Beobachtete Luftzüge liessen diese Möglichkeit als erfolgversprechend erscheinen. Durch Erweiterung der fraglichen Klüfte gelang es, in eine obere, bisher noch unbekannte Galerie («Galerie des Fistuleuses») aufzusteigen. Die Vermessung und der Einsatz eines UKW-Sprechgerätes ergaben, dass diese nur ungefähr 15 m vom runden Saal am Ende der touristischen Grotten endet. Im Frühjahr 1968 gelang durch Mineurarbeit der Durchstich zu dem 540 m langen, neu entdeckten, fossilen Gang, von dem aus man mit Hilfe einer 20 m langen Strickleiter zum Höhlenbach hinuntersteigen kann. Dieser neue, bedeutend weniger beschwerliche Durchgang erlaubte, die Erforschung intensiver und weit gefahrloser voranzutreiben. Die genaue Vermessung ergab eine totale Länge der Höhle von 8074 m bei 80 m Höhendifferenz, womit Milandre in bezug auf die Länge den zweiten Platz aller erforschten schweizerischen Höhlen einnimmt. Die wirkliche Länge dürfte jedoch bedeutend grösser sein; leider verwehrten Schuttkegel das weitere Vordringen der Höhlenforscher.

Beim Begehen der Höhle fällt auf, dass diese öfters über längere Distanzen breiten Spalten folgt, die in der Decke sehr gut sichtbar sind. Vergleicht man andererseits die Lage der Galerien mit den neuesten geologischen Aufnahmen, stellt man keine gegenseitige Abhängigkeit fest. Die Hohlräume verlaufen diagonal zu dem von LINIGER angenommenen System der Staffelbrüche. Die genaue wissenschaftliche Erforschung der Tektonik unter der Erde dürfte für die nächsten Jahre eine sehr dankbare Aufgabe sein, die zweifellos Licht in die Entstehungsgeschichte der Höhle bringen kann.

6.2 SCHLÜSSE, DIE SICH AUS ZUFÄLLIGEN VERSCHMUTZUNGEN VON QUELLEN ZIEHEN LASSEN

6.2.1 VERSICKERUNGEN BEIM NEUEN BAUERNHOF HAUT DE BURE (BEI VASLOIN WESTLICH BURE)

In den Akten des Kantonalen Laboratoriums in Bern finden sich eine ganze Reihe von Briefen, die sich mit der zweimaligen Verschmutzung des Trinkwassers von Grandgourt befassen. Danach sollen am 4. 11. 1965 und am 21. 10. 1966 beim neuen Bauernhof Haut de Bure wegen eines Konstruktionsfehlers beim Bau des Silo-Überlaufs übelriechende Verwesungssäfte versickert sein, die bei der durch Grandgourt gefassten Quelle La Favergeatte erneut zu Tage traten. Wenn auch der Beweis in juristischem Sinne nicht voll erbracht wurde, spricht doch vieles für diese Annahme. Vor allem Trübungen, die während gewissen Arbeiten am neuen Panzerwaffenplatz Bure auftraten, deuten darauf hin, dass das Einzugsgebiet dieser Quelle tatsächlich nördlich des Chertau zu suchen ist.

Figur 100 (folgende Seite)
Hydrologische Grundlagenkarte 1 : 10000 von Porrentruy und Umgebung.

Anlässlich der Färbung vom August 1967 entnahmen wir an den folgenden Stellen Wasserproben:

Quelle La Beuchire: Normalerweise 5000–40000 l/Min., ein Tag nach der Färbung ca. 12000 l/Min. schüttend.

Quelle neben dem provisorischen Verkaufslokal der «Innovation»: Sie befindet sich rund 25 m von der Quelle La Beuchire entfernt. Nach Aussage von verschiedenen älteren Leuten soll es sich dabei um die von LIEVRE erwähnte Quelle La Favergeatte (Source de la Boucherie) handeln. Wir haben diesen Namen bewusst nicht gesetzt, da das zugehörige, 1885 zugeschüttete Waschhaus 120 m weiter nordwestlich bei der heutigen Gewerbeschule gelegen haben soll und deshalb die Identität zu wenig gesichert erscheint. Schüttung: ca. 60 l/Min.

Quelle La Chaumont: Leider war der eine Ast während der Färbung vollkommen trocken. Der andere lieferte rund 300 l/Min., läuft jedoch vor einer zugänglichen Stelle in die Kanalisation und wird mit Abwasser vermischt.

Quelle im Bett des periodischen Flusslaufes Creujenat, neben dem Baugeschäft Masset. Schüttung: ca. 60 l/Min.

Quelle Le Pâquis: Diese wurde bei der Korrektion der Allaine gefasst und in die Kanalisation geleitet. Schüttung: ca. 1000 l/Min.

Quelle Le Betteraz (Trou des Autrichiens): Normalerweise 6000–25000 l/Min., ein Tag nach der Färbung 8760 l/Min. schüttend.

Quelle im Werkhof der Bauunternehmung Parietti + Gindrat. Das Wasser wird vor allem zum Mischen von Beton verwendet. Schüttung: 30–40 l/Min.

Kleine Quelle in der Prairie d'Able: Schüttung: 1–2 l/Min.

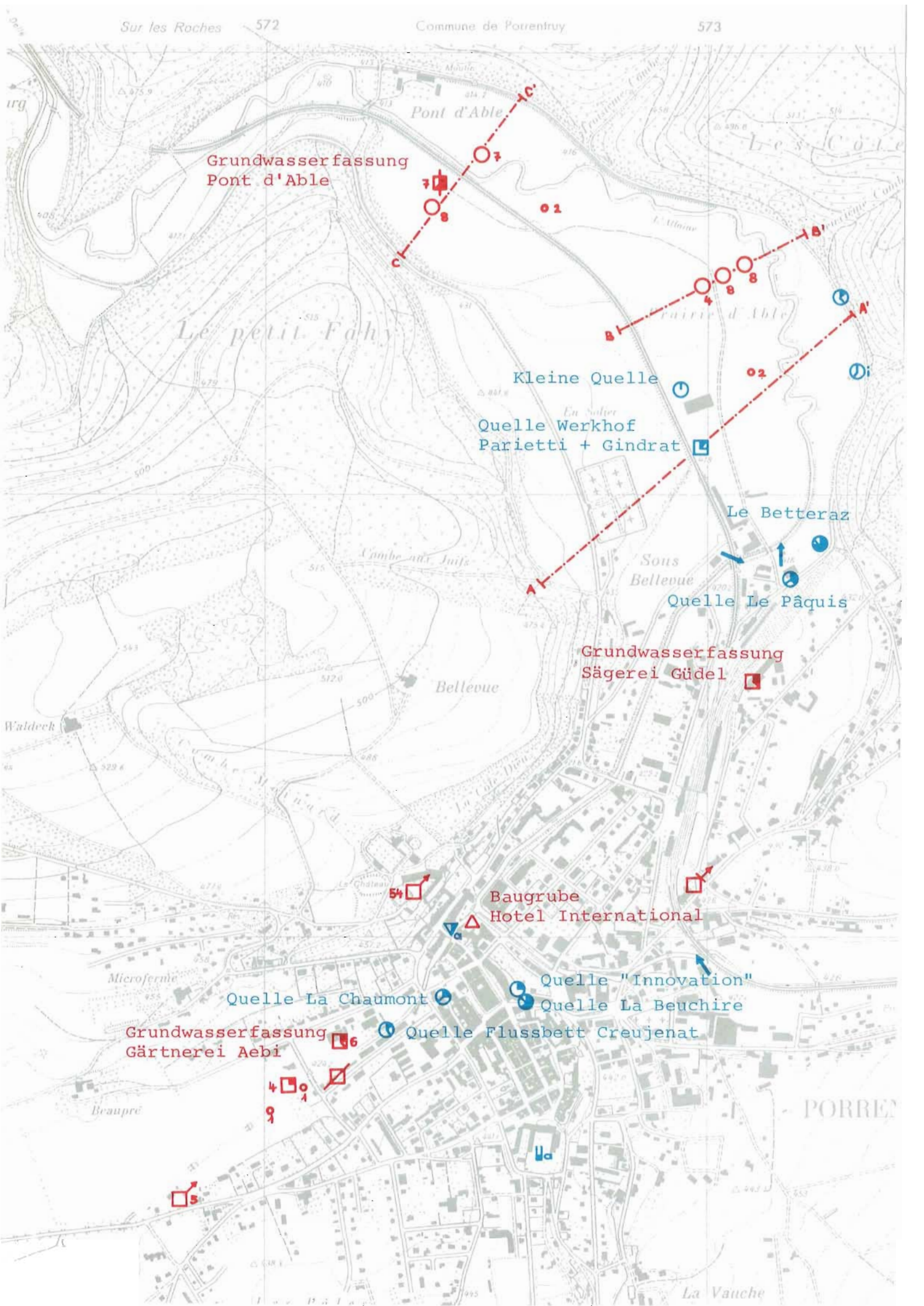
Grundwassererfassung im Garten der Gärtnerei Aebi: Nach Angaben von Herrn Aebi stammt das Wasser aus 2–3 m Tiefe und steigt dann durch artesischen Druck bis ca. 1 m unter die Erdoberfläche auf.

Grundwasser in der Baugrube neben dem Hotel International: Um diese trocken halten zu können, mussten konstant rund 200 l/Min. gepumpt werden.

Grundwasserfassung im Keller der Sägerei Güdel: 8 m tiefer Schacht im Festgestein (keine Alluvionen).

Grundwasserfassung Pont d'Able: Dient der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Porrentruy. Schacht in den Alluvionen.

Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 22.6.1970.


Sur les Roches 572
Commune de Porrentruy 573
Pont d'Able
Grundwasserfassung
Pont d'Able
Kleine Quelle
Quelle Werkhof
Parietti + Gindrat
Le Betteraz
Quelle Le Pâquis
Grundwasserfassung
Sägerei Güdel
Bellevue
Waldeck
Baugrube
Hotel International
Quelle "Innovation"
Quelle La Chaumont
Quelle La Beuchire
Grundwasserfassung
Gärtnerei Aebi
Quelle Flussbett Creujenat
Microferme
Beaupré
La Vauche

6.2.2 LEERUNG DER JAUCHEGRUBE AUF DEM MONT RENAUD ÖSTLICH BONCOURT

Im Januar 1958 wurde die Jauchegrube des Stalles auf dem Mont Renaud leergepumpt und deren Inhalt auf der Weide zur Versickerung gebracht. Als Folge davon verfärbte sich die kleine Quelle, die nahe der Gemeindegrenze zwischen Buix und Boncourt unterhalb der Strasse im Tal entspringt, braun, wodurch der Zusammenhang bewiesen war. Nicht beeinflusst wurde die etwas höher über dem Natica-Horizont im Wald gelegene Quelle La Fontenatte.

6.2.3 VERSICKERUNGEN BEIM STEINBRUCH LACHAT IN LA MALCÔTE

In den ersten Tagen des Monats August 1960 wies das Trinkwasser der Gemeinde Fregiécourt, das durch die Quelle La Valletaine gespiesen wird, einen sehr starken Phenolgeschmack auf, der eine Konsumation praktisch verunmöglichte. Die Untersuchung ergab, dass man in den vorhergehenden Tagen im Steinbruch von La Malcôte Versuche zur Aufbereitung von Strassenbelägen auf der Basis einer kalten Emulsion vorgenommen hatte, die mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als die Ursache der Verschmutzungen angesehen werden müssen.

6.2.4 VERSICKERUNGEN BEIM ZOLL VON FAHY

Bei der Quellgruppe Sources de l'Huilerie, im Gebiet von Sur Etremay nordwestlich Fahy in Frankreich gelegen, bilden sich an bestimmten Tagen ganze Berge von Schaum. Nähere Untersuchungen ergaben, dass dies immer dann der Fall ist, wenn beim 500 m davon entfernten schweizerischen Zollhaus ein grosser Waschtag stattfindet. Das Abwasser dieser westlich der Kuppe liegenden Häuser von Fahy wird nicht der allgemeinen Kanalisation zugeführt, sondern in Gruben zur Versickerung gebracht.

6.3 WEITERE NACHWEISE UNTERIRDISCHER VERBINDUNGEN MIT HILFE VON MARKIERSTOFFEN

6.3.1 DIE FÄRBUNG IN VILLARS SUR FONTENAIS

Bei Voruntersuchungen im Zusammenhang mit dem Bau einer Kanalisation in Villars wurde nach dem 2. Weltkrieg eine heute zugedeckte Doline, die sich unterhalb des neuen Schulhauses befand, durch den planenden Ingenieur R. CONRAD mit Fluoreszin gefärbt. Bereits am folgenden Morgen floss der Bach Bacavoine grün.

Dieses Ergebnis entspricht den theoretischen Überlegungen. Das im Raume Villars fallende Wasser sickert durch das schwach nach Norden abfallende untere Kimmeridgien, obere und mittlere Sequanien ein und wird durch den Natica-Horizont (unteres Sequanien) gestaut. Die Antiklinale Le Banné-La Perche verhindert ein Weiterfliessen nach Norden, so dass im tiefsten Punkt des Beckens von Fontenais das Wasser als Quelle erneut an die Oberfläche gelangt.

Bei dieser Gelegenheit mag es interessant sein festzustellen, dass die heutige Lösung des Kanalisationsproblems in Villars (Versickerung in einer Wiese unterhalb des Dorfes) gegenüber der Einleitung in die oben erwähnte Doline wohl nur den Vorteil hat, dass das Abwasser etwas besser abgebaut und filtriert wird, bevor es in Fontenais gefasst, desinfiziert und erneut nach Villars zum Verbrauch gepumpt wird.

6.3.2 DIE FÄRBUNG DES RUISSEAU DE COURGENAY

Der aus der Gegend Sur la Croix-Courtemautruy stammende, im allgemeinen wenig Wasser führende Bach nimmt nach Courgenay einen Teil der Abwasser dieses Dorfes auf. Knapp 1½ km weiter westlich verschwindet er unmittelbar neben der Strasse in einer Felsspalte. 750 bis 800 m weiter talabwärts befindet sich die Quelle Voyebœuf (Bied). Nach einem Gewitter konnte ich darin kleinste Papierfetzchen feststellen, ein Indiz für die Verschmutzung mit Abwasser, das an Klarheit eigentlich nichts zu wünschen übrig lässt.

Im Mai 1966 färbte der Direktor der Gas- und Wasserwerke von Porrentruy, Herr KUENZI, den Bach oberhalb des Schlucklochs mit Fluoreszin. Die bereits ausgesprochene Vermutung bestätigte sich, indem dieses einige Stunden später von blossem Auge im Quellwasser festgestellt werden konnte. Es sei jedoch klargestellt, dass die Quelle weit mehr schüttet, als der Bach vor der Versinkung Wasser führt. Ihr Einzugsgebiet muss deshalb wesentlich grösser sein.

Geologisch-hydrologisch haben wir die genau gleiche Situation wie im Quelltopf von Fontenais. Auch hier überläuft das über dem Natica-Horizont gestaute Wasser am tiefsten Punkt vor der auftauchenden Banné-Antiklinale.

6.3.3 DIE FÄRBUNG BEI LE VARANDIN

Die Quelle Le Varieu, die der Wasserversorgung von Porrentruy dient, wurde im Oktober 1966 stark verschmutzt. Der jaucheähnliche Geruch verunmöglichte vorübergehend die weitere Verwendung des Wassers. Die Vermutung lag nahe, dass die Ursache beim ca. 1 km entfernten und 90 m höher gelegenen Bauernhof Le Varandin zu suchen sei. Drei Liter Fluoreszin, am 25. Oktober 1966, ca. 21 Uhr, während anhaltenden Regenfällen rund um den Miststock und das Bauernhaus auf das Feld gegossen, bestätigten diese Auffassung. Bereits anderntags um 10 Uhr war das Wasser der Quelle leicht gefärbt, um sich im Laufe des Nachmittags in einen hellgrünen Strom zu verwandeln.

Dieser Versuch zerstörte die jahrhundertealte Legende von der hervorragenden Qualität der Quelle Le Varieu. Noch KOBY vertrat die Meinung, dass deren Einzugsgebiet nur in den Wäldern des Grand Fahy und keinesfalls auf den Plateaus von Varandin und Bure zu suchen sei. Tatsächlich handelt es sich um eine Überlaufquelle über dem nach Süden einfallenden Natica-Horizont, die durch die nördlich und westlich der Combe du Varieu fallenden Niederschläge gespiesen wird.

6.3.4 DIE FÄRBUNG DER ABWASSER VON MORMONT

Am 23. Oktober 1963 zwischen 09.00 und 10.00 Uhr färbte Lebensmittelinspektor Dr. FELL (Delémont) die Abwasser des Weilers Mormont mit Fluoreszin. Abends um 18.00 Uhr konnte man die Farbe in den beiden Quellen Le Fahy de Roûene, die das Dorf Courchavon versorgen, feststellen. Die Abstandsgeschwindigkeit betrug ungefähr 75 m/Std.

6.3.5 DIE FÄRBUNG DER ABWASSER VON CROIX

Zu Beginn des Monats Januar 1961 wurde von den Verantwortlichen der Wasserversorgung St. Dizier-Lebétain-Delle dem Abwasser von Croix Fluoreszin beigemischt, das nach 61 bis 66 Stunden in Val St. Dizier zum Vorschein kam. Dies entspricht für die 2875 m Luftlinie messende Strecke (bei einer Höhendifferenz von ca. 120 m) einer maximalen Abstandsgeschwindigkeit von rund 45 m/Std. Dem Protokoll können die folgenden Einzelheiten entnommen werden:

Datum	Zeit	Färbung mit	Witterung	Niederschlag in Fahy
6. 1. 61	09.15 Uhr	100 g Fluoreszin	Schnee	
	15.10	50 g	Schnee	
	21.25	50 g	Schnee	0,4 mm
7. 1. 61	03.20	50 g	Schnee	
	09.25	50 g	Schnee	
	15.15	50 g	Tauwetter	
	21.20	50 g	Frost	0,4 mm
8. 1. 61	03.30	50 g	Frost	
	09.10	50 g	Regen	
	15.15	50 g	Regen	
	21.55	50 g	Bewölkt	3,4 mm

Datum	Zeit	Färbung mit	Witterung	Niederschlag in Fahy
9. 1. 61	03.20	50 g Fluoreszin	Regen	
	09.15	**	Regen	
	10.00	**	Regen	
	16.30	**	Schnee	
	20.35	**	Frost	2,5 mm
10. 1. 61	10.35	**	Schnee	
	22.30	**	Schnee	5,5 mm
11. 1. 61	09.25	**	Regen	
	22.15	**	Frost	0 mm
12. 1. 61	10.00		Frost	0 mm
13. 1. 61	21.55		Frost	0 mm
14. 1. 61	10.00		Frost	0 mm

Zu den mit zwei Sternen (**) bezeichneten Zeiten waren die gefassten, aus Rauracien austretenden Quellen Source Vœuve Raislin und Source du Lavoir grün gefärbt, nicht jedoch die Source des Foux und die Source des Pigeons.

6.3.6 DIE FÄRBUNG DER ABWASSER VON VILLARS-LES-BLAMONT (WESTLICH DAMVANT)

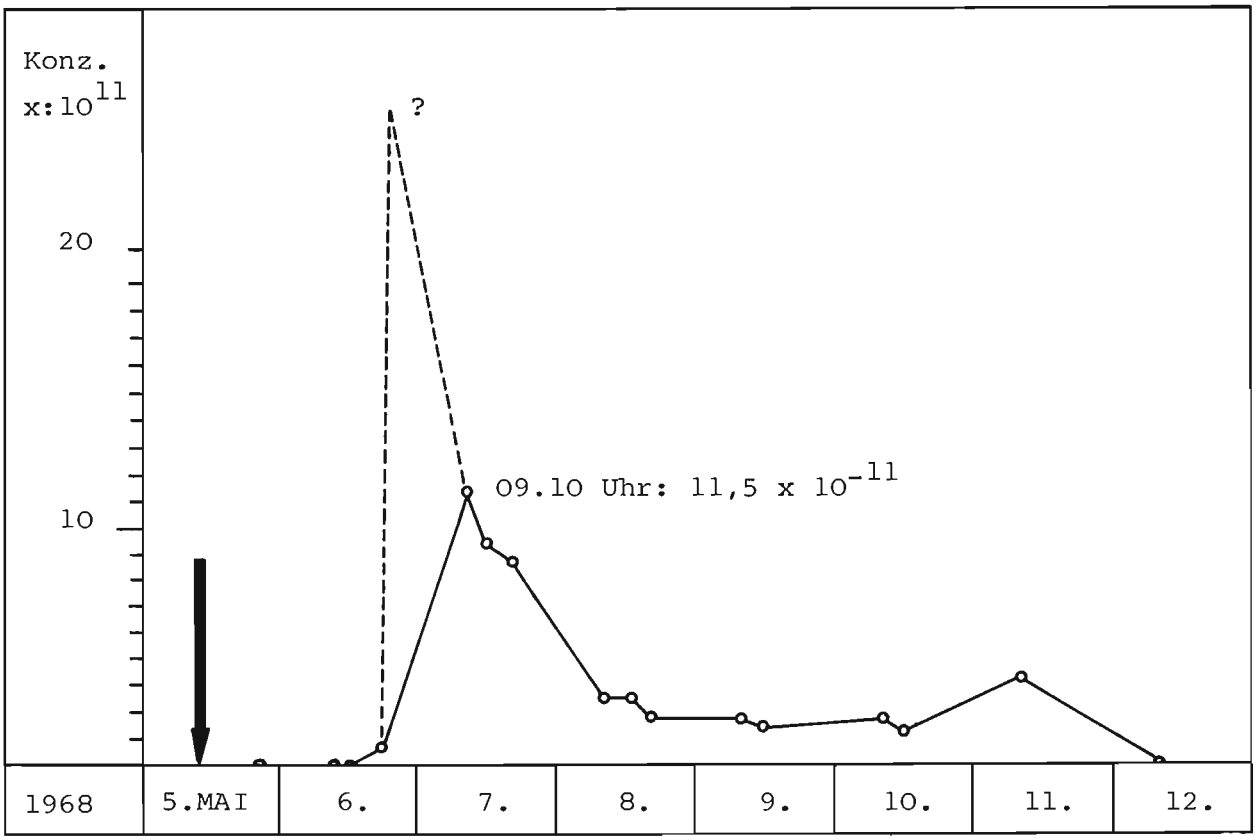
Ähnlich wie in den schweizerischen Gemeinden der Haute-Ajoie versinken die Abwässer dieses französischen Dorfes in einer Karstspalte. Am 2. April 1966 wurden sie durch das Ingenieurbureau ROUDET (Audincourt) mit 1 kg Fluoreszin gefärbt. Wie dem offiziellen Rapport zu entnehmen ist, soll bereits am darauffolgenden Tag die Quelle Fontaine Ronde westlich Blamont im Tal der Creuse eine sehr starke Färbung aufgewiesen haben. Diese befindet sich 1,75 km von der Impfstelle entfernt. Am 4. April sprach zusätzlich dazu eine für Pont de Roide neu gefasste Quelle an, die in 5,25 km Entfernung süwestlich Antechaux im Tal der Roide entspringt.
Dieses Ergebnis ist für die Ajoie insofern bedeutungsvoll, als dadurch klar bewiesen ist, dass die Entwässerung von Villars-lès-Blamont in Anlehnung an die oberflächliche Wasserscheide nach Norden bzw. nach Westen gerichtet ist. Wo allerdings die genaue Grenze zwischen Roide und Creuse einerseits und der Ajoulote anderseits durchgeht, bleibt offen. Sie dürfte zwischen Damvant und Réclère zu suchen sein.

6.3.7 DIE FÄRBUNG DER ABWASSER VON FAHY

Diese lässt man ca. 1 km östlich von Fahy, beim Schiessstand, am Südostende eines Beckens ohne oberirdischen Abfluss, in einer Doline versinken. Theoretisch wäre von dort ein Abfluss nach vier Seiten möglich, nämlich:

- nach Süden und Südosten ins Trockental der Haute-Ajoie und von dort zu der Quelle La Beuchire in Porrentruy (11,50 km Horizontaldistanz, 140 m Höhendifferenz)
- nach Westen zu der Source de la Doue östlich Glay (3,75 km Luftlinie und 125 m Höhenunterschied)
- nach Norden zu den Quellen von Val St. Dizier (5,23 km Luftlinie und 90 m Höhendifferenz)
- nach Nordosten ins Höhlensystem von Milandre (11,03 km Luftlinie und 190 m Höhenunterschied).

Verschiedene Messungen des Schichtfallens in der Gegend von Fahy, aber auch die allerdings relativ alte geologische Karte von HUMMEL, liessen einen Abfluss nach Norden als unwahrscheinlich erscheinen.



Figur 101
Färbung der Abwasser von Fahy am 5. Mai 1968; Farbkonzentration im Wasser der Quelle La Beuchire in Porrentruy

Dazu deutete die relativ grosse Schüttung der Source de la Doue darauf hin, dass deren Einzugsgebiet in die Schweiz hineinreichen müsse. Die Oberflächentopographie schliesslich sprach für eine Entwässerung Richtung Porrentruy, erstrecken sich doch die Combe de Goule und die Grande Combe von Rocourt in Richtung Ostteil Fahy.

Durch eine Färbung wollten wir uns über die unklare Situation nähere Angaben beschaffen. Um die ausgesetzten jungen Fische in der Doue auch im ungünstigsten Fall nicht zu gefährden, musste die Farbmenge auf ein halbes Kilo Sulforhodamin G Extra beschränkt werden. Dieses gaben wir am 5. Mai 1968 von 10.10 bis 12.30 Uhr regelmässig dem Abwasser bei. Noch gleichentags überraschte uns ein heftiges Gewitter, dem abends weitere starke Regen- und Schneefälle folgten. Für eine sehr gute Spülung war deshalb ohne unser Dazutun gesorgt. Die nachstehenden Notizen über den Witterungsverlauf mögen einige weitere interessante Hinweise geben:

Sonntag, 5. Mai 1968	15.00 Uhr: die Source de la Doue schüttet 43320 l/Min. 16.00 bis 16.30 Uhr: Platzregen. Die Doue fällt bis 18 Uhr um ca. 2 cm. 19.30 bis 21.30 Uhr: Ununterbrochen starke Gewitter. Ab 20 Uhr: Die Doue beginnt auf das rund Dreifache anzusteigen; das umgebende Wiesland wird zum Teil überschwemmt.
Montag, 6. Mai 1968	Nach Mitternacht erneute Niederschläge. Bis 07.30 Uhr fallen in Fahy 12,2 mm Regen. 06.00 Uhr: Die Doue ist weiter gestiegen und fliesst braun. 18.00 Uhr: Die Doue beginnt langsam zu fallen.

Dienstag, 7. Mai 1968

Bis 07.30 Uhr sind in Fahy 1,8 mm Regen gefallen.
Gegen Mittag ist die Farbe des Doue-Wassers weisslich; es ist mit Schaum bedeckt.
Ab 17.00 Uhr Schneefall; in Fahy misst man 4,3 mm Schmelzwasser.

Das gleiche Bild zeigt sich auf dem Limnigraphenstreifen in Boncourt. Während am Sonntagmorgen noch 5 m^3/Sek. abflossen, waren es am Montagmittag über 18 m^3/Sek., eine Menge, die bis Ende der Woche nur langsam auf den ursprünglichen Wert zurückging.

Die Wasserproben entnahmen wir bei den vier vorgängig genannten Karstquellen. Ein Austritt an einem anderen Ort musste als ausgeschlossen angesehen werden. Die Auswertung mit dem Turner-Fluorometer ergab die folgenden Resultate:

– In der Source de la Doue konnte keine Farbe gefunden werden. Trifft man die auf Messungen, Beobachtungen und Erfahrungen früherer Färbversuche begründete und eine grosse Sicherheitsspannweite in sich schliessende Annahme, dass dauernd eine Schüttung von 100000 l/Min. erfolgt sei, dass sich die Farbe regelmässig auf vier Tage verteilt habe und dass bei dieser kurzen Distanz 80% derselben gefördert werde, ergäbe dies eine Farbstoffkonzentration von $^2/_3$ γ/l, was beim Fluorometer einen Ausschlag von 50–60 Teilstrichen zur Folge gehabt hätte.

