Über den Goldgehalt der Flüsse und Sedimente der miozänen Molasse des NE-Napfgebietes (Kt. Luzern)

Autor(en): **Schmid, Katharina**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **53 (1973)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-41376

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Über den Goldgehalt der Flüsse und Sedimente der miozänen Molasse des NE-Napfgebietes (Kt. Luzern)*)

Von *Katharina Schmid* (Bern)**)

Mit 15 Figuren und 2 Tabellen im Text

«Alle jene Leute, die niemals selber
schöpferisch gewesen sind, sondern nur
im Schatten eines andern fremde Ideen
vorgetragen haben, verdienen nach meiner
Ansicht keine hohe Achtung,
wagen sie doch niemals,
endlich auch das zu gestalten,
was sie seit langem lernten.
Sie haben ihr Gedächtnis an fremdem
Eigentum geübt.»

SENECA

Zusammenfassung

Eine Untersuchung an Sedimenten der miozänen Molasse sowie an rezenten Alluvionen des NE-Napfgebiets wurde unternommen, um die Eigenschaften, die Konzentration und die Herkunft des Goldes in diesem Material zu bestimmen.

Die in unseren Breiten in Vergessenheit geratene Goldwaschpfanne hat sich als das wirksamste Gerät zum Anreichern von Schwereminералien erwiesen.

Das Gold tritt als rauhnarbige, mannigfaltige Formen aufweisende Partikel der Korngrösse 0,05–1,0 mm auf. Die durchschnittliche Dicke beträgt 0,1 mm. Vereinzelte grössere Goldblättchen kommen vor. Nuggets oder Körnchen sind jedoch keine gefunden worden.

Am häufigsten findet sich Gold in wechselnd horizontierten Ablagerungen, und zwar ist es vorwiegend an die Feinkies-Sandfraktion (2–4 bis 0,2 mm) gebunden.

Auf Grund von erzmikroskopischen und chemischen Befunden (Mikrosonde) erweist sich das untersuchte Flussgold als weitgehend homogen und silberarm. Der durchschnittliche Silbergehalt beträgt 1,7% bei einer Feinheit von 983. An Nebenelementen wurde Kupfer bestimmt, zwischen 0,1–0,3%. Spurenelemente liessen sich mit der Mikrosonde nicht nachweisen.

An 90 Fluss-Sandproben wurde der Goldgehalt bestimmt, welcher im Durchschnitt

*) Erscheint gleichzeitig als «Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen Nr. 58».

**) Adresse der Autorin: Dr. K. Schmid, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Abteilung für Geochemie, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

bei 0,628 g/Tonne liegt. Unter Vernachlässigung zweier extrem hoher Werte (9,915 und 15,738 g Au/Tonne) reduziert sich der Durchschnittsgehalt auf 0,449 g Au/Tonne.

Mittels einer Regressionsanalyse wird die Goldkonzentration als Funktion einer unabhängigen Variablen, der Anzahl Goldpartikel, geprüft. Der Korrelationskoeffizient $r = 0{,}76$ ist bei einer Sicherheitsschwelle von $5^0/_{00}$ signifikant.

Aus der Analyse von Molassegestein (20 Proben, meist Sandsteine) ergibt sich ein Goldgehalt von 0,004 g/Tonne im Durchschnitt. Eine bevorzugte Anreicherung in gewissen lithologischen Einheiten kann noch nicht eindeutig beobachtet werden.

Zum Schlusse wird die Frage der Bauwürdigkeit erörtert. Die niedrige Konzentration von knapp 0,5 g Au/Tonne lässt jedoch eine künftige Goldförderung aus den Flusssedimenten unwahrscheinlich erscheinen.

Abstract

A study of rock units of the miocene Molasse and associated alluvial deposits of the Eastern Napf-Area (Canton Lucerne, Switzerland) was undertaken to determine the properties, the concentration and provenance of gold in this material.

Generally, 20 to 40 kg of gravel were worked up.

A gold pan was found to be the most practical tool for the collecting of heavy mineral concentrates.

Gold occurred as small flakes in various forms and sizes with a rather porous surface. Nuggets or grains were not found.

Generally, the particle size ranges from 0.05–1.0 mm with an average thickness of 0.1 mm. Larger particles, 1.0–2.0 mm, occur, but seldom.

Gold was concentrated in alluvial deposits consisting of discontinuous layers of boulders, gravel and sand in areas where the stream-velocity was relatively slow.

Microscopic and chemical analysis (microprobe) demonstrates that the gold is homogeneous with a fineness (Au/Ag 1000) of 983. The low silver content is due to silver depletion during downstream transport. The average silver content of the gold in the study-area is 1.7 percent. In comparison the silver content of alluvial gold in the Rhine River sediments is 6.5 percent.

90 samples of heavy mineral concentrate were taken from streams draining the area underlain by Molasse rocks.

Due to the low concentration of gold in the samples atomic absorption and neutron activation analytical techniques were used. Contamination is essentially eliminated by the faster, more accurate neutron activation method.

In 77 samples 0.002 to 15.738 g/metric ton gold was present. Gold was not detected in the remainder.

Omitting the two highest values (9.915 and 15.738 g Au/metric ton) the average gold content of the samples was 0.449 g/metric ton.

By means of statistical methods the relation between gold concentration and number of gold particles was tested.

The concentration of gold was proportional to the number of particles.

Steep, canyonlike valleys, uncontrolled irregular deposition of placer material, and the low concentrations (0.5 g Au/metric ton) make future economic development of the placer deposits rather unlikely.

20 samples of Molasse rocks (mostly sandstones) were analyzed and the average gold content was found to be 0.004 g Au/metric ton.

The Molasse is the most likely source material for the alluvial gold.

Vorwort

Die vorgelegte Arbeit umfasst in gekürzter Form den ersten Teil meiner Dissertation, betitelt: «Mineralogische Untersuchungen an goldführenden Sedimenten des NE-Napfgebiets, Kanton Luzern», welche der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern eingereicht und am 15. Juni 1972 angenommen wurde.

Je ein Exemplar der Originalfassung wurde deponiert bei der Stadt- und Universitätsbibliothek Bern, bei der Schweiz. Landesbibliothek Bern und im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Bern.

Inhaltsübersicht

1. Einleitung und Problemstellung 128

2. Topographisch-geographische Gliederung des Arbeitsgebiets 129

3. Das Seifengold im Napfgebiet 130

3.1. Grundsätzliches zur Prospektion 130
3.1.1. Alluviale Prospektion 130
3.2. Physikalisches Verhalten des Goldes 132
3.3. Vorkommen und Lagerungsverhältnisse des Goldes 132

4. Das Gold an sich 133

4.1. Makroskopische Beschaffenheit des Goldes 133
4.2. Erzmikroskopischer Befund 134
4.3. Elektronenmikroskopischer Befund 135
4.4. Chemismus des Goldes 136
4.4.1. Zusammensetzung und Feinheit des Goldes 136
4.4.1.1. Silber 138
4.4.1.2. Kupfer 139
4.5. Zusammenfassung und Interpretation 139

5. Analytische Probleme zum Nachweis von Gold 141

5.1. Allgemeines 141
5.2. Analysenmethodik 141
5.2.1. Zerstörungsfreie Methoden 142
5.2.1.1. Neutronenaktivierungsanalyse 142
5.2.2. Aufschlussmethoden 143
5.2.2.1. Atomare Absorption 143

6. Ergebnisse 144

6.1. Allgemeines 144
6.2. Verteilung des Goldes 144
6.3. Das Gold im Molassegestein 150
6.4. Wirtschaftliche Aspekte 151

Literaturverzeichnis 154

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Über das alluviale Gold in der Schweiz sind wenig konkrete Daten verfügbar, und diese stammen – abgesehen von kurzen Hinweisen geologischerseits – fast ausschliesslich aus der Feder von Historikern.

Zielsetzung dieser Arbeit ist nicht in erster Linie das Lokalisieren der Goldvorkommen, vielmehr soll versucht werden, die Natur des Goldes, sein Verhalten in physikalisch-chemischer Hinsicht zu klären. Ausserdem sollen die Goldgehalte der Alluvionen sowie der anstehenden Molasse soweit wie möglich bestimmt werden.

Es wird sich bald zeigen, dass Feldmethoden allein nicht ausreichen, um Zuverlässiges auszusagen. Durch gezielten Einsatz geochemischer Methoden werden Zufälligkeiten auszuschalten versucht und einigermassen kontrollierbare Arbeitsbedingungen geschaffen.

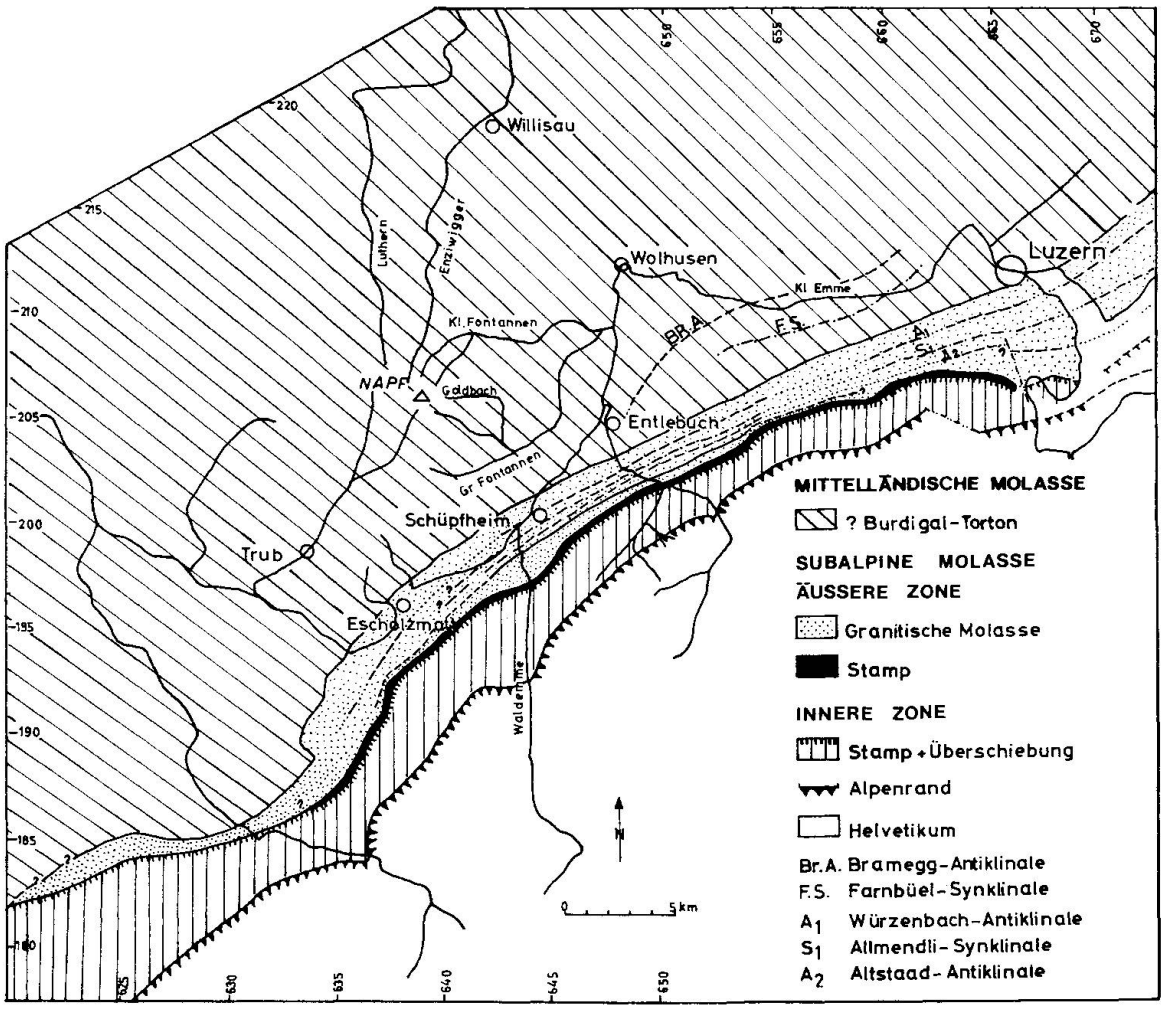


Fig. 1. Tektonische Übersichtskarte, zusammengestellt nach A. Matter (1964) und U. Gasser (1968).

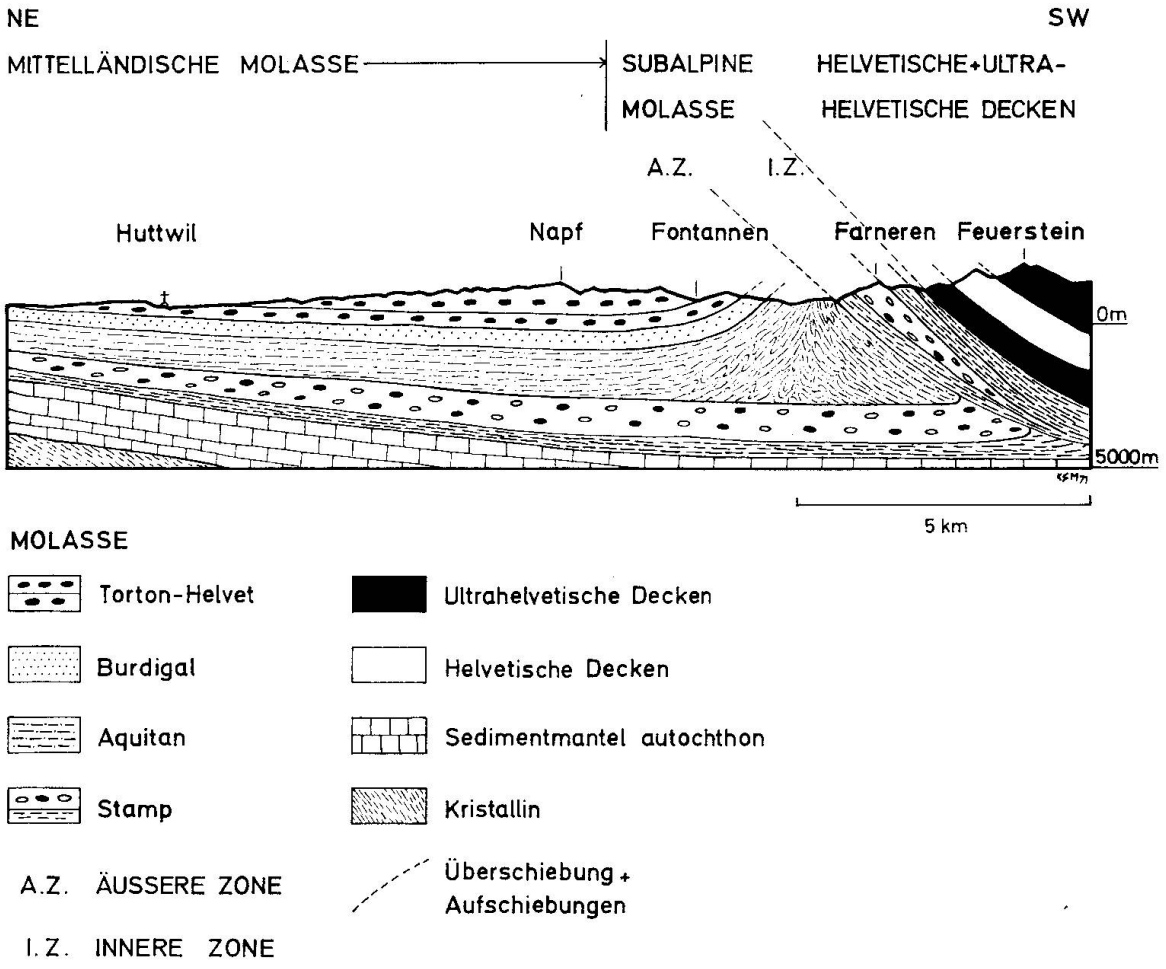


Fig. 2. Profil durch die Zone der mittelländischen und subalpinen Molasse, vereinfacht nach FRÖHLICHER (1933).

Aus diesem Grunde wird ein wesentlicher Teil dieser Arbeit analytischen Problemen gewidmet. Anhand der gewonnenen Daten soll es möglich werden, gewisse Vorstellungen, zu welchen die Feldbefunde Anlass geben, zu stützen oder zu verwerfen.

Zum Schluss sollen auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, Fragen der Abbauwürdigkeit zur Sprache kommen, zumal uns aus der Arbeit von ALBIEZ (1951) umfangreiches Vergleichsmaterial vom Rhein zur Verfügung stand.

2. TOPOGRAPHISCH-GEOLOGISCHE GLIEDERUNG DES ARBEITSGEBIETES

Das Arbeitsgebiet im Entlebuch (Fig. 1) erstreckt sich nordwestlich der Linie Schüpfheim-Wolhusen und umfasst die Täler der Gr. und Kl. Fontannen und weiter im Westen Enziwigger- und Luthern-Tal.

Geologisch betrachtet liegt das Gebiet am N-Rande der äussern Zone der

subalpinen Molasse, welche als sog. «granitische Molasse» des Burdigal das Haupttal der Kl. Emme in antiklinalem Bau durchzieht, s. Fig. 2. Wir befinden uns ausschliesslich in der Region der miozänen mittelländischen Molasse, deren Schichtfallen vom Liegenden zum Hangenden kontinuierlich abnimmt. So lagern die höheren Schichten des Napfgipfels mit einem Fallwinkel von 2–5° NNW (FRÖHLICHER 1933), fast horizontal, wogegen die tiefer liegende Schüpferegg-Nagelfluh, ? Helvet, an ihrer Basis mit 30° NNW einfällt.

Stratigraphisch lässt sich die Gliederung zufolge ausgesprochener Fossilarmut nur summarisch vornehmen. Unser eigentliches Arbeitsgebiet erstreckt sich vorwiegend auf die Obere Süsswassermolasse, von MATTER (1964) als Napfschichten des Tortons ausgeschieden, welche bis ins Tal der Kl. Fontannen zu verfolgen sind. Einzig im Tal der Gr. Fontannen folgen wir unterhalb Fontannengüetli (Koord. 640.050/202.250) über mehrere km dem ? Helvet, um unterhalb Eimättili (Koord. 644.850/204.500) wieder in die Basismergelzone als Leithorizont des Tortons einzutreten.

Zur Morphologie sie auf das ausführliche Kapitel in der Originalarbeit SCHMID (1972) verwiesen.

3. DAS SEIFENGOLD IM NAPFGEBIET

3.1. Grundsätzliches zur Prospektion

AGRICOLA (1557) erfasst den Sachverhalt folgendermassen:

«Viele sind der Meinung, der Bergbau sei etwas Zufälliges und eine schmutzige Tätigkeit und überhaupt ein Geschäft, das nicht sowohl Kunst und Wissenschaft als auch körperliche Arbeit verlange.»

Hierzulande wird der Feldprospektion nicht allzuviel Aufmerksamkeit geschenkt, mit der Begründung, dass es sich nicht lohne. Deshalb seien zunächst einige grundsätzliche Fragen diskutiert.

3.1.1. Alluviale Prospektion

Darunter ist in unserem Falle in erster Linie die Schwereminerał-Prospektion, der Umgang mit der Waschpfanne und ähnlichen einfachen Behelfsmitteln zu verstehen.

Der Waschprozess ist dann sinnvoll, wenn die zu untersuchenden Flüsse ein Gebiet entwässern, in dem spezifische Elemente oder Elementträger (Mineralien) vermutet werden. Der Inhalt der Fluss-Sedimente bietet ein reiches Spektrum des anstehenden Materials, welches durch die Kräfte der Verwitterung aus dem ursprünglichen Festgesteinsverband gelöst, verfrachtet, durch den Trans-

portprozess zerkleinert, sortiert, nach spezifischem Gewicht klassiert und schliesslich in Kies- und Sandbänken abgelagert wurde. Falls durch die aufbereitenden Auslese- und Sortierungsvorgänge höhere abbauwürdige Anreicherungen von schweren Mineralien der Dichte > 2,9 entstehen, gelegentlich von Auge sichtbare Konzentrationen von «dunklen» Sanden sich bilden (LINDGREN, 1933), so wird der Begriff «Seife» verwendet. Ziel des Geologen ist es nun, möglichst viele Schwereremineralien (SM) aus den anfallenden Sedimenten zu gewinnen, da die wirtschaftlich wichtigen Mineralien alle zur Gruppe der SM gehören, deren spez. Gew. meist um 4 und höher liegt.

Zur Gewinnung von Schwereremineralien sei hier auf das wichtigste und unentbehrliche Instrument, die Goldwaschpfanne, hingewiesen, die, zwar etwas altertümlich anmutend, vom modernen Geologen unserer Breiten zu Unrecht vernachlässigt wird. In neuerer Zeit haben MERTIE (1953) und ZESCHKE (1964), beide mit grosser Erfahrung in Lagerstättenbearbeitung, den vermehrten Einsatz der Pfanne empfohlen. Gewiss erfordert deren Handhabung einige Geschicklichkeit, aber die hat man bald erworben, und innert kurzer Frist ist es möglich, jede beliebige Menge von SM-Konzentrat im Felde zu gewinnen und dessen Inhalt zu bestimmen. Somit werden langwierige Trennungsvorgänge im Labor abgekürzt, aber auch der Umfang des heimzuschaffenden Materials kann verringert werden. Fig. 3 gibt Aufschluss über die Aufbereitung des Probengutes. Im übrigen sei für Einzelheiten über Probenahme und Probenahmestellen auf SCHMID (1971, 1972) verwiesen.

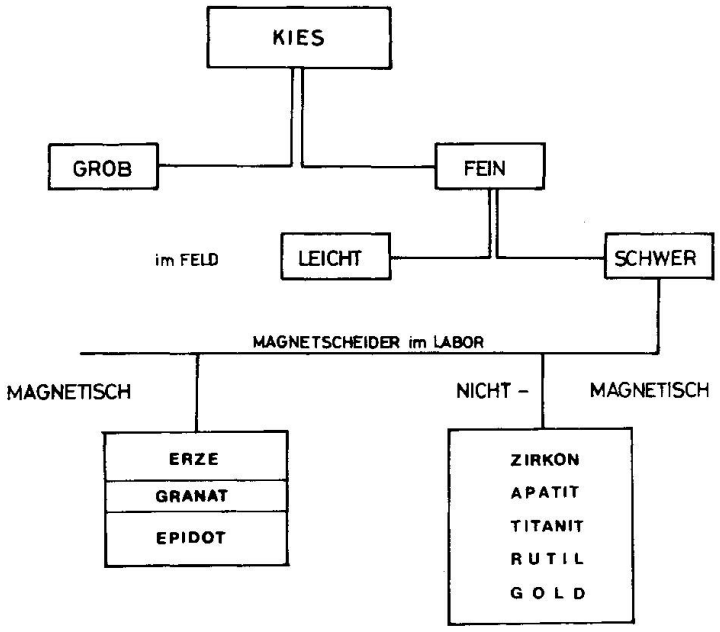


Fig. 3. Aufbereitung des Probenmaterials.

3.2. Physikalisches Verhalten des Goldes

Das Gold hat zufolge seiner hohen, vom Silbergehalt abhängigen Dichte von 15,5–19,3 die Tendenz, im Verbande mit andern Schwereminералien zu sedimentieren. Am verbreitetsten finden wir es in wechselnd horizontierten Alluvionen abgelagert, und zwar ist es vorwiegend an die Feinkies-Sandfraktion (2–4 bis 0,2 mm) in den mittleren Horizonten einer Geschiebebank gebunden.

Wieweit die tiefern Schichten einer Bank, welche unter dem Wasserspiegel liegen, goldführend sind, kann heute nicht beurteilt werden, zumal das Grundwasser den erfolgreichen Abbau erschwert. Darüber berichtete schon KAUFMANN (1872).

Durch Transport und Abrieb wird die Korngrösse des Goldes verringert. Bezeichnenderweise liessen sich in meinem Arbeitsgebiet eigentliche Nuggets, kleine Goldklümpchen von einigen mm bis cm Grösse, überhaupt nicht beobachten.

Aber nicht alles Gold hat die Tendenz, sich möglichst rasch abzusetzen. Gerade sehr feine Goldpartikel < 1 mm weisen eine unangenehme Neigung zum Flotieren im Wasser auf. Dies rührt daher, dass das Gewicht der Partikel geringer ist als die Oberflächenspannung des Wassers.

TOURTELOT (1968) versucht dieses Verhalten in einer interessanten Arbeit zu deuten. Seine Experimente bestätigen, dass die Sedimentationsgeschwindigkeit des Goldes von der Korngrösse und vor allem von der Korn- bzw. Blättchendicke abhängig ist. Eine dünngewalzte Goldpartikel von 2 Mikron Durchmesser hält sich sehr lange im Schwebezustand. Ihre Sedimentation benötigt rund 3,3 mal mehr Zeit als die eines Goldkorns gleichen Ausmasses. Dies besagt, dass der Gewinnung von Gold mit den üblichen physikalischen Trennmethoden Grenzen gesetzt sind. Die unterste Erfassbarkeit liegt bei 0,1–0,05 mm Korndurchmesser.

Nicht ohne Grund haben die alten Goldwäscher den vom Waschstuhl geschwemmten Feinschlick in Trögen aufgefangen, um mit Quecksilber das darin enthaltene feine Gold zu sichern.

Diese Überlegungen gaben Anlass, die zahlreichen Proben, welche kein sichtbares Gold zutage förderten, nicht einfach zu verwerfen, sondern einer eingehenden chemischen Analyse zu unterziehen, und in vielen Fällen konnte Gold zum mindesten im Spurenbereich nachgewiesen werden. Ausführlicher wird darüber in Abschnitt 5 berichtet werden.

3.3. Vorkommen und Lagerungsverhältnisse des Goldes

Aus den bisherigen Feldbefunden lassen sich folgende Gesetzmässigkeiten ableiten.