– Bei den Proben der Quelle La Beuchire in Porrentruy zeigte das Fluorometer einen allerdings nur kleinen Ausschlag an, der 47 Std. nach der Impfung am grössten war. Dies entspricht einer maximalen Farbstoffkonzentration von 1,2 mal 10^{-10}, das heisst rund $^1/_8$ γ/l. Die daraus berechnete grösste Abstandsgeschwindigkeit liegt zwischen 250 und 375 m/Std.; dieser Wert erscheint als sehr gross, wenn man mit den Resultaten von Courtedoux und Bressaucourt vergleicht, die allerdings beide aus einer relativ trockenen Zeit stammen. Berücksichtigt man dagegen die erste Färbung von Le Maira, bei der bei relativ hohem Wasserstand eine Geschwindigkeit von 250 m/Std. resultierte, oder die von SCHWAB bei der Merlin-Quelle oberhalb Biel bei Hochwasser erhaltenen Werte von 437 m/Std., so gewinnt diese Zahl an Glaubwürdigkeit.

Eine gewisse Unsicherheit bleibt aber bestehen, wenn man die geförderte Farbstoffmenge zu berechnen versucht. Dies ist insofern schwierig, als die Zahlen, die über den Abfluss Auskunft geben, nur sehr grob geschätzt werden können. Die Beuchire allein dürfte 100000 bis 150000 l/Min. geschüttet haben.

Es ist jedoch anzunehmen, dass der Anteil des Wassers aus der Haute-Ajoie grösser war, mass man doch in Boncourt zu diesem Zeitpunkt ca. 9 m^3/Sek. (540000 l/Min.). Aber selbst dann, wenn man 200000 l/Min. einsetzt, ergibt sich für die wiedererlangte Farbstoffmenge höchstens 15%, was zweifellos zu wenig ist. Allerdings beträgt die Zeitdauer zwischen der letzten nicht kontaminierten Probe und der ersten, bei der ein Ausschlag registriert wurde, ungefähr 16 Stunden. An sich wäre es möglich, dass in der Zwischenzeit eine relativ schmale, stark konzentrierte Farbstoffwolke passierte, die nicht erfasst wurde. Diese Annahme steht aber im Gegensatz zu den bei niedrigen und mittleren Wasserständen gemachten Erfahrungen. An sich möglich wäre, dass die Flutwelle, die der Färbung nachfolgte, eine bedeutend geringere Durchmischung als üblich bewirkte, das heisst, dass die Farbe durch diese eingeholt und stark konzentriert an deren Spitze mitgetragen wurde.

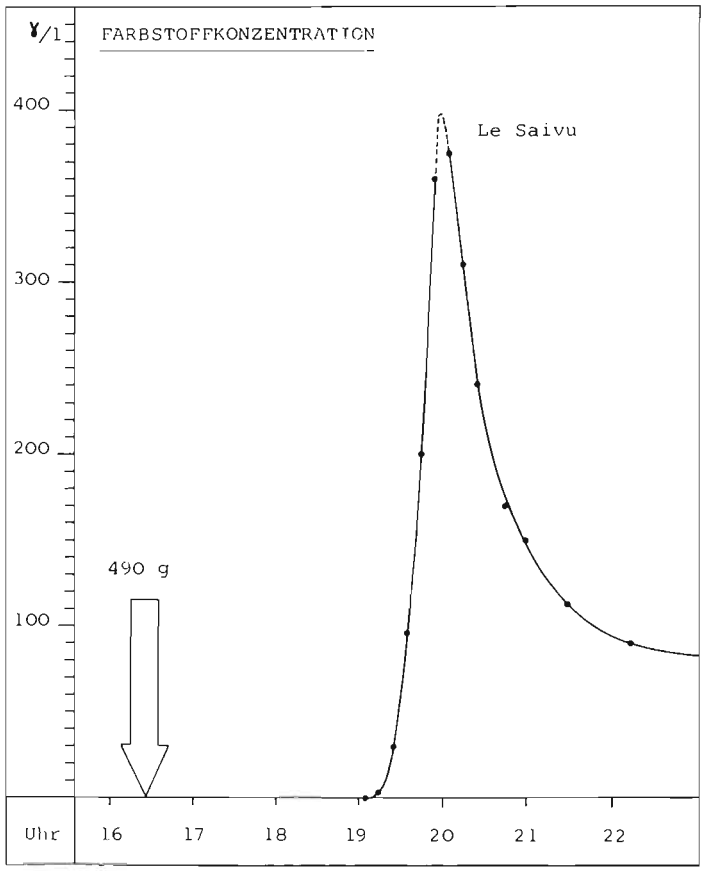
– Bei den Quellen Le Saivu und Val St. Dizier konnte während 14 Tagen kein Farbstoff nachgewiesen werden.

Berücksichtigt man alle Faktoren, darf zusammenfassend gesagt werden, dass eine Verbindung zwischen der Färbstelle in Fahy und der Source de la Doue mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auszuschliessen ist. Statt dessen sprechen mehrere Gründe für die Annahme, dass der westliche Teil des abflusslosen Beckens von Fahy zum Einzugsgebiet des unterirdischen Ajoulote, der in Porrentruy bei der Quelle La Beuchire zu Tage tritt, gehört.

1	2	3	4	5	6
2. 8.1967	Courtedoux La Beuchire Porrentruy	3,000 km ?(6-10 m)	69 Std. 101 Std.	43 m/Std. 30 m/Std.	sehr trocken
5. 7.1968	Bressaucourt La Beuchire Porrentruy	3,575 km 76 m	86 Std. 108 Std.	41-42 m/Std. 32 m/Std.	ziemlich trocken
	Bressaucourt Bonne Fontaine Fontenais	2,900 km 57 m	80 Std. 114 Std.	36 m/Std. 25 m/Std.	ziemlich trocken
8. 8.1965	ARA Bure Le Saivu Boncourt	3,300 km 140 m	85-90 Std. ca. 155 Std.	37-39 m/Std. 21 m/Std.	ziemlich trocken
11. 7.1965	Grande Valle Le Saivu Boncourt	2,6-2,8 km 90-105 m	- 50-60 Std.	- 43-56 m/Std.	normal
4. 3.1967	Le Maira Le Saivu Boncourt	2,100 km 110 m	8 Std. 15 Std.	262 m/Std. 133 m/Std.	Abklingen eines Hochwassers
	Le Maira La Font Boncourt	2,720 km 110 m	22 Std. 46 Std.	123 m/Std. 59 m/Std.	Abklingen eines Hochwassers
6. 7.1968	Höhle Milandre Le Saivu Boncourt	0,425 km ?(einige m)	2,9 Std. 7 Std.	146 m/Std. 60 m/Std.	ziemlich trocken
6. 7.1968	Höhle Milandre La Font Boncourt	1,050 km ?(einige m)	37 Std. 59 Std.	28 m/Std. 18 m/Std.	ziemlich trocken
6. 1.1961	Croix Val St. Dizier	2,875 km 120 m	61-66 Std. -	45 m/Std. -	Frost mit anschliessendem Tauwetter
10.1966	Le Varandin Source du Varieu Courchavon	1,000 km 90 m	10-13 Std. -	75-100 m/Std. -	Heftige Gewitter
5. 5.1968	Fahy La Beuchire Porrentruy	11,500 km 140 m	31-46 Std. -	250-375 m/Std. -	Heftige Niederschläge, Hochwasser
23.10.1963	Mormont Le Fahy de Roûene Courchavon	0,600 km 70 m	8 Std. -	75 m/Std. -	normal (eher trokken als feucht)

Figur 102 (oben)
Durchlaufzeiten und Abstandsgeschwindigkeiten der in der Ajoie durchgeführten Markierversuche.

Es bedeuten:
1. Datum der Färbung
2. oben Ort der Färbung,
   unten Ort des Wiederaustritts
3. oben Horizontaldistanz (Luftlinie),
   unten Höhendifferenz
4. oben die kleinste,
   unten die mittlere Durchlaufzeit
5. oben die maximale,
   unten die mittlere Abstandsgeschwindigkeit
6. Witterungsverhältnisse



Figur 103
Durchmischung anlässlich der Färbung des Höhlenbachs von Milandre am 6. Juli 1968

6.4 GESCHWINDIGKEIT UND DURCHMISCHUNG DER UNTERIRDISCH FLIESSENDEN GEWÄSSER

Die Abstandsgeschwindigkeiten aller Markierversuche, die im Untersuchungsgebiet durchgeführt wurden, sind in Fig. 102 zusammengestellt. Ein weiteres Resultat liefert die Aufzeichnung eines lokalen Gewitters am 14. Mai 1967. Zwischen 16.00 und 16.30 Uhr ging in der Gegend südlich Bure ein heftiger Platzregen nieder. Anderntags um 05.00 Uhr trat das zweitoberste Stockwerk der Grotten von Milandre (La Bâme) in Funktion. Um acht Uhr erreichte die Quellschüttung ihr Maximum; gegen Abend floss kein Wasser mehr. Da die Niederschläge in einer Distanz von wenigstens 6 km Luftlinie fielen, ergibt dies als maximale Abstandsgeschwindigkeit mindestens 460 m/Std.; als mittlerer Wert muss 380 m/Std. oder mehr angenommen werden. Es sei aber in Erinnerung gerufen, dass es sich hier über weite Strecken um ein offenes Fliessen eines Höhlenbachs handelte.

Die Auswertung einer von LIEVRE gemachten und in seinem Werk «Le Karst jurassien» festgehaltenen Beobachtung ergibt 850 m/Std. Danach floss am 5. Mai 1915 im Anschluss an ein Gewitter, das auf den westlichen Teil der Haute-Ajoie beschränkt war, ein oberirdischer Bach bis zum Creux-Genaz, drang dort in das Erdreich ein und rief nach 5 Std. bei der Quelle La Beuchire in Porrentruy eine heftige Trübung hervor.

Bei diesen Geschwindigkeiten handelt es sich durchwegs um sehr grosse, für den Karst typische Werte. Sie entsprechen den Ergebnissen, die andernorts in Gebieten mit ähnlichem Charakter registriert wurden:

C. MEGNIEN	Bassin de la Vanne	169 m/Std.
	Yonne	maximal 1000 m/Std.
		minimal 47 m/Std.
		im Mittel 130–150 m/Std.
H. SCHARDT	Baulmes–Chamblon	bei Niederwasser 27 m/Std.
		bei Mittelwasser 100 m/Std.
		bei Hochwasser 155–180 m/Std.
W. SCHWAB	Prés d'Orvin–Biel	bei Hochwasser 437 m/Std.
E. SCHWABE	Les Enfers–Soubey	50–60 m/Std.
	La Gruyère–Tramelan	250–270 m/Std.

Die erheblichen Unterschiede beruhen zum Teil auf der Wasserführung, dem Gefälle und der Anzahl kleiner Bassins; daneben sind sie aber auch eine Folge der Grösse, der Häufigkeit, der Anordnung, der Form und der Oberflächengestalt der hydrographisch wegsamen, unterirdischen Hohlräume.

In bezug auf die Durchmischung lässt sich feststellen, dass die intensive Färbung meistens nur sehr kurze Zeit dauert, nämlich einige Stunden bis einige Tage. Je grösser die Durchlaufzeiten sind, umso langsamer steigt die Konzentration an. Dasselbe gilt für deren Abfall, der weniger rasch vor sich geht als der Anstieg. Mindestens bei den Färbversuchen in Zeiten mit mittlerer und geringer Wasserführung lässt sich nach dem relativ steilen Rückgang während einigen Tagen eine Verflachung der Kurve feststellen, bevor diese endgültig unter die Nachweisgrenze abfällt.

Ein sehr gutes Bild über den Verlauf der Durchmischung gibt der Färbversuch beim Höhlenbach von Milandre am 6. 7. 1968. Das Sulforhodamin G Extra wurde viermal in Abständen von 5 Minuten einem kleinen Wasserbecken beigegeben und in diesem sehr gut durchmischt. 5 Minuten nach der letzten Zugabe, bzw. 20 Minuten nach Beginn der Färbung, war in diesem von Auge keine Farbe mehr festzustellen. Bei einer Horizontaldistanz von 425 m, einem Höhenunterschied von wenigen Metern und einer Durchlaufzeit von 2 Std. 55 Min., als Druckfliessen zurückgelegt, ergab die in Fig. 103 dargestellte Konzentrationskurve.

7. Das Grundwasser in den Alluvionen der Täler

7.1 VORKOMMEN UND ZUSAMMENSETZUNG DER ALLUVIONEN

Die Täler der Ajoie zeichnen sich durch eine ausgesprochene Schotterarmut aus. Dies dürfte auf die Karstentwässerung zurückzuführen sein. Im folgenden seien die einzelnen Becken kurz beschrieben. Dabei ist bewusst auf die Übersetzung der in französischer Sprache abgefassten Resultate der Sondierungen verzichtet worden, damit sämtliche Differenzierungen in der Ausdrucksweise voll erhalten bleiben.

7.1.1 DAS TAL DER CŒUVATTE

Über die Zusammensetzung und Mächtigkeit dieser Flussablagerungen sind keine Angaben vorhanden, da weder Bohrungen noch Schächte abgeteuft wurden. Es wäre denkbar, dass man hier Grundwasser finden kann. Für erste Versuchsbohrungen am besten geeignet scheint uns die Ebene zwischen Cœuve und Damphreux südlich der Linie, die durch die beiden Quellen Fontaine de Beurnevésin und Dô le Bôs gebildet wird (Koordinatenlinie 257000). Es dürfen jedoch nach meiner Auffassung im besten Fall einige 100 l/Min. erwartet werden.

7.1.2 DAS TAL DER VENDLINE

Die durchgeführten Sondierungen ergaben, dass das Tal der Vendline in erster Linie mit Lehmen verschiedener Farbe und Zusammensetzung aufgefüllt ist, deren Mächtigkeit beträchtlich schwankt. Nutzbare Grundwasserleiter konnten nicht gefunden werden.

Sondierung unterhalb Beurnevésin, in den Akten des WEA archiviert, ohne nähere Angaben über Jahr und ausführende Firma (577140/260430)

0,00 bis –0,80	Terre végétale et argile
–0,80 bis –6,50	Cailloutis, schotters fluviatiles et vosgiens, mélangés d'argile
ab –6,50	Rochers

Kein Grundwasser vorhanden.

Sondierbohrungen der Gemeinde Bonfol, ausgeführt durch die Firma Brunner und Co. (1965)

Nr. 1 (578620/257900)

0,00 bis –0,25	Humus
–0,25 bis –0,80	Lehmige Erde
–0,80 bis –1,00	Brauner Lehm mit Erde
–1,00 bis –1,25	Gelber Lehm
–1,25 bis –1,75	Grauschwarzer Lehm
–1,75 bis –2,50	Grauer Lehm
–2,50 bis –2,90	Grauer Lehm, etwas Kies
–2,90 bis –3,50	Kies, Sand, gelber Lehm
–3,50 bis –4,10	Grauer Lehm, Kies, Sand
–4,10 bis –4,70	Grauer Lehm, Kies, Sand
–4,70 bis –5,10	Grauer Lehm, etwas Torf
–5,10 bis –5,60	Brauner Schiefer

–5,60 bis –6,20	Grauer Lehm
–6,20 bis –6,70	Gebrochener grauer Schiefer
–6,70 bis –7,60	Grauer Lehm mit Schiefersplitt
–7,60 bis –8,10	Schiefersplitt, etwas Lehm
–8,10 bis –9,75	Schiefersplitt, mit Lehm verschlämmt
–9,75 bis –11,00	Schiefersplitt, verschlämmt
–11,00 bis –11,80	Grauer Lehm mit Schiefersplitt
–11,80 bis –15,60	Schiefersplitt, etwas Lehm
–15,60 bis –16,25	Schiefersplitt
–16,25 bis –16,50	Grauer fettiger Lehm
–16,50 bis –17,00	Grauer Schiefer, sehr hart gelagert
–17,00 bis –17,90	Grauer Schiefer, sehr hart gelagert
–17,90 bis –18,25	Grauer Sandsteinfels, sehr hart gelagert
–18,25 bis –18,50	Sandsteinmolasse, weich gelagert
–18,50 bis –18,75	Sandsteinmolasse, hart gelagert
–18,75 bis –19,25	Sandsteinmolasse, weich gelagert

Kein eigentlicher Grundwasserspiegel feststellbar.

Nr. 2 (578880/257750)

0,00 bis –0,25	Humus
–0,25 bis –0,60	Lehmige Erde
–0,60 bis –2,60	Gelber Lehm
–2,60 bis –3,00	Rötlichgelber Lehm
–3,00 bis –3,50	Gelbweisser Lehm
–3,50 bis –6,60	Gelber Lehm mit einzelnen Kalksteinsplittern bis 20 mm Durchmesser
–6,60 bis –7,50	Graugelber Lehm
–7,50 bis –10,50	Grauer Lehm mit etwas Rundkies
–10,50 bis –12,00	Graugelber Lehm
–12,00 bis –12,30	Gelber Lehm
–12,30 bis –12,35	Grauer Lehm
–12,35 bis –13,00	Molassefels
–13,00 bis –13,65	Graugelber Lehm
–13,65 bis –13,70	Gelber Sandstein
–13,70 bis –14,90	Graubrauner Lehm
–14,90 bis –15,80	Graugelber Lehm
–15,80 bis –16,50	Grauer Sandstein

Kein Grundwasser vorhanden.

Nr. 3 (577330/259510)

0,00 bis –0,30	Humus
–0,30 bis –0,60	Humus
–0,60 bis –1,50	Brauner Lehm, erdig, mit schwarzen und hellgrauen Einschlüssen
–1,50 bis –5,00	Hellgrauer, leicht gelber Kalkstein
–5,00 bis –6,00	Weisser Kalkstein mit Versteinerungen
–6,00 bis –7,00	Bunter gelber Kalkstein
–7,00 bis –9,00	Weisser Kalkstein
–9,00 bis –10,00	Verwitterter Kalkstein, gelblich, mit vielen Einschlüssen, tuffartig, durchlässig
–10,00 bis –11,00	Leicht körniger, hellgrauer Kalkstein
–11,00 bis –12,00	Durchlässiger, körniger, schieferartiger Kalkstein, hellgrau, gelblich
–12,00 bis –13,00	Hellgrauer Kalkstein mit bräunlichen, sandig verkitteten Einschlüssen
–13,00 bis –14,00	Hellgrauer, leicht gelber Kalkstein, mit tuffartigen Schichten

–14,00 bis –16,00 Hellgrauer, gelblicher Kalkstein
–16,00 bis –17,00 Weisser Kalkstein
–17,00 bis –18,50 Verwitterter Kalkstein, hellgrau, mit vielen Einschlüssen
Grundwasserspiegel am 30. Juni 1965 in einer Tiefe von –2,15 m.

Handbohrungen LINIGER, *ausgeführt 1966 und 1968*
Nr. 1 (Creux de Marne westlich Bonfol, 577610/258110)
Ca. 2 m brauner Lehm.

Nr. 2 (Le Péca östlich Vendlincourt, 579020/255750)
Ca. 3 m Lehm.

7.1.3 DAS EINZUGSGEBIET DER LARG

Der auf Schweizerboden liegende, rund 1 km lange Teil des Tales zwischen Courtavon und Miécourt weist kein oberirdisches Gewässer auf. Ein 10 m tiefer Schacht beim neuen Zollhaus (580720/254490) ergab, dass diese Rinne unten mit gelblich-rötlichen Lehmen, die zersetztes Kalkmaterial enthalten, oben mit grauen und bläulichen fettigen Tonen aufgefüllt ist.

Im obersten Teil des Tales, das nach Pfetterhouse führt, südlich der Grenzsteine 117 bis 125, teufte man für industrielle Zwecke einige Bohrungen ab, von denen die tiefste (G 12: 579700/259350) global wiedergegeben sei:

4 m	Quartärer Lehm
9 m	Bunte Tone (sogenannte Weisse Serie), mit eingestreuten Geröllen (z. B. Radiolarit aus den Sundgauschottern)
7 m	Sundgauschotter
72 m	Vogesenserie, meist Silte, Mergel, wenig Sand mit einzelnen Vogesengeröllen
8 m	Vogesensand (vermutlich Hipparionsand von Bonfol)

7.1.4 DIE MULDE VON ALLE

Zwischen Charmoille und Porrentruy folgt die Allaine der schwach ausgebildeten Synklinalzone. Diese ist zum Teil mit tertiären Ablagerungen aufgefüllt, über die Seitenbäche von Süden her flache Schuttkegel angeschwemmt haben. Es entstand ein breites, sehr seichtes Tal, das zudem über weite Gebiete mit einer Lehmschicht, die mehrere Meter mächtig sein kann, abgedeckt ist.

Die Entwässerung erfolgt grösstenteils oberflächlich; vereinzelt sind sumpfige Stellen vorhanden. Die Voraussetzungen für die Auffindung von grösseren Grundwasservorkommen in den quartären Flussablagerungen sind deshalb schlecht. In der Regel dürfte es sich nur um dünnere Kiesschichten handeln, deren Nutzung sich aber kaum lohnen dürfte.

In den Akten, die zur Verfügung standen, konnten die nachstehenden Angaben gefunden werden.

Sondierung im Tälchen, das nach Fontaine-dessous und Fontaine-dessus führt (östlich Charmoille)

Im Jahre 1950 soll man hier kein Grundwasser gefunden haben. Der genaue Standort der Sondierung sowie weitere Angaben waren leider nicht erhältlich. Die in diesem Tälchen fallenden Niederschläge dürften bei den gefassten Quellen La Touillère und Les Nods zu Tage treten.

Grundwasserfassungen der Gemeinde Alle in Charmoille

In den Jahren 1952/53 erstellten die Travaux hydrauliques SA., Berne, und I. Lévy, Delémont, zwei Vertikalfilterbrunnen für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Alle. Diese wurden an Orten gebaut, wo früher wenigstens bei höherem und mittlerem Wasserstand ein Quellbach sichtbar zu Tage trat. Bei demjenigen, der sich unterhalb La Touillère befindet (583560/252570) und 6½ m tief ist, erschloss man eine Kiesschicht, aus der vom 9. bis 18. März 1953 zuerst 300 l/Min., dann langsam abnehmend mind. 266 l/Min. entnommen werden konnte. Die grosse Absenkung im Pumpschacht (3,76 m bis 3,86 m) sowie der wenig breite Absenkungstrichter deuten auf eine beschränkte Durchlässigkeit des

Grundwasserleiters hin. Bei den sechs Beobachtungsstellen, die sich in der Nähe der Quellen L'Ante, Chertemps und La Touillère befanden, konnten keine Spiegeländerungen als Folge der Wasserentnahme festgestellt werden.

Beim zweiten Filterbrunnen (582990/252540), neben der Strasse im Ostteil von Charmoille gelegen, erreichte man den felsigen Untergrund (ob. Kimmeridgien):

0,00 bis –0,40	Terre végétale brunâtre avec bois
–0,40 bis –6,80	Gravier, éboulis calcaires et peu de sable jaune-brunâtre, avec argile jaune, fortement tassés et aquifères
–6,80 bis –8,20	Roche fortement effritée ou éboulis de calcaire gris-blanchâtre, avec argile dans les fissures
ab –8,20	Roche calcaire blanchâtre et fissurée (bis mind. –8,60)

Grundwasserspiegel am 24. März 1953 bei –0,57 m.

Nach Einsetzen eines Filterrohres konnten vom 31. März bis 2. April 1953 und vom 7. bis 13. April 1953 250 l/Min. gepumpt werden, was eine Absenkung von 6,10 bis 6,80 m zur Folge hatte. Auch hier war keine Beeinflussung der Beobachtungsrohre festzustellen. Heute geht die maximal förderbare Wassermenge in beiden Brunnen in Trockenzeiten je auf weniger als 100 l/Min. zurück.

Während diesen Arbeiten erstellte man gegenüber der Schmiede, zwischen dem unteren Filterbrunnen und der Quelle Chertemps, einen dritten provisorischen Schacht (583090/252550), der dann wieder aufgegeben wurde, da er zu wenig ergiebig war.

Der Grundwasserspiegel in den verschiedenen Beobachtungsrohren, von denen jeweils zwei relativ nahe beieinander standen und die deshalb ähnliche Werte aufweisen sollten, war zum Teil sehr unterschiedlich. Dies deutet auf eine komplexe Zusammensetzung des Grundwasserleiters hin.

	Kote Oberfläche	Kote Grundwasser	Überdeckung
S 2	545,32 m	544,86 m	0,46 m
S 3	545,12 m	543,10 m	2,02 m
oberer Filterbrunnen	544,43 m	543,03 m	1,40 m
O 1	544,12 m	542,22 m	1,90 m
O 4	542,39 m	537,71 m	4,68 m
O 5	542,31 m	535,72 m	6,59 m
prov. Schacht	535,59 m	533,79 m	1,80 m
unterer Filterbrunnen	529,63 m	529,06 m	0,57 m
O 6	527,00 m	526,31 m	0,69 m
O 7	526,75 m	526,34 m	0,41 m

Sondierungen der Gemeinde Alle zwischen Fregiécourt, Pleujouse und Asuel, ausgeführt durch Tiefbohr AG., Zürich, und I. Lévy, Delémont (November 1946)

Nr. 1 (582020/251270), Nr. 2 (582340/251210),
Nr. 3 (582470/251300), Nr. 4 (582480/251110),
Nr. 5 (582680/250760), Nr. 6 (582685/250620).
Marne et gravier oder Marne. Nur wenig Grundwasser vorhanden.

Weitere Sondierungen zwischen Fregiécourt, Pleujouse und Asuel
Auf den Plänen des WEA des Kantons Bern sind in dieser Gegend drei Sondierungen eingezeichnet (582080/251250, 582530/251070, 582700/250480), die keine ausbeutbaren Grundwasservorkommen erschlossen, über die aber auch keine weiteren Angaben vorliegen.

Sondierungen der Gemeinde Alle südlich Alle, ausgeführt durch die Firma Tiefbohr AG., Zürich, und I. Lévy, Delémont, November 1946

Nr. 7 (577010/552040), Nr. 8 (577150/252160),
Nr. 9 (577070/250870), Nr. 10 (576890/251640).
Marne et gravier oder Marne. Nur wenig Grundwasser vorhanden.

Sondage négatif du Mennelet, ausgeführt im Auftrag der Gemeinde Courgenay
Die Angaben eines Wünschelrutengängers erwiesen sich als nicht zutreffend. Durch den Einschnitt im Gehängeschutt, am Westhang der Schlucht, die von Derrière Mont Terri nach Champs Grains führt (ungefähre. Koordinaten 578200/248940), wurden zerklüftete Doggerkalke freigelegt, jedoch kein Wasser gefunden.

Sondierungen der Gemeinde Courgenay südlich Champs Grains, ausgeführt durch die Firmen Scherrer & Meuret, Moutier, und Stumpf, Lausanne (1966)

Nr. 1 (578100/249475)

0,00 bis –1,20	Terre arable
–1,20 bis –4,25	Lehm
–4,25 bis –6,26	Marnes oxfordiennes
–6,26 bis –23,50	Grès molassiques, alternant avec des sables gréseux (Molasse alsacienne)
–23,50 bis –26,00	Couche d'argile sableuse, mélangée de cailloux calcaires anguleux
ab 26,00 bis mindestens –28 m	Calcaires gris-clair (Séquanien?)

Die oberste Lehmschicht enthielt etwas Grundwasser, das leicht unter artesischem Druck stand. Die darunterliegenden Sedimente waren trocken.

Nr. 2 (578050/249350)

0,00 bis –1,20	Terre arable
–1,20 bis –2,40	Couche de marne gris-ardoise
–2,40 bis –5,20	Argile ocre contenant des cailloux anguleux (Dogger)
–5,20 bis –13,75	Couches compactes de marnes grises, décolorées par bancs (Oxfordien)
ab –13,75 bis mindestens –17,80 m	Molasse alsacienne

Kein Grundwasser vorhanden.

Nr. 3 (578125/249325)

0,00 bis –0,40	Terre arable
–0,40 bis –1,60	Eboulis argileux
–1,60 bis –4,35	Lehm
–4,35 bis –8,65	Cailloux et gravillon, mêlés d'argile
ab –8,65 bis mindestens –19,75 m	Marnes grises, décolorées par bancs

In der Schicht von –4,35 bis –8,65 stiess man auf Grundwasser, das unter artesischem Druck stand und rasch bis –2,10 m unter die Erdoberfläche aufstieg. Die ersten Pumpversuche ergaben im Anschluss an eine Regenperiode 50 l/Min. (Absenkung 1,05 m), in trockeneren Zeiten noch 40 l/Min. (2,02 m).

Diese positiven Ergebnisse ermutigten dazu, in 10 m Entfernung ein grösseres Filterrohr von 60 cm Durchmesser abzuteufen:

0,00 bis –0,60	Lehm
–0,60 bis –6,40	Cailloux, graviers et sables, mêlés d'argile
–6,40 bis –7,50	Marne grise

Doch zeigte sich sehr rasch, dass der Zufluss an dieser Stelle im Dezember 1966 sehr bescheiden war, nämlich nur 17 l/Min., so dass die Sondierungen erfolglos aufgegeben wurden.

Sondierungen für den Bau eines neuen Friedhofs östlich Courgenay, ausgeführt im Sommer 1965

Nach einer Mitteilung von LIECHTI fand sich unter einer 2,5 m dicken Lehmschicht «une couche graveleuse et de calcaires en plaquettes». Dieser Horizont war wasserführend. Das Grundwasser stand unter leichtem Druck und stieg bis einen halben Meter unter die Erdoberfläche auf.

Bohrung in der Combe Vatelin (673825/248900), ausgeführt im Auftrag der Gemeinde Courgenay durch die Société d'Entreprise de Forages et de Travaux SA., Zurich-Berne, und J. Comment, Moutier

Nach Regenfällen hört man in der Combe Vatelin im Innern der Erde ein leichtes Tosen und Rauschen. Beispielsweise Ende September 1968, im Anschluss an sehr intensive Niederschläge, drang an verschiedenen Stellen Wasser aus dem Erdinnern an die Oberfläche. Ähnliche Beobachtungen verleiteten schon im Frühjahr 1948 zu einer Sondierbohrung. Es wurden die folgenden Schichten erschlossen:

0,00 bis –0,20	Terre végétale
–0,20 bis –1,20	Gravier glaiseux
–1,20 bis –3,80	Gravier avec glaise
–3,80 bis –4,45	Gravier avec glaise et blocs
–4,45 bis –8,70	Roche calcaire dure avec dépôts de glaise
–8,70 bis –11,18	Roche calcaire dure, roche calcaire fendue brune-grise
–11,18 bis –12,83	Roche calcaire fendue avec glaise, jaune-brune
–12,83 bis –14,69	Roche calcaire fendue plus dure, gris-clair, dépôts de glaise jusqu'à une épaisseur de 40 cm
–14,69 bis –16,53	Roche calcaire très fendue, gris-clair, avec des dépôts de glaise
–16,53 bis –19,44	Roche calcaire assez dure, dépôt de glaise de –16,54 jusqu'à –17,35 m
–19,44 bis –22,47	Roche calcaire gris-clair,. très peu de glaise
–22,47 bis –25,47	Roche calcaire fendue, gris-clair
–25,47 bis –27,69	Roche calcaire gris-clair avec dépôts de glaise jusqu'à une épaisseur de 15 cm
–27,69 bis –30,45	Roche calcaire massive assez dure, gris-clair, sans de glaise

Die Hoffnung, dabei auf Grundwasser zu stossen, erfüllte sich nicht. Meiner Meinung nach hatte auf Grund der geologischen und hydrologischen Verhältnisse eine Bohrung dieser Tiefe am gewählten Standort keinerlei Aussicht auf Erfolg. Zweifellos zirkuliert nach Niederschlägen Wasser in den Alluvionen und klüftigen Kalken. Dieses sickert aber mindestens so lange abwärts, bis es den Grundwasserspiegel erreicht hat. Dieser stellt sich auf das Niveau der Quelle Le Voyebœuf ein und liegt deshalb während des grössten Teils eines Jahres mindestens 20 m unterhalb der tiefsten Stelle im Bohrloch.

7.1.5 DAS ENGNIS IM TAL DER ALLAINE ZWISCHEN ALLE UND PORRENTRUY

Mehrere Sondierungen zeigten, dass in den Alluvionen, die auf zerklüfteten Kalken des oberen Kimmeridgien ruhen, kein Grundwasser vorhanden ist. In den Trockenjahren 1947 und 1949 soll auf diesem Teilstück die Allaine vollständig versiegt sein. Es liegen die folgenden detaillierten Angaben vor:

Battage d'un tuyau d'observation (Nr. 6), ausgeführt am 18. 8. 1947 durch Société d'Entreprise de Forages et de Travaux SA., Zurich-Berne, im Auftrag der Gemeinde Porrentruy (573710/251900)

0,00 bis –1,95	Glaise, gravier couché dur
–1,95 bis –2,71	Gravier dur, glaiseux
la-dessous	Un bloc ou la surface rocheuse

Bodenuntersuchungen während der Korrektion der Allaine

In den Jahren 1939 bis 1942 nahm GUENIAT östlich Porrentruy eine Reihe von umfassenden Bodenuntersuchungen vor (Nr. 1: 573280/251840; Nr. 2: 573395/251855; Nr. 3: 574012/251940; Nr. 4: 573800/252020; Nr. 5: 574205/251970; Nr. 6: 574465/252015). Die detaillierten Ergebnisse sind in der Zeitschrift «Les Intérêts du Jura» (Nr. 5/1946) publiziert. Zusammenfassend hält der Autor fest:

«Le sol est un limon argileux profond, à teneur calcaire variable, à réaction neutre à faiblement alcaline, reposant sur un gravier dont les éléments sont liés par une marne argileuse, un sable calcaire argileux ou une argile sableuse fortement alcalins; il témoigne d'une bonne activité biologique.»

Von Bedeutung ist, dass man nirgends auf Grundwasser stiess und dass beim Schacht Nr. 3 der Fels in –2,90 m Tiefe erreicht wurde.

Sondierungen der Gemeinde Alle oberhalb des Roche de Mars

6 Sondierungen, mit Hilfe eines 2-Zoll-Erdbohrers ausgeführt, ergaben, dass die Alluvionen, die aus einem Gemisch von Schottern und Lehmen bestehen, direkt den klüftigen Kalken aufliegen. Ihre Mächtigkeit schwankte zwischen 3,02 und 4,20 m. Lediglich bei der Sondage Nr. 3, 3,99 m tief, fand sich ein 10 cm mächtiger Grundwasserkörper; bei allen übrigen war das geförderte Gesteinsmaterial vollständig trocken.

Die genauen Standorte konnten nicht eruiert werden. In den Akten des WEA finden sich die drei Koordinatenangaben 574650/252080, 574520/252030 und 574750/252170, die jedoch mit Vorbehalt weitergegeben seien.

Sondierungen der Gemeinde Alle westlich Alle, ausgeführt durch Tiefbohr AG., Zürich, und I. Lévy, Delémont, im November 1946

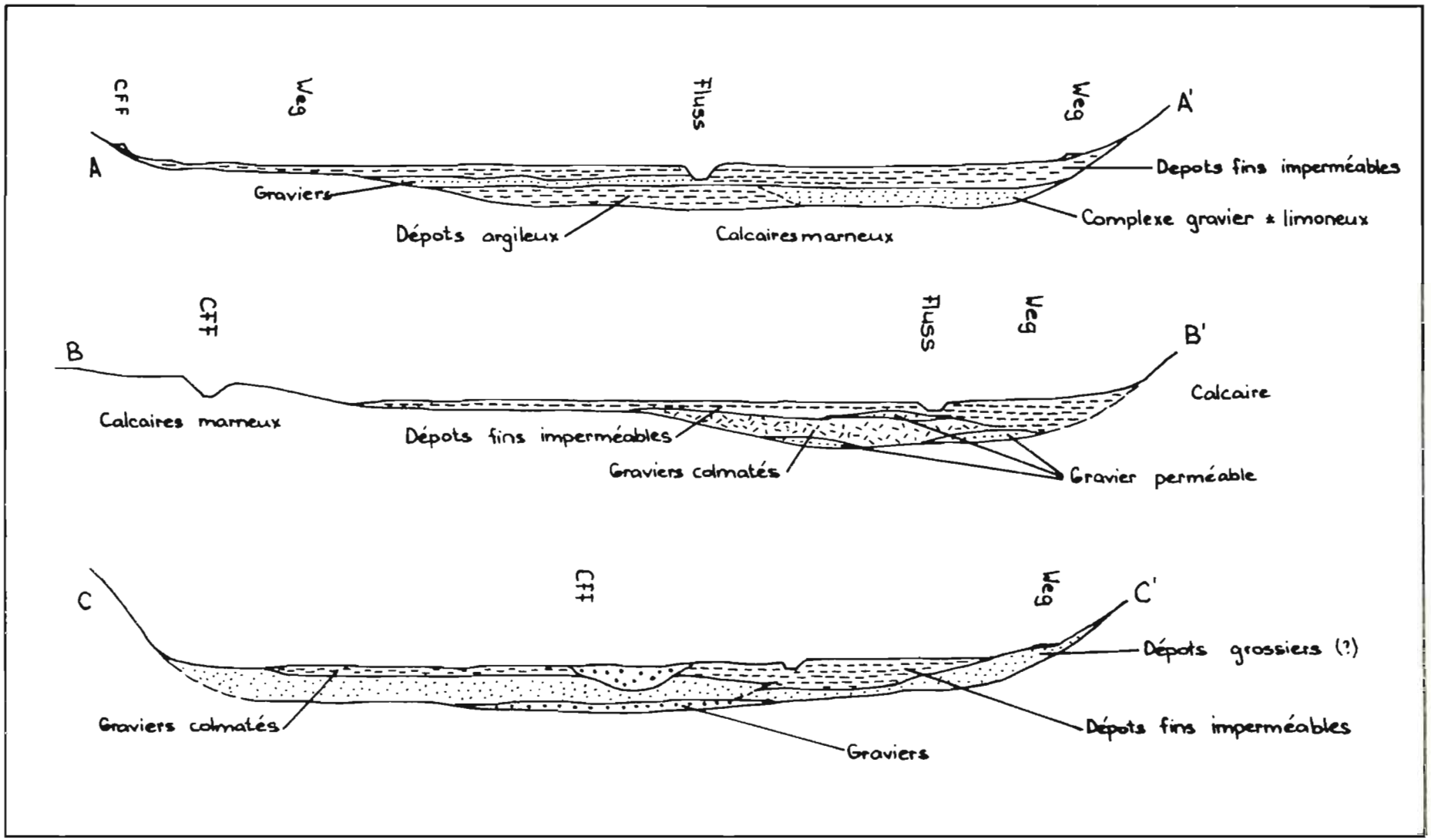
Nr. 11 (576220/252650): Marne et gravier, kein Grundwasser vorhanden.

7.1.6 DAS TROCKENTAL DER HAUTE-AJOIE

Der obere Teil dieses Tales, zwischen Grandfontaine und der Koordinatenlinie 571300, enthält jüngere, mehr oder weniger mächtige Flussablagerungen, die zum Teil durchlässig, zum Teil undurchlässig sind, in denen aber kein Grundwasser vorhanden ist. Offensichtlich findet dieses den Weg in die darunter liegenden zerklüfteten Kalke, von wo es zum Ajoulote gelangen dürfte. Für detaillierte Angaben verweise ich auf die Zeitschrift «Les Intérêts du Jura» (Nr. 9/1948), in der LIEVRE im Zusammenhang mit der Idee, den unterirdischen Flusslauf wieder an die Erdoberfläche zurückzuführen, 13 Schachtprofile beschrieben hat.

Im alten Stadtgebiet von Porrentruy und in der Ebene westlich davon gibt es dagegen eine ganze Reihe von Sodbrunnen. Das Grundwasser findet sich in bescheidener Menge in sandig-kiesigen Schichten der Alluvionen sowie in den oligocaenen Konglomeraten von Porrentruy. Die Färbung der Abwasser von Courtedoux zeigte, dass es unabhängig ist von demjenigen, das in den klüftigen Kalken des oberen Kimmeridgien zirkuliert; es wird demzufolge nicht durch den Ajoulote gespiesen. Lediglich dann, wenn die Karstspalten und Dolinen in der Ebene von Courtedoux (Creux-Genaz etc.) überlaufen und den Talgrund überschwemmen, dürfte Wasser des unterirdischen Flusslaufs – allerdings von der Erdoberfläche her! – in das obere Grundwasserstockwerk eindringen.

Über die folgenden Rammungen, Bohrungen und Schächte stehen nähere Angaben zur Verfügung:



Figur 104
Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen im Tal der Allaine nördlich Porrentruy

Sodbrunnen Gärtnerei Aebi (572175/251760)

0,00 bis –1,80	Terre végétale
–1,80 bis –4,00	Gravier, schotters fluviatiles et cailloutis
–4,00 bis –6,00	Marne
ab –6,00	Schotters fluviatiles

Dieser Sodbrunnen wird zur Bewässerung der Pflanzungen verwendet. Normalerweise steht der Grundwasserspiegel nur wenig unter der Erdoberfläche (15. 6. 1949: –1,20 m; im August 1947: –2,20 m). In trockenen Zeiten ist es möglich, während einigen Stunden bis zu 100 l/Min. zu fördern, wobei jedoch die Absenkung gross und die Zeit bis zur vollständigen Erholung relativ lang ist.

Sodbrunnen im Garten Giavarini (572060/251660)

Tiefe: 4,90 m. Grundwasserspiegel am 4. 10. 1968: –2,45 m.

Sodbrunnen in der ehemaligen Gärtnerei Theilkäs (rue Prévoyance, in der Nähe der Metallwarenfabrik Giavarini)

0,00 bis –1,20	Terre végétale et argile
–1,20 bis –4,00	Schotters fluviatiles et cailloutis mélangés d'argile
–4,00 bis –4,80	Marnes grises
ab –4,80	Rocher

Das Grundwasser stand am 5. 7. 1949 bei –2,35 m. Es floss sehr langsam zu, so dass nur geringe Mengen gepumpt werden konnten.

Sodbrunnen im Schloss Porrentruy (572315/252115)

Tiefe: 54 m.

Battage de tuyaux d'observation, ausgeführt Mitte August 1947 durch die Société d'Entreprise de Forages et de Travaux SA., Zurich-Berne, im Auftrag der Gemeinde Porrentruy

Drei dieser Rammsondierungen wurden im Bett des Creujenats abgeteuft. Sie ergaben, dass keine mächtigen Schotter vorhanden sind:

Nr. 3	Surface rocheuse bei –1,45 m.
Nr. 4	Bloc bei –1,16 m.
Nr. 5	Bloc ou surface rocheuse bei –0,96 m.

Handbohrungen SCHNEIDER:

Südwestlich Porrentruy an der Strasse nach Bressaucourt («L'Etang»): 2,5 bis 3,5 m Lehm. In zwei Meter Tiefe war dieser blaugrau und fett, Trümmer von Landschnecken enthaltend.

Nördlich Bois Carré: 5,5 m Lehm.

7.1.7 DIE EBENE NÖRDLICH PORRENTRUY (LA PRAIRIE UND PONT D'ABLE)

Durch das Bureau d'Etudes Géologiques et Géophysiques wurden im Februar 1964 mit geoelektrischen Methoden drei Querprofile aufgenommen, die deutlich zeigten, dass das in grossem Bogen verlaufende Allainetal nicht aus gleichmässigen, durchgehenden Schichten besteht, sondern komplex zusammengesetzt ist. Auffallend ist auf der westlichen Talseite eine breite Felsterrasse, die weit nach Osten hinüberreicht und die nur mit wenig mächtigem Lockermaterial überdeckt ist.

Bereits vorher liess eine Serie von Sondierungen einen derartigen Aufbau der Alluvionen vermuten.

Battage de tuyaux d'observation im Auftrage der Gemeinde Porrentruy, ausgeführt durch die Société d'Entreprise de Forages et de Travaux SA., Zurich-Berne, im Juli/August 1947:

Nr. 1 (572620/253670)

0,00 bis –2,55	Glaise
ab –2,55	Rocher

Kein Grundwasser vorhanden.

Nr. 2 (573150/253280)

0,00 bis –2,62	Glaise

Kein Grundwasser vorhanden.

Forages dans la plaine d'Allaine (La Prairie d'Able/Pont d'Able), ausgeführt durch Travaux hydrauliques SA., Berne, und R. Conrad, Porrentruy, im Auftrag der Gemeinde Porrentruy (Juni 1961)

Nr. 1 (573090/253530/414,65)

0,00 bis –0,20	Terre végétale
–0,20 bis –1,20	Argile limoneuse brune avec quelques galets
–1,20 bis –1,90	Gravier limoneux et argileux compact, peu perméable
–1,90 bis –2,80	Gravier et sable fin argileux perméable
–2,80 bis –7,60	Gravier avec beaucoup d'argile
–7,60 bis –7,90	Gros cailloux et argile
–7,90 bis –8,00	Argile
ab –8,00 bis mindestens –8,35 m	Roche

Nr. 2 (573040/253500/414,30)

0,00 bis –0,45	Terre végétale
–0,45 bis –1,95	Argile limoneuse plastique brune, peu de sable et quelques cailloux
–1,95 bis –2,15	Gravier et argile brune-jaune
–2,15 bis –2,35	Argile plastique
–2,35 bis –6,25	Gravier limoneux et argile à peine perméable dans la partie supérieure (jusqu'à –2,70)
–6,25 bis –6,35	Argile limoneuse
–6,35 bis –7,60	Gros gravier et galets jusqu'à 15 cm de diamètre perméable
–7,60 bis –7,70	Argile limoneuse
–7,70 bis –8,65	Roche fortement fissurée
–8,65 bis –8,75	Argile grise
ab –8,75	Roche

Grundwasser befand sich sowohl im Fels als auch in der untersten Kiesschicht. Es stieg unter artesischem Druck auf eine Höhe von –1,75 m.

Nr. 3 (572990/253470/414,26)

0,00 bis –0,20	Terre végétale
–0,20 bis –1,10	Sable argileux brun
–1,10 bis –1,55	Gravier argileux avec galets jusqu'à 10 cm de diamètre
–1,55 bis –2,35	Sable et gravier peu limoneux, perméable
–2,35 bis –2,90	Roche calcaire
–2,90 bis –3,45	Argile limoneuse brune
–3,45 bis –4,60	Roche calcaire
ab –4,60	Roche calcaire fissurée et marne

Nr. 4 (572420/253625/411,38)

0,00 bis –0,20	Terre végétale
–0,20 bis –0,85	Sable argileux brun
–0,85 bis –1,75	Pierres calcaires et limon gris
–1,75 bis –2,45	Graviers argileux
–2,45 bis –4,00	Graviers limoneux
–4,00 bis –6,80	Graviers argileux
–6,80 bis –8,70	Roche calcaire fissurée
ab –8,70 bis mindestens –9,20 m	Marne

Nr. 5 (572425/253675/411,10 = Filterbrunnen Pont d'Able)

0,00 bis –0,20	Terre végétale
–0,20 bis –0,65	Graviers et sable limoneux, perméable
–0,65 bis –1,80	Graviers et sable argileux brun
–1,80 bis –4,00	Argile limoneuse, peu de gravier
–4,00 bis –5,75	Limon argileux et gros graviers
–5,75 bis –6,35	Gravier et sable fin un peu limoneux, perméable
–6,35 bis –6,40	Argile
–6,40 bis –7,60	Gravier et sable fin limoneux
ab –7,60 bis mindestens –9,50 m	Roche calcaire et argile

Heute stehen zwei Pumpen à 1000 l/Min. in Betrieb. Parallel konnten jedoch nie mehr als 1300 l/Min. gefördert werden. In trockenen Zeiten geht diese Menge auf 800 l/Min. zurück.

Nr. 6 (572490/253775/411,60)

0,00 bis –0,40	Terre végétale
–0,40 bis –1,90	Argile limoneuse et sableuse
–1,90 bis –2,30	Gravier argileux
–2,30 bis –2,60	Argile bleu
–2,60 bis –3,55	Gravier limoneux et argileux, perméable
–3,55 bis –4,90	Gravier argileux
–4,90 bis –7,10	Gravier limoneux perméable
ab –7,10 bis mindestens –8,50 m	Roche calcaire fissurée et argile

Aus diesen Sondierungen geht hervor, dass die bis zu 8 m mächtigen Alluvionen in erster Linie aus tonig-siltigem Material mit Beimengungen von Kies und Sanden bestehen. Lokal finden sich Schichten, die als Grundwasserleiter geeignet sind. Ein oberes Stockwerk dürfte mit der Allaine korrespondieren und kann deshalb nicht ohne Bedenken für die Wasserversorgung herangezogen werden. Das untere Stockwerk, das unter Druck steht, ist nach oben durch eine Lehmschicht, die auch Steine enthält, abgetrennt. Es liegt direkt dem stark zerklüfteten, felsigen Untergrund auf und wird wahrscheinlich durch Festgesteins-Grundwasser gespiesen.

Im Nordteil der Ebene tritt dieses Festgesteins-Grundwasser aus Rauracien über. Fraglich ist die Herkunft dieses Wassers. Während LIECHTI die Meinung vertritt, dass es aus dem Gebiet der Mont Terri-Antiklinale stammt, glauben wir eher, dass dessen Einzugsgebiet an den Hängen westlich und östlich des Allaine-Tales zu suchen ist. Das Fehlen von organischen Substanzen und Nitriten, verbunden mit einem hohen Keimgehalt, sowie der Mangel an Sauerstoff sprechen jedenfalls für einen länger dauernden Aufenthalt in der Erde.

Im mittleren Teil der Ebene bilden die Natica-Schichten, im südlichen das mittlere und das obere Sequanien den Untergrund der Alluvionen. Das in diesen Kalken enthaltene Grundwasser tritt bei den verschiedenen hier vorhandenen Quellen zu Tage.

7.1.8 DAS BECKEN VON COURCHAVON

Das aus zwei Teilen bestehende Becken weist nur eine sehr geringe Oberfläche auf. Eine durch den SEHA in Auftrag gegebene Bohrung oberhalb Courchavon (571240/254120) ergab eine Tiefe von 5,30 m bis zum anstehenden Fels. Der Grundwasserspiegel befand sich in einer Tiefe von 67 cm. Da die Sondierung sehr nahe bei der Allaine lag und deshalb gewisse Bedenken in bezug auf Infiltrationen vom Fluss her bestanden, wurde sie nicht weiter verfolgt. Die in den Alluvionen eingeschlossenen Wassermassen dürften aber eher bescheiden sein. Ein Zusammenhang mit dem Grundwasser von Pont d'Able ist, im Gegensatz zu der Auffassung von LIEVRE, kaum wahrscheinlich, da das Pont d'Able-Gewölbe eine Schwelle im Tal bildet, bei der sogar Oxfordienmergel aufgepresst wurden.

Unterhalb Courchavon führte man 8 weitere 2-Zoll-Sondierungen durch, die sich über die ganze Talebene verteilten und bei denen der felsige Untergrund in einer Tiefe von 2,85 bis 4,00 m festgestellt wurde. Die Alluvionen enthielten einen 1,30 bis 2,85 m mächtigen Grundwasserkörper, der sich 1,20 bis 2,31 m unter der Erdoberfläche befand.

Der genaue Standort der Sondierungen konnte nicht festgestellt werden. In den Akten des WEA finden sich zwei Koordinatenangaben (571190/254840 bzw. 571420/254900), die jedoch unter Vorbehalt weitergegeben seien.

Erstaunlich ist, dass die verantwortlichen Behörden von Courchavon sich über dieses Ergebnis unbefriedigt zeigten und deshalb oberhalb des Dorfes (570880/254265) auf Grund einer Wünschelrutenprognose einen 10 m tiefen Schacht abteufen liessen, der jedoch nur zerklüftete Kalke zu Tage förderte. Das einzige Wasser, das angetroffen wurde, war Sickerwasser, das nach Niederschlägen durch die Klüfte hinuntertropfte und sich einen Weg in tiefere Regionen suchte.

7.1.9 DIE TALEBENE VON COURTEMAICHE

7.1.9.1 Die Ergebnisse der Sondierungen

Oberhalb Courtemaîche verbreitert sich das Tal der Allaine beträchtlich. Bei Grandgourt dagegen tritt erneut eine Verengung auf, bei der Fluss und Strasse im durchbrochenen Rauracien-Felsriegel kaum nebeneinander Platz finden. Auf dieser recht breiten Talebene verringert sich das Gefälle des Wasserlaufs auf nur 1‰ (gegenüber einem Mittel von etwas mehr als 4‰ zwischen Porrentruy und Boncourt).

Vertikalfilterbrunnen der Gemeinde Courtemaîche (570715/256400/393,35)

Im Jahre 1934 erstellt, können auch heute noch rund 650 l/Min. aus diesem Brunnen gepumpt werden.

0,00 bis –1,00	Humus
–1,00 bis –1,70	Marnes bleues avec sable et pierres isolées
–1,70 bis –3,70	Gravier avec pierres de 10–30 cm de diamètre, peu de sable
–3,70 bis –6,00	Gravier roulé et lavé avec peu de sable
–6,00 bis –6,25	Gravier roulé et lavé avec plus de sable
–6,25 bis –7,60	Gravier roulé de 5–10 cm de diamètre avec très peu de sable
ab –7,60	Calcaire en place

Erste Serie von Sondierungen des Syndicat des Eaux de la Haute-Ajoie (SEHA)

Im März 1944 wurden durch die Tiefbohr- und Baugesellschaft AG., Zürich-Bern, und I. Lévy, Delémont, in der Ebene von Courtemaîche wie folgt Sondierungen und Pumpversuche vorgenommen:

Sondage I/1944 (570865/256390/393,50 = Horizontalfilterbrunnen)

0,00 bis –0,60	Terre végétale
–0,60 bis –1,40	Gravier et sable glaiseux
–1,40 bis –3,25	Gravier et sable avec peu de glaise
–3,25 bis –3,95	Gravier et beaucoup de glaise
–3,95 bis –4,45	Gravier et sable et peu de glaise
–4,45 bis –4,75	Gravier glaiseux
–4,75 bis –6,80	Gravier avec peu de sable
–6,80 bis –7,60	Gravier et sable
ab –7,60	Rocher calcaire (Rauracien)

Vom 29. 7. bis 2. 8. 1944 konnte man 1000 bis 1150 l/Min. fördern. Die Absenkung betrug rund 1 m. Alle Piezometer reagierten deutlich (ca. 25 cm); der weiteste befand sich 105 m talaufwärts.

Sondage II/1944 (570790/256520/392,95)

0,00 bis –0,20	Humus, terre végétale noire-brune foncée
–0,20 bis –0,40	Humus, terre végétale, traces de lehm (glaise)
–0,40 bis –0,60	Terre végétale plus claire avec lehm, quelques grains de gravier

–0,60 bis –0,80	Lehm de décalcification, gravier en décomposition
–0,80 bis –1,00	Lehm de décalcification, plus de gravier en décomposition
–1,00 bis –1,40	Lehm de décalcification, encore plus de gravier en décomposition
–1,40 bis –1,60	Gravier, sable, lehm délayé en boues fines
–1,60 bis –1,80	Eléments plats recouverts d'une couche noirâtre (oxyde de manganèse)
–1,80 bis –2,00	Beau gravier roulé, éléments plats dominants
–2,00 bis –6,40	Gravier avec sable, traces de glaise
–6,40 bis –7,25	Gravier et sable
–7,25 bis –7,50	Vases
ab –7,50	Roc (Rauracien)

Am 21./22. 9. 1944 betrug die Absenkung während eines Pumpversuchs bei 500 l/Min. 37 cm, bei 1000 l/Min. 110 cm und bei 1200 l/Min. (während 2½ Std.) 119 cm.