— Gold kommt immer in wechselnd horizontierten Flussablagerungen, und zwar meist in der Sandfraktion vor.
— In Gebieten mit Rückstau oder Liegendwasser, desgleichen in rein sandigen oder pelitischen Ablagerungen, ist kaum Gold nennenswerten Ausmasses zu erwarten. Vgl. hiezu ALBIEZ (1951) und HOFMANN (1965).
— Die Partikelgrösse des Goldes entspricht in etwa der Korngrösse der begleitenden Schwereminerallen. Eine Verringerung der Partikelgrösse mit zunehmender Länge des Transportweges kann nicht eindeutig beobachtet werden.
— Auf Grund seiner Dichte steht die Anreicherung des Goldes mit jener von Erzmineralien (insbesondere Oxide) in engem Zusammenhang.
— Das Ausmass der Goldanreicherung ist abhängig vom Gefälle, von der Fliessgeschwindigkeit des Wassers und der Menge des Transportmaterials.
— Die Verteilung des Goldes ist räumlich stark wechselnd.

4. DAS GOLD AN SICH

Die Ergebnisse des zur Verfügung stehenden Untersuchungsmaterials sollen hier dargelegt werden.

4.1. Makroskopische Beschaffenheit des Goldes

Im allgemeinen liegt das Gold als flach ausgewalzte längliche oder gerundete Blättchen oder Flitter von meist sattgelber Farbe mit unverwechselbarem Goldglanz vor. Sehr dünne Blättchen sind oft mehrfach «sandwichartig» verfaltet (s. RAMDOHR, 1965), eine Eigenheit, die das Polieren sehr erschwert, indem die dünnen Lagen aus dem Einbettungsmittel ausbrechen und nur noch das in die Falten eindringende Plexiglas offenbaren, so dass der Poliervorgang sorgfältig wiederholt oder abgebrochen werden muss.

Drahtartige Komponenten oder winzige Kristallaggregate mit angedeuteten Oktaedern, wie sie KIRCHHEIMER (1965) aus dem Rhein beschreibt, konnten makroskopisch nicht beobachtet werden.

Die Oberfläche der Flitter ist meist rauhnarbig und porös (s. Fig. 4). Vielfach sind die Blättchen an den Rändern fransenartig oder lappig ausgerissen, was zu grotesken Formen führt und einen eindeutigen Hinweis auf mechanische Beanspruchung liefert.

In der Grösse variiert das Gold zwischen 0,05–1,0 mm, wobei der weitaus grösste Teil zwischen 0,1–0,5 mm erfasst werden kann. Als Seltenheit weisen einige Flitter Ausdehnungen von 2,0–1,4 mm mit einer Dicke von 0,7 mm auf. Im allgemeinen liegt die Dicke aber bei 0,1 mm.

Grössenmessungen an rund 60 Goldflitterchen ergeben folgende Durchschnittswerte:

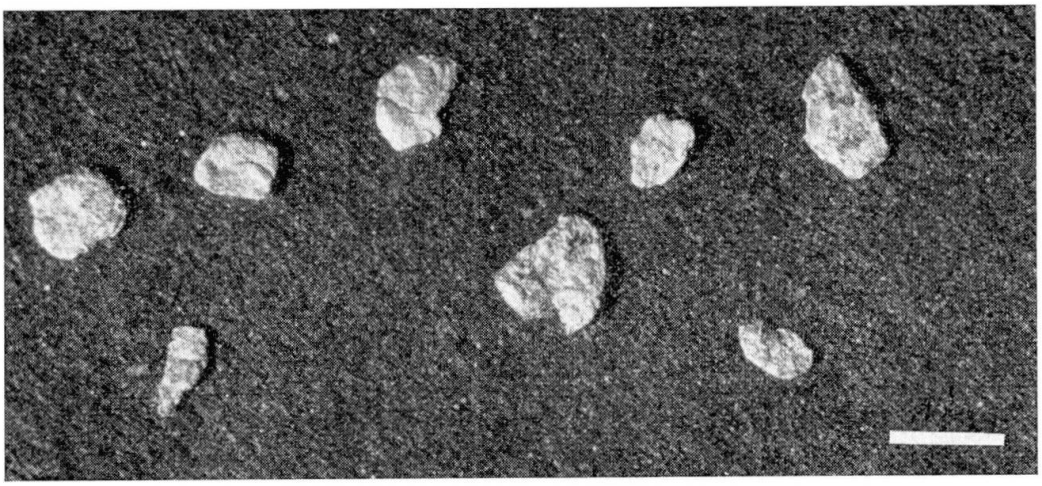


Fig. 4. Goldflitterchen aus der Gr. Fontannen. Skala = 1 mm.

Gr. Fontannen:	1,00–0,55 mm Länge
	0,12–0,70 mm Breite
Kl. Fontannen:	0,32–0,60 mm
Luthern:	0,37–0,56 mm
Enziwigger	0,31–0,57 mm

Ausgewogen wurden 35 Goldproben in der Grössenordnung von 1,5–0,5 mm, welche ein Durchschnittsgewicht von 1,4 mg aufwiesen. Vereinzelte, vor allem dickere Blättchen, haben ein Gewicht von 3–5 mg.

Liechti (1933) ermittelte an Goldproben aus dem Krümpelgraben bei Trubschachen ein Durchschnittsgewicht von 4,8 mg, woraus sich ableiten liesse, dass diese wahrscheinlich einen verhältnismässig kurzen Transportweg hatten, weniger dem Abrieb ausgesetzt waren.

4.2. Erzmikroskopischer Befund

Die Untersuchungen am Erzmikroskop zeigen, dass das Flussgold ziemlich rein und homogen, also einheitlich goldgelb auftritt. Silberreichere Proben dagegen weisen ein blasseres, bis Weiss-Gelb auf. Nur vereinzelt lässt sich der Übergang von der deutlich dunkler erscheinenden Randzone zur hellern silberreicheren Innenzone beobachten. Hier begegnen wir dem Effekt der Entsilberung, welcher beim Seifengold häufig auftritt und auf der oberflächlichen Herauslösung des Silbers durch oxidierende Lösungen beruht. Ein Vorgang, der von den randlichen Partien allmählich auf den Kern des Blättchens übergreift (s. Schneiderhoehn 1962).

Das durchschnittliche Reflexionsvermögen des untersuchten Goldes (gemessen am Leitz-MPE-Photometer) mit Orange-Filter, bezogen auf Pyrit, RV 54% als Standard, liegt zwischen 65 und 85%, je nachdem, ob die Messung in einer gold- oder silberreicheren Zone vorgenommen wurde.

4.3. Elektronenmikroskopischer Befund

Vom Elektronenmikroskop wurde erhofft, etwas mehr Aufschluss über die Feinstruktur des Goldes zu gewinnen.

Zur Untersuchung auf dem Modell Siemens ELMISKOP-I des anorganisch-chemischen Instituts der Universität Bern gelangte als erste die bekannte, von HUTTENLOCHER und HÜGI (1954) beschriebene Gotthardprobe.

Die Ätzfiguren (Fig. 5) bestätigen die Lupenbeobachtung der beiden Autoren. Mehr oder weniger parallel angeordnete, z. T. deformierte Oktaeder sind einer tafligen Goldblech-Unterlage als Einkristalle aufgewachsen. Es dürfte sich

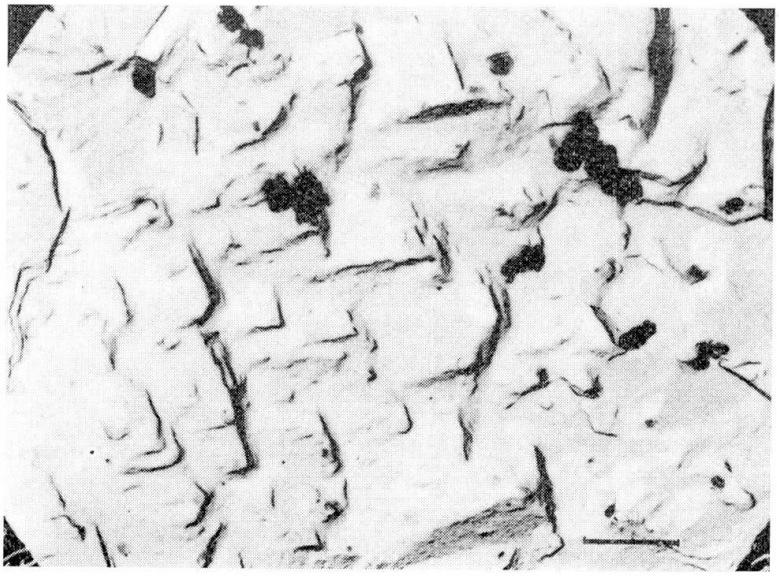


Fig. 5. Ätzfiguren: Oktaeder auf tafeliger Goldblech-Unterlage an Gotthardgold. Aufnahme: Siemens ELMISKOP-I. Skala = 1 mikron.

Fig. 6. Stark verzerrte Oktaeder an Flussgold (Enziwigger). Skala = 5 mikron.

um Bildungen eines spätern Wachstumsstadiums handeln, indem zirkulierende Lösungen die vorgebildete Goldfläche angeätzt und die Ausscheidung von Einkristallen bewirkt haben.

Goldproben des Napfgebiets (Fig. 6), welche zwar silberärmer sind, weichen in ihrem Feinbau kaum vom Berggold ab. Einzig die Oktaeder weisen einen höheren Deformationsgrad auf, was ich einer ausgeprägteren mechanischen Beanspruchung zuschreibe. Auffallend sind ausserdem vereinzelt auftretende kleine, warzenartige Aufwachsungen, die nicht zu deuten sind, sowie eine merkwürdige Streifentextur, eine Erscheinung, die auch am Rhein von KIRCHHEIMER (1965) beobachtet wurde. Noch weiss man nicht, wie weit diese Merkwürdigkeiten sich mit deformativen Einflüssen von Transport, Umlagerung und Abrieb begründen lassen.

4.4. Chemismus des Goldes

Die Zusammensetzung des Seifengoldes sollte über einige zentrale Fragen Aufschluss geben:

— Welcher Art ist die Variation?
— Von welchen Faktoren wird sie bestimmt?
— Lässt die Verschiedenartigkeit der Goldtypen eine Herkunftsbestimmung überhaupt zu?
— Inwieweit unterscheidet sich mehrfach umgelagertes Seifengold vom primär gebildeten Gold der Alpen?

Analysenmethodik

Der Problemstellung entsprechend hat der Einsatz der Elektronenmikrosonde in relativ kurzer Zeit zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Die im Gold am ehesten auftretenden Komponenten Ag und Cu konnten mühelos erfasst werden. Ebenso liessen sich Einschlüsse oder Inhomogenitäten im Chemismus mittels Profilen leicht lokalisieren. Die Messungen liegen innerhalb einer Fehlergrenze von $\pm 3\%$.

Die Analysen wurden auf der Elektronenmikrosonde Modell CAMECA MS 85 im Laboratorium für Mikroröntgenspektroskopie der Universität Bern durchgeführt. Goldproben, deren Durchmesser unter 0,5 mm lag, wurden der Neutronenaktivierungsanalyse unterzogen. Die Silbergehalte dieser Partikel unterschritten denn auch fast ausnahmslos den Wert von 1%, lagen also unter der Nachweisgrenze der Mikrosonde. Allerdings ist die Neutronenaktivierung mit einem Fehler von $\pm 10\%$ behaftet.

4.4.1. Zusammensetzung und Feinheit des Goldes

WARREN und THOMPSON (1944) studierten die Zusammensetzung von 66 kanadischen Goldproben und fanden durchwegs Ag, Cu, Fe (Reihenfolge

abnehmender Gehalte) anwesend. Für Silber wurden Werte $>0{,}5\%$, für Kupfer zwischen 0,1–0,5% ermittelt.

In unserm Flussgold liessen sich hauptsächlich Silber und Kupfer nachweisen. Weitere Elemente fallen nicht ins Gewicht.

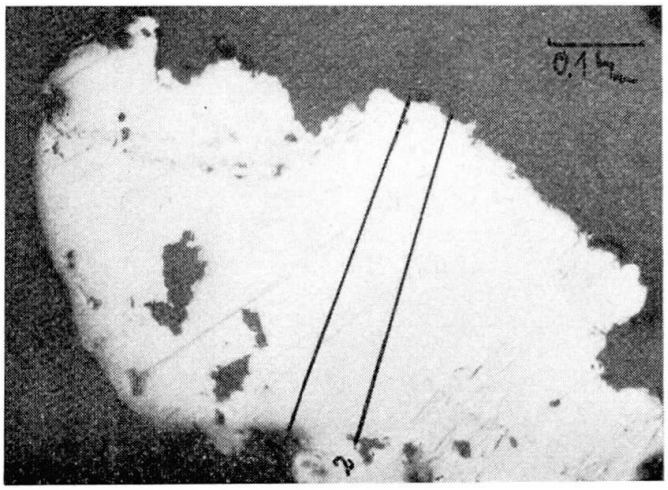


Fig. 7. Goldflitter poliert mit Profilspuren der Elektronenmikrosonde.