Eine Beeinflussung des Grundwasserspiegels im bestehenden Brunnen der Gemeinde Courtemaîche war deutlich festzustellen; bei der Sondage I/1944 erfolgte eine Absenkung um ca. 10 cm. Alle Piezometerrohre reagierten, und zwar auch diejenigen, die sich 250 m oberhalb (ca. 8 cm) befanden.

Paralleler Pumpversuch bei Sondage I/1944 und II/1944

Aus jedem Brunnen pumpte man vom 25. bis 27. 9. 1944 1000 bis 1100 l/Min. Die Absenkung war erheblich; bei der Sondage I betrug sie 110 cm, bei der Sondage II 120 bis 140 cm und im Brunnen der Gemeinde Courtemaîche 90 cm. Alle Piezometer reagierten deutlich.

Zweite Serie von Sondierungen des Syndicat des Eaux de la Haute-Ajoie (SEHA)

Im sehr trockenen Herbst 1949 folgte diesen ersten Untersuchungen eine zweite Serie von Sondierungen zwischen der Station, der Strasse nach Cœuve und der Allaine, die durch die Firma Travaux hydrauliques SA., Berne, und I. Lévy, Delémont, ausgeführt wurde:

Nr. 1 (570965/256080)

0,00 bis –0,70	Humus, terre végétale
–0,70 bis –1,20	Lehm de décalcification et gravier
–1,20 bis –3,30	Galets plats et sable avec trace de Lehm
–3,30 bis –5,80	Gravier et sable
–5,80 bis –6,35	Gravier et sable
ab –6,35	Roc (Rauracien)

Grundwasserspiegel bei –3,05 m.

Nr. 2 (571055/256125)

0,00 bis –0,75	Humus, terre végétale
–0,75 bis –1,40	Lehm de décalcification (glaise)
–1,40 bis –1,80	Lehm de décalcification, gravier et sable
–1,80 bis –3,35	Gravier et sable avec trace de Lehm en boues fines
–3,35 bis –6,15	Gravier et sable
–6,15 bis –7,10	Gravier moyen et sable
–8,00 bis –8,20	Vases
–8,20 bis –8,45	Décapage du rocher
–8,45 bis –8,80	Rocher (Rauracien)

Nr. 3 (570875/256210)

0,00 bis –1,10	Humus, terre végétale
–1,10 bis –1,80	Lehm de décalcification et gravier

–1,80 bis –2,20	Gravier et trace de Lehm
–2,20 bis –3,00	Gravier sable et Lehm
–3,00 bis –3,20	Gravier sable
–3,20 bis –4,20	Gravier sable éléments fins
ab –4,20	Roc (Rauracien)

Grundwasserspiegel bei –2,54 m.

Nr. 4 (570910/256460)

Dicke der Alluvionen: 3,35 m.
Grundwasserspiegel bei –1,37 m.

Nr. 5 (570960/256265)

0,00 bis –0,80	Humus, terre végétale
–0,80 bis –1,45	Lehm de décalcification (glaise)
–1,45 bis –2,50	Lehm de décalcification, gravier et sable
–2,50 bis 3,35	Galets et sable, trace de boues fines (Lehm)
–3,35 bis –3,90	Gravier et sable
–3,90 bis –4,30	Gravier et sable plus fin
–4,30 bis –7,75	Gravier sable et cailloutis
–7,75 bis –8,00	Vases et décapage du rocher
ab –8,00	Roc (Rauracien)

Grundwasserspiegel bei –3,09 m.

Die Pumpversuche ergaben bei der Sondage Nr. 2 (1949) die besten Ergebnisse. Bei einer Absenkung von 2,45 m konnten 300 l/Min., bei einer solchen von 4,05 m 350 l/Min. gepumpt werden. HUG vertrat dabei die Meinung, dass mit Horizontalfilterrohren rund das Fünffache erwartet werden dürfe.

Auf Grund dieser Ergebnisse liess man im Winter 1949/50 am Standort der ehemaligen Sondierung I/1944 einen zweistöckigen Horizontalfilterbrunnen erstellen. Die Länge der sternförmig angeordneten 11 Filterrohre, die sich in einer Tiefe von 5,8 m bzw. 6,5 m befinden, misst 3,5 bis 18 m. Dies ergibt ein Total von 108,6 m (oben 4,4 m ungelocht und 85,2 m gelocht, unten 2,3 m ungelocht und 16,7 m gelocht).

Schon bald nach der Inbetriebnahme zeigte sich, dass die Leistungen der beiden Brunnen in der Ebene von Courtemaîche gegenseitig beeinflusst werden. Ende August 1957 betrug die Absenkung im Horizontalfilterbrunnen nach einer Trockenperiode und nach mehrwöchigem Pumpen bei einer geförderten Wassermenge von 1150 bis 1400 l/Min. 35 bis 40 cm, bei 2100 l/Min. 3,17 m. Als jedoch die Pumpen des Brunnens der Gemeinde Courtemaîche, die sich in einer Entfernung von 150 m befinden, mit 810 l/Min. zu arbeiten begannen, nahm die geschüttete Menge bei gleichbleibender Absenkung auf 1650 l/Min. ab.

Die Anlage befriedigt insofern nicht, als die beiden über dem Brunnen installierten Pumpen, die zusammen 1920 l/Min. zu fördern vermögen, in trockenen Zeiten nicht voll ausgelastet werden können, da zu wenig Wasser vorhanden ist. Am 9. September 1959 waren es nur 1347 l/Min. In extremen Trockenzeiten sollen es sogar nur rund 1050 l/Min. sein. Nach Aussage von Ingenieur R. LEVY soll es aber möglich sein, durch Aufkratzen des Flussbettes mit einer Ladeschaufel die Uferinfiltration aus der Allaine künstlich zu vergrössern. Jedenfalls liegt das Niveau des Flusses im oberen Teil des Beckens von Courtemaîche 1 bis 2 m höher als dasjenige des Grundwasserspiegels.

Da einerseits die Bedürfnisse des SEHA ständig stiegen, andererseits die gebaute Anlage die Erwartungen in Trockenzeiten nicht voll zu erfüllen vermochte, begann man im Winter 1960/61 in der Nähe der ehemaligen Sondage Nr. 2 (1949), ohne vorher neue umfangreiche Abklärungen vorgenommen zu haben, mit dem Bau eines zweiten Horizontalfilterbrunnens (571035/256135), bei dem 8 Filterrohre von 15 cm Durchmesser in verschiedenen Höhen angeordnet sind. Obschon hier die Absenkung des Grundwasserspiegels etwas rascher erfolgt als beim zuerst erstellten Brunnen, dürften auch bei niedrigem Wasserstand in den beiden Fassungen des SEHA je rund 1000 l/Min. gepumpt werden können. Es muss aber angenommen werden, dass mit den drei bestehenden Anlagen das Grundwasser von Courtemaîche bis zu seiner oberen Grenze genutzt ist und auch beim Bau von neuen Anlagen kaum mehr herauszuholen wäre.

7.1.9.2 Die Durchlässigkeit der Lockergesteine in Courtemaîche

LIEVRE schätzte die Geschwindigkeit des Grundwassers in den Alluvionen auf 2½ mm/Sek., d.h. auf weniger als 10 m/Std. Dies ist sehr wenig, wenn man sich die Werte, die wir für die klüftigen Kalke berechneten, vor Augen hält. Vergleicht man jedoch mit den Zahlen, die für viele Schotter des schweizerischen Mittellandes angegeben werden (einige Meter pro Tag), so handelt es sich immer noch um verhältnismässig grosse Geschwindigkeiten.

Obschon wir über keine direkten Messungen verfügen, können wir uns der Annahme von LIEVRE anschliessen. Die relativ gute Durchlässigkeit zeigt sich einmal bei der Grösse des Senkungstrichters rund um die Pumpwerke, in auffallender Weise aber auch auf den Limnigraphenstreifen. Im Laufe eines Jahres wurden Spiegelschwankungen von über 4 m aufgezeichnet. Innerhalb von wenigen Stunden kann die Grundwasseroberfläche um mehr als zwei Meter ansteigen; in einigen extremen Fällen registrierte man sogar 1 m in 30 bis 45 Minuten.

Diese enormen Unterschiede sind einerseits auf die Niederschläge, die auf die Alluvialebene und die umgebenden Hänge fielen, zurückzuführen; anderseits muss der Einfluss der Allaine bedeutend sein, und zwar nicht nur dann, wenn das Wiesland überschwemmt wird. Durch chemische Untersuchungen war es dem Kantonalen Laboratorium allerdings nicht möglich, eine direkte Verbindung zwischen Allaine und gepumptem Trinkwasser nachzuweisen.

7.1.10 DAS BECKEN VON BUIX

Neben der SBB-Linie unterhalb Buix entsteht ein recht langsam fliessender Bach, der zum Teil durch den Überlauf der Quelle La Mairmitaine (568835/259320), zum Teil aber durch Wasser, das 10 bis 70 m oberhalb derselben am Fuss des Bahndammes austritt, gespiesen wird. Einzig auf Grund der Beobachtung kann man unmöglich feststellen, ob es sich hier um eine Quelle aus dem Festgestein oder um einen Austritt von Lockergesteinsgrundwasser aus den Alluvionen handelt.

Im Winter 1961/62 liess die Gemeinde Montignez in unmittelbarer Nähe der Quelle La Mairmitaine durch die Travaux hydrauliques SA., Berne, eine Bohrung abteufen (568835/259320):

0,00 bis –0,70	Terre végétale noire et argile jaune
–0,70 bis –3,50	Eboulis (gravier cassé) de calcaire jaune, un peu argileux, aquifère
–3,50 bis –5,10	Pierres calcaires grises, colmatées par une argile gris-bleue, très dure
–5,10 bis –6,20	Gros sable jaune et éboulis fins de calcaire, propre et peu aquifère
–6,20 bis –7,70	Terre glaise bleue et compacte, très dure
–7,70 bis –8,00	Sable et éboulis de calcaire, très tassés
–8,00 bis –9,00	Argile grise compacte, mélangée d'éboulis de calcaire, très dure

Grundwasserspiegel bei –0,57 m.

Das untere Stockwerk hatte einen natürlichen Wasserzufluss von ungefähr 4 l/Min. Aus dem oberen Stockwerk konnte man bei einer maximalen Absenkung von 1,98 m während einem Tag 200 bis 300 l/Min. heraufpumpen, ohne dass die Schüttung der Quelle oder das Niveau des Baches beeinflusst worden wäre. Der Bau eines Brunnens kann nicht vorbehaltlos empfohlen werden, da das Wasser aus oberflächennahen Schichten stammt.

Trotz diesem nicht sonderlich ermutigenden Resultat erachten wir es als möglich, dass andernorts in der Ebene von Buix Grundwasser gefunden werden kann. Bekanntlich ändert die Zusammensetzung von Flussablagerungen oft sehr rasch. Doch dürften erfahrungsgemäss im besten Fall 1000 l/Min. erwartet werden.

7.1.11 DIE TALEBENE VON BONCOURT

7.1.11.1 Die Ergebnisse der Sondierungen

Nach dem Engnis von La Rochette erweitert sich das Tal erneut auf eine Breite von 300 bis 500 m. Es ist mit Kiesen, Sanden und Silten aufgefüllt, die bis zu 10 m mächtig sind und die zum Teil Grundwasser enthalten. In früheren Zeiten hatten mehrere Häuser ihren eigenen Sodbrunnen, von denen einige heute noch bestehen.

Über die Zusammensetzung dieser Schotter ist man verhältnismässig gut orientiert, da eine grössere Zahl von Sondierungen vorgenommen worden ist:

Sondierbohrungen der Gemeinde Boncourt im Gebiet Les Lômennes, ausgeführt durch Travaux hydrauliques SA., Berne, und I. Lévy, Delémont (1948/49)

Ziel dieser Arbeiten war die Erstellung eines Brunnens für die Trinkwasserversorgung.

Nr. 1 (567970/260180 = heute bestehender Brunnen I)

0,00 bis –0,40	Terre végétale noire
–0,40 bis –0,80	Gros gravier avec peu d'argile
–0,80 bis –1,60	Gravier moyen avec peu d'argile
–1,60 bis –3,50	Gros gravier brun propre
–3,50 bis –3,90	Argile brun-noire avec pierres
–3,90 bis –4,40	Fin gravier noir propre
–4,40 bis –7,75	Pierres calcaires avec argile tassée, durement assises
ab –7,75	Roche (calcaire du jura)

Wie ersichtlich bestehen zwei Grundwasserstockwerke. Das untere wurde zur Speisung eines geschachteten Vertikalfilterbrunnens herangezogen, dessen Filterrohr von –4,10 bis –7,25 m Löcher aufweist. Ein Pumpversuch vom 28. 1. bis 2. 2. 1949 gestattete, die folgenden Wassermengen zu fördern:

1500 bis 1750 l/Min. während 2 Tagen (Absenkung max. 1,40 m)
3400 l/Min. während 2 Tagen (Absenkung max. 4,20 m).

Heute ist mindestens eine der beiden 1350 l/Min. liefernden Pumpen (parallel 2200 l/Min.) nahezu pausenlos in Betrieb.

Nr. 2 (568035/260180)

0,00 bis –0,30	Humus
–0,30 bis –0,70	Sable jaune avec argile et pierres
–0,70 bis –3,00	Gros gravier avec 30% de sable
ab –3,00	Calcaire jurassien

Grundwasser bei –1,40 m.

Nr. 3 (567935/260180)

Ähnliche Verhältnisse wie bei Nr. 1. Anstehender Fels bei –8,20 m. Lage des Grundwasserspiegels bei –2,00 m.

Ein Pumpversuch am 19./20. August 1948 gestattete, während mehreren Stunden 1320 l/Min. (Absenkung 1,62 m) und während 1½ Stunden gar 2200 l/Min. (Absenkung 2,74 m) zu fördern.

Nr. 4 (567870/260180)

0,00 bis –0,30	Terre végétale noire
–0,30 bis –1,80	Sable jaune avec peu d'argile
–1,80 bis –2,20	Sable brun avec des pierres
–2,20 bis –4,30	Gravier avec 50% de sable
–4,30 bis –6,00	Gros gravier avec 30% de sable

Grundwasserspiegel in –2,20 m.

Sondierbohrungen der Firma Burrus im Gebiet Les Foulures/Dô-lai-Velle, ausgeführt durch Travaux hydrauliques SA., Berne (Juni 1949 und März 1953)

Nr. 1 (567940/260985/367,10)

0,00 bis –1,60	Terre végétale argileuse rougeâtre
–1,60 bis –3,25	Gravier de calcaire jaune avec argile
–3,25 bis –3,80	Gravier et calcaire propre
–3,80 bis –4,80	Roche calcaire effritée

Grundwasserspiegel bei –1,75 m.

Nr. 2 (567930/261010/367,10)

0,00 bis –1,00	Terre végétale argileuse rougeâtre
–1,00 bis –1,80	Argile bleuâtre avec du bois
–1,80 bis –2,53	Gravier de calcaire propre, boulets jusqu'à 15 cm de diamètre
–2,53 bis –3,95	Argiles avec des pierres calcaires
ab –3,95	Roche calcaire effritée

Grundwasserspiegel bei –0,40 m.

Nr. 3 (568000/261020)

0,00 bis –0,15	Terre végétale
–0,15 bis –1,48	Terre argileuse jaune-brunâtre
–1,48 bis –2,76	Gravier, éboulis de calcaire et gros sable de calcaire
–2,76 bis –2,78	Argile jaune
ab –2,78 bis mindestens –2,98 m	Roche calcaire jaunâtre

Grundwasserspiegel bei –1,41 m.

Dazu kommen im Gebiet der 1953 neu erstellten Fabrik über 200 Rammsondierungen, auf deren Einzeichnung in die hydrogeologische Grundlagenkarte verzichtet wurde. Sie ergeben alle dasselbe Bild. Die Schotter weisen eine bedeutend geringere Mächtigkeit auf als im oberen Teil des Beckens, nämlich im Mittel 3,20 m beim Hauptgebäude, 3,10 m beim Anbau und 3,50 m bei der Heizung. Die Zusammensetzung des Gesteinsmaterials ist durchwegs ähnlich. Unter siltigen, mit Steinen vermischten Schichten liegt meist eine 1 bis 2 m mächtige Kiesschicht direkt dem Festgestein auf. In diesem wasserführenden Horizont erstellte man 1949 einen Brunnen (567820/260970) mit talaufwärts 17,2 m, ostwärts 9,2 m und westwärts 16,2 m langen Horizontalfilterrohren. Pumpversuche vom 10. bis 12. August 1949 ergaben bei 1020 l/Min. eine Absenkung von 58 cm, bei 1540 l/Min. 103 cm und bei 1780 l/Min. 163 cm. Leider kolmatierte diese Anlage nur ein Jahr nach der Inbetriebnahme nahezu vollständig.

Sondierbohrungen der Gemeinde Boncourt in der Gegend La Scierie–Milandre dessous, ausgeführt durch Travaux hydrauliques S.A., Berne, und R. Conrad, Porrentruy (1965–1967)

Sie dienten der Erschliessung eines neuen Brunnens für die Trinkwasserversorgung.

Nr. 1 (568300/259570)

0,00 bis –0,30	Humus
–0,30 bis –1,00	Lehm
–1,00 bis –1,50	Lehm mit kleinen Steinen, klebrig
–1,50 bis –1,80	Lehm mit Sand
–1,80 bis –3,00	Grosse Steine, Wasser enthaltend
–3,00 bis –3,50	Grosse, rot gefärbte Steine, Wasser enthaltend
–3,50 bis –4,20	Kleine runde Steine mit Lehm, klebrig
–4,20 bis –8,20	Grosse Steine mit etwas Lehm, Wasser enthaltend
–8,20 bis –8,50	Grössere Steine mit Sand
ab –8,20	Fels (Kalk)

Grundwasserspiegel in –1,20 m.

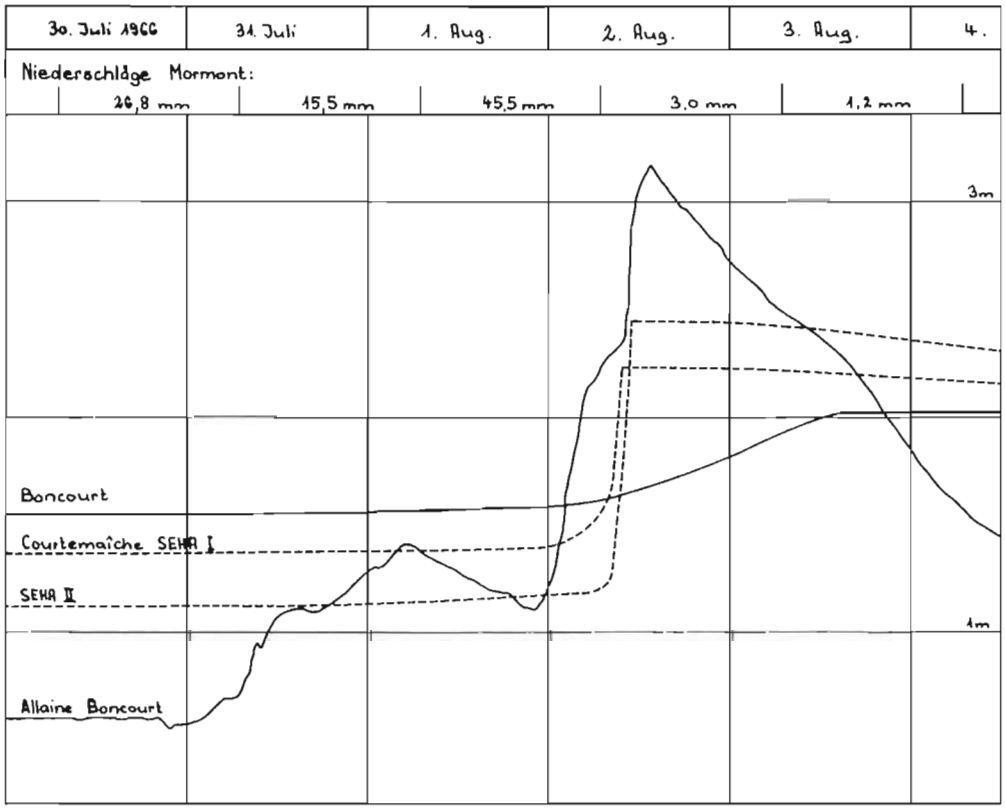
Pumpversuch vom 12./13. 4. 1966:
Während 3 Std. 570 l/Min. (Absenkung 1,80 m)
Während 3 Std. 740 l/Min. (Absenkung 3,50 m)
Während 1 Std. 600 l/Min. (Absenkung 4,00 m)

Nr. 2 (568280/259650)

Anstehender Fels bei –7,90 m; Grundwasser bei –1,20 m.

	7.6.67	25.7.67	24.8.67	30.9.67	8.7.68	4.10.68
Grundw'stände:						
SO 4	369,17	368,71	Pumpe	368,86	369,04	aufgeg.
SO 5	369,17	368,73	Pumpe	368,85	369,00	369,41
Filterbrunnen Les Lômennes	368,51	368,08	368,10	368,20	368,36	368,80
Sod im Hof bei Kirche	367,19	366,71	366,76	366,92	366,95	367,36
Sod im Garten Montavon	367,42	366,73	367,32	367,23	368,23	368,00
Gefälle:						
SO 5- Les Lômennes	2,1‰	2,1‰	-	2,1‰	2,1‰	2,0‰
Les Lômennes- Hof bei Kirche	2,9‰	3,0‰	2,9‰	2,8‰	3,1‰	3,2‰
SO 5- Hof bei Kirche	2,6‰	2,6‰	-	2,5‰	2,7‰	2,7‰

Figur 105
Anstieg des Grundwasserspiegels in Courtemaîche (SEHA I und II) und Boncourt im Vergleich zum Pegelstand der Allaine



Figur 106
Das Gefälle des Grundwasserspiegels in Boncourt

Nr. 3 (568210/259550)

Anstehender Fels bei –5,40 m; Grundwasser bei –0,80 m.

Bei allen drei Sondierungen befand sich der ergiebigste Grundwasserleiter in der Nähe der Oberfläche. Sie wurden aus diesem Grunde aufgegeben.

Nr. 4 (567940/259880)

0,00 bis –0,20	Humus
–0,20 bis –0,70	Sable argileux avec peu de gravier, compacte, jaune
–0,70 bis –3,00	Gravier grossier avec 50% de sable, galets jusqu'à 20 cm de diamètre, argileux
–3,00 bis –5,50	Gravier grossier avec 50% de sable, galets jusqu'à 15 cm de diamètre, non compact
–5,50 bis –6,70	Gravier grossier avec 40% de sable, galets jusqu'à 10 cm de diamètre
–6,70 bis –8,80	Gravier grossier avec 40% de sable, galets jusqu'à 25 cm de diamètre
–8,80 bis –10,20	Gravier grossier avec 50% de sable, argileux, galets jusqu'à 30 cm de diamètre, compact
ab –10,20	Calcaire (Rocher)

Grundwasserspiegel bei –2,30 m.

Ein Pumpversuch (1 000 l/Min.) vom 16. bis 19. 8. 1967 ergab, dass das Grundwasser die Temperatur der Allaine annahm und zudem eine erhebliche Absenkung im bestehenden Filterbrunnen Les Lômennes erfolgte. Aus diesen Gründen kam diese Sondierung für den Bau einer definitiven Fassungsanlage nicht mehr in Betracht.

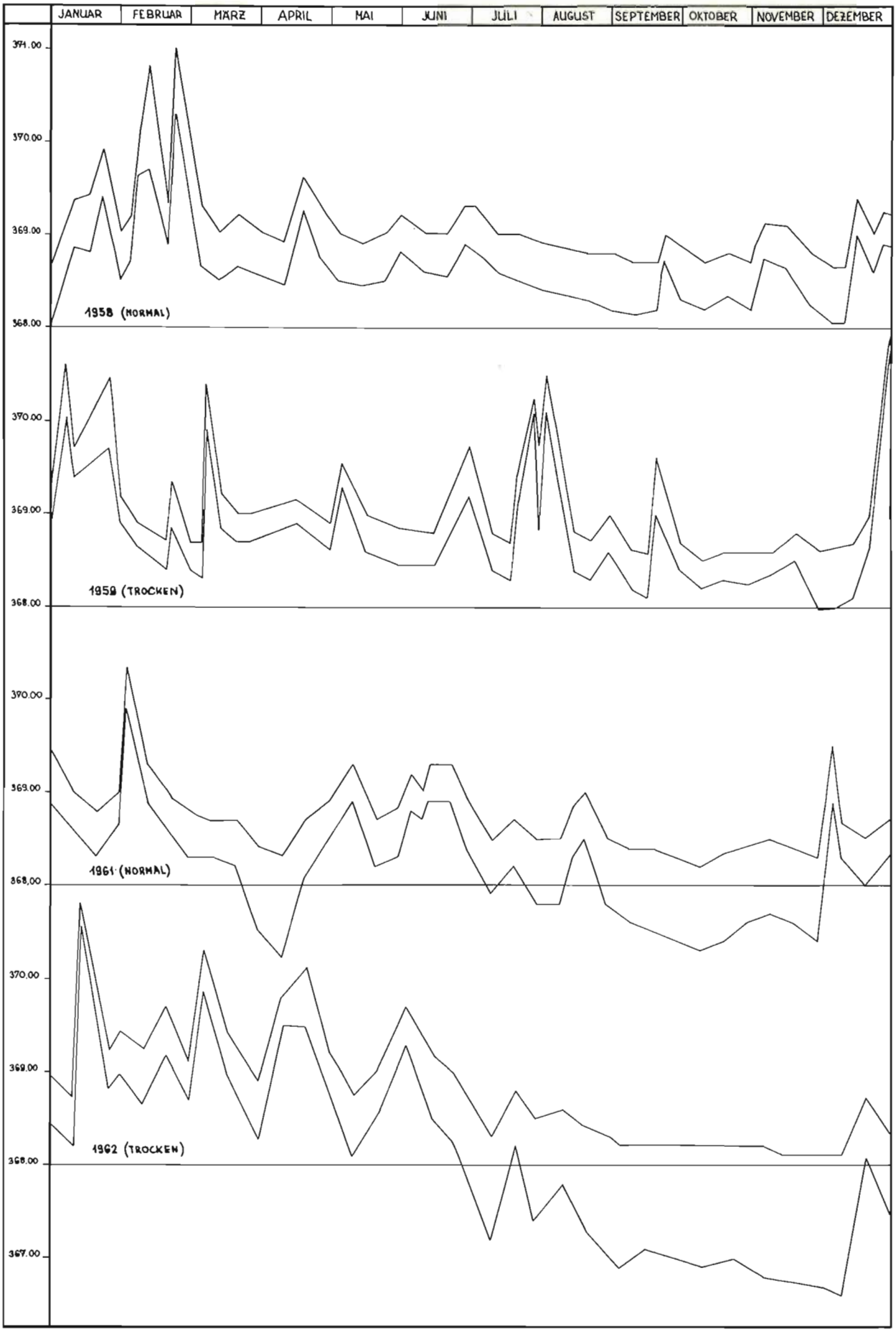
Nr. 5 (567910/259830 = 1968 sich im Bau befindender Brunnen II)

0,00 bis –0,20	Humus
–0,20 bis –0,80	Argile sableuse
–0,80 bis –1,50	Argile sableuse avec peu de galets
–1,50 bis –3,50	Gravier grossier avec 50% de sable, galets jusqu'à 10 cm de diamètre, argileux
–3,50 bis –5,20	Gravier grossier avec 50% de sable, galets jusqu'à 15 cm de diamètre, argileux, compact
–5,20 bis –6,50	Gravier grossier avec 40% de sable, galets jusqu'à 25 cm de diamètre
–6,50 bis –7,50	Gravier grossier avec 40% de sable, galets jusqu'à 15 cm de diamètre
–7,50 bis –9,80	Gravier grossier avec 50% de sable, galets jusqu'à 15 cm de diamètre
–9,80 bis –10,30	Gravier grossier avec 40% de sable, galets jusqu'à 15 cm de diamètre
ab –10,30	Roche (calcaire du jura)

Grundwasserspiegel in –3,27 m.

Ein erster Pumpversuch vom 2. bis 7. Juni 1966 erlaubte, während drei Tagen 1000 bis 1200 l/Min. heraufzupumpen; der zweite, länger dauernde Versuch von Ende August/Anfang September 1967 ergab bedeutend weniger günstige Resultate. Die geförderte Wassermenge musste auf 500 l/Min. reduziert werden, um die Absenkung im bestehenden Vertikalfilterbrunnen I in erträglichem Rahmen zu halten. Man darf deshalb in extremen Trockenzeiten höchstens mit 400 l/Min. zusätzlich nutzbarem Wasser rechnen.

Da im August 1968 mit dem Bau eines definitiven Brunnens bei der Sondage Nr. 5 (1965) begonnen wurde, muss auch die Alluvialebene von Boncourt in bezug auf die Nutzung des Grundwassers als voll ausgenützt bezeichnet werden.



Figur 107
Grundwasserspiegel im Vertikalfilterbrunnen Les Lômennes vor und nach dem Einschalten der Pumpen. Die «unnatürlichen» Spitzen im Juli und August 1959 rühren daher, weil die Bauern in diesem trockenen Sommer die Allaine aufstauten und die Ebene überschwemmten, um die Pflanzungen zu bewässern

7.1.11.2 Der Einfluss der Allaine-Korrektion auf den Grundwasserspiegel

Anlässlich der Korrektion der Allaine war es am 29. August 1960 notwendig, etwa 30 m unterhalb der Brücke beim Bahnhof von Boncourt einen 80 cm tiefen Einschnitt aus dem felsigen Untergrund herauszupickeln, damit das Grundwasser abfliessen konnte. Dies hatte im Laufe von drei Wochen eine Absenkung des Grundwasserspiegels um 50 bis 60 cm zur Folge.

Seither enthalten einige Sodbrunnen nur noch in feuchten Zeiten Wasser. Beim Filterbrunnen Les Lômennes musste man das Sicherheitsniveau, bei dem die Pumpen automatisch abstellen, um einen halben Meter in die Tiefe versetzen. Doch auch der Absenkungsbetrag beim Einschalten der Pumpen erscheint ab 1960 grösser als vor der Korrektion (vergleiche Fig. 107). Ob diese Feststellung allein auf die geringere Grundwassermächtigkeit oder evtl. auch darauf zurückzuführen sein könnte, dass seit der Verbauung weniger Flusswasser in die Schotter übertritt, ist schwer zu beantworten.

7.1.11.3 Das Gefälle des Grundwasserspiegels in Boncourt

Die komplexe Zusammensetzung der Flussablagerungen kommt auch bei der Berechnung der Höhe des Grundwasserspiegels und des Gefälles zum Ausdruck. So reagierte bei den Pumpversuchen im Sommer 1967 ein Piezometer praktisch überhaupt nicht, obschon dieses im Bereich des Senkungstrichters lag. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei dem bereits mehrmals erwähnten Sodbrunnen im Garten Montavon, der ein ganz anderes Verhalten an den Tag legte als der Brunnen im Hof bei der Kirche, obschon er sich in nur etwas mehr als 100 m Entfernung befindet.

Wie aus der Fig. 106 hervorgeht, ist das Gefälle des Grundwasserspiegels auf der 765 m langen Messstrecke um weniges kleiner als das der Allaine, das kanpp 4‰ beträgt.

7.2 DIE SPEISUNG DER GRUNDWASSERBECKEN IM QUERTAL DER ALLAINE

Diesem Problem kommt eine sehr grosse Bedeutung zu, geht es doch darum, unter keinen Umständen etwas zu unternehmen, das die Ergiebigkeit der bestehenden Filterbrunnen beeinträchtigen könnte.

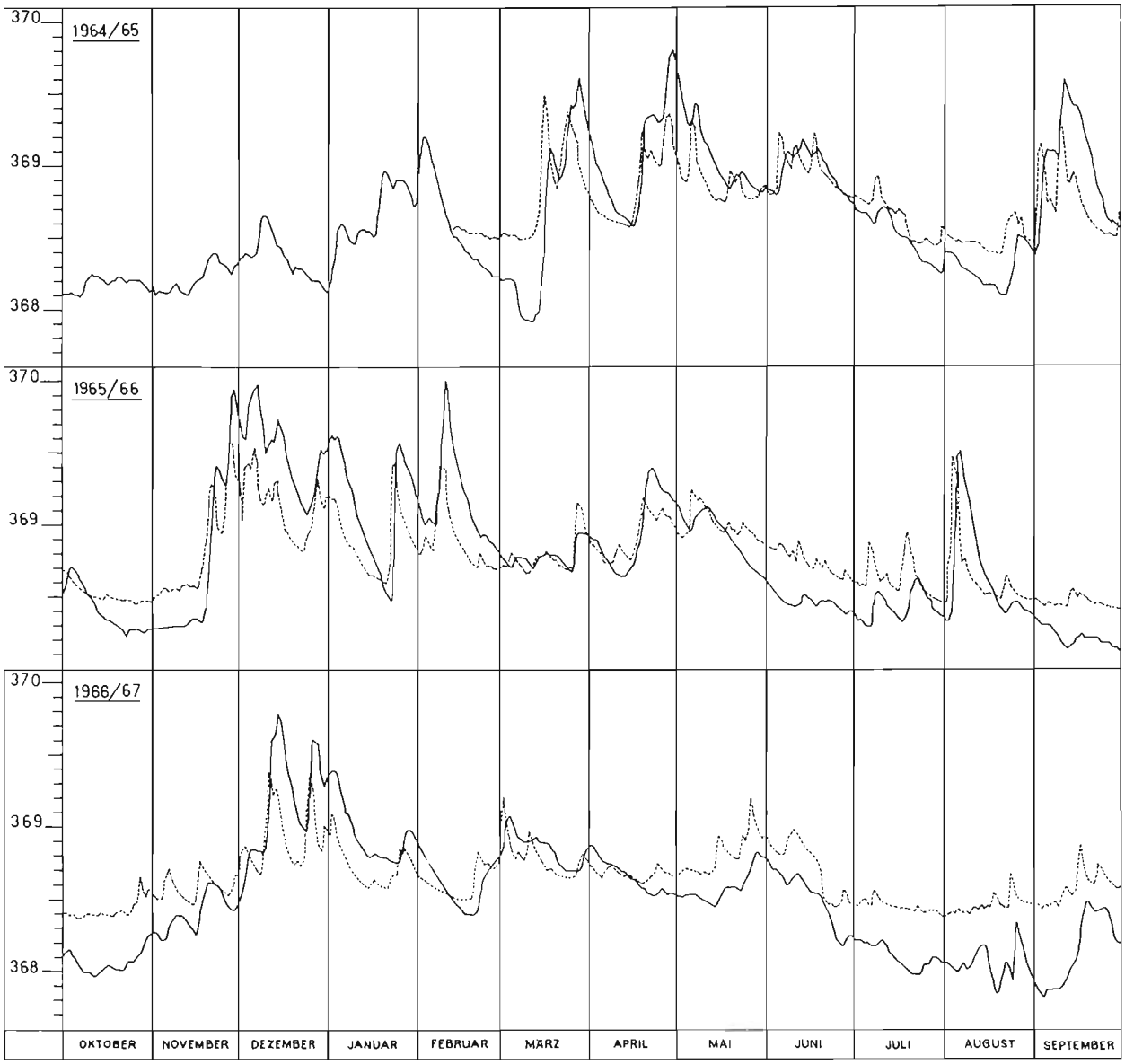
Theoretisch kommen die folgenden Möglichkeiten in Betracht:

- Speisung durch die auf die Alluvialebene fallenden Niederschläge
- Speisung durch Wasser, das im Gehängeschutt und Humus der Talhänge zirkuliert
- Übertritt von Karstwasser aus dem Festgestein
- Übertritt von Flusswasser in die Lockergesteine
- Speisung durch einen durchgehenden Grundwasserstrom, der allerdings mit Hilfe von mindestens einer der vorgängig erwähnten Möglichkeiten irgendwo seinen Anfang nehmen müsste.

Die nachstehenden Beobachtungen mögen einen Beitrag zur Beantwortung dieses Problems liefern:

– Die Idee eines durchgehenden Grundwasserstroms in den Lockergesteinen im Quertal der Allaine, der im hydrographischen Zentrum von Porrentruy seinen Anfang nimmt und über Courtemaîche und Boncourt nach Frankreich hinüberfliesst, ist abzulehnen. Verschiedene Engnisse verhindern den Durchfluss grösserer Wassermengen. Zudem zeigten die Pumpversuche in den Becken von Courtemaîche und Boncourt, dass das Grundwasser in diesen in trockeneren Zeiten bis zur obersten Grenze genutzt wird. Es bleibt deshalb nur noch sehr wenig Wasser übrig, das unterirdisch weiterfliessen kann.

– Die vielen Sondierungen zeigten, dass die Grundwasserleiter nicht homogen sind, sondern sowohl horizontal als auch vertikal eine Unterteilung aufweisen. Dabei spielen die früheren Flussläufe zweifellos eine besonders wichtige Rolle. Mehrmals konnten zwei oder mehr übereinanderliegende Grundwasserleiter festgestellt werden, die durch undurchlässige Schichten voneinander abgetrennt sind, oft aber auch durch solche überdeckt oder unterlagert werden. Hieraus folgt, dass die Niederschläge, die auf die Ebene selbst fallen, nicht immer das Grundwasser zu speisen vermögen. Dasselbe gilt umgekehrt, indem Festgesteinsgrundwasser oft nicht in obere, alluviale Stockwerke aufzusteigen vermag. Infolge der sehr verschiedenen Zusammensetzung des Gesteinsmaterials darf jedoch die Möglichkeit nicht ausser acht gelassen werden, dass an bestimmten Stellen derartige Verbindungen von oben nach unten und umgekehrt bestehen können. Die im Talgrund liegenden Quelltöpfe sind dafür die besten Beispiele.



Figur 108
Vergleich zwischen der Höhe des Grundwasserspiegels (———) und dem Pegelstand der Allaine (·····) in Boncourt

Oft stehen die unteren Stockwerke unter Druck, was dann der Fall ist, wenn diese durch höher liegende Gebiete gespiesen werden und nach oben mit undurchlässigen Schichten abgeschlossen sind.

– Sämtliche durchgeführten Färbversuche zeigten, dass die Fliessgeschwindigkeit im Festgestein in der Regel wesentlich grösser ist als in den Alluvionen. Das Grundwasser wird deshalb in erster Linie den Weg benützen, der die höheren Geschwindigkeiten zulässt. Sowohl im Westteil von Porrentruy als auch in der Ebene von Boncourt floss es unter den Alluvionen hindurch, ohne mit diesen in Beziehung zu stehen. Es dürfte nur dann in die Talauffüllungen eindringen, wenn es in diese hineingepresst wird. Dies ist der Fall, wenn ein Fliessen im Festgestein aus irgendwelchen Gründen erschwert oder verunmöglicht wird, wie z.B. beim Filterbrunnen unterhalb Porrentruy, wo das auftauchende Pont d'Able-Gewölbe ein Weiterfliessen verhindert und deshalb das untere Stockwerk unter Druck steht.

– Verschiedene Abflussmessungen sollten darüber Auskunft geben, ob die Allaine auf ihrem Weg irgendwo eine grössere Menge Wasser verliert. Obschon trotz grösster Sorgfalt bei der Durchführung und der Auswertung der Flügelmessungen mit einem gewissen Fehler gerechnet werden muss, ergaben sich interessante Hinweise.

Die erste Untersuchungsserie bezog sich auf das Teilstück zwischen Alle und Porrentruy. Hier soll im Sommer 1947 die Allaine vollständig versickert sein. Unsere Messungen ergaben:

Datum	Alle (nach Einmündung der Kanalisation)	Porrentruy (vor Einmündung Voyebœuf)	Zu- bzw. Abnahme
30. 3. 1965	0,825 m³/Sek.	0,840 m³/Sek.	+ 1,8%
1. 10. 1965	0,599 m³/Sek.	0,608 m³/Sek.	+ 1,5%
25. 7. 1967	0,181 m³/Sek.	0,147 m³/Sek.	– 18,8%

Während im Frühjahr und Herbst 1965 die Wassermenge an beiden Stellen praktisch gleich war (die Abweichung liegt innerhalb der Fehlergrenzen), ist im trockenen Juli 1967 eindeutig eine beträchtliche Versickerung von Allainewasser festzustellen, die zwischen 2000 und 2500 l/Min. betragen dürfte. Ergänzend sei festgehalten, dass gleichentags die Quelle Le Betteraz, die vermutliche Wiederaustrittsstelle dieses Wassers, 9300 m/Min. schüttete.

In einer zweiten Untersuchungsreihe wollte ich die Zunahme der Wasserführung der Allaine zwischen Porrentruy und Boncourt zahlenmässig festhalten:

31. März 1965	
Porrentruy (inkl. Abwasser und Quellen)	3,803 m³/Sek.
Courtemaîche (ohne Source de la Fontaine)	3,631 m³/Sek.
Boncourt (inkl. Hauptteil Quelle Le Saivu)	4,610 m³/Sek.
25. Juli 1967	
Porrentruy (inkl. Abwasser und Quellen)	0,771 m³/Sek.
Courtemaîche (ohne Source de la Fontaine)	0,608 m³/Sek.
Boncourt (inkl. Hauptteil Quelle Le Saivu)	0,620 m³/Sek.
3. August 1967	
Porrentruy (inkl. Abwasser und Quellen)	0,520 m³/Sek.
Boncourt (inkl. Hauptteil Quelle Le Saivu)	0,584 m³/Sek.

Berücksichtigt man, dass auch in trockenen Zeiten pro Sekunde mindestens 0,1 m³ Quellwasser und Abwässer der Allaine zufliessen, ergibt sich, dass der Fluss auf der ganzen Strecke an allen drei Tagen Verluste aufwies. Die sehr unterschiedlichen Zahlen für die beiden Teilstrecken Porrentruy–Courtemaîche–Boncourt dürfen deshalb nicht verwundern, weil die oben erwähnten Zuflüsse mit Ausnahme

der Abwässer von Courtedoux und drei kleinen Quellen erst unterhalb der Messstelle die Allaine speisen. In diesem Zusammenhang erwähnenswert ist die Aussage von Ingenieur R. Levy, wonach durch «Aufkratzen» der Allaineufer das Grundwasser in der Ebene von Courtemaîche «angereichert» werden kann.

– Im Sommer 1967 gelang in Boncourt anlässlich von Pumpversuchen der eindeutige Nachweis, dass wenigstens zeitweise Allaine-Wasser in die Alluvionen eindringt. Das erste Mal wurde dies durch Temperaturmessungen, das zweite Mal durch Farbe bewiesen. Anderseits ist bekannt, dass das Wasser der Allaine an einzelnen Stellen eine wesentlich niedrigere Temperatur aufweist; es scheint, als ob kälteres Grundwasser in den Fluss übertrete.

Ein Vergleich der Koten des Grundwasserspiegels im Filterbrunnen Les Lômennes (Ruhespiegel) und der Allaine beim Bahnhof Boncourt zeigt, dass das eine Mal die Grundwasseroberfläche, das andere Mal die Allaine höher liegt (vergleiche Fig. 108).

– Bei den im Talgrund zwischen Porrentruy und Boncourt entspringenden Quellen handelt es sich nicht um «Aufstösse» von Lockergesteins-Grundwasser. Einzig bei einem kleinen Bach, der sich neben dem Bahndamm zwischen Buix und der von Montignez gefassten Quelle La Mairmitaine bildet, kann man noch einige Zweifel hegen. Alle anderen stellen Austritte von Festgesteinsgrundwasser dar, das an der Grenze zwischen vadosem und phreatischem Bereich in stark erweiterten Hohlräumen zirkulierte und im tiefstmöglichen Punkt des Tales austritt.

Dieses Ergebnis ist deshalb besonders interessant, weil sich bereits am 7. 12. 1958 G. Bregnard, Gemeinderat in Boncourt, in einer persönlichen Eingabe an die Exekutive des Kantons Bern mit dieser Frage befasste. Am 6. 12. 1957 hatte nämlich der Regierungsrat der Firma F. J. Burrus und Co. eine Konzession zur Entnahme einer Wassermenge von 1250 l/Min. aus dem «Grundwasseraufstoss» La Font südlich Boncourt erteilt. Bregnard beantragte eine Wiedererwägung und vertrat die Meinung, dass es sich hier um eine private Quelle handle, die unabhängig vom Grundwasser in den Lockergesteinen sei und der Gemeinde gehöre.

Er begründete seinen Antrag mit einer ganzen Reihe von Argumenten:

a) Die Quelle tritt auf Kote 369,40 aus. Die Grundwasseroberfläche erreicht diesen Wert nur ganz ausnahmsweise.
b) Der Wasserspiegel in den Sodbrunnen wird nicht beeinflusst, wenn derjenige der Quelle abgesenkt wird.
c) Der Senkungstrichter des neuen Filterbrunnens der Gemeinde Boncourt ist sehr gross. Er beeinflusst wohl die Sodbrunnen, hat jedoch keinen Einfluss auf die Quelle La Font.
d) Bei der Erstellung des Filterbrunnens mussten Pumpen mit einer Förderleistung von 1800 l/Min. eingesetzt werden. Beim Bau eines neuen Schachtes anlässlich der Neufassung der Quelle waren vier Pumpen mit einer Gesamtleistung von 5000 l/Min. notwendig. Diese Tatsache ist deshalb bedeutungsvoll, weil das Gesteinsmaterial im eigentlichen Grundwassergebiet zu einem grossen Teil aus Schottern und Sanden besteht; im Gebiet der Quelle dagegen finden sich in erster Linie Silte und Tone, die mit Steinen durchsetzt sind.
e) Während das Wasser beim Bau des Filterbrunnens allseitig einströmte, floss es bei der Quelle aus einer «Röhre» im undurchlässigen Gesteinsmaterial.
f) Durch starke Niederschläge in der Gegend von St. Dizier (anlässlich eines lokalen Gewitters) ist am 11. 2. 1958 die Quelle La Font rasch gestiegen und das Wasser hat bald eine Trübung erfahren. Der Grundwasserspiegel im Brunnen reagierte überhaupt nicht.

Trotz diesen auf grossen Ortskenntnissen beruhenden Beobachtungen hielten die kantonalen Beamten an ihrer Meinung fest und wiederholten, dass «der Aufstoss La Font mit dem ausgedehnten Reservoir des Grundwassers in Verbindung stehe und keine von den südwestlichen Jurahängen gespiesene Juraquelle darstelle».

Der Antrag wurde, wie sich 1967 bei den Färbungen herausstellte, zu Unrecht abgelehnt. Der ganze Briefwechsel beleuchtet zudem auf eindrückliche Art die ganze Problematik und Verwirrung, die gegenwärtig in rechtlicher Beziehung in bezug auf die Unterscheidung von Grundwasser und Quellen vor allem in Karstgebieten besteht.

7.3 STATISTISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE GRUNDWASSERSPIEGEL-SCHWANKUNGEN

Im folgenden sei versucht, mit mathematisch-statistischen Methoden die relative Bedeutung der Niederschläge und des Pegelstandes der Allaine auf die Grundwasserspiegelschwankungen in den beiden Vertikalfilterbrunnen Pont d'Able unterhalb Porrentruy und Les Lômennes oberhalb Boncourt zu erfassen. Dabei stützte ich mich auf die Ergebnisse von SCHWAB, der am Beispiel der Grundwasserspiegelschwankungen im Val d'Agno die mathematischen Grundlagen beschrieb und ausführliche Untersuchungen darüber anstellte, wie und wie weit die Korrelations- und Regressionsrechnung für die Bearbeitung dieses speziellen Problems herangezogen werden darf.

Als Beobachtungsmaterial standen die Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen in Mormont und Joncherey zur Verfügung. Die mittleren täglichen Wasserstände der Allaine in Boncourt und in den beiden Filterbrunnen wurden aus den Limnigraphenstreifen bestimmt. Als Beobachtungsperiode wählten wir die Zeit vom 1. April 1966 bis 30. September 1967, die je 548 Beobachtungen aufweist und sowohl Hochwasserspitzen als auch Trockenzeiten enthält.

Die Berechnungen erfolgten mit der elektronischen Rechenanlage Gamma S 30 der Universität und der Finanzdirektion des Kantons Bern. In einer ersten Phase wurde der folgende Ansatz verwendet:

$$GW_t = b_0 + b_1 \cdot GW_{t-1} + b_2 \cdot N_t + b_3 \cdot N_{t-1} + b_4 \cdot N_{t-2} + b_5 \cdot N_{t-3} + b_6 \cdot N_{t-4} + b_7 \cdot N_{t-5} + b_8 \cdot P_t + b_9 \cdot P_{t-1} + b_{10} \cdot P_{t-2} + b_{11} \cdot P_{t-3} + b_{12} \cdot P_{t-4} + b_{13} \cdot P_{t-5}$$

Es bedeuten:

GW_t = mittlerer Grundwasserspiegel am Tag t (0.00 bis 24.00 Uhr), ausgedrückt in cm über einem frei gewählten Nullpunkt. Dieser liegt in Boncourt bei 360,00 m, in Pont d'Able bei 400,00 m ü. M.

GW_{t-1} = mittlerer Grundwasserspiegel am Vortag

N_t = Niederschlagshöhe am Tag t (7½ Uhr bis 7½ Uhr des folgenden Tages), ausgedrückt in Zehntelmillimetern

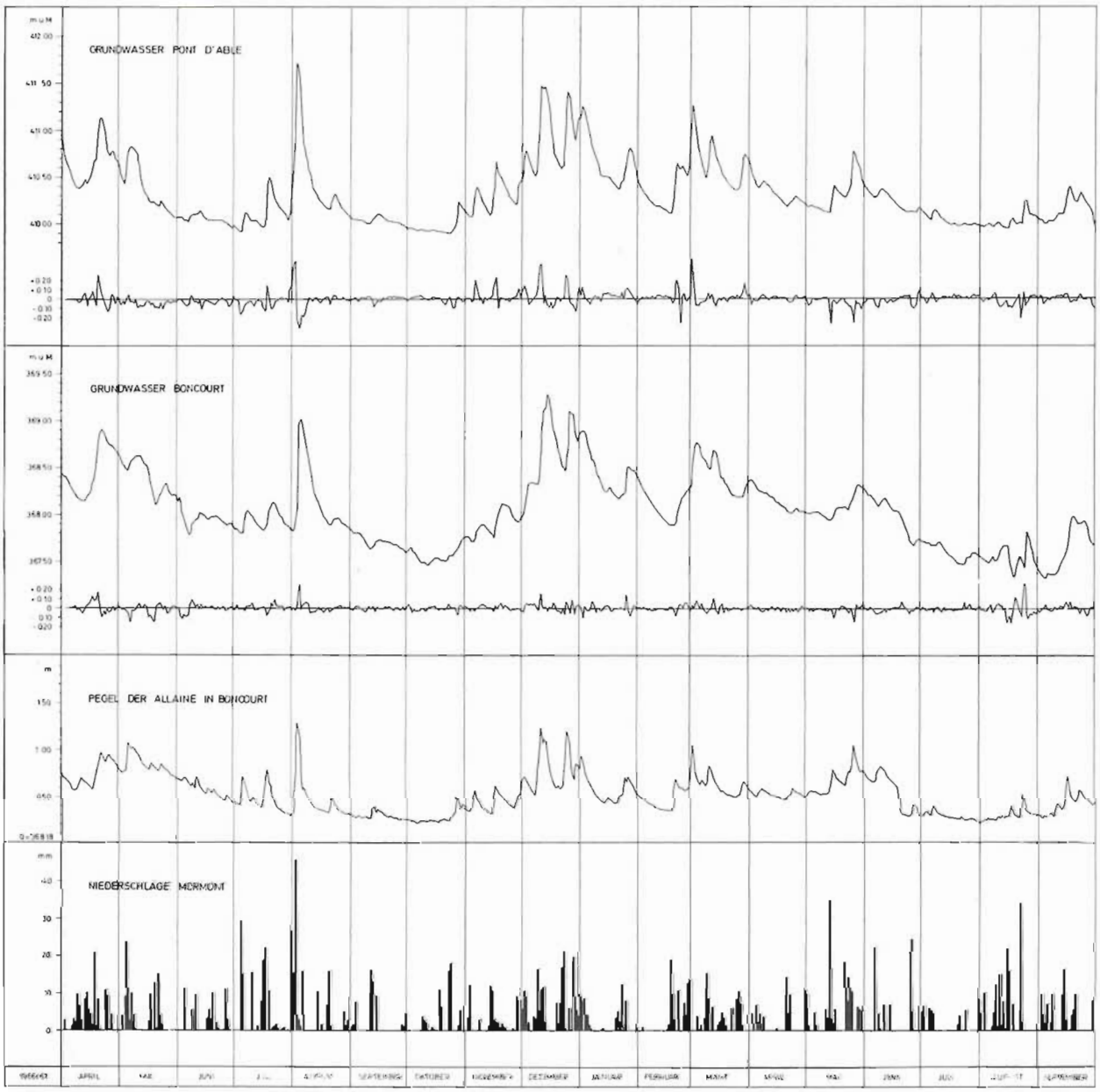
N_{t-1} = Niederschlagshöhe am Vortag
N_{t-2} = Niederschlagshöhe 2 Tage zuvor
N_{t-3} = Niederschlagshöhe 3 Tage zuvor
N_{t-4} = Niederschlagshöhe 4 Tage zuvor
N_{t-5} = Niederschlagshöhe 5 Tage zuvor

P_t = mittlerer Pegelstand der Allaine in Boncourt am Tag t (0.00 bis 24.00 Uhr), ausgedrückt in cm über dem Nullpunkt (368,18 m ü. M.)

P_{t-1} = mittlerer Pegelstand der Allaine am Vortag
P_{t-2} = mittlerer Pegelstand der Allaine 2 Tage zuvor
P_{t-3} = mittlerer Pegelstand der Allaine 3 Tage zuvor
P_{t-4} = mittlerer Pegelstand der Allaine 4 Tage zuvor
P_{t-5} = mittlerer Pegelstand der Allaine 5 Tage zuvor

Dabei zeigte sich, dass in Boncourt ein grosser Teil der Grundwasserspiegelschwankungen durch die Schwankungen der Allaine erklärt werden kann, während die Niederschläge, die in Joncherey und Mormont fielen, ein weniger gutes Ergebnis lieferten. Demgegenüber ist beim Filterbrunnen Pont d'Able der Zusammenhang zwischen der Lage des Grundwasserspiegels und den Niederschlägen von Mormont am grössten.

In einer zweiten Phase ergab sich durch Einführung von quadratischen Gliedern bei beiden Brunnen ein etwas besseres totales Bestimmtheitsmass. Die detaillierten Ergebnisse lauten:



Figur 109
Ganglinien und Residuen der Grundwasserstände in den beiden Filterbrunnen Pont d'Able (unterhalb Porrentruy) und Les Lômennes (oberhalb Boncourt). Darunter zum Vergleich die Pegelstände der Allaine und die in Mormont gefallene Niederschlagsmenge

Filterbrunnen Pont d'Able

Durch die Variable GW_{t-1} wurden erklärt:	92,579%
Rest	7,421% (= 100%)
Von diesem Rest wurden erklärt:	
– durch die Variable N_{t-1}	1,438% (= 19,4%)
– zusätzlich durch die Variable N_t^2	0,870% (= 11,7%)
– zusätzlich durch die Variable N_{t-2}	0,342% (= 4,6%)
– zusätzlich durch die Variable P_t	0,166% (= 2,2%)
– total	2,816% (= 37,9%)
Nicht erklärt wurden:	4,605% (= 62,1%)

Regressionsgleichung:

$$GW_t = 102 + 0{,}8923\, GW_{t-1} + 0{,}0531\, N_{t-1} + 0{,}00019924\, N_t^2 + 0{,}0305\, N_{t-2} + 0{,}103\, P_t$$

Alle Regressionskoeffizienten sind positiv und mit einer statistischen Sicherheit von mehr als 99,9% (***) signifikant. Die Residuen wechseln ihr Vorzeichen oft. Ihre Häufigkeitsverteilung ist leicht asymmetrisch; die Überhöhung entspricht einer Normalverteilung.