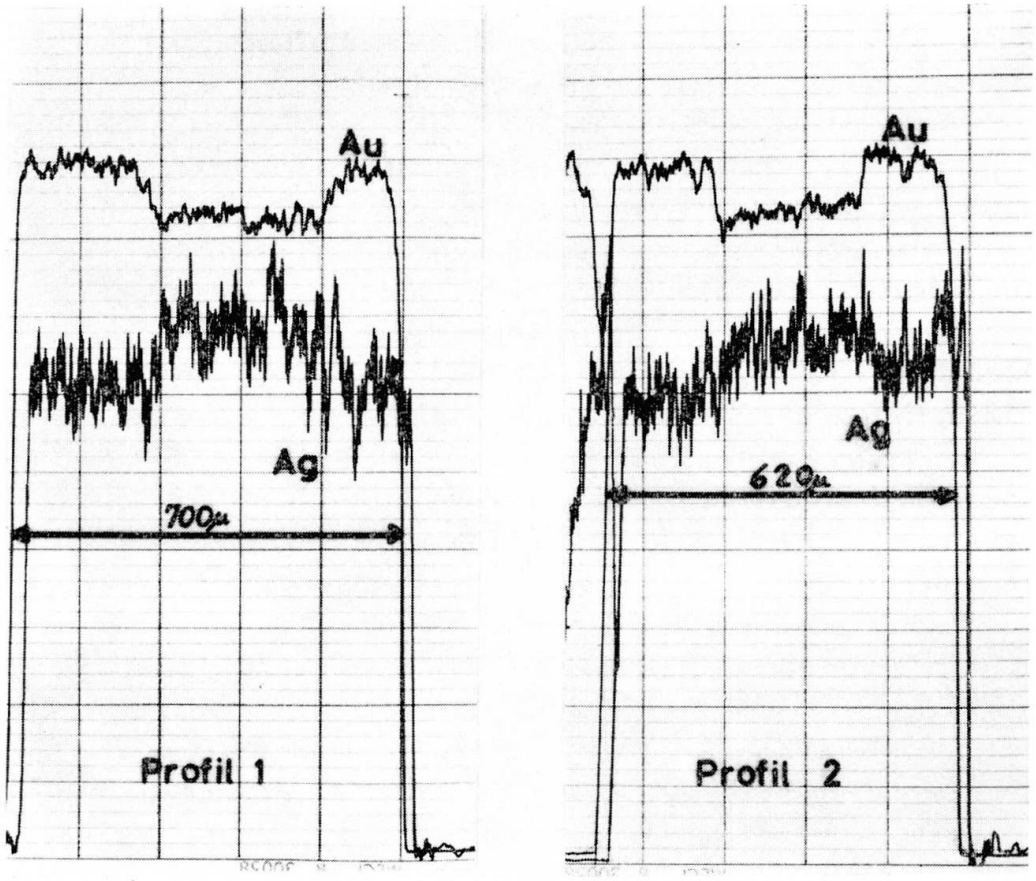


Fig. 8–9. Mikrosondenprofile von Fig. 7 mit ansteigendem Silbergehalt gegen die Kornmitte.

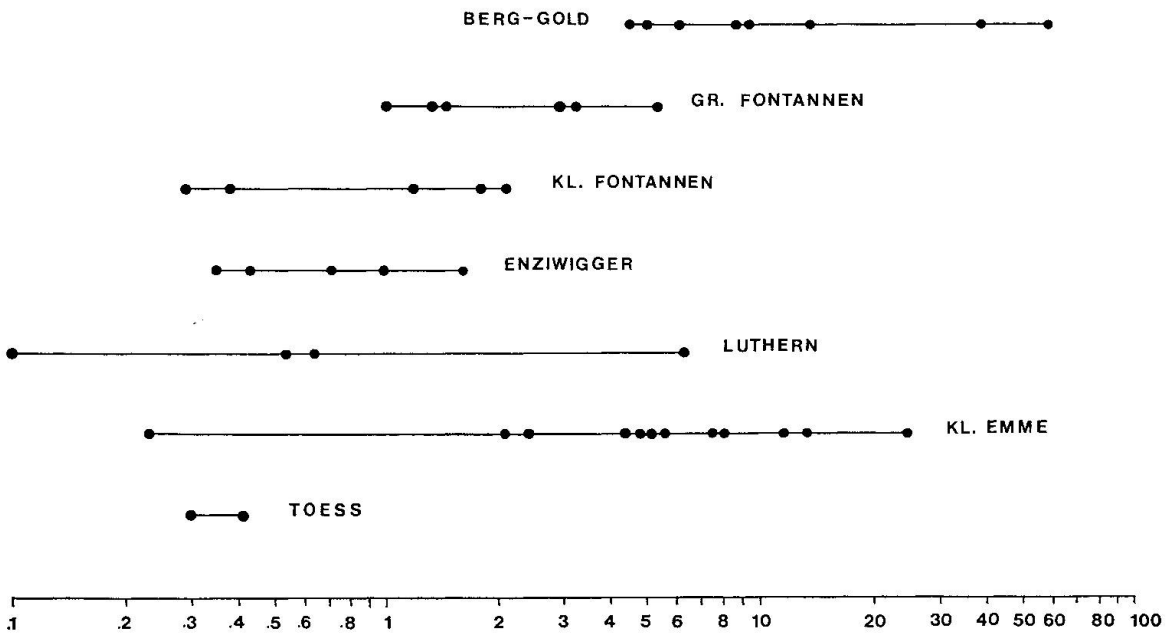


Fig. 10. Silbergehalte von Gold verschiedener Herkunft in Prozenten.

4.4.1.1. Silber

Die optischen und röntgenspektrometrischen Untersuchungen an Berg- und Flussgold stimmen überein und sprechen i. a. für homogene Mischkristallbildung bzw. Homogenisierung. Als merklich inhomogen erweist sich Probe 194 der Gr. Fontannen (s. EMS-Profile Fig. 7–9).

Fig. 10 gibt Aufschluss über die Verteilung des Silbers im Gold. Die Silbergehalte des Berggoldes liegen zwischen 4 und 59%, wobei das Gold vom Gotthard für weitere Betrachtungen ausgeklammert werden soll. Die Silbergehalte des Alluvialgoldes streuen zwischen 0,1 bis rund 5%, ausgenommen Luthern mit 6,4%. Der Schwerpunkt der Silbergehalte darf zwischen 1 und 3%, der Durchschnitt bei 1,7% veranschlagt werden.

Werden Korngrösse und Silbergehalt in Beziehung gesetzt, so ist festzustellen, dass erhöhte Silbergehalte grösseren Goldblättchen eigen sind, welche z. T. dem Oberlauf der Bäche entstammen.

Erst eine statistische Auswertung dieser Fakten, wozu das vorliegende Untersuchungsmaterial nicht ausreichte, liesse endgültig darüber entscheiden, wie weit Entsilberung und Korngrössenabnahme sich tatsächlich proportional zur Länge des Transportweges verhalten.

Im übrigen stellt sich hier erstmals die Frage, ob das Gold der Kl. Emme aus den alten Kiesbänken zu Werthenstein als Sonderfall betrachtet werden müsste. Charakterisieren lässt es sich wie folgt: Die Korngrösse liegt durchwegs zwischen 1 und 2 mm. Die Silbergehalte tendieren eindeutig nach rechts (Fig. 10), auch wenn wir von den anomal hohen Konzentrationen von 11,4 und 25,6% absehen, welche an deutlich hellere Schlierenzonen gebunden sind.

Eine Diskussion dieses Tatbestandes ist in Abschnitt 4.5 vorgesehen.

Hingegen sollen die Ausführungen über das Silber nicht abgeschlossen werden, ohne auf den Begriff der Feinheit einzugehen.

Die Feinheit des Goldes wurde von JONES und FLEISCHER (1969) nach der Formel $F = 1000\ Au/(Au + Ag)$ errechnet.

Tabelle 1 orientiert über die errechneten durchschnittlichen Silbergehalte von Seifen- und Berggold und dessen Feinheit. Weitere tabellierte Daten sind in der Originalarbeit SCHMID (1972) einzusehen.

Tabelle 1. *Durchschnittliche Silbergehalte und Feinheit von Gold*

Seifengold des Napfgebiets	1,7%	983
Emmegold inkl. Extremwerte	7,6%	924
Emmegold exkl. Extremwerte	5,1%	949
Rheingold (zit. A. HARTMANN)*)	6,5%	935
Gotthard-Gold	48,6%	514
Westalpen-Gold	8,0%	920
Calanda-Gold	5,0%	950

*) HARTMANN A. (1963): Bericht über die Untersuchung einiger Goldproben aus der naturgeschichtlichen Sammlung des Museums zu Bern. (Unpubl.)

4.4.1.2. Kupfer

In den Goldproben, deren Durchmesser über 0,5 mm beträgt, liegt Kupfer zwischen 0,1–0,3% vor. Höhere Werte ergaben sich nicht.

4.5. Zusammenfassung und Interpretation

Das Gold der Napfflüsse kann folgendermassen charakterisiert werden: Es handelt sich vorwiegend um chemisch recht homogene, äusserst dünne, durchschnittlich 0,1–0,5 mm grosse Flitterchen mit rauhnarbiger «chagrinierter» Oberfläche. Allgemein herrscht die sattgelbe Farbe der Blättchen vor. Goldanreicherungen in Randzonen, welche sich infolge von Entsilberung deutlich von den hellern zentralen Partien abheben, sind bei derart klein dimensionierten Partikeln selten anzutreffen. Das IMHOFsche Gold der Kl. Emme dagegen weist häufig Zonierung und Silberanreicherung in Schlieren auf.

Die Analysendaten zeigen, dass die Silbergehalte des von uns gewonnenen Napfgoldes mit einem Durchschnitt von 1,7% äusserst niedrig sind, was mit der sprichwörtlich hohen Feinheit (vgl. CYSAT, 1661) übereinstimmt. Demgegenüber steht das Gold der Kl. Emme mit einem durchschnittlichen Silbergehalt von 5,1% und einer Feinheit von nur 949.

Die Kupfergehalte von Berg- und Flussgold unterscheiden sich nicht.

Aus den ersten Tatbeständen können folgende Beziehungen und Schlüsse formuliert werden:

— Hohe Feinheit des Goldes, kleines Korn.
— Die Korngrösse der Goldpartikel ist abhängig von der Korngrösse des anfallenden Schwerekonzentrats, aber die Korngrösse ist kein Massstab für die quantitativ erfassbare Menge des Goldes.
— Korngrössenabnahme des Goldes und seine Entsilberung sind – in gewissen Grenzen – als Funktion des Transportweges und der mechanischen Beanspruchung anzusehn.

Wenden wir uns nun dem eingangs gestellten Problempunkt zu. Lassen sich anhand der unterschiedlichen Silbergehalte des Napfgoldes einerseits und des Kl.-Emme-Goldes anderseits wirklich zweierlei Seifengoldtypen unterscheiden? Diese Frage muss entschieden verneint werden, und zwar aus folgenden Gründen:

Erstens liegt zwischen der Probenahme von IMHOF und der meinen ein Zeitraum von rund dreissig Jahren.

Zweitens entstammt der Grossteil von IMHOFS Emme-Proben fast ausschliesslich den alten Kiesbänken zu Werthenstein, die heute infolge Flusskorrektur nicht mehr erhalten sind.

Drittens wird das Bild von IMHOFS Ergebnissen verfälscht. Seine Probenahme ist nicht statistisch, weil sie der Variationsbreite flussauf- und abwärts keine Rechnung trägt. Keineswegs soll hier IMHOFS Vorarbeit geschmälert werden. Dennoch tritt am Beispiel der Kl. Emme zutage, was in der Prospektion nicht sein dürfte, nämlich nur vereinzelte, wohl goldfündige, aber ausnahmslos bequem erreichbare Stellen als Probenahme und Waschplätze auszusuchen.

Wenn wir von den extremen Silberwerten des Emmegoldes absehen (Fig. 10), liegt sein durchschnittlicher Silbergehalt von 5,1% zwar recht hoch gegenüber 1,7% des übrigen Napfgoldes. Die mittleren Werte des Emmegoldes jedoch lassen sich sehr wohl mit den höheren Werten des übrigen Napfgoldes, insbesondere der Gr. Fontannen, vergleichen, welch letztere als der erheblichste Goldlieferant der Kl. Emme anzusehen ist.

Zubringer aus der subalpinen Molasse sind auszuschliessen, denn aus der Literatur sind aus dieser Region keine Goldvorkommen bekannt. Um dessen gewiss zu sein, wurden eigene Waschversuche am Hauptzubringer, der Waldemme angestellt, welche ohne Ergebnis blieben.

Somit kommt als Goldlieferant einzig der miozäne Molasseschuttfächer des Napfgebiets mit seinen vielen Ausläufern in Frage.

Eine Beziehung zwischen Napfgold und primärem Gold des Alpenraums ist anhand der heutigen chemischen Befunde kaum herzuleiten.

Wohl zeigt DESBOROUGH (1970) am Beispiel von Colorado sehr schön, wie man mittels quantitativer Silberbestimmung an Seifengold Zusammenhänge mit dem rückwärtigen Golddistrikt erarbeitet. Da die Entsilberung des Goldes

zunächst auf die Randzone der Partikel beschränkt bleibt, kann der Silbergehalt der Kernzone als Leitwert für die Korrelation mit dem Gold des Hinterlandes verwendet werden, vorausgesetzt, dass das sekundäre Gold nicht durch chemisch-thermische Prozesse homogenisiert worden ist.