Dieses mathematische Ergebnis zeigt, dass sich die Grundwasserspiegelschwankungen zu rund einem Drittel durch die am Vortag und am selben Tag fallenden Niederschläge erklären lassen. Diese dringen vermutlich an den Talhängen in die klüftigen Kalke ein und reichern so das Grundwasser an. Der Anstieg ist umso grösser, je mehr Regen fällt. Der Einfluss der Allaine kann vernachlässigt werden. Das Erscheinen der Variablen P_t in der Regressionsgleichung braucht nicht notwendigerweise auf eindringendes Flusswasser zurückzuführen sein, da Niederschläge und Pegel eng miteinander verbunden sind.

Die grössten Residuen fallen mit den extremsten Grundwasserspiegelschwankungen zusammen. Dabei treten jedoch positive und negative Werte auf, so dass es nicht möglich ist, mit Hilfe des vorhandenen Zahlenmaterials ein besseres mathematisches Modell zu finden.

Filterbrunnen Les Lômennes

Durch die Variable GW_{t-1} wurden erklärt:	96,639%
Rest	3,361% (= 100%)
Von diesem Rest wurden erklärt:	
– durch die Variable P_{t-1}^2	1,267% (= 37,7%)
– zusätzlich durch die Variable P_{t-2}^2	0,616% (= 18,3%)
– zusätzlich durch die Variable P_{t-5}	0,251% (= 7,5%)
– zusätzlich durch die Variable P_{t-1}	0,078% (= 2,3%)
– zusätzlich durch die Variable P_{t-4}	0,032% (= 0,9%)
– zusätzlich durch die Variable P_t^2	0,030% (= 0,9%)
– total	2,274% (= 67,6%)
Nicht erklärt wurden:	1,087% (= 32,3%)

Die Regressionsgleichung lautet:

$$GW_t = 21 + 0{,}9722\, GW_{t-1} + 0{,}282\, P_{t-1} + 0{,}00194\, P_{t-1}^2 + 0{,}00063\, P_t^2 - 0{,}123\, P_{t-5} - 0{,}111\, P_{t-4} - 0{,}00244\, P_{t-2}^2$$

Alle Regressionskoeffizienten sind mit einer statistischen Sicherheit von mehr als 99,9% (***) signifikant. Die Residuen wechseln ihr Vorzeichen sehr fleissig. Ihre Häufigkeitsverteilung verläuft leicht asymmetrisch und ist gegenüber einer Normalverteilung überhöht.

Hieraus folgt, dass sich die Grundwasserspiegelschwankungen zu rund zwei Dritteln durch die Schwankungen des Pegelstandes der Allaine erklären lassen. Der Zusammenhang mit den Niederschlägen, die in Mormont oder Joncherey gemessen wurden, ist geringer, so dass er in der Regressionsgleichung nicht zum Ausdruck kommt. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass der Pegelstand der Allaine zum Teil eine Funktion der Niederschläge darstellt.

Einen positiven Regressionskoeffizienten weisen die Variablen P^2_{t-1}, P_{t-1} und P^2_t auf. Dies bedeutet, dass der Anstieg des Grundwassers umso deutlicher erfolgte, je höher der Pegelstand der Allaine am Vortag und am selben Tag war. Die negativen Koeffizienten der Variablen P^2_{t-2}, P_{t-4} und P_{t-5} schwächen diesen Effekt ab; der Anstieg war weit geringer, wenn an den vorhergehenden Tagen bereits ein hoher Pegelstand registriert wurde.

Die grössten Residuen finden sich im Anschluss an die ausgiebigen Niederschläge Anfang August 1966 sowie Mitte August bis Anfang September 1967 während der Pumpversuche in der 310 m entfernt gelegenen Sondage 5/1966, was ein weiterer Beweis für die gegenseitige Beeinflussung der beiden Brunnen darstellt. Möglicherweise sind auch die etwas grösseren Abweichungen im April, Mai und Juni 1966 auf die verschiedenen, jeweils nur kurze Zeit dauernden Pumpversuche in den Sondages 1 bis 5 zurückzuführen.

Zusammenfassend kann zum ganzen Kapitel 7 gesagt werden, dass es sich bei den Lockergesteins-Grundwasservorkommen im Quertal der Allaine um einzelne mehr oder weniger voneinander unabhängige Becken handelt, die nicht durch einen grösseren zusammenhängenden Grundwasserstrom miteinander verbunden sind. Sie enthalten neben Sanden und wenig gerundeten Kiesen einen sehr grossen Anteil an Silten und Tonen und sind sehr komplex zusammengesetzt. Die Frage nach der Speisung dieser Becken lässt sich nicht allgemein beantworten. Alle genannten Möglichkeiten (Niederschläge, Hangwasser, Festgesteinsgrundwasser, Allaine) sind zu berücksichtigen. Ihr Anteil ist jedoch von Ort zu Ort verschieden. Zudem dürfte öfters ein gegenseitiger Austausch zwischen Festgesteinsgrundwasser, Lokkergesteinsgrundwasser und Flusswasser der Allaine stattfinden.

8. Der Einfluss der unterirdischen Entwässerung auf die Wasserbilanz

8.1 DIE ABGRENZUNG DER EINZUGSGEBIETE

Im III. Teil der vorliegenden Arbeit hat sich für das Gebiet der Ajoie von 1965 bis 1968 ein mittlerer Abflusskoeffizient von 45,8% ergeben. Wir bezeichneten damals diesen Wert als zu klein und kamen zum Schluss, dass die Einzugsgebiete nicht nach den oberflächlichen Wasserscheiden bestimmt werden dürfen, sondern dass die unterirdischen Abflussverhältnisse unbedingt mitberücksichtigt werden müssen.

Für die Abgrenzung der Einzugsgebiete stützten wir uns auf:
- das Studium der Topographie und der geologischen Verhältnisse
- die im Kapitel 6 nachgewiesenen unterirdischen Verbindungen und
- die Schüttung der Quellen.

Die Berechnung der theoretischen mittleren Schüttung pro Quadratkilometer Einzugsgebiet ergibt für verschiedene Niederschlagshöhen und Abflussverhältnisse die folgenden Werte:

N	A/N = 75%	70%	65%	60%	55%
cm	l/Min.	l/Min.	l/Min.	l/Min.	l/Min.
90	1280	1200	1110	1030	940
100	1430	1330	1240	1140	1040
110	1570	1460	1360	1250	1140
120	1710	1600	1480	1370	1250
130	1850	1730	1610	1480	1360

Diese Zahlen gelten nur, wenn gleichzeitig nicht noch unterirdische Abflüsse vorhanden sind und wenn sie über länger dauernde Zeitabschnitte angewandt werden, da die Änderungen der Grundwasserreserven nicht mitberücksichtigt sind.

Fig. 110 stellt einen Versuch dar, die Einzugsgebiete der Allaine, der Cœuvatte und der Vendline sowie einiger grösserer Quellen abzugrenzen. Hiezu die folgenden Erläuterungen:

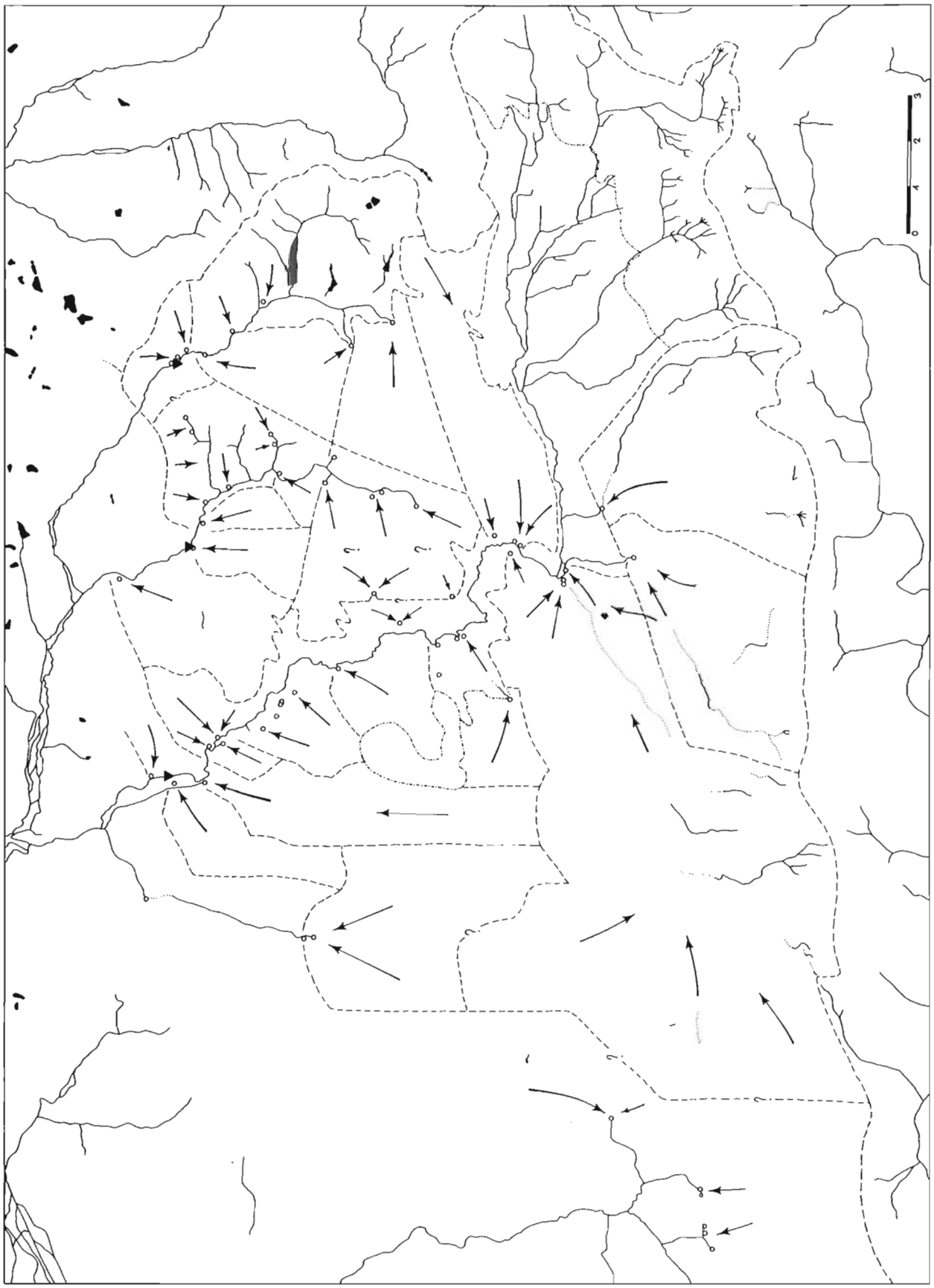
Die Wasserscheide zwischen Vendline und Larg darf man auf Grund der Oberflächentopographie festlegen, da der Untergrund in erster Linie aus Vogesensanden besteht, die meist undurchlässig sind. Das gesamte Waldgebiet ist von einer Vielzahl von Gräben durchzogen, in denen nach Niederschlägen beträchtliche Wassermassen wegfliessen. Einige kleinere Quellen fördern das versickerte Wasser wieder zu Tage.

Die Einzugsgebiete der Quellen La Vendline, Combe aux Chiens und Source Ledermann im Tal der Vendline sind im Westen durch die auftauchenden Pterocera-Mergel begrenzt.

Die Réchésy-Antiklinale bildet im Norden einen Wall, der von der Vendline und der Cœuvatte in einem engen Tal durchflossen wird.

Niederschläge, die im Trockental von Les Boulaies fallen, treten bei einer grösseren Quelle neben dem Zollhaus von Lugnez erneut an die Erdoberfläche. Sie sind durch die Abflussmessungen der Cœuvatte erfasst worden.

Eine Beurteilung der Wälder von Sur le Mont zwischen Cœuve und der Allaine ist schwierig, da dieses Gebiet von einer grossen Zahl von Brüchen durchsetzt ist.



Figur 110
Die Einzugsgebiete der Allaine, Vendline und Couvatte

Das Trockental von Montignez wird unterirdisch nach Frankreich hin entwässert, und zwar durch die Quelle Fontaine de la Roche, die sich zwischen Courcelles und Florimont befindet. Das Trinkwasser von Montignez, das als Abwasser schliesslich denselben Weg benützt, stammt von den Quellen Combe de Cœuve und La Mairmitaine im Tal der Allaine. Die Einzugsgebiete dieser beiden Wasseraustritte sind für die Wasserbilanz zum Teil in Abzug zu bringen.

In der Caquerelle-Zone und der Mont Terri-Antiklinale zwischen Charmoille und Courtemautruy entspringen viele Quellen, deren Einzugsgebiete global angegeben sind. Sie speisen die Allaine bzw. deren Seitenbäche. Ein Teil davon ist gefasst, doch gelangt auch deren Wasser auf dem Umweg über die Kanalisationen schliesslich in die Allaine. Einzig ein Teil des Wassers der Quelle La Golatte in Asuel und der Source de Fregiécourt wechselt das Flussgebiet und erscheint als Abwasser in der Vendline und der Cœuvatte.

Jenseits der Überschiebungszone, bzw. westlich der Vogesensande von Pleujouse und Charmoille, sind Quellen sehr selten. Die hier fallenden Niederschläge gelangen entweder über den Lehmen sofort zum Abfluss oder werden durch die liegenden Kalke aufgenommen.

Das Einzugsgebiet der Quelle Le Betteraz unterhalb Porrentruy dürfte am Südabhang des Höhenzuges, der sich von Porrentruy nach Vendlincourt hinzieht (Fahy–«Antiklinale»), zu suchen sein. Zudem wird dieser Wasseraustritt wenigstens zeitweise durch die Allaine und durch Wasser gespiesen, das in die Lockergesteine der Mulde von Alle einsickerte.

Die Quellen Bonne Fontaine (Fontenais) und Voyebœuf verdanken ihre Entstehung dem auftauchenden Natica-Horizont. Es sei daran erinnert, dass ein kleiner Teil des Wassers, das unterirdisch im Tal von Bressaucourt fliesst, einen Weg durch die Banné-Antiklinale hindurch nach Porrentruy (La Beuchire) findet.

Für die definitive Beurteilung des Einzugsgebietes der Quellen im Stadtgebiet von Porrentruy wären noch einige Färbungen notwendig, um den Verlauf der Wasserscheide zwischen Ajoulote und Creuse bzw. Roide abschliessend festlegen zu können. Nach Lievre soll die heute versiegte Quelle von Grandfontaine 800 bis 2500 l/Min. geschüttet haben. Dies würde für eine sehr weit im Westen liegende Grenze sprechen. Die Annahme, dass das Wasser, das früher in Grandfontaine zu Tage getreten ist, einen unterirdischen Weg zur Source de la Doue gefunden hat, ist aber nach meiner Auffassung nicht auszuschliessen. Überhaupt sind bei dieser in Frankreich gelegenen Quelle noch nicht alle Rätsel gelöst. Vergleicht man mit der Schüttung, erscheint das nördlich des Wasseraustritts gelegene Einzugsgebiet eher als zu klein. Anderseits schliessen die verschiedenen Färbungen der Abwässer die Annahme aus, dass die gesamten Wald- und Weidegebiete ohne oberirdischen Abfluss zwischen Fahy, Croix und Bure zu der Source de la Doue hin entwässern. Immerhin wäre in diesem flachen, von Brüchen durchsetzten Tafelland ein gegenseitiges Durchdringen der Einzugsgebiete in zwei Stockwerken denkbar.

Es ist zur Zeit ebenfalls nicht möglich, die Frage definitiv zu beantworten, wie weit die Einzugsgebiete der Quellen von Val St. Dizier in die Schweiz hineinreichen. Auch hier wären weitere Färbungen notwendig, die jedoch relativ hohe Kosten verursachen würden, da mit Zisternenwagen grosse Mengen Spülwasser herbeigeschafft werden müssten.

Westlich der Allaine, zwischen Porrentruy und Boncourt, reihen sich die Einzugsgebiete der einzelnen Quellen regelmässig aneinander. Interessant ist das Gebiet von Mormont–Bure–Chertau. Die hier über dem Natica-Horizont austretenden Wasser sind zum Teil gefasst. Die anderen versickern erneut und speisen die ein Stockwerk tiefer über dem Oxfordien austretenden Quellen.

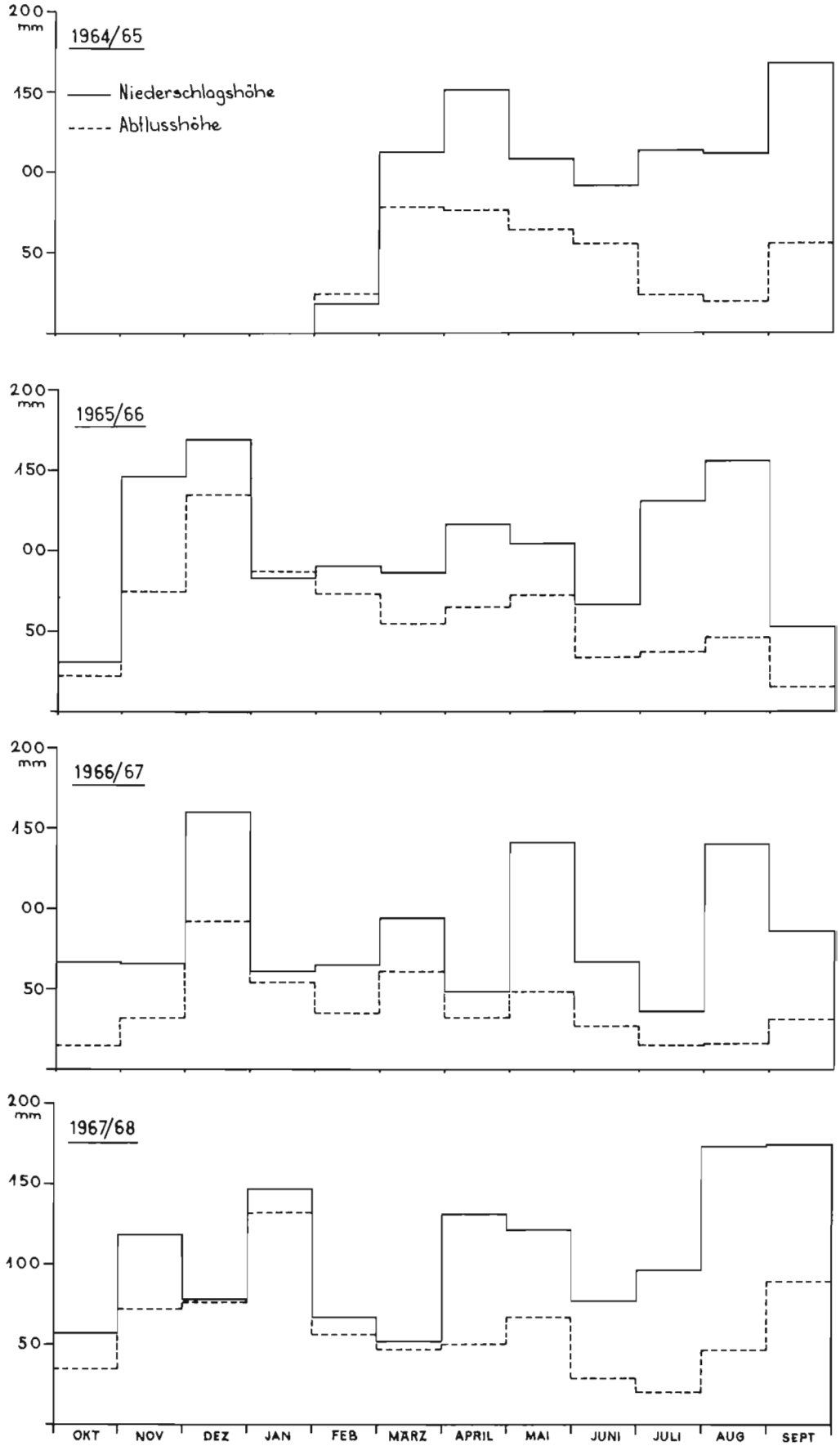
Die Kanalisation in Boncourt mündet erst unterhalb der Abflussmessstation in die Allaine; sie enthält neben dem Abwasser (durchschnittlich 1000 l/Min.) auch das Wasser der Quellen La Font und La Locomotive.

Vom Einzugsgebiet des Höhlensystems von Milandre sind rund 3 bis 4 km² in Abzug zu bringen, da ein Teil dieses Wassers bei der Quelle La Font austritt und ein anderer Teil ein Bächlein bildet, das sich erst auf französischem Boden in die Allaine ergiesst.

1964/65	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Jahr
N_h	102	69	20	113	18	112	151	108	91	113	111	167	(871)
A_m total					5,749	18,258	17,817	14,960	12,910	5,528	4,556	12,975	92,753
Allaine					4,219	16,458	16,017	13,250	11,290	3,998	3,116	11,355	79,703
V'line					*0,850	*1,000	*1,000	*0,950	*0,900	*0,850	*0,800	*0,900	7,250
C'vatte					*0,680	*0,800	*0,800	*0,760	*0,720	*0,680	*0,640	*0,720	5,800
A_h					24	78	76	64	55	23	19	55	394
AK					135,6	69,4	50,2	59,0	60,3	20,8	17,5	33,1	45,3
N-A					-6	34	75	44	36	90	92	112	477
1965/66													
N_h	31	146	169	83	90	86	116	104	66	130	153	52	1'226
A_m total	5,293	17,602	31,544	20,486	17,204	12,798	15,126	16,933	7,926	8,763	10,550	3,448	167,673
Allaine	3,853	15,802	29,384	18,146	15,404	11,178	13,416	15,133	6,594	7,409	8,774	2,227	147,320
V'line	*0,800	*1,000	*1,200	*1,300	*1,000	*0,900	*0,950	*1,000	0,742	0,754	0,986	0,681	11,313
C'vatte	*0,640	*0,800	*0,960	*1,040	*0,800	*0,720	*0,760	*0,800	*0,590	*0,600	*0,790	*0,540	9,040
A_h	23	75	134	87	73	55	64	72	34	37	45	15	714
AK	72,6	51,3	79,4	105,1	81,3	83,4	55,5	69,3	51,1	28,7	29,3	28,3	58,2
N-A	8	71	35	-4	17	31	52	32	32	93	108	37	512
1966/67													
N_h	67	66	160	61	65	94	48	141	67	36	140	86	1'031
A_m total	3,545	7,518	21,595	12,658	8,174	14,271	7,609	11,195	6,368	3,574	3,831	7,189	107,527
Allaine	2,235	6,096	19,687	11,127	6,596	12,404	6,086	9,666	4,749	2,151	2,457	5,572	88,826
V'line	0,730	0,792	1,058	0,851	0,878	1,037	0,843	0,849	0,899	0,793	0,764	0,897	10,391
C'vatte	*0,580	*0,630	*0,850	*0,680	*0,700	*0,830	*0,680	*0,680	*0,720	*0,630	*0,610	*0,720	8,310
A_h	15	32	92	54	35	61	32	48	27	15	16	31	458
AK	22,5	48,5	57,4	88,4	53,5	64,6	67,5	33,8	40,4	42,2	11,6	35,6	44,4
N-A	52	34	68	7	30	33	16	93	40	21	124	55	573
1967/68													
N_h	57	118	78	147	67	52	131	121	77	96	173	174	1'291
A_m total	8,335	16,935	17,818	30,961	13,258	10,977	11,693	15,806	6,767	4,683	10,835	20,930	168,998
Allaine	6,720	15,429	16,047	28,044	11,701	9,284	9,964	13,870	5,281	3,041	9,164	18,371	146,916
V'line	0,895	0,836	0,981	1,617	0,867	0,943	0,959	1,076	0,826	0,912	0,931	1,419	12,262
C'vatte	*0,720	*0,670	*0,790	*1,300	*0,690	*0,750	*0,770	*0,860	*0,660	*0,730	*0,740	*1,140	9,820
A_h	35	72	76	132	56	47	50	67	29	20	46	89	719
AK	62,3	61,1	97,2	89,6	84,2	89,8	38,0	55,6	37,4	20,7	26,6	51,2	55,7
N-A	22	46	2	15	11	5	81	54	48	76	127	85	572

Figur 111
Tabellarische Darstellung der Wasserbilanz der Ajoie für die hydrologischen Jahre 1964/65 bis 1967/68, berechnet aufgrund des vermuteten tatsächlichen Einzugsgebietes

N_h : mittlere Niederschläge in mm
A_m : oberirdisch abfliessende Wassermenge in Millionen m^3
A_h : Abflusshöhe in mm, auf einem Einzugsgebiet von 235 km^2 basierend
AK: Abflussverhältnis A/N in % (Abfluss geteilt durch 1% des Niederschlags)
N-A: Differenz zwischen Niederschlag und oberirdischem Abfluss in mm
* interpolierte Werte



Figur 112
Graphische Darstellung der Wasserbilanz der Ajoie für die hydrologischen Jahre 1964/65 bis 1967/68, berechnet aufgrund des vermuteten tatsächlichen Einzugsgebietes

8.2 DIE WASSERBILANZ

Auf Grund der Untersuchungen in den vorangegangenen Kapiteln erweist sich das wirkliche Einzugsgebiet der Vendline, der Cœuvatte und der Allaine um knapp einen Siebentel kleiner, als dies die oberflächlichen Wasserscheiden vermuten lassen. Dadurch erhöht sich der im Kapitel 3.1 des III. Teils berechnete mittlere Abflusskoeffizient für die Jahre 1965 bis 1968 auf ca. 53%, was zufälligerweise sehr nahe bei dem nach der Formel von L. TURC errechneten theoretischen Wert von 54% liegt.

Im einzelnen dürften jedoch grössere Unterschiede zwischen den verschiedenen Gegenden der Ajoie bestehen. So wird die Grössenordnung dieser Ergebnisse nicht bestätigt, wenn man für das Einzugsgebiet der Quelle Les Nods in Charmoille, das mit Hilfe der geologischen Karte relativ genau festgelegt werden kann, aus den Niederschlägen und der Schüttung – es liegen wöchentliche Messungen vor – den Abflusskoeffizienten berechnet:

	mittlere Schüttung	Abfluss-spende	Niederschlag Charmoille	Abfluss-koeffizient
	l/Min.	l/Min. km²	mm	%
1964/65	2298	1532	1175	68,6
1965/66	2692	1795	1226	76,9
1966/67	2242	1495	1031	76,2
1967/68	2529	1686	1291	68,2
Mittel	2440	1627	1181	72,4

Als unmöglich erweist sich in der Wasserbilanz eine Aufteilung der Unterschiedshöhe N–A (Niederschlag minus oberirdischer Abfluss) in Verdunstung und unterirdischen Abfluss. Auch nach den durchgeführten Untersuchungen bestehen Zweifel, ob es sich bei der Allaine, der Cœuvatte und der Vendline um geschlossene Flussgebiete handelt. Nach wie vor ist die Möglichkeit nicht auszuschliessen, dass in diesem Karstgebiet, das tektonisch intensiv bearbeitet wurde und in dem die einzelnen Schollen verstellt sind, Wasser unterirdisch einen Weg in entferntere Gebiete Frankreichs findet und erst weit jenseits der Grenze erneut an die Erdoberfläche gelangt. Zur Beantwortung dieser Frage wären jedoch ausführliche Untersuchungen im Gebiet der Burgunderpforte zwischen Vogesen und Jura notwendig, was Jahrzehnte beanspruchen dürfte. Vorläufig ist die Annahme, dass die Unterschiedshöhe N–A die reine Gebietsverdunstung repräsentiert, nicht gerechtfertigt.