Diese entscheidende Voraussetzung ist bei uns nicht erfüllt, liegen doch rund 40 Mio Jahre zwischen der beginnenden Molasse-Sedimentation und den alluvialen Verhältnissen. Das Gold der Molasse befindet sich nach mehrfacher Umlagerung in den Alluvionen auf «tertiärer» Lagerstätte. Dass es sich chemischen Einflüssen und Homogenisierungsprozessen nicht hat entziehen können, das zeigen die Ergebnisse deutlich.

Die Herkunftsfrage des Molassegoldes (s. Kap. 8, Teil I, SCHMID, 1972) ist anhand unserer Bilanz so einfach nicht zu lösen. Ohne geologisch-tektonische Überlegungen, ohne Berücksichtigung der alpinen Erosions- und Schüttungsverhältnisse kann das Problem nicht angegangen werden. Erst auf Grund zusätzlicher herkunftsweisender Elemente in der Molasse (Geröll- und Schwereuntersuchungen) dürfte eine Korrelation mit dem Rückland ins Auge gefasst werden. In diesem Zusammenhang sei auf Teil II meiner Dissertation verwiesen, wo Grenzen und Möglichkeiten einer Geröllanalyse diskutiert werden.

5. ANALYTISCHE PROBLEME ZUM NACHWEIS VON GOLD

5.1. Allgemeines

Die im Waschkonzentrat anfallenden Goldpartikel, welche Bruchteile von Millimeter messen, zeichnen sich aus durch ihre Flotationstendenz. Sofern sie doch sedimentieren, sind sie unter der Vormacht des silikatischen Schwerekonzentrats nicht mehr einzeln zu erfassen.

Um sicher zu gehn, ob scheinbar taube Proben nicht doch submikroskopisches Gold enthielten, wurde der chemische Nachweis erbracht.

Da heute in vielen aussereuropäischen Ländern die Suche nach Gold sozusagen «hoffähig» geworden ist, und zwar im Rahmen von «rare» oder «noble metal programs», die vom Staate finanziert werden, erscheint es angezeigt, auf die Methodik der Goldbestimmung kurz einzugehn. Zur eingehenden Orientierung sei jedoch auf SCHMID (1972) hingewiesen.

5.2. Analysenmethodik

BEAMISH (1961) und BEAMISH et al. (1967) liefern einen zusammenfassenden und sehr kritischen Beitrag zu den bis in die jüngste Zeit entwickelten Verfahren des Nachweises von Edelmetallen.

Da auf Grund der Feldbefunde nur geringe bis geringste Goldkonzentra-

tionen zu erwarten waren, wurde versucht, Methoden anzuwenden, die einerseits höchst empfindlich waren, anderseits in absehbarer Zeit Resultate erbringen konnten.

Zwei Wege boten sich an:

1. Zerstörungsfreie Methoden, welche den Vorteil haben, dass das Probegut auch nach der Analyse für weitere Untersuchungen zur Verfügung steht und
2. Aufschlussmethoden.

5.2.1. Zerstörungsfreie Methoden

5.2.1.1. Neutronenaktivierungsanalyse

Da die Aktivierungsmethode seit den grundlegenden Arbeiten von GOLDBERG und BROWN (1950), VINCENT und SMALES (1956) und VINCENT und CROCKET (1960) längst ihren festen Platz auf dem Gebiet der Spuren- bis Ultraspurenanalyse hat, sei auf die Wiedergabe von Einzelheiten verzichtet. Jedenfalls ist sie beim Nachweis von Gold in silikatischem Material oder im Wasser den üblichen chemischen und spektrochemischen Methoden um mehrere Grössenordnungen überlegen.

Ausserdem besitzt Gold einen grossen Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen, was die Methode besonders geeignet macht.

Mit Gold spielt sich durch die Aktivierung mit thermischen Neutronen folgende Reaktion ab.:

$$^{197}\mathrm{Au}\ (\mathrm{n}, \gamma)\ ^{198}\mathrm{Au}\ (\mathrm{t}\,{}^{1}\!/_{2} = 2{,}7\ \mathrm{d})$$

bei einem Neutronenfluss von 10^{12} n cm^{-2} sec^{-1}.

$$\sigma = 96 \text{ barn}$$
$$\gamma = 0{,}41 \text{ MeV}$$

Aus dem einzigen stabilen Isotop ^{197}Au entsteht also das instabile Nuclid ^{198}Au, das sich mit einer Halbwertszeit von 2,7 Tagen in das stabile ^{198}Hg umwandelt.

Das Analysenmaterial wurde im Sinne von DE GRAZIA und HASKIN (1964) in Polyäthylen-Ampullen verpackt und hernach im DIORIT-Reaktor von Würenlingen der Bestrahlung ausgesetzt. Da relativ wenig Interferenzen im Spektrum auftraten, war ein direktes Messen der γ-Energie ohne weiteres möglich.

Die Aktivierungsanalyse ist ein eleganter und zeitsparender Weg, zumal das Einschleppen von Verunreinigungen bei den wenigen Manipulationen auf ein Mindestmass reduziert werden kann. An unaufgeschlossenem Material kann eine Nachweisgrenze von 0,01 ppm Au gewährleistet werden. Allerdings ist die Methode mit einem mittleren Fehler von $\pm$ 10–20% behaftet. Nachweisgrenze und Fehler dürften aber nach DE LANGE et al. (1968) bei gut homogenisierten Proben niedriger liegen.

5.2.2. Aufschlussmethoden

Im folgenden soll eine nasschemische Methode hoher Empfindlichkeit zur Bestimmung von Gold diskutiert werden.

5.2.2.1. Atomare Absorption

Das Prinzip der Atomabsorption wird als hinreichend bekannt vorausgesetzt, im übrigen sei auf SCHLESER (1965) und ALTHAUS (1966) verwiesen.

Als Arbeitsgerät wurde das Atomabsorptions-Spektralphotometer PERKIN-ELMER 303 benützt. Es handelt sich um ein Zweistrahlgerät mit Gittermonochromator im Wellenlängenbereich von 1950–8520 Å.

Messbedingungen

Wellenlänge	2428 Å		
Spalt	1 mm	Bandbreite 7 Å	
Lichtquelle	Intensitron-Hohlkathodenlampe		
Gasgemisch	C_2H_2	Durchfluss: 7,5–8 Einh.	Gasdruck: 8 psig
	Luft	Durchfluss: 9 Einh.	Gasdruck: 30 psig
Brennerkopf	BOLING		
Nachweisgrenze	0,05 ppm Au		

Nasschemische Vorarbeiten

Da sich Gold ohne Voranreicherung in unsern Proben nicht bestimmen lässt, wurde in Anlehnung an THOMPSON et al. (1968) in organischer Phase gearbeitet, nämlich mit Methyl-Isobutylketon (MIBK) als Extraktionsmittel. Die Arbeitsvorschrift entspricht, abgesehn von geringfügigen Änderungen derjenigen von TINDALL (1965).

500–1000 mg Probe werden in 25 ml Königswasser in Kjeldahlkolbenkolonnen auf dem Sandbad zur Trockene eingedampft. Zum Abrauchen der nitrosen Gase werden 5 ml konz. HCl zugegeben und die Lösung erneut zur Trockene eingedampft. Der Rückstand wird mit 15 ml HCl 1 : 1 aufgenommen und filtriert. Das Filter muss mehrmals mit einigen Tropfen HCl 1 : 1 und dest. H_2O gewaschen werden. Hernach wird das Filtrat auf 100 ml Volumen gebracht.

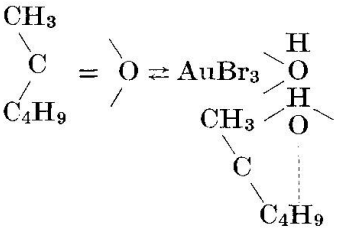
Desgleichen wird spektralreines Gold aufgeschlossen. Am besten eignet sich eine Stammlösung von 1000 ppm, welche auf entsprechende Konzentrationen zur Herstellung einer Eichkurve verdünnt wird.

Anschliessend werden 50 ml der Aufschlusslösung im Scheidetrichter mit 2 ml HBr 48% p. a. Merck und 10 ml MIBK p. a. Merck versetzt, 15 sec. gut durchgeschüttelt und stehen gelassen, bis die beiden Phasen sich getrennt haben. Die wässrige Phase wird verworfen, hernach wird so lange mit einer HBr/HCl-Lösung gewaschen, bis die organische Phase klar bleibt.

Die folgenden Gleichungen mögen kurz erläutern, wie das in Ionen vorliegende Gold mit HCl und HBr Komplexe bildet.

1. $Au^{3+} + 4\,Cl^- \rightleftarrows [AuCl_4]^-$
2. $[AuCl]^- + 4\,Br^- \rightleftarrows [AuBr_4]^-$
3. $[AuBr_4]^- + H_2O \rightleftarrows [AuBr_3OH_2] + Br^-$

Der neutrale Aquo-tribromo-Komplex von Gleichung 3 ist mit MIBK extrahierbar. Daraus folgt Gleichung 4.

4. $[AuBr_3OH_2] +$ 

Dieses eigenartige Verhalten ist der Bildung von Doppelmolekülen zwischen Komplex und Keton zuzuschreiben, und zwar über die Wasserstoffbrücken O–H . . . . . O.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die atomare Absorption, obwohl zeitaufwendiger als die Aktivierungsanalyse, zum Nachweis von Spurenelementen bestens geeignet ist, exaktes Arbeiten vorausgesetzt. Sie zeichnet sich aus durch gute Empfindlichkeit, welche durch entsprechende apparative Zusätze noch erhöht werden kann. Im Gegensatz zur Aktivierungsmethode kann der mittlere Fehler mit $\pm 3{,}5\%$ niedriger gehalten werden.

6. ERGEBNISSE

6.1. Allgemeines

Ziel der Untersuchung war u. a., aus dem Waschkonzentrat eines bekannten Volumens von abgelagertem Lockermaterial, dessen Goldgehalt zu ermitteln und die durchschnittliche Goldführung zu errechnen. Allfällige Verluste von Gold, durch den Waschprozess bedingt, müssen angenommen werden, die Grössenordnung ist jedoch unbekannt, und muss für eine erste Übersicht vernachlässigt werden.

Von 90 analysierten Proben erwiesen sich 13 als taub, d. h. ohne nachweisbaren Goldgehalt. In den verbleibenden 77 Proben dagegen fiel der Goldnachweis eindeutig positiv aus.

6.2. Verteilung des Goldes

Hier ist der Ort, um nicht nur zahlenmässige Ergebnisse zu diskutieren, sondern in den Rahmen der räumlichen Verhältnisse einzubeziehen. Wie zu

erwarten war, bestimmen sie das Bild der Karte (Fig. 11) weitgehend mit. Wenn wir uns die Geländeverhältnisse vergegenwärtigen, werden die dichte Punktebesetzung einerseits und die km-langen Leerstellen anderseits verständlich. Jeder Punkteschwarm entspricht einem ausgedehnten, terrassenähnlichen Geländeabschnitt, die Leerstellen entsprechen einem jähen Abfall des Fluss-

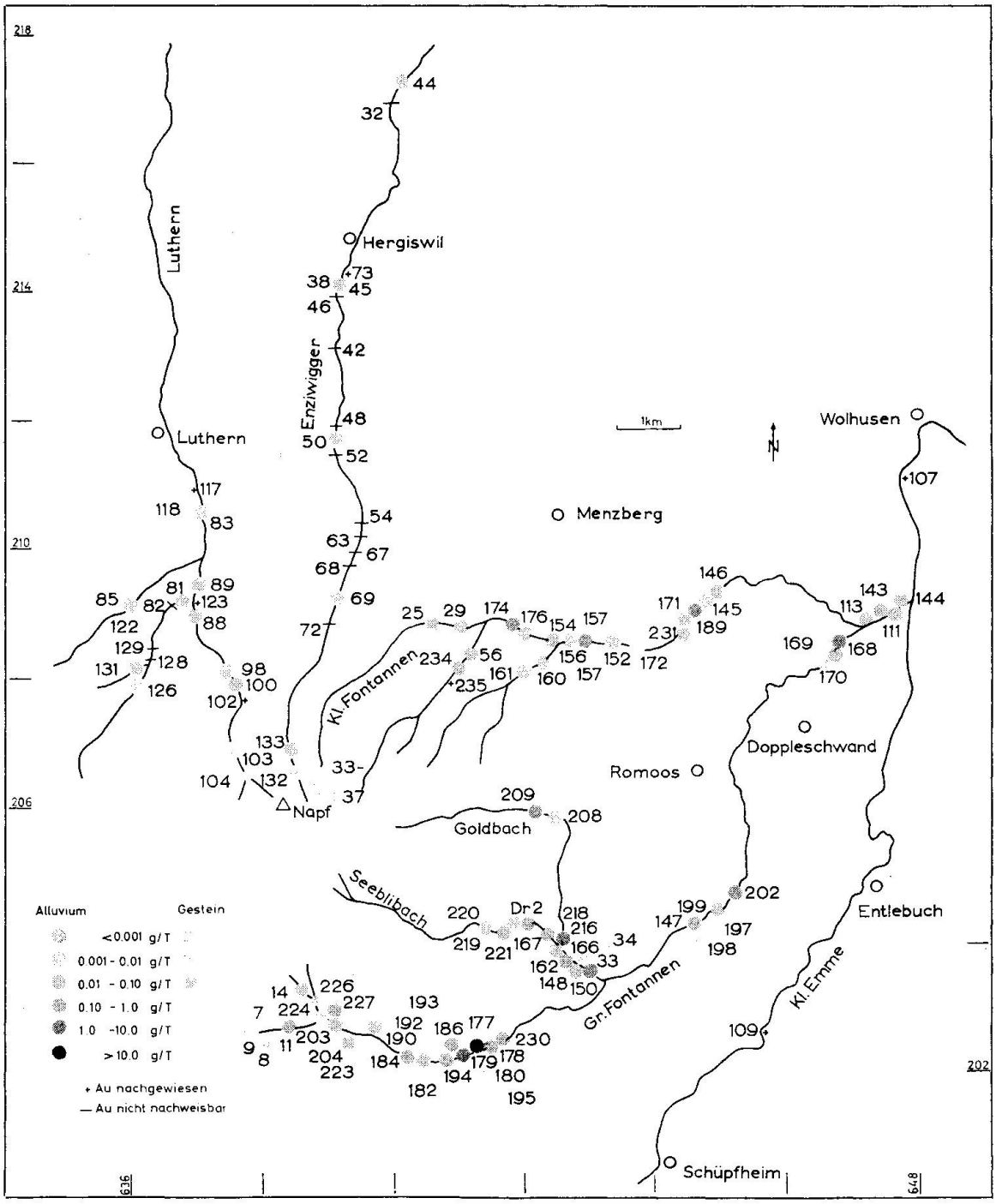


Fig. 11. Verteilung des Goldes im nordöstlichen Napfgebiet.

laufs in tiefe, canyonartige Schluchten, in denen eine Probenahme unmöglich war.