DER AUSBAU DER WASSERVERSORGUNGSANLAGEN IN DER AJOIE

1. Der Wasserbedarf

Solange in einer Gegend die Reserven an ungenutzten Quellen und Grundwasservorkommen genügend gross sind, gibt der steigende Wasserkonsum nicht zu Besorgnis Anlass. Da jedoch in der Ajoie nur ein beschränktes, ungleichmässig verteiltes Wasservorkommen zur Verfügung steht und die genügende Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser eine unabdingbare Forderung darstellt, sind wir gezwungen, der zukünftigen Wasserversorgung grösstes Augenmerk zu schenken. Nur eine umfassende Wasserversorgungsplanung bietet Gewähr, dass die vielen Probleme der Wasserbeschaffung und Wasserverteilung in den nächsten Jahren rechtzeitig und zweckmässig gelöst werden.

Der Wasserverbrauch einer Gemeinde ist hauptsächlich abhängig von der Einwohnerzahl, dem Klima, dem Lebensstandard, der zur Verfügung stehenden Wassermenge, der Wasserqualität, dem Industrialisierungsgrad, dem Zustand des Rohrnetzes, sowie der Art der Wasserabgabe und der Höhe des Wasserpreises.

Bei der Beurteilung des Wasserbedarfs in der Ajoie sind den beiden folgenden Faktoren grosse Bedeutung beizumessen:

– Die Schüttungen der Quellen ändern je nach den Witterungsverhältnissen sehr rasch. Da der grösste Wasserkonsum in der Regel in die Trockenzeiten mit den kleinsten Schüttungen fällt, ist grundsätzlich mit den ungünstigsten Werten zu rechnen.

– Der Verbrauch an Wasser für Industrie, Gewerbe, Bewässerung und ähnliche Zwecke ist besonders in Rechnung zu stellen; er darf nicht durch die Verwendung eines Mittelwertes pro Tag und Kopf der Bevölkerung berücksichtigt werden, da die Einwohnerzahl der kleinen Gemeinden oft zu gering ist und deshalb ein verfälschtes Bild entstehen würde. Damit keine unliebsamen Überraschungen eintreten, muss für jede Gemeinde, die einen Ausbau ins Auge fasst, der Gesamtbedarf durch Addition von Teilbeträgen berechnet werden.

1.1 DER BEDARF FÜR DIE VERSORGUNG DER HAUSHALTUNGEN

Wie bereits in einem einleitenden Kapitel kurz erwähnt wurde, nahm die Bevölkerung nach dem 2. Weltkrieg in den verkehrsmässig abgelegenen Dörfern ab, während die Gemeinden mit Eisenbahnanschluss zum Teil eine deutliche Zunahme verzeichneten. Diese Abnahme konnte in den letzten Jahren gebremst, zum Teil sogar aufgehalten werden, wobei die allgemeine Konjunktur, die auch Bürgern mit einem kleineren Einkommen die Anschaffung eines Motorfahrzeugs ermöglicht, für diese Entwicklung die entscheidende Rolle gespielt haben dürfte.

Aus den Fig. 1 und 113 folgt, dass in erster Linie Courgenay, Porrentruy, Alle und Boncourt durch die Bevölkerungszunahme vor ernsthafte Probleme gestellt wurden. Doch auch bei einigen anderen Gemeinden beginnt sich eine Erhöhung der Einwohnerzahl abzuzeichnen, die in Zukunft ins Gewicht fallen könnte.

Für den Bedarf an Trinkwasser bedeutungsvoller ist der wesentlich gesteigerte Verbrauch wegen den erhöhten hygienischen Ansprüchen. Der abnorme Anstieg der Verbrauchskurven, der da und dort festzustellen ist, dürfte allerdings einen Rückgang erfahren, sobald in allen Haushaltungen Zähler eingerichtet sind und der Wasserzins entsprechend angesetzt wird.

Schwieriger ist die Angabe einer zuverlässigen Zahl für den mittleren Verbrauch an reinem Haushaltwasser pro Tag und Kopf der Bevölkerung. Die Unterschiede von einer Gemeinde zur anderen sind,

wie aus der Statistik des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern hervorgeht, recht erheblich. 1967 betrug das Mittel für Porrentruy 197 l/Min. Dieser Wert liegt etwas über dem Durchschnitt, der sich für eine Reihe ungefähr gleich grosser Gemeinden im französischen Sprachgebiet der Schweiz berechnen lässt. Doch auch diese Zahl dürfte sich in den nächsten Jahren noch erhöhen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass sie an heissen Sommertagen wegen der Bewässerung der Gärten, der Verwendung von Douchen, Kinderschwimmbecken usw. auf das 1½- bis 2-fache ansteigen wird, sofern die Gemeindebehörden keine einschränkenden Massnahmen anordnen.

In diesem Zusammenhang wertvoll sind die Jahresdurchschnittswerte, die der Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern zur Diskussion stellte:

– Einfachwohnungen	60 bis 80 l/Einwohner/Tag
– Einfamilien-Reihenhäuser (mit WC und Badewanne)	80 bis 100 l/Einwohner/Tag
– Einfamilien-Einzelhäuser (mit WC und Badewanne)	100 bis 200 l/Einwohner/Tag
– Mehrfamilienhäuser (mit WC und Badewannen)	100 bis 120 l/Einwohner/Tag
– Komfortwohnungen (mit sanitärer Höchstausstattung)	200 bis 400 l/Einwohner/Tag

Für schweizerische Verhältnisse müsste allerdings in erster Linie mit Komfortwohnungen gerechnet werden.

	1900 *	1930 *	1941 *	1950 *	1960 *	1965 **	Zu- bzw. Abnahme 1950–1960
Alle	1'238	1'209	1'314	1'371	1'471	1'550	+ 7,3
Asuel	373	272	278	278	253	250	– 9,0
Beurnevésin	248	225	246	222	177	178	– 20,2
Boncourt	932	1'138	1'195	1'299	1'493	1'607	+ 14,9
Bonfol	1'340	1'020	1'023	1'017	992	990	– 2,5
Bressaucourt	506	381	380	354	398	380	+ 12,4
Buix	561	554	555	628	589	590	– 6,2
Bure	607	604	634	613	558	532	– 9,0
Charmoille	512	474	529	544	494	490	– 9,2
Chevenez	901	794	811	865	768	770	– 11,2
Coeuve	757	690	730	721	707	720	– 1,9
Cornol	1'145	789	805	831	809	825	– 2,6
Courchavon	311	316	314	321	272	274	– 15,3
Courgenay	1'568	1'444	1'447	1'511	1'666	2'200	+ 10,3
Courtedoux	759	605	587	591	621	628	+ 5,1
Courtemaîche	680	704	705	745	735	762	– 1,3
Damphreux	294	259	249	276	237	240	– 14,1
Damvant	352	270	242	214	213	215	– 0,5
Fahy	492	476	491	524	477	501	– 9,0
Fontenais	1'248	983	950	1'012	991	971	– 2,1
Fregiécourt	240	210	198	190	172	160	– 9,5
Grandfontaine	424	390	394	396	350	349	– 11,6
Lugnez	273	289	271	275	265	265	– 3,6
Miécourt	481	491	450	450	490	525	+ 8,9
Montignez	318	331	341	356	346	348	– 2,8
Pleujouse	135	98	110	109	85	98	– 22,0
Porrentruy	6'959	5'805	6'121	6'523	7'095	8'107	+ 8,8
Réclère	362	255	278	249	208	225	– 16,5
Roche d'Or	77	80	78	74	67	64	– 9,5
Rocourt	232	186	174	187	175	170	– 6,4
Vendlincourt	794	623	584	615	668	670	+ 8,6
Total	25'119	21'965	22'484	23'361	23'842	25'750	+ 8,0

Figur 113
Die Einwohnerzahlen der Gemeinden der Ajoie (* = Ergebnisse der eidg. Volkszählungen, ** = Angaben der Gemeinden). In dieser Tabelle sind die rund 1300 Bewohner der französischen Dörfer und Höfe, die im Syndicat intercommunal de Croix en France (SICF) zusammengeschlossen sind und ihr Trinkwasser vom Syndicat des Eaux de la Haute-Ajoie (SEHA) beziehen, nicht berücksichtigt

1.2 DER EINFLUSS DES VIEHBESTANDES AUF DEN TRINKWASSERVERBRAUCH

Während früher ein grosser Teil der Haushaltungen eine oder zwei Kühe, evtl. auch eine Ziege hielt, ist die Zahl der Viehbesitzer in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Nicht so die Gesamtzahl des Rindviehs, der Schweine und Schafe, die von 1961 bis 1966 um 10% bzw. 2 und 7% zunahm. Dies rührt daher, dass die Angestellten und Arbeiter auf ihren bestimmt wenig einträglichen Nebenverdienst als Kleinbauer verzichteten und ihre Weiden an Leute verpachteten, die sich voll und ganz der Landwirtschaft widmen. Parallel dazu geht der Rückgang des Pferde- und Ziegenbestandes, der in der gleichen Periode 48% bzw. 4% ausmachte.

Wie die neuesten Untersuchungen durch KUENZI am Versuchsgut für Tierzucht Chamau zeigten, muss bei Kühen im Sommer während rund 200 Tagen mit einem Verbrauch von 15 l, im Winter während 165 Tagen mit 40 bis 70 l pro Tag und Kuh gerechnet werden. Bei Schweinen mit einem Gewicht von 70 kg reduziert sich dieser Wert auf 5 l/Tag. In diesen Zahlen nicht mitberücksichtigt ist das Wasser, das für die Reinigung des Stalles und bei Güllewirtschaft zusätzlich benötigt wird, so dass sich die obigen Zahlen auf das zwei- bis dreifache erhöhen dürften.

Da die Zeiten des grössten Wassermangels meistens in die Sommermonate und nur ausnahmsweise in den Winter fallen, zudem vielenorts die Viehtränken nicht durch Wasser aus der Druckleitung, sondern durch kleine, sonst ungenutzte Quellen, durch Flusswasser oder durch Zisternen gespiesen werden, hat das von Nutztieren verbrauchte Trinkwasser im Vergleich zum Gesamtverbrauch in der Ajoie wenig Bedeutung.

	Pferde	Rindvieh	Schweine	Schafe	Ziegen
Alle	53	553	352	82	-
Asuel	61	399	130	16	3
Beurnévesin	39	234	111	7	-
Boncourt	39	452	285	86	-
Bonfol	51	485	558	41	1
Bressaucourt	43	343	143	19	3
Buix	55	371	184	30	-
Bure	102	562	542	5	-
Charmoille	56	473	316	112	6
Chevenez	256	985	392	17	3
Coeuve	109	521	522	18	2
Cornol	84	491	190	3	12
Courchavon	27	208	156	13	-
Courgenay	153	1'012	545	30	20
Courtedoux	44	379	219	23	1
Courtemaîche	34	188	179	6	4
Damphreux	41	341	214	11	1
Damvant	90	233	125	41	-
Fahy	55	573	809	40	5
Fontenais	60	478	289	29	15
Fregiécourt	37	199	233	5	9
Grandfontaine	83	490	252	-	5
Lugnez	47	306	266	22	2
Miécourt	70	470	322	11	2
Montignez	36	370	285	-	1
Pleujouse	15	97	116	1	3
Porrentruy	111	715	449	206	10
Réclère	68	313	130	-	-
Roche d'Or	35	229	94	-	-
Rocourt	72	315	196	-	8
Vendlincourt	45	430	401	24	3
Total	2'071	13'215	9'005	898	119
Total Amtsbezirk Porrentruy					
1961	2'362	14'809	9'622	1'081	142
1966	1'218	16'283	9'860	1'160	136
Zu- bzw. Abnahme 1961-1966 in %	- 48%	+ 10%	+ 2%	+ 7%	- 4%

Figur 114
Nutztierhaltung in der Ajoie (1961)

1.3 DER BEDARF AN WASSER FÜR GEWERBE, INDUSTRIE, VERWALTUNG, FEUERWEHR, ÖFFENTLICHE ZWECKE UND BRUNNEN

Für eine Wasserversorgungsplanung ist es erforderlich, dass vorgängig in jeder Gemeinde der Bedarf für Industrie, Gewerbe, Verwaltung, Feuerwehr, öffentliche Zwecke (Schulen, Krankenhäuser, Schwimmbäder usw.) und laufende Brunnen zuverlässig abgeklärt wird.

Bekannt sind beispielsweise der sehr grosse Verbrauch der Textilfabrik in Alle (Filature des laines peignées d'Ajoie) und der Zigarettenfabrik in Boncourt (F. J. Burrus). Beide verfügen über eine eigene Quelle. In Boncourt reicht die daraus in die Klimaanlage gepumpte Wassermenge (1200 l/Min.) bei weitem nicht aus. Messungen vom 24. 7. bis 12. 9. 1967 ergaben, dass für das 1953 erbaute Werk täglich durchschnittlich 584 m³ Grundwasser dem Leitungsnetz entnommen werden. Dazu kommen rund 100 m³ für die alte Fabrik, so dass das durch die Firma F. J. Burrus verbrauchte Wasser ungefähr die Hälfte des Konsums der gesamten Gemeinde ausmacht.

1.4 DER BEDARF DES WAFFENPLATZES BURE

Dank den Limnigraphenstreifen im Reservoir ist es möglich, die Wassermenge, die täglich durch den SEHA geliefert wird, auf einfache Art festzustellen. Die diesbezüglichen Messungen für die ersten Truppenkurse im Jahre 1968 ergaben (in m³/Tag):

Montag	22. April	60	13. Mai	350	3. Juni	470
Dienstag	23. April	330	14. Mai	500	4. Juni	280
Mittwoch	24. April	150	15. Mai	500	5. Juni	460
Donnerstag	25. April	570	16. Mai	500	6. Juni	390
Freitag	26. April	460	17. Mai	400	7. Juni	320
Samstag	27. April	340	18. Mai	400	8. Juni	290
Sonntag	28. April	470	19. Mai	—	9. Juni	200
Montag	29. April	570	20. Mai	550	10. Juni	380
Dienstag	30. April	580	21. Mai	470	11. Juni	610
Mittwoch	1. Mai	540	22. Mai	400	12. Juni	490
Donnerstag	2. Mai	520	23. Mai	330	13. Juni	500
Freitag	3. Mai	830	24. Mai	470	14. Juni	460
Samstag	4. Mai	430	25. Mai	320	15. Juni	360
Sonntag	5. Mai	500	26. Mai	150	16. Juni	250
Montag	6. Mai	220	27. Mai	320	17. Juni	270
Dienstag	7. Mai	600	28. Mai	500	18. Juni	620
Mittwoch	8. Mai	670	29. Mai	410	19. Juni	360
Donnerstag	9. Mai	810	30. Mai	680	20. Juni	610
Freitag	10. Mai	980	31. Mai	580	21. Juni	500
Samstag	11. Mai	870	1. Juni	580	22. Juni	700
Sonntag	12. Mai	310	2. Juni	640	23. Juni	810

Durchschnittlich muss mit 600 m³/Tag (d.h. während 24 Std. im Mittel 420 l/Min.) gerechnet werden; das Maximum betrug während der genannten Periode 980 m³/Tag. Diese Verbrauchszahlen entsprechen den langjährigen Erfahrungswerten auf einem anderen, eine ähnliche Grösse aufweisenden Waffenplatz. Sie sind etwas niedriger als die an Spitzentagen in einem Armeemotorfahrzeugpark gemessenen Werte, an denen die Truppe während der Abgabe der Fahrzeuge bis zu 1600 m³/Tag verbrauchte. Dank dem Reservoir von 3600 m³ Inhalt und den grossen Unterschieden im Verbrauch von einem Tag zum andern dürften in Bure auch derartige Spitzen aufgefangen werden können.

1.5 DER ZUSTAND DER WASSERLEITUNGEN UND RESERVOIRE

Dieser ist beim Aufstellen des Wasserbedarfsplanes unbedingt mitzuberücksichtigen, denn auch in einem gut erhaltenen Versorgungsnetz sind Verluste unvermeidlich. Sie hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab wie Material und Zustand der Leitungen, Anzahl und Art der Verbindungsstellen, Wasserdruck, Erschütterungen (z. B. im Fundament einer Strasse) usw. Damit eine Abschätzung überhaupt möglich ist, wurde von einem Ingenieur, der vorwiegend im Jura arbeitet, ein allerdings nur mit Vorbehalten anwendbarer und eine grosse Streuung aufweisender Mittelwert genannt, nämlich 7 bis 8% pro 10 Jahre, die seit dem Bau verflossen sind. Dies ergäbe für die zu einem grossen Teil 50 bis 80 Jahre alten Versorgungsnetze der Ajoie Verluste von einem bis zu zwei Dritteln. Auf Grund der Verbrauchszahlen neigen wir sogar zu der Annahme, dass sie in einigen Gemeinden noch grösser sind.

2. Möglichkeiten zum Ausbau der Wasserversorgungsanlagen in der Ajoie

2.1 SANIERUNG VON BESTEHENDEN ANLAGEN

Hier muss man in erster Linie auf die defekten Leitungsnetze hinweisen. Durch den Einbau von Zählern sowie die Verwendung von Spezialgeräten sollte es in vielen Fällen möglich sein, die Teilstücke, die die grössten Lecke aufweisen, herauszufinden. Durch entsprechende Instandstellungsarbeiten könnten die Verluste auf ein erträgliches Mass reduziert werden.

Durch eine Neufassung verschiedener Quellen liesse sich deren Schüttung möglicherweise leicht erhöhen. Grundsätzlich möchten wir davor abraten. Bei all den Wasseraustritten, die in der Mont Terri-Kette oder an den Abhängen des Allaine-Tales entspringen, besteht die Gefahr, dass bei unvorsichtigen Grabarbeiten das Wasser plötzlich einen anderen Weg findet und die Schüttung schliesslich geringer ist als vorher. Einzig durch einen Ausbau der Fassungen der Quellen in Vendlincourt und Fontenais könnten heute noch ungenutzt abfliessende Nebenäste ebenfalls ins Reservoir gepumpt werden. Da es sich bei beiden um Karstquellen im Talgrund, um sogenannte Quelltöpfe, handelt, dürfte es möglich sein, in trockenen Perioden während einer beschränkten Zeit aus einem tieferen Schacht sogar mehr Wasser herauszuholen als normalerweise überlaufen würde. In Verbindung mit einigen horizontal angelegten Fassungsstollen im Kalkgestein gäben wir einem derartigen Versuch Aussicht auf Erfolg. Diese Arbeiten müssten aber mit der Lösung des Abwasserproblems einhergehen, da die Abwässer sowohl in Fontenais als auch in Vendlincourt dem Quellüberlauf beigegeben und so wenigstens etwas verdünnt werden.

2.2 FASSUNG VON QUELLEN IN HÖHEREN LAGEN

Bei keiner der noch ungefassten Quellen in höheren Lagen ist die Schüttung in Trockenperioden derart, dass sich eine Fassung aufdrängen würde. Wohl wäre es möglich, dadurch der einen oder anderen Dorfwasserversorgung etwas mehr Trinkwasser zuzuführen. Der Aufwand hiefür stünde nach unserer Meinung in keinem Verhältnis zum Ertrag. Komplizierte Versorgungsnetze, wie z.B. die Gemeinde Cornol eines aufweist, sollten heute nicht mehr gebaut werden.

2.3 FASSUNG VON KARSTQUELLEN IN DEN TÄLERN

In den Tälern finden sich eine ganze Reihe von Quellen, die während des ganzen Jahres Wasser führen und ungenutzt der Allaine, der Vendline oder der Cœuvatte zufliessen. Es handelt sich dabei um Karstquellen mit all ihren Nachteilen. Das Wasser ist schlecht filtriert und weist vor allem nach starken Niederschlägen oder im Anschluss an die Schneeschmelze Trübungen auf. Die organischen Bestandteile sind nicht oder nur unvollständig abgebaut. Entsprechend hoch ist der Gehalt an Nitriten, Ammoniak und Keimen. Eine Verwendung als Trinkwasser käme deshalb in den meisten Fällen nur nach einer vollständigen Aufbereitung in Frage (Ausflockung, mechanische Reinigung, evtl. Behandlung mit Aktivkohle, Desinfektion). In einigen Fällen konnte der Zusammenhang mit einer Abwasserversinkung nachgewiesen werden. Auf lange Sicht liesse sich die Qualität verbessern, wenn die Abwässer gesammelt und aufbereitet würden. In diesem Fall wäre jedoch zu beachten, dass gleichzeitig ein entsprechender Rückgang der Schüttung erfolgen würde.

Berücksichtigt man alle Faktoren, scheinen die folgenden Quellen für eine Fassung mit Aufbereitung am geeignetesten zu sein:

- Le Betteraz (Trou des Autrichiens) unterhalb Porrentruy: mindestens 5000, in der Regel 8000 bis 20000 l/Min. schüttend

- Le Pâquis, ca. 100 m neben der vorerwähnten Quelle gelegen: einige Hundert l/Min. schüttend
- Source de la Fontaine im unteren Dorfteil von Courtemaîche: mindestens 1500, in der Regel 2000 bis 3000 l/Min. schüttend.

Doch auch die nachstehend aufgezählten Karstquellen, die zum Teil noch ergiebiger sind, kämen unter Umständen in Frage:

- Source Ledermann zwischen Beurnevésin und Bonfol: mindestens 1500, in der Regel 2000 bis 5000 l/Min. schüttend
- Le Voyebœuf (Bied) zwischen Courgenay und Porrentruy
- Le Saivu oberhalb Boncourt
- 2 Quellen in der Nähe des Zollhauses von Lugnez, bzw. zwischen diesem und dem Dorf
- La Beuchire in Porrentruy
- La Chaumont in Porrentruy.

Bei dieser Gelegenheit mag es interessant sein, auf eine rechtliche Frage hinzuweisen. Nach bernischem Gesetz sind Quellen Privateigentum, während Grundwasser, das in einem Grundwasserleiter mit einer Gesamtwasserführung von über 300 l/Min. durchgehend zirkuliert, als öffentlich gilt. Man muss sich fragen, ob eine Quelle mit einer Schüttung von Tausenden von Litern pro Minute noch als Privateigentum betrachtet werden darf, wenn man weiss, dass sich deren Einzugsgebiet auf mehrere Quadratkilometer erstreckt und Quellen schliesslich nichts anderes darstellen als örtlich begrenzte Grundwasseraustritte. Eine Revision der diesbezüglichen Gesetze läge zweifellos im Interesse der Öffentlichkeit.

2.4 FASSUNG VON GRUNDWASSER IN DEN LOCKERGESTEINEN DER TÄLER

Wie die durchgeführten Sondierungen und Pumpversuche sowie die Erfahrungswerte während des Betriebs der erstellten Anlagen ergaben, bestehen nur geringe Aussichten, dass die Ergiebigkeit der Schotter in den Becken von Courtemaîche, Pont d'Able und Charmoille erhöht werden kann. Dasselbe gilt für Boncourt, sobald der neue Brunnen fertiggestellt sein wird.

Ungenutztes Grundwasser kommt verschiedenenorts in dünnen Kiesschichten zwischen Charmoille, Asuel und Alle vor. Die Erstellung von Brunnen dürfte sich kaum lohnen, da es sich bestenfalls um etwas mehr als 100 l/Min. handeln könnte. Dazu kommt, dass hier gepumptes Wasser vermutlich den Quellen Le Betteraz oder Le Pâquis entzogen wird. Günstiger stünde es in bezug auf die Vorkommen am westlichen Stadtrand von Porrentruy und in Couchavon. Da es sich im ersten Fall um ein Wohngebiet handelt und beim zweiten die Auswirkungen auf das Grundwasser in Courtemaîche unbekannt sind, fallen praktisch auch diese beiden Möglichkeiten dahin.

Eine Aussage über die beiden Becken von Buix und Cœuve-Damphreux ist nicht möglich, da keine Unterlagen vorliegen. Es wäre denkbar, dass hier Grundwasser gefunden wird; es dürfen aber nicht mehr als einige 100 l/Min. erwartet werden.

In der ganzen übrigen Ajoie ist es unwahrscheinlich, dass in Lockergesteinen nutzbares Grundwasser in genügender Menge gefasst werden kann.

2.5 ERSCHLIESSUNG VON GRUNDWASSER IN DEN ZERKLÜFTETEN KALKEN

Wir haben gesehen, dass in Karstgebieten, wie die Ajoie eines darstellt, die zerklüfteten Kalke oft natürliche Grundwasser-Reservoire darstellen, die für die Wasserversorgung ausgenützt werden können. Die Erfahrungen bei den unter der Leitung des Hydrogeologen Mornod (Bulle) 1965 bis 1968 durchgeführten Bohrungen in der Nähe der Quelle La Foule bei Moutier bestätigten diese Auffassung. Im Jahre 1967 schlug das Ingenieurbureau Allemand und Tièche (Moutier) eine solche Lösung für die Ajoie vor, ohne sich jedoch auf Details festzulegen.

Derartige Tiefbohrungen scheinen uns vor allem in der Synklinale zwischen Rocourt und Porrentruy sowie im Becken von Prairie d'Able/Pont d'Able erfolgversprechend. Die Aussichten, dass aus dem über dem Oxfordien liegenden Festgestein einige 1000 l/Min. herausgepumpt werden können, betrachten wir als gross.

Die Bohrung von Courtedoux, die im Jahre 1947 abgeteuft wurde, zeigte, dass die Kalke in einer Tiefe von 70 m immer noch grössere, mit Wasser erfüllte Hohlräume aufweisen. Es sei aber nochmals mit aller Deutlichkeit darauf hingewiesen, dass das aus der Tiefe geförderte Wasser mit der Zeit ersetzt werden muss. Hiefür wird Festgesteinsgrundwasser aus höheren, karsthydrographisch wegsameren Schichten herangezogen, das durch die Abwässer der Gemeinden der Haute-Ajoie in hohem Masse verschmutzt ist. Wegen den kleineren Fliessgeschwindigkeiten in diesen tieferen Regionen erfolgt wahrscheinlich eine bessere mechanische Reinigung. Durch den längeren Aufenthalt im Boden dürften auch die organischen Substanzen weitgehend abgebaut sein, so dass bei chemischen Analysen in bezug auf die Verunreinigungsindikatoren gegenüber dem eindringenden Wasser bei genügendem Sauerstoffgehalt wesentliche Besserungen zu erwarten sind. Mindestens eine Desinfektion, eventuell aber auch eine weitergehende Aufbereitung, wäre nach wie vor notwendig.

Allerdings fragt sich, ob die Vorteile dieses Festgesteinsgrundwassers gegenüber dem Wasser, das aus oberen Schichten bei Quellen direkt austritt, anhalten oder ob bei längerem Pumpen Verschlechterungen eintreten werden. Dies hängt primär von der Grösse des unterirdischen Reservoirs und dessen Durchlässigkeit ab und kann deshalb nur durch Versuchsbohrungen und Pumpversuche geklärt werden.

Es scheint uns wenig wahrscheinlich, dass unter dem Oxfordien, in den Kalken des Doggers, genügend Wasser gefunden werden kann. Die Hohlraumbildung ist in diesen Gesteinen weniger weit fortgeschritten. Zudem lehrt die Erfahrung, dass die Qualität von Festgesteinsgrundwasser in der Regel mit zunehmender Tiefe schlechter wird.

2.6 ZUFÜHRUNG VON TRINKWASSER AUS ANDEREN GEBIETEN

Hier ist auf die Idee der Ingenieure Irmin und Robert Levy (Delémont) hinzuweisen, die die Gründung eines Syndicat pour l'alimentation en eau potable de la Région du Doubs et de l'Ajoie vorsehen. Dabei soll in der Talebene des Doubs oberhalb St. Ursanne Grundwasser gefasst und den bestehenden Reservoiren in der Ajoie zugeführt werden.

Erste Sondierungen in den Jahren 1953/54 bei Champs Fallat erlaubten, während 8 Tagen bei konstantem Niveau aus einem 8 m tiefen Filterrohr von 30 cm Durchmesser 4500 l/Min. zu pumpen. Diese Ergebnisse wurden 1963/64 bestätigt (gleiche Entnahmemenge bei einer Absenkung von 1,30 m), als für St. Ursanne und die Dörfer des Clos du Doubs ein Vertikalfilterbrunnen mit zwei Pumpen von je 420 l/Min. erstellt wurde. Nach der Auffassung der beiden Projektverfasser sowie des beigezogenen Geologen Dr. Hug (Zürich) liessen sich sowohl am rechten wie auch am linken Ufer des Doubs weitere, bedeutend grössere Mengen fassen. Die diesbezüglichen Schätzungen belaufen sich auf mindestens 7800 l/Min., in einem anderen Bericht gar auf 10000 l/Min. Doch auch dann, wenn sich die in erster Linie durch Hangwasser gespiesenen, weniger als 10 m mächtigen Alluvionen als nicht derart ergiebig erweisen sollten, wie es die Verfechter des Projekts erwarten, könnte man nach Auffassung von Ingenieur Levy durch künstliche Anreicherung mit Doubswasser nachhelfen. Dieses soll einen relativ geringen Verschmutzungsgrad aufweisen, da praktisch auf einer Strecke von 50 km oberhalb der Fassungsstelle weder Industrie- noch andere Abwässer eingeleitet werden und deshalb die natürliche Selbstreinigung sehr weit fortgeschritten sei.

Für die Zuleitung des Wassers in die Ajoie und die Verteilung an Courtemautruy, Courgenay, Alle, Bonfol, Porrentruy, Bressaucourt und den SEHA sind drei Varianten vorgesehen:

- durch den SBB-Tunnel (geschätzte Kosten 1967 ca. 7,5 Millionen Franken).
- durch einen speziell zu erstellenden und gleichzeitig als Reservoir dienenden Tunnel (ca. 8,1 Millionen Franken) oder
- über Sur la Croix (ca. 7,8 Millionen Franken).

Ein späterer Anschluss weiterer Dorfnetze (z. B. Cornol, Seleute, Syndicat des Eaux de la Vendline u. a.) wäre gemäss Projekt ohne besondere Schwierigkeiten möglich.

Da wir die hydrologischen Verhältnisse dieses Gebietes nicht speziell studiert haben, ist es uns nicht möglich, zu diesem Projekt Stellung zu nehmen. Auf Grund der vorliegenden Unterlagen glauben wir jedoch, dass auch hier unbedingt noch weitere Abklärungen über Quantität und Qualität des Grundwassers und die Möglichkeiten einer evtl. Anreicherung vorgenommen werden müssen, bevor an eine Ausführung gedacht werden kann.

Verschiedentlich wurde etwa von der Zuführung von Wasser aus dem Bielersee gesprochen, wobei nicht nur die Ajoie, sondern der ganze Jura hätte bedient werden sollen. Nach den neuesten Untersuchungen über die zunehmende Eutrophierung dieses Jurarandsees dürfte man diese Möglichkeit nicht mehr ernsthaft in Erwägung ziehen.

3. Diskussionsgrundlage des Verfassers für den Ausbau der Wasserversorgungsanlagen in der Ajoie

Wie soll in Zukunft vorgegangen, welcher Weg beim Ausbau der Wasserversorgungen eingeschlagen werden? Bevor ich meine persönliche Ansicht bekanntgebe, möchte ich zwei nach meiner Auffassung entscheidende Erkenntnisse kurz wiederholen, nämlich:

– Die Versorgung der Ajoie mit Trinkwasser in genügender Qualität und Quantität ist nicht ein Problem der einzelnen Gemeinden, sondern ein solches der gesamten Region. Ohne eine vorbehaltlose Zusammenarbeit, die rechtlich klar geregelt ist, bei der aber unter Umständen Wünsche der einzelnen zurückgestellt werden müssen, wird man nie zu einer wirklich guten Lösung gelangen.

– Die Ajoie verfügt vorläufig über genügend eigenes Wasser. Dieses ist jedoch qualitativ derart, dass es nur nach einer mehr oder weniger weitgehenden Aufbereitung als Trinkwasser verwendet werden darf. Einer der wichtigsten Gründe für diese Verschmutzung liegt in der unbefriedigenden Lösung der Abwasserprobleme.

Mein als Diskussionsgrundlage gedachter Vorschlag nimmt auf die Kosten keine Rücksicht und gliedert sich in drei Phasen:

Phase 1:
Sanierung und Ausbau derjenigen Versorgungsanlagen, die bereits heute der Nachfrage nicht gerecht werden können. Sie umfasst im besonderen die folgenden Massnahmen:

– Einrichten von Wasserzählern in allen Haushaltungen und am Anfang und Ende von grösseren unverzweigten Leitungsabschnitten. Verrechnung des Wasserzinses nach dem effektiven Verbrauch. Ersatz oder Reparatur von defekten Leitungen mit sehr grossen Verlusten.

– Definitive Gründung des Syndicat des Eaux de la Vendline mit den Gemeinden Beurnevésin, Bonfol, Cœuve, Damphreux, Lugnez und Vendlincourt. Erstellen einer neuen, zeitgemässen Wasserversorgung, die auf der bisher genutzten Source de la Golatte in Asuel und der neu zu fassenden, mit einer Aufbereitungsanlage zu versehenden Quelle der Vendline basiert. Abschluss eines Vertrages zwischen dem Syndicat und der Gemeinde Alle über die gegenseitige Belieferung mit Trinkwasser beim Ausfall einer Anlage oder in Trockenzeiten.

– Ausbau der Trinkwasserversorgung von Boncourt durch die Erstellung eines neuen Filterbrunnens in der Talebene unterhalb Milandre-dessous und eines grösseren Reservoirs.

– Erschliessung von neuem Trinkwasser für die Gemeinden Porrentruy und Courgenay durch Fassung der Quellen Le Betteraz und Le Pâquis oder durch wenig tiefe Bohrungen in das in der gleichen Gegend vorhandene Festgesteinsgrundwasser, verbunden mit dem Bau einer Aufbereitungsanlage. Ich bin überzeugt, dass mit gutem Willen ein Weg für die rechtliche Form der Zusammenarbeit dieser beiden grössten Gemeinden der Ajoie und für die Finanzierung gefunden werden kann.

– Eventuelle Erschliessung von neuem Wasser für den Syndicat des Eaux de la Haute-Ajoie (SEHA). Ob ein Ausbau notwendig ist, hängt vorläufig einzig vom Bedarf des Waffenplatzes Bure ab. Man muss sich allerdings allen Ernstes fragen, ob es verantwortet werden darf, dass für die Reinigung der Fahrzeuge, der Panzer und der Retablierungsplätze desinfiziertes, qualitativ sehr gutes Trinkwasser verwendet

wird, oder ob es auf die Dauer nicht günstiger wäre, zu diesen Zwecken ein zweites Leitungsnetz zu verlegen, das durch Wasser einer nicht aufbereiteten Quelle gespiesen würde.

Sofern eventuelle Sondierungen in den Alluvionen oberhalb Buix negativ verlaufen, kommt für eine Erweiterung praktisch nur die Source de la Fontaine in Courtemaîche in Frage, bei der sich jedoch eine kunstgerechte Fassung unter dem bestehenden Stall recht schwierig gestalten dürfte. Obschon das Einzugsgebiet dieser in trockensten Zeiten immer noch 1500 l/Min. schüttenden Quelle als günstig anzusehen ist, wäre vermutlich eine Aufbereitungsanlage notwendig, da das Wasser vor seinem Austritt unter dem Dorf durchfliesst. Ob es unter Umständen für die künstliche Anreicherung der Grundwasservorkommen in den Talalluvionen verwendet werden könnte, ist sehr fraglich.

Phase 2:
Sammlung der Abwässer und Aufbereitung in Abwasserreinigungsanlagen. Dies hat zweifellos den Rückgang der Schüttung einiger Quellen zur Folge, wobei in Trockenzeiten La Beuchire in Porrentruy und Le Voyebœuf (Bied) zwischen Courgenay und Porrentruy am empfindlichsten beeinträchtigt werden dürften.

Phase 3:
Zusammenschluss der verschiedenen Wasserversorgungsnetze und Erschliessung von neuem Trinkwasser, das von einer zentralen Stelle aus bei Bedarf abgegeben werden kann. Ob dieses durch Aufbereitung von Karst-Quellwasser oder Festgesteinsgrundwasser oder gar durch Zuführung von Wasser aus der Gegend von St. Ursanne beschafft werden soll, kann erst entschieden werden, wenn Vorprojekte mit Kostenvoranschlägen vorliegen.

4. Vorschläge für die Durchführung weiterer Voruntersuchungen

4.1 NIEDERSCHLAGSMESSUNGEN

Neben den beiden durch die Meteorologische Zentralanstalt in Zürich betreuten Stationen Mormont und Fahy sollte ein Teil der von uns aufgestellten und überwachten Regenmesskübel weiter betrieben werden, besonders in Bonfol, Charmoille und Villars. Die Station Les Rangiers ist bereits 1967 als Ersatz für die aufgehobene Station Outremont durch die MZA übernommen worden. Leider sistierte die Eléctricité de France im Frühjahr 1968 die Messstelle beim Werk von Vaufray, so dass es empfehlenswert wäre, auch in Roche d'Or die Niederschlagsmessungen fortzusetzen.

Um nähere Angaben über die Intensität der Niederschläge zu erhalten, befürworten wir die Aufstellung von einem oder zwei Pluviographen. Als Standorte kommen Mormont oder Villars sowie Charmoille in Frage.

4.3 ABFLUSSMESSUNGEN

Der Limnigraph in Boncourt darf keinesfalls aufgegeben werden, wenn das hydrologische Regime der Ajoie nur einigermassen überwacht werden soll. Sofern man weiterhin auf die Erstellung einer Wasserbilanz Wert legt, muss auch der Pegel in Beurnevésin mindestens in der gleichen Art wie bisher abgelesen werden.

Um die Resultate einer eventuellen Tiefbohrung in der Haute-Ajoie erschöpfend auswerten und mit den anderen Möglichkeiten vergleichen zu können, müsste das im Laufe eines Jahres im hydrographischen Zentrum von Porrentruy von Westen her in die Allaine fliessende Wasser quantitativ bekannt sein. Da es sich aber um mehrere Wasseraustritte handelt, die einzeln kaum erfasst werden können, sehen wir die beste Lösung darin, dass an der Allaine ober- und unterhalb Porrentruy je ein Limnigraph aufgestellt und das von Westen zufliessende Wasser durch die Bildung der Differenz, unter Mitberücksichtigung der Abwässer von Porrentruy, berechnet wird. Da der gesuchte Wert eher grösser ist als die von Alle im Bett der Allaine nach Porrentruy fliessende Wassermenge, dürfte dieses Vorgehen zulässig sein.

4.3 WEITERE VORUNTERSUCHUNGEN

Zur weiteren Abklärung schlagen wir die folgenden, sofort in Angriff zu nehmenden Arbeiten vor:

– Ausarbeiten eines Vorprojektes mit Kostenschätzung für die Fassung und Aufbereitung der Quelle La Vendline in Vendlincourt sowie für die Zuführung des aufbereiteten Wassers in die Netze von Alle, Beurnevésin, Bonfol, Cœuve, Damphreux, Lugnez und Vendlincourt.

– Überwachung der Quantität und Qualität der Quellen Le Betteraz und Le Pâquis in der Prairie d'Able unterhalb Porrentruy.

– Ausarbeiten eines Vorprojektes mit Kostenschätzung für die Fassung und Aufbereitung der beiden obigen Quellen sowie für die Zuführung des aufbereiteten Wassers in die Netze von Porrentruy und Courgenay, eventuell auch Courtemautruy.

– Durchführung von einfachen Bohrungen mit Kleinpumpversuchen in der Ebene oberhalb Buix sowie zwischen Cœuve und Damphreux, um abzuklären, ob eine eventuelle Nutzung dieser Becken zum

vorneherein auszuschliessen ist oder ob sich zu einem späteren Zeitpunkt umfangreichere Sondierungen lohnen würden.

– Detailliertes Studium des Grundwassergebietes von St. Ursanne, mindestens jedoch Untersuchung des Verhaltens des Grundwasserspiegels in Abhängigkeit von den Niederschlägen und dem Doubs.

LITERATURVERZEICHNIS

AUBERT D./BADOUX H.: Notice explicative. Carte géologique générale de la Suisse, Feuille 1 (Neuchâtel). 1956

AUDETAT M.: Repartition géographique des cavités de la Suisse française. Actes du 2ème Congrès international de spéléologie, Bari. 1958

AUROUZE J.: Note sur les ressources en Eau de la région de Beaucourt (Tre de Belfort). Gutachten 1964

BINGGELI V.: Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno. Bern 1961

BLASER R.: Häliloch und Seefeldhöhle (Berner Oberland) als Beispiele für die Phänomene der Höhlenbildung. Leben und Umwelt Nr. 3/1949

BOECHAT P.A.: Les villages disparus d'Ajoie. Actes de la société jurassienne d'émulation. Delémont 1890

BOEGLI A.: Entstehungsbedingungen von Kalkausscheidungen in Höhlen. 1961

BOEGLI A.: Kalklösung und Karrenbildung. 1962

BOEGLI A.: Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. Erdkunde Band XVIII Nr. 2/1964

BRETSCHNEIDER-Grütter H.: Umrisse einer Wirtschafts- und Siedlungsgeographie des Berner Jura. Bern 1914

BUXTORF A.: Erläuterungen zu Blatt 2 (Basel–Bern) der Geologischen Generalkarte der Schweiz 1 : 200000. 1951

BUXTORF A./KOCH R.: Zur Frage der Pliocaenbildungen im nordschweizerischen Juragebirge . Verhandl. naturf. Gesellschaft Basel. 1920

BUXTORF A./LEHNER E.: Rheintalische Brüche in der Mont Terri-Kette und im Clos du Doubs. Eclogae geologicae helvetiae Vol. XVI, Nr. 1/1920

BUXTORF A.: Wasserversorgung der Ortschaften im Bezirk Pruntrut. Basel 1915

CALAME P.: L'alimentation en eau de Porrentruy et de son château. Les Intérêts du Jura Nr. 11/1960

CASTANY G.: Traité pratique des eaux souterraines. Paris 1963

CONRAD R.: Rapport technique de pompage d'eau de fond dans la plaine du Pont d'Able. Gutachten für die Gemeinde Porrentruy

CUENIN A./NICOLET G.A.: Rapport concernant l'expertise du service des eaux pour l'alimentation en eau des communes de la Haute-Ajoie (SEHA). Etablissement d'Assurance immobilière du canton de Berne

DIEBOLD P./LAUBSCHER H.P./SCHNEIDER A./TSCHOPP R.: Geologischer Atlas der Schweiz 1 : 25000, Blatt 1085 St. Ursanne. 1963

DIEBOLD P.: Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt Ocourt. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge, 111. Lieferung. 1960

ERZINGER E.: Die Oberflächenformen der Ajoie (Berner Jura). Mitteilungen der Geogr.-Ethnolog. Gesellschaft in Basel, Band VI/1943

ERZINGER E.: Die Quelltöpfe der Ajoie. Leben und Umwelt Nr. 3/1946

FALLOT/CORROY: Carte géologique de la France 1 : 80000, Nr. 114 Montbéliard. 1933

FISCHER H.: Geologie des Gebietes zwischen Blauen und Pfirter Jura (SW Basel). Beiträge zur Geol. Karte der Schweiz, NF 122. Lieferung. 1965

FLUCK R.: Flussdichte im schweizerisch-französischen Jura. Verhandl. naturf. Gesellschaft Basel, Band XXXVII/1925–26

GIGON R./MONNIN J.: Inventaire spéléologique du Sud-Est du département du Doubs. Extrait des annales de spéléologie. 1966

GREPPIN J.B.: Essai géologique sur le Jura suisse. Delémont 1867

GREPPIN J.B.: Description géologique du Jura bernois et de quelques districts adjacents. 1870

GRESSLY A.: Rapport géologique sur les terrains parcourus par les lignes du réseau des chemins de fer jurassiens. Bern 1838–41

GUENIAT ED. Description agrologique d'un profil dans les sols d'alluvions de l'Allaine. Les Intérêts du Jura Nr. 5/1946

GUTERSOHN H.: Geographie der Schweiz, Band 1 (Jura). Bern 1958

GYGAX F.: Niederschlag und Abfluss im Einzugsgebiet der Magliasina, 1948

HIRSBRUNNER G.: Beiträge zur Morphologie und Hydrologie der Rovana-Täler. Bern 1958

HOFMANN F.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Vogesensanden, Vogesenschottern und Sundgauschottern. Eclogae geologicae helvetiae, Vol. 60, Nr. 2/1967

HUG J.: Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. 1918

HUMMEL K.: Geologische Aufnahme der Ajoie 1 : 25000. Geogr. Institut Basel. 1912/13. Unveröffentlicht

HUMMEL K.: Die Tektonik des Elsgaues (Berner Tafeljura). Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i. Br., Band XX/2. 1914

KISSLING E./ROLLIER LS.: Geologische Karte der Schweiz 1 : 100000, auf der Grundlage der Dufourkarte. 1904

KISTLER E.H.: Hydrologische Untersuchungen im Gebiete der Valle Onsernone (Kt.Tessin). Bern 1954

KOBY F.: Hydrographie et Hydrologie des Environs de Porrentruy. Actes de la société jurassienne d'émulation. Porrentruy 1889

Koby F.: Les Grottes de Milandre. Actes de la société jurassienne d'émulation. Delémont 1890
Koby F.: Le Trou de Mavaloz. Actes soc. jur. d'émulation. Porrentruy 1884
Koby F.: Aperçu sur les mammifères tertiaires et quaternaires des environs de Porrentruy. Recueil d'études et travaux scientif. Soc. helv. sc. nat. Porrentruy 1955
Koby F.: Peut-on trouver de la houille à Cornol? Actes soc. jur. d'émulation. 1889
Kraehenbuehl Ch.: Hydrologie des Franches-Montagnes. Les Intérêts du Jura Nr. 5/1965
Laubscher H.P.: Die Fernschubhypothese der Jurafaltung. Eclogae geol. helv. Vol. 54/1. 1961
Laubscher H.P.: Die Zweiphasenhypothese der Jurafaltung. Eclogae geol. helv. 55/1. 1962
Laubscher H.P.: Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt St. Ursanne. Beiträge Geol. Karte Schweiz, NF 92. Lieferung. 1948
Laubscher H.P.: Erläuterungen zu Blatt 1085 St. Ursanne des Geol. Atlas der Schweiz 1 : 25000. 1963
Laubscher H.P.: Ein kinematisches Modell der Jurafaltung. Eclogae geol. helv. Vol. 58/1. 1965
Lehmann O.: Die Hydrographie des Karstes. Enzyklopädie der Erdkunde, Band 6b. 1932
Lehmann H.: Report of the Commission on Karst Phenomena. 1956
Leu F.: Die Wasserversorgung der Freiberge. Leben und Umwelt Nr. 11/1949
Levy I.: Le Jura bernois et les conditions hydrologiques du pays, en particulier de l'alimentation en eau des Franches-Montagnes. Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux Nr. 7 und 8/1948
Liechti H.: Etude hydrologique de la région de Courgenay. Les Intérêts du Jura Nr. 5/1948
Liechti H.: Rapport sur les recherches d'eau dans la plaine du Pont d'Able (Ajoie). Gutachten für die Gemeinde Porrentruy
Liechti H.: Recherches d'eau potable dans le district de Porrentruy. Les Intérêts du Jura Nr. 5/1948
Lievre L.: Y a-t-il du minerai de fer en Ajoie? En a-t-on exploité autrefois? 1916
Lievre L.: Alimentation en eau de la Haute-Ajoie. Etude géologique et hydrologique. Les Intérêts du Jura Nr. 1 und 2/1945
Lievre L.: Recherches concernant l'alimentation en eau potable de Pleujouse. Les Intérêts du Jura Nr. 11/1947
Lievre L.: L'aménagement des eaux du Jura bernois (mit Bildern). Actes soc. jur. d'émulation. 1951
Lievre L.: Travaux entrepris en Haute-Ajoie dans le but de ramener à la surface les eaux de la rivière souterraine (l'Ajoulote). Les Intérêts du Jura Nr. 9/1948
Lievre L.: La découverte d'une rivière souterraine en Ajoie. Les Intérêts Economiques du Jura Nr. 4/1936
Lievre L.: Le problème hydrologique de la Haute-Ajoie et le Creux-Genaz. Actes soc. jur. d'émulation. 1916
Lievre L.: Le Karst jurassien. Porrentruy 1940
Lievre L.: Les réserves minerales de l'Ajoie. Les Intérêts du Jura Nr. 7 und 8/1946
Lievre L.: Etudes, recherches et travaux dans differents domaines des sciences naturelles en Ajoie. Session 135 Soc. helv. sc. nat. Porrentruy 1955
Linder A.: Statistische Methoden für Naturwissenschafter, Mediziner und Ingenieure. Basel 1964 (4. Auflage)
Liniger H.: Geologische Beobachtungen in der Ajoie. Regio Basiliensis IV/1963
Liniger H.: Über Gitterfaltung im Berner Jura. Eclogae geol. helv. 19/3. 1926
Liniger H.: Pliocaen und Juratektonik westlich Basel. Eclogae geol. helv. 58/2. 1965
Liniger H.: Das plio-altpleisticaene Flussnetz der Nordschweiz. Regio Basiliensis VII/2. 1966
Liniger H.: Pliocaen und Tektonik des Jura-Gebirges. Eclogae geol. helv. 60/2. 1967
Liniger H.: Beziehungen zwischen Pliocaen und Jurafaltung in der Ajoie. Eclogae geol. helv. 1/57. 1964
Liniger H.: Zur Revision des Pontien im Berner Jura. Eclogae geol. helv. 56/1. 1963
Liniger H.: Sundgauschotter in der nördl. Ajoie (Berner Jura). Regio Basiliensis V/1. 1964
Liniger H./Hofmann F.: Das Alter der Sundgauschotter westlich Basel. Eclogae geol. helv. 58/1. 1965
Luetschg O.: Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. Zürich 1944
Machacek F.: Der Schweizer Jura. Petermanns Mitteilungen Nr. 150/1905
Margerie E. de: Le Jura. Bibliographie du Jura franco-suisse. Paris 1922
Mathey F.: Coupes géologiques des tunnels du Doubs. Allg. schweiz. Gesellschaft für Naturwissenschaft XXIX/1883
Membrez A.: Sources, puits et fontaines de Porrentruy et d'Ajoie. Porrentruy 1942
Naenny P.: Die Bedeutung der Grundwasservorkommen für die Versorgung unseres Landes mit Trink- und Brauchwasser. Wasser–Boden–Luft 1966
Nertz R.L.: Die ländlichen Siedlungen der Ajoie. Geogr.-ethnolog. Gesellschaft Basel VIII/1951
Nussbaum F./Gygax F.: Zur Ausdehnung des risseiszeitlichen Rhonegletschers im französischen Jura. Eclogae geol. helv. 28/2. 1935
Philipp H.: Ergebnisse feintektonischer Untersuchungen im südl. Baden und Jura. Oberrhein. geol. Verein XXVII NF. 1938
Puempin V.: Riffsedimentologische Untersuchungen im Rauracien von St. Ursanne und Umgebung. Eclogae geol. helv. 58/2. 1965
Quervain F. de/Hofmaenner F.: Erläuterungen zu der Geotechnischen Karte der Schweiz 1 : 200000, Blatt 1 (Neuchâtel–Bern–Basel). 1964
Reist M.: Morphologie und Hydrologie des Bavona-Tales. Bern 1958
Rollier Ls./Kissling E.: Geologische Karte der Schweiz 1 : 100000, Blatt VII (Porrentruy–Solothurn). 1904 (2. Auflage)
Rutsch R.F.: Bericht über die hydrogeologische Situation des unterirdischen Wasservorkommens bei Pont d'Able nördlich Porrentruy. Gutachten

RUTSCH R.F.: Geologische Probleme der Erschliessung unterirdischer Wasservorkommen. Schweiz. Verein von Gas- und Wasserfachmännern Nr. 5/1952
SCHARDT H.: Färbungsversuche mit Fluoreszin an unteridischen Wassern. Eclogae geol. helv. XI/3. 1910
SCHMASSMANN W./JENNY F./CASATI A.: Trinkwasserbedarf und Trinkwasserbeschaffung in der Region Basel. Die Wasserverhältnisse in Birseck. Künstlich angereicherte Grundwasser in der Hard. Nationalzeitung Basel Nr. 265/1963
SCHMIDT C.: Texte explicatif de la Carte des Gisement des matières premières minerales de la Suisse 1 : 500000. 1920
SCHMIDT C./BRAUN L./PALTZER G./MUELBERG M./CHRIST P./JAKOB F.: Die Bohrungen von Buix bei Porrentruy und Allschwil bei Basel. Beiträge Geol. Schweiz, geotechn. Serie (10 Lieferung). Zürich 1924
SCHNEIDER A.: Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt Porrentruy. Beiträge Geol. Karte Schweiz, NF 109. Lieferung. 1960
SCHWAB W.: Statistische Untersuchungen über die Grundwasserspiegelschwankungen in der Val d'Agno. 1969
SCHWABE E.: Morphologie der Freiberge. Basel 1939
THURMANN J./ETALLON A.: Lethea Bruntrutana ou études paléontologiques et stratigraphiques sur le Jura bernois. Mém. soc. helv. sc. nat. 18–20. Zürich 1861–1864
TSCHOPP R.: Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt Miécourt. Beiträge Geol. Karte Schweiz, NF 110. Lieferung. 1960
UTTINGER H.: Klimatologie der Schweiz, Hefte E. 1965/66
UTTINGER H.: Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901–1940. Beilage Niederschlagskarte Schweiz 1 : 500000. 1949
VONDERSCHMITT L.: Die geologischen Ergebnisse der Bohrungen von Hirtzbach bei Altkirch (Ober-Elsass). Eclogae geol. helv. 35/1. Basel 1942
WITSCHI R.: Morphologie und Hydrologie der oberen Blenio-Täler. Bern 1957

BUNDESKANZLEI: Bundesgesetz betr. Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen. 1905
BUNDESKANZLEI: Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen
EIDG. AMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz
SCHWEIZ. METEOROLOGISCHE ZENTRALANSTALT: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den meteorologischen und Regenmessstationen in der Schweiz
SCHWEIZ. VEREIN ANALYTISCHER CHEMIKER: Schweiz. Lebensmittelbuch
SCHWEIZ. VEREIN VON GAS- UND WASSERFACHMÄNNERN (SVGW): Richtlinien für die Überwachung der Trinkwasserversorgungen in hygienischer Hinsicht. 1966
SOCIETE JURASSIENNE D'EMULATION: Actes 1849–1947
SOCIETE DE SPELEOLOGIE JURA: Le Jura souterrain (Bulletin)
WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT (WEA) DES KANTONS BERN: Begriffsbestimmungen zur hydrogeologischen Karte des Kantons Bern. 1967
WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN: Legende der Hydrogeologischen Karte 1 : 10000. 1967
EIDG. LANDESTOPOGRAPHIE: Schweiz. Landeskarte 1:25000. Blatt 1064 Montbéliard (1952). Blatt 1065 Bonfol (1953). Blatt 1084 Damvant (1953). Blatt 1085 St. Ursanne (1959)
EIDG. LANDESTOPOGRAPHIE: Schweiz. Landeskarte 1 : 50000. Blatt 212 Boncourt (1957). Blatt 222 Clos du Doubs (1959)
EIDG. LANDESTOPOGRAPHIE: Schweiz. Landeskarte 1 : 100000. Blatt 26 Basel (1958). Blatt 31 Biel (1958)
SCHWEIZ. GEOLOGISCHE KOMMISSION: Geologische Generalkarte der Schweiz 1 : 200000. Blatt 1 Neuenburg (1944). Blatt 2 Basel–Bern (1942)
SCHWEIZ. GEOTECHNISCHE KOMMISSION: Geotechnische Karte der Schweiz 1 : 200000. Blatt 1 Neuchâtel–Bern–Basel (1964)
VERMESSUNGSAMT DES KANTONS BERN: Übersichtskarten 1 : 10000. Blätter 86, 87, 88, 89, 91, 92, 94, 5 und 5bis