Die Konzentrationsschwankungen innerhalb einer Punkteschar sprechen für die inhomogene Verteilung des Goldes im Raum, und doch scheint der Goldanreicherung eine gewisse Gesetzmässigkeit zugrunde zu liegen.

Für die Flüsse mit Stufengefälle gilt, dass die höchsten Konzentrationen im Oberlauf sich finden, und zwar gegen das Terrassenende, kurz vor dem Steilabfall, dort nämlich, wo eine erste Sortierung (Sonderung nach spez. Gewicht) (s. SCHNEIDERHOEHN 1962) aber noch wenig Klassierung (Sonderung nach Korngrösse) stattgefunden hat, wo Sturzblöcke von Nagelfluh, Grobgeröll und Kies mit unbedeutendem Sandanteil das Bild beherrschen.

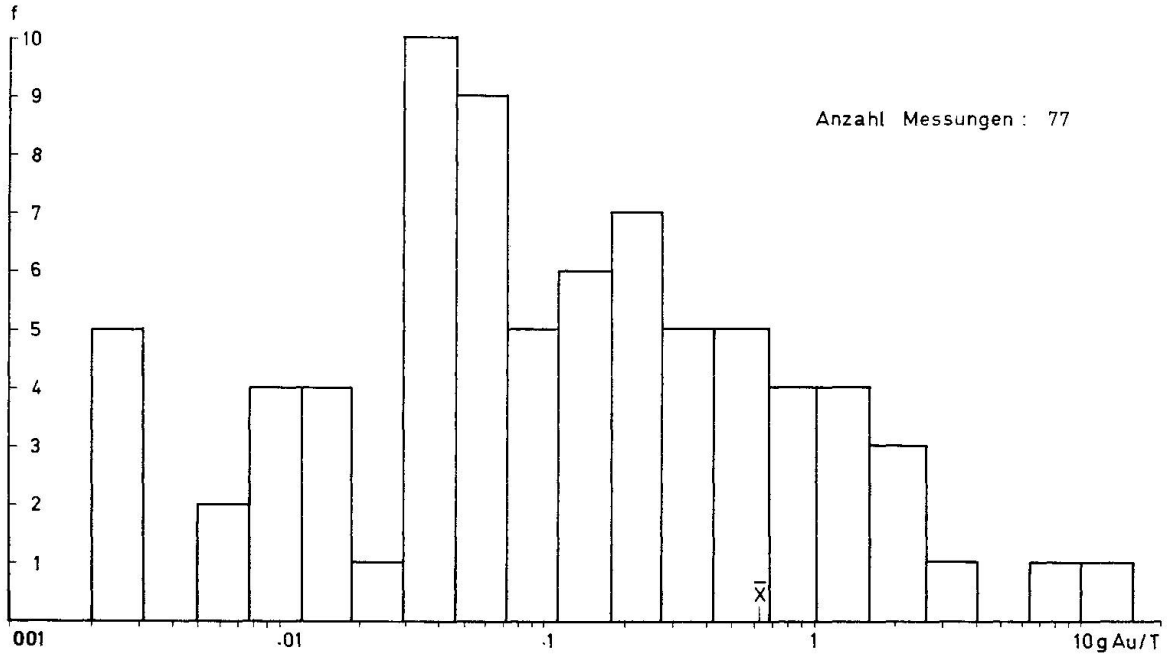


Fig. 12. Häufigkeit f der alluvialen Goldgehalte.

Die Goldkonzentrationen des alluvialen Materials (Geröll, Kies, Sand) bewegen sich zwischen 0,002–15,738 g/Tonne. In Ergänzung zur Karte gibt das Histogramm (Fig. 12) die Häufigkeitsverteilung des Goldes im ganzen bearbeiteten Gebiet wieder, wobei der Schwerpunkt sich auf den häufigsten Wert von rund 0,04 g/Tonne konzentriert. Der Zentralwert (Median), Q_2, beträgt 0,093 und wird aus Fig. 14 ersichtlich.

Die durchschnittliche Goldführung der Fluss-Sande wurde mit 0,628 g/Tonne errechnet, bei einer angenommenen Dichte des Materials von 2,2. Sofern die einmalig auftretenden extrem hohen Werte von 9,915 und 15,738 nicht einbezogen werden, verringert sich der Durchschnitt auf 0,449 g/Au/Tonne. Dieser Durchschnitt dürfte eher der Grundtendenz entsprechen.

Im weitern soll nun versucht werden, anhand von Fig. 13 die Gesamtheit

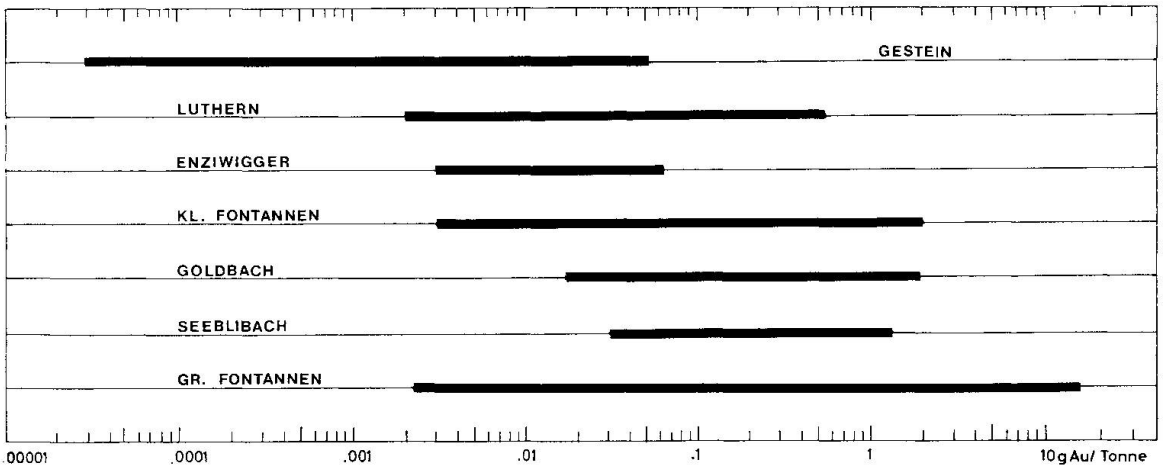


Fig. 13. Variation der alluvialen Goldgehalte verschiedener Flüsse.

zu differenzieren. Zunächst lassen sich goldreichere und goldärmere Flüsse unterscheiden. Die nordwärts gerichteten zeichnen sich aus durch geringere Goldkonzentrationen, welche dem durch Korrektionen beeinträchtigten Wasserlauf und infolgedessen beschränktem Materialtransport zuzuschreiben ist.

Die Minimalkonzentrationen gelten für Luthern und Enziwigger im Norden, wie für Gr. und Kl. Fontannen im Süden und Südosten. Goldbach und Seeblibach als markanteste Vertreter der kleinen Seitenbäche mit Querprofil fallen dagegen auf durch Minimalwerte, die um eine Grössenordnung höher liegen.

Anders sind die Verhältnisse für die maximalen Goldwerte. Die Höchstgehalte der Enziwigger von nur 0,06 g/Tonne bedürfen nach dem oben Dargelegten keines Kommentars mehr. Die Höchstkonzentrationen der übrigen Bäche halten sich ungefähr die Waage und werden einzig von der Gr. Fontannen übertroffen, welche in Übereinstimmung mit unsern Ergebnissen füglich als Sammelrinne des Goldes bezeichnet werden darf. Die natürlichen Voraussetzungen zur bevorzugten Ablagerung von detritischem Material, sind bei ihr am ursprünglichsten erhalten.

Da ein Flusslauf etwas stets sich Wandelndes ist, ergeben sich natürlich Konzentrationsverschiebungen innerhalb von Raum und Zeit, welche das Gesamtergebnis aber kaum wesentlich verändern, ist doch die Goldführung der alluvialen Sedimente nichts anderes als das Produkt der Anreicherung infolge Erosion des Muttergesteins.

Als letztes sollen die Goldkonzentrationen unabhängig von mechanischen Verteilungsgesetzen betrachtet werden.

Der Goldgehalt einer Seife ist vor allem gegeben:

a) durch die primäre Konzentration im Muttergestein;
b) durch die Zahl der Goldpartikel einer oder verschiedener Korngrössen;
c) durch zunehmende Partikelgrösse unabhängig von der Zahl;
d) durch abnehmende Partikelgrösse abhängig von der Zahl.

Das Spiel der Kombinationen kann beliebig erweitert werden.

Da in unsere Untersuchung granulometrische Gesichtspunkte nicht einbezogen wurden, soll die Goldkonzentration mit der Anzahl Goldpartikel $> 0{,}05$ mm verglichen werden, also mit der obersten beim Waschen noch erfassbaren Korngrösse. Die Frage stellt sich nach der stochastischen Abhängigkeit; ist sie signifikant oder zufällig? Um diese Abhängigkeit zu prüfen, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt.

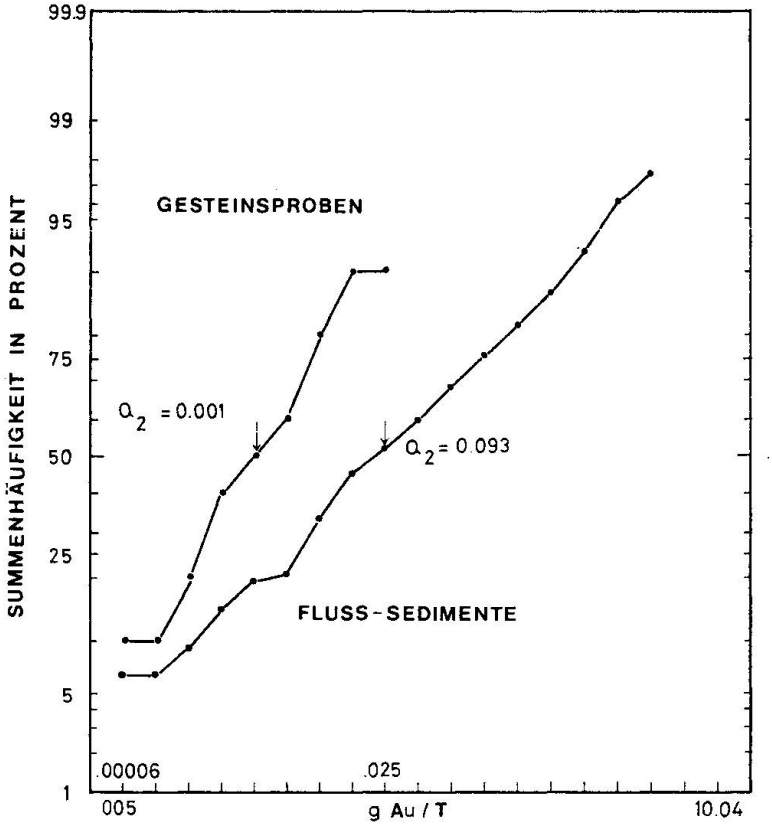


Fig. 14. Summenhäufigkeit der Goldgehalte von Fluss-Sedimenten und Gestein im Wahrscheinlichkeitsnetz mit Angabe des Zentralwertes Q_2.

An 38 Wertepaaren (Anzahl der Proben, welche Goldflitter nennenswerten Ausmasses enthielten) sollte die Beziehung Goldkonzentration-Partikelzahl geprüft werden, unter der Voraussetzung, dass die Grundgesamtheit normal verteilt sei. Diese war gegeben (s. Fig. 14).

Das Streudiagramm (Fig. 15) zeigt die wechselseitige Abhängigkeit von Goldgehalt und entsprechender Partikelzahl. Die errechnete Regressionsgerade lautet

$$y = 0{,}363\,x - 0{,}828$$

Die Prüfung mit dem t-Test ergibt, dass der Regressionskoeffizient $b = 0{,}363$ signifikant von Null verschieden ist bei einer Sicherheitsschwelle von $5^0/_{00}$,

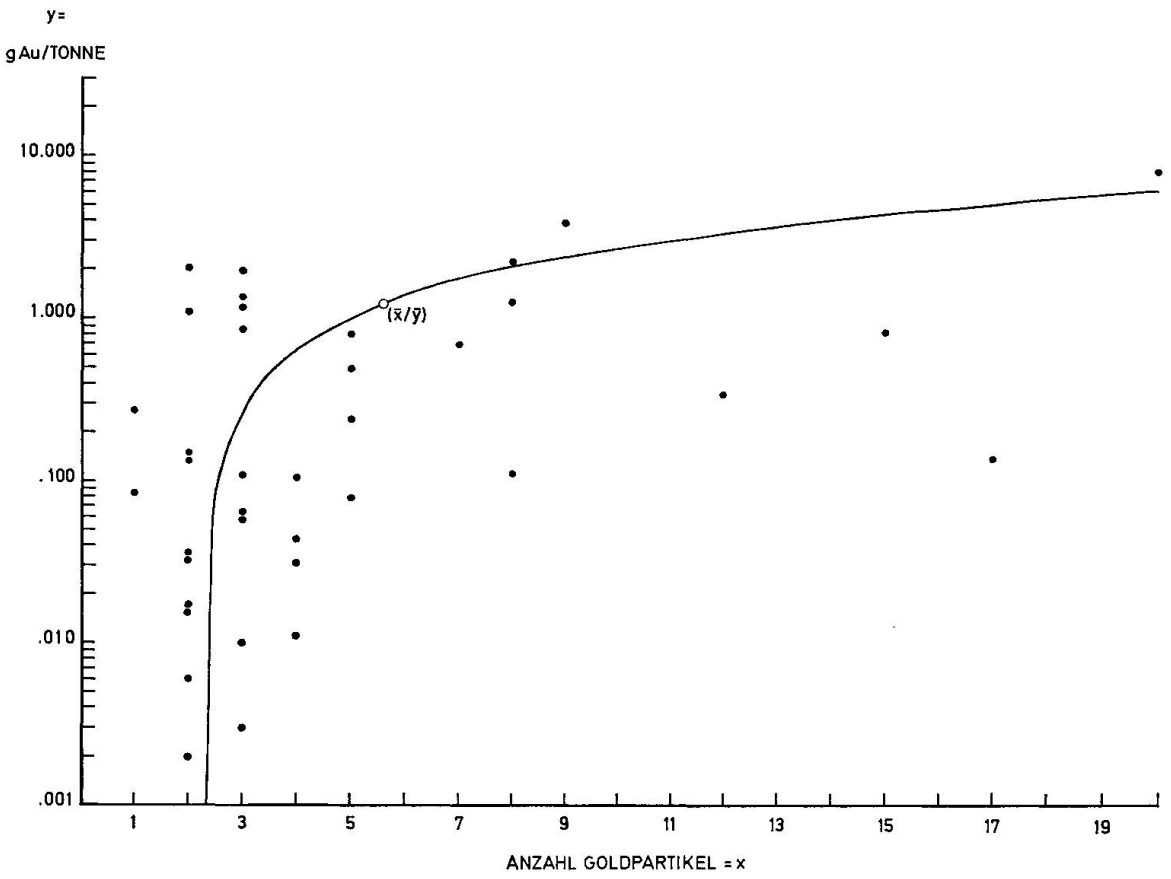


Fig. 15. Abhängigkeit der Goldgehalte von der Partikelzahl.

d. h. die lineare Regression ist gesichert. Die Varianz oder Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade beträgt

$$Sxy^2 = 3{,}840$$
$$s = \pm 1{,}959$$

Der Korrelationskoeffizient $r = 0{,}76$, der bei einer Sicherheitsschwelle von $5^0/_{00}$ signifikant ist, besagt folgendes: Je näher r bei 1 liegt, desto grösser ist die linear funktionale Abhängigkeit.

76% der Ereignisse lassen sich durch die Regression erklären, die restlichen liegen nicht mehr im Bereich der mathematischen Erfassbarkeit. Für sie sind andere Faktoren verantwortlich. Hiezu lässt sich folgendes denken:

Nicht die Partikelzahl, sondern die Partikelgrösse kann das Ergebnis bestimmen, entsprechend der Annahme von Boggs und Baldwin (1970). Im übrigen kann die Anwesenheit von Begleitelementen, namentlich von Silber, die Goldkonzentration merklich verringern.

Mehr noch muss der Entsilberung des Goldes auf seinem Transportweg Rechnung getragen werden, vermag sie doch den Goldgehalt, insbesondere kleiner Partikel zu erhöhen.

Letztlich darf das submikroskopische Gold, 0,05 mm, welches sich zwar den Zählmethoden entzieht, chemisch jedoch erfassbar ist, nicht ausser acht gelassen werden.

6.3. Das Gold im Molassegestein

Der Schritt von den rezenten Sedimenten zum Muttergestein als Träger des Goldes wird geradezu zwingend.

Seit STUDER (1825) und KAUFMANN (1872) werden immer wieder Quarzite, Gangquarze und exotische Gerölle der Nagelfluh als Träger des Goldes angeführt. HAEBERLE (1930) distanziert sich erstmals von den Geröllen und argumentiert treffend, dass eher die Sandsteinhorizonte einer nähern Untersuchung bedürfen.

In eine erste orientierende Untersuchung wurden folgende Gesteinstypen einbezogen: Sandstein (0,2–0,6 mm), sandige Nagelfluhmatrix und Mergel. Die Probelokalitäten sind aus der Karte Fig. 11 zu ersehen.

Dass die Goldgehalte im Gestein sehr stark streuen (s. Tab. 2), war zu

Tabelle 2. *Goldgehalte der Molasse-Sedimente*

Probe-Nr.	Au mg/Tonne	Gesteinstyp
31	0,2	
33	0,3	
34	0,4	Sandstein
35	0,3	
36	$<0{,}1$	
37	$<0{,}1$	
104	2,6	Sandstein
180	1,8	Nagelfluh-Matrix
192	0,5	Sandstein, siltig
193	0,2	Sandstein
195	3,5	Nagelfluh-Matrix
197	1,7	Nagelfluh-Matrix
204	52,6	Sandstein
218	6,9	Sandstein
223	2,9	Sandstein
SM 7	1,1	Sandstein
SM 8	11,1	Nagelfluh-Matrix
SM 19	0,6	Mergel
SM 33	7,4	Mergel
SM 34	5,6	Mergel

Durchschnittlicher Goldgehalt: 4,0 mg/Tonne
Standardabweichung s: $\pm 0{,}093$

Literaturwerte

Au in mg/Tonne	SHCHERBAKOV u. PEREZHOGIN 1964	DE GRAZIA u. HASKIN 1964	HORN u. ADAMS 1966	JONES 1969
Sandstein	3,1	14,4	4,57	7,5
Tonschiefer	2,6	6,0	3,45	3,9
Karbonate	2,2	3,0	1,79	3,9

erwarten. Dieser Tatbestand entspricht im übrigen der dispersen Verteilung des Goldes in den Flüssen.

Der durchschnittliche Goldgehalt von 0,4 mg/Tonne unterschreitet jenen der Alluvionen rund um einen Faktor 1000.

Auf Grund der beschränkten Probenzahl kann keine eindeutige Anreicherung in bevorzugten lithologischen Einheiten beobachtet werden, obwohl die Nagelfluhmatrix, welche sehr feinkörnig und zusammengebacken ist, am ehesten eine Tendenz zu erhöhten Goldgehalten zeigt. Auch über die Mergel, welche sowohl Feingoldteilchen wie kolloidales Gold zu adsorbieren vermögen (s. BEYSCHLAG und SCHRIEL, 1923) kann nichts Definitives ausgesagt werden.

Immerhin dürften die ersten Ergebnisse zu einer fortzusetzenden Untersuchung des Anstehenden ermutigen, sofern Korngrössenanalysen miteinbezogen würden. Eine Korrelation von Korngrösse und Goldgehalt ist auch hier wahrscheinlich. ANOSHIN et al. (1969) zeichnen sie folgendermassen: «In clastic sediments gold contents increase with decrease of grain size.» In feinkörnigen Sedimenten wäre demnach vermehrt mit Feingoldpartikeln zu rechnen, welche kaum durch mechanische Aufbereitungsprozesse sichergestellt werden können.

6.4. Wirtschaftliche Aspekte

Die Frage nach der Abbauwürdigkeit müsste sich jetzt stellen. Prognosen liegen jedoch nicht im Rahmen unserer Zielsetzung. Immerhin verfügen wir über Vergleichsmaterial aus verschiedenen Goldwaschgebieten Europas, welches uns erlaubt, einige grundsätzliche Probleme zu diskutieren.

Golderträge europäischer Waschgebiete

Rhein	1748–1874	366,0 kg
Donau-Inn	16.–17. Jh. (FREH, 1960)	220,0 kg
Pfalz	1827–1862 (ALBIEZ, 1951)	71,4 kg
Napfgebiet	1523–1800 (nur Kanton Luzern)	31,4 kg

Von wirtschaftlicher Bedeutung scheint nur das Gold von Donau und Rhein gewesen zu sein, welches die Erträgnisse der Pfalz um das 3- bzw. 5-fache übertrifft. Den drei erstgenannten Gebieten kommt zweifellos nicht nur ökonomische Bedeutung zu, denn es fällt auf, dass Goldgewinnung und Münzprägung im Umkreis der Zentren fürstlicher Kultur betrieben wurde. Das Napfgold nimmt in diesem Blickfeld eine kulturgeschichtlich bescheidene Stellung ein. Ausserdem liegen die Erträgnisse hier um das 7–10-fache hinter den dominierenden Goldgebieten.

Die nachstehende Tabelle wird das Bild eher zugunsten des Napfgoldes ändern.

Goldgehalte der Fluss-Schotter

Rheinaue bei Philippsburg (KIRCHHEIMER, 1965)	0,25 –0,450 g Au/Tonne
Rheinaue, Schürfgräben 1935–1943 (ALBIEZ, 1951)	0,005–0,024 g Au/m³
Niederterrassenschotter, Rhein (ALBIEZ, 1951)	0,002–0,004 g Au/m³
Aareschotter (MOESCH, 1867)	0,003 g Au/Tonne
Aare- und Reuss-Schotter (IMHOF, 1941)	0,04 –0,160 g Au/Tonne
Schotter des luzernischen Napfgebietes	0,449–0,628 g Au/Tonne

Ein Vergleich der vorliegenden Werte lässt die Goldgehalte des Napfgebiets jenen des Rheins mindestens ebenbürtig erscheinen, sogar dann wenn unsere Werte, welche auf der Materialdichte von 2,2 basieren, jenen von ALBIEZ (1951) angepasst werden, welcher mit einer Materialdichte von 1,8 gerechnet hat. (Für ausführliche Darlegung sei auf SCHMID, 1972, verwiesen.) Nach entsprechender Modifikation ergibt sich für die Napfschotter immer noch ein durchschnittlicher Goldgehalt von 0,37 g/Tonne.

Dennoch darf dieses Ergebnis nicht über die tatsächlichen lokalen Verhältnisse hinwegtäuschen, welche im Napfgebiet einzig in den Tälern der beiden Fontannen der Freilegung und Anreicherung von Gold einigermassen förderlich sind. Im Tal der Kl. Emme hingegen, wo die geländemässigen Voraussetzungen für eine Goldwäscherei grösseren Umfangs am ehesten erfüllt wären, hat sich der Goldanteil schon wesentlich verringert. Der Grund ist darin zu suchen, dass die Emme durch die notwendig gewordenen Verbauungen an Transportkraft eingebüsst hat. Einzig bei Hochwasser pflegt sie den ausgedehnten Schuttfächer der Fontannen tiefer anzureissen und das dort lagernde Gold talauswärts zu fördern.

Ähnlich dürften sich die Verhältnisse am Oberrhein präsentieren, denn auch dort wird die ausreichende Zulieferung von Gold zum Problem werden.

Es wäre ein Fehlschluss zu glauben, bei grösserem Arbeitseinsatz wäre aus dem Napfgebiet mehr zu holen. Der Durchschnitt von 0,45 g Au/Tonne ist trügerisch. Man vergegenwärtige sich die inhomogene Verteilung des Goldes in den Sedimenten. Ausserdem liegen wir mit unserem Durchschnitt knapp an der Abbaugrenze für goldhaltiges Lockermaterial, welche von LEUBE,1967 (in BENTZ und MARTINI, 1968) auf 1,0–0,5 g/Tonne veranschlagt wird. Der Autor setzt überdies hinzu: «Wenn genügend grosse Flächen den Einsatz von Schlammbaggern ermöglichen, kann sich der Abbau bis 0,2 g Au/Tonne noch lohnend gestalten.» Dies letztere dürfte für die Verhältnisse am Rhein gegebenenfalls zutreffen. Auf die Verhältnisse am Napf übertragen heisst dies, es fehlen die wichtigsten Voraussetzungen für einen rentablen Goldabbau, die da sind:

— Alluvionen ausreichender Mächtigkeit;
— die geforderten Flächen riesigen Ausmasses;

— der kontinuierliche Nachschub von Lockermaterial infolge inkonstanter Wasserführung.
— Ausserdem stellt sich die relative Unwegsamkeit des Geländes einem technischen Abbau hindernd entgegen.

Schon KAUFMANN (1827), mit dem Gebiet bestens vertraut, hat sich skeptisch zu einer möglichen Goldgewinnung geäussert: «Was das Geschäft schwierig und unergiebig macht, ist also wohl mehr die Unbeständigkeit des Materials als der geringe Gehalt an Gold.»

Nach unsern Erfahrungen müssen wir KAUFMANN zustimmen. Eine wirtschaftlich vertretbare Goldgewinnung wäre nur denkbar, wenn sie als Nebenbetrieb eines Kieswerks, welches kostentragend wäre, betrieben werden könnte. Diese Voraussetzung ist wiederum nicht erfüllt, wenn wir von der Kl. Emme absehen.

Erst recht lassen die soweit ermittelten Goldgehalte im Anstehenden mit 0,004 g/Tonne die Frage nach der Bauwürdigkeit nicht aufkommen, bedingen doch die Lagerstätten im Festgestein eine Konzentration von 7–10 g Au/Tonne (LEUBE, 1967). Dass unter diesen ungünstigen Umständen der lohnende Einsatz von Kapital, technischen Einrichtungen und Arbeitskraft ernsthaft bezweifelt werden muss, dürfte klar geworden sein. Ein rentabler Goldabbau kann aus heutiger Sicht nicht garantiert werden.

Es erscheint mir wenig sinnvoll, sich den Folgerungen von ALBIEZ, dessen Untersuchungen sich immerhin über 8 Jahre erstreckten, zu widersetzen. Er endet 1951 mit einem Nachruf auf das Rheingold, und ich bin geneigt, mich seinen Worten anzuschliessen:

«Nach dem jetzigen Stand der Technik gibt es kein Mittel zu einer nutzbringenden Gewinnung des Goldes.»

Mein besonderer Dank richtet sich in erster Linie an meinen Lehrer, Prof. Dr. Th. Hügi, auf dessen Anregung diese Arbeit entstanden ist, für seine stete Anteilnahme und anregende Diskussionen.

Ferner danke ich sehr verbindlich den Herren PD Dr. R. Giovanoli und Mitarbeitern (für elektronenmikroskopische Aufnahmen), dem Laboratorium für Mikroröntgenspektroskopie, insbesondere den Herren H. Rudolf und H. Walter (für Mikrosondenanalysen), Dr. L. Rybach, Zürich, und Dr. A. Wyttenbach, EIR (Neutronenaktivierungsanalysen).

Nicht zuletzt gedenke ich meiner Freunde, Maria Bucher und Max Camenzind, deren stets offenes Haus und Ratschläge mathematischer Art unvergessen bleiben, sowie Herrn J. Zihlmann, Gettnau, dessen lokalhistorische Hinweise mir vieles erleichtert haben.

Der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, namentlich deren Präsidenten, Prof. Dr. F. de Quervain, und dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung sowie dem Erziehungsdepartement des Kantons Luzern sei abschliessend für die Gewährung von Beiträgen an dieses Projekt gedankt.

LITERATURVERZEICHNIS

Abkürzungen: SMPM = Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitteilungen
TMPM = Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitteilungen
US G.S.P.P. = US Geol. Survey Prof. Paper
Eclogae = Eclogae Geologicae Helvetiae

AGRICOLA, G. (1557): De Re metallica. Vom Berg- und Hüttenwesen. Basel, Frobenius.

Akten des Bureaus für Bergbau. Der schweizerische Bergbau während des Zweiten Weltkrieges. Vervielf. Manuskript.

ALBIEZ, G. (1951): Neue Untersuchungen über das Vorkommen von Rheingold. Ber. natf. Ges. Freiburg *41*.

ALTHAUS, E. (1966): Die Atomabsorptions-Spektralphotometrie, ein neues Verfahren zur Mineralanalyse. N. Jb. Min. Mh. *9*, 259–280.

ANOSHIN, G. N., YEMEL'YANOV, E. M. and PEREZHOGIN, G. A. (1969): Gold in the modern sediments of the northern part of the atlantic basin. Geochem. Internat. *6*, 879–905.

BEAMISH, F. E. (1961): A critical review of colorimetric and spectrographic methods for gold. Anal. Chem. *33*, 1059–1066.

BEAMISH, F. E., CHUNG K. S. and CHOW A. (1967): A critical review of neutron activation and tracer methods for the determination of noble metals. Talanta *14*, 1–32.

BENTZ und MARTINI (1968): Lehrbuch der angewandten Geologie. Bd. II. Teil 1, Enke, Stuttgart.

BEYSCHLAG, F. und SCHRIEL, W. (1923): Das Gold der Eder. Arch. f. Lagerstättenforschung *32*.

BOGGS, S., JR. and BALDWIN, E. M. (1970): Distribution of placer gold in the Sixes River, South-west Oregon. – A preliminary report. Bull. US. Geol. Surv. *1312*-I.

BURRI, C. (1931): Schwere Mineralien und Goldsande des Napfgebiets. SMPM *11*, 416–417.

CYSAT, J. L. (1661): Beschreibung des berühmten Lucerner- oder Waldstättersees, Luzern.

DESBOROUGH, G. A. (1970): Silver depletion indicated by microanalysis of gold from placer occurrences, West U.S.A. Econ. Geol. *65*, 304–311.

DESBOROUGH, G. A., WILLIAM RAYMOND and JAGMIN, P. J. (1970): Distribution of silver and copper in placer gold derived from the Northeastern part of the Colorado Mineral Belt. Econ. Geol. *65*, 937–944.

FISCHER, R. R. and FISHER, F. S. (1968): Interpreting pan-concentrate analysis of stream sediments in geochemical exploration for gold. US. Geol. Survey Circ. *592*.

FREH, W. (1950): Oberösterreichs Flussgold. Oberösterr. Heimatblätter *4*.

FRÖHLICHER, H. (1933): Geologische Beschreibung der Gegend von Escholzmatt im Entlebuch. Beitr. geol. Karte Schweiz. N.F. *67*.

FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. Eclogae *57*/1, 157–298.

GASSER, U. (1968): Die innere Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern): Geologie und Sedimentologie. Eclogae *61*, 229–319.

GOLDBERG, E. D. and BROWN, H. (1950): Radiometric determination of gold and rhenium. Analyt. Chem. *22*, 308–324.

GOLDSCHMIDT, V. M. (1954): Geochemistry. Oxford Press, London.

GRAZIA, A. R. DE and HASKIN, L. (1964): On the Gold contents of rocks. Geochim. Cosmochim *28*, 559–564.

HAEBERLE, D. (1930): Das Rheingold, seine Herkunft, Gewinnung und Verwendung. Mitt. Arb. geol. Inst. Univ. Heidelberg, N.F. *192*, 1–19.

HARTMANN, A. (1963): Bericht über die Untersuchung einiger Goldproben aus der naturgeschichtlichen Sammlung des Museums zu Bern. (Unveröffentl.)

HITE, T. H. (1933): Special features of fine gold from Snake River Idaho. Econ. Geol. *28*, 686–691.

HOFMANN, F. (1965): Untersuchungen über den Goldgehalt der Oberen Marinen Molasse und des Stubensandsteins in der Gegend von Schaffhausen. SMPM *45*, 131–137.

HUTTENLOCHER, H. und HÜGI, TH. (1954): Über den Goldfund im Gotthardtunnel vom Jahre 1873. SMPM *34*, 505–513.

IMHOF, O. M. (1941): Das Seifengoldvorkommen des Napfgebiets und dessen Abbaumöglichkeit. Akten des Bureaus für Bergbau. (Unveröffentl.)

— (1941): Über das Seifengoldvorkommen im Molassegebiet der Kantone Bern und Luzern. Ebenda.

JONES, R. S. (1969): Gold in igneous, sedimentary and metamorphic rocks. US. Geol. Surv. Circ. *610*.

JONES, R. S. and FLEISCHER, M. (1969): Gold in minerals and the composition of native gold. US. Geol. Surv. Circ. *612*.

KAUFMANN, F. J. (1872): Rigi und Molassegebiet der Mittelschweiz geologisch aufgenommen und beschrieben. Beitr. geol. Karte Schweiz *11*.

KIRCHHEIMER, F. (1965): Über das Rheingold. Jh. geol. Landesamtes Baden-Württemberg *7*, 55–83.

KÜNDIG, E. und DE QUERVAIN, F. (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. II. Ausgabe.

LAKIN, H. V. and NAKAGAWA, H. M. (1965): A spectrophotometric method for the determination of traces of gold in geologic materials. US. G.S.P.P. *525*-C, 168–171.

LANGE, P. W. DE, DE WET, W. J., TURKSTRA, J. and VENTER, J. H. (1968): Nondestructive neutron activation analysis of small samples of Witwatersrand ore for gold. Anal. Chem. *40*, 2, 451–454.

LENIHAN, J. M. A. and THOMSON, S. J. (1965): Activation analysis. London.

LIECHTI, W. (1928): Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis. Diss. Bern.

— (1933): Bericht über die Goldwaschversuche im Krümpelgraben bei Trubschachen. Manuskript z. H. Forstdirektion des Kantons Bern.

LINDGREN, W. (1933): Mineral deposits. McGraw-Hill.

MARSAL, D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschafter. Schweizerbarth.

MATTER, A. (1964): Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet (Entlebuch, Tal der Grossen Fontanne, Kanton Luzern). Eclogae *57/2*, 316–429.

MERTIE, J. B. (1954): The gold pan, a neglected geological tool. Econ. Geol. *49*, 6.

MOESCH, C. (1867): Der Aargauer Jura und die nördlichen Gebiete des Kantons Zürich geologisch untersucht und beschrieben. Beitr. geol. Karte Schweiz *4*.

MUELLER, G. (1964): Methoden der Sedimentuntersuchung. Teil I., Schweizerbarth, Stuttgart.

NATRELLA, L. (1963): Experimental Statistics. Nat. Bureau Standards, Handbook *91*, Washington.

RINGWOOD, A. E. (1955): The principles governing trace element distribution during magmatic crystallisation. Geochim. Cosmochim. Acta *7*, 186–202.

RUTSCH, R. F. (1941): Rapport über die Untersuchung von Goldseifen im Tal der Enziwigger, LU. Akten des Bureaus f. Bergbau. (Unveröff.)

SCHLESER, F. H. (1965): Atomabsorptions-Spektralphotometrie. Z. Instrumentenkunde *73*, 1–9.

SCHMEISER, K. (1963): Radionuklide. Springer, Berlin.

Schmid, K. (1971): Das Goldvorkommen im Napfgebiet. Schweiz. Strahler *8*, 284–292.
— (1972): Mineralogische Untersuchungen an goldführenden Sedimenten des NE-Napfgebiets. Diss. Uni Bern, unpubliziert.
Schmidt, C. (1917): Erläuterungen z. Karte d. Fundorte der mineralischen Rohstoffe in der Schweiz. Beitr. geol. Karte Schweiz.
Schneiderhöhn, H. (1962): Erzlagerstätten, Kurzvorlesungen, 4. Aufl., Jena.
Shcherbakov, Yu. G. and Perezhogin, G. A. (1964): On the geochemistry of gold. Geochem. Internat. *6*.
Studer, B. (1825): Monographie der Molasse. Bern.
— (1853): Geologie der Schweiz. Bd. II.
Thompson, C. E., Nakagawa, H. M. and van Sickle, G. H. (1968): Rapid analysis for gold in geologic materials. US. G.S.P.P. *600*-B, 130.
Tindall, F. M. (1965): Silver and gold assay by atomic absorption spectro-photometry. Atomic Absorption Newsletter, *4*/9.
Tourtelot, H. A. (1968): Hydraulic equivalence of grains of quartz and heavier minerals, and implications for placer studies. US. G.S.P.P. *594*-F.
Vincent, E. A. and Smales, A. A. (1956): The determination of palladium and gold in igneous rocks by radio-activation analysis. Geochim. Cosmochim. Acta *9*, 154–160.
Vincent, E. A. and Crocket, J. H. (1960): Studies in the geochemistry of gold I+II. Geochim. Cosmochim. Acta *60*, 130–142, 143–148.
Warren, H. V. and Thompson, R. M. (1964): Minor elements in gold. Econ. Geol. *1944*, 457ff.
Zeschke, G. (1964): Prospektion und Beurteilung von Lagerstätten. Springer.

Geologische Karten:

Geol. Generalkarte der Schweiz 1 : 200 000, Blatt 2 Basel-Bern, 1942.
Geotechnische Karte der Schweiz 1 : 200 000, Blatt Neuchâtel-Bern-Basel, 1964.

Manuskript eingegangen am 15. Januar 1973.