

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.	65	S. 97 – 118	8 Abb.	Freiburg, 1975
-----------------------------------	----	-------------	--------	----------------

Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tektonischen Störungszonen im Grundgebirge des Schwarzwaldes

I. Ruschelzonen in Gneisen und Anatexiten

von

**Maria Teresa Garcia-Gonzalez und Wolfhard Wimmenauer
(Freiburg i. Br.)**

mit 8 Abbildungen

Z u s a m m e n f a s s u n g

In Gneisen und Anatexiten des Schwarzwaldes treten verbreitet Ruschelzonen mit grauen bis roten Kluffletten auf. Die Fraktionen $< 10 \mu\text{m}$ dieser Letten wurden geochemisch und auf ihren Mineralbestand untersucht und mit ihrem Nebengestein verglichen. Die roten Kluffletten unterscheiden sich von den grauen durch den höheren Oxydationsgrad des Eisens (als Hämatit) und durch geringere Gehalte an CaO und MgO. Die Veränderungen wurden vermutlich durch oxydierende, evtl. CO₂-haltige deszendente Wässer bewirkt. Sehr oft besteht ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen roter Ruschelzonen mit roten, anscheinend fossilen Böden. Hämatitisierung durch aszendente hydrothermale Lösungen ist in den hier untersuchten Fällen weniger wahrscheinlich.

A b s t r a c t :

Shear zones with grey to red fault gouges are frequent in the gneisses and anatexitites of the Black Forest (Germany). The fractions $< 10 \mu\text{m}$ of those gouges were studied mineralogically and geochemically and compared with their country rocks. The red fault gouges are distinguished from the grey

Anschriften der Verfasser:

Dr. M. T. GARCIA-GONZALEZ, Instituto de Edafologia (C.S.I.C.), Serrano 115 **dup**, MADRID-6.

Prof. Dr. W. WIMMENAUER, Mineralogisches Institut der Universität, Hebelstraße 40, D 78 Freiburg i. Br.

ones by a higher degree of oxidation of Fe and lesser contents of Mg and Ca. It is assumed, that these changes were brought about by oxidizing, CO₂-bearing waters of meteoric origin. A connection of the occurrence of red fault gouges with fossil red soils is often observed. Hydrothermal hematitization is less likely in the cases considered.

1. Einleitung

Tektonische Störungszonen mit intensiver Gesteinsumwandlung sind in den Gneisen und Anatexiten des Schwarzwaldes sehr verbreitet. Viele von ihnen wurden im Jungpaläozoikum oder im Tertiär hydrothermal mineralisiert und sind so Orte besonderer geochemischer Anomalien. In der vorliegenden Arbeit werden diese „Störungszonen“ nicht behandelt; sie sind tektonisch und auf ihren Mineralinhalt hin häufig untersucht und beschrieben worden (z. B. METZ, RICHTER & SCHÜRENBERG 1957, ZEINO 1968). Vielmehr werden hier solche Störungszonen betrachtet, an denen eine hydrothermale Mineralisation nicht unmittelbar erkennbar ist. — In erster Näherung lassen sich nach der Art der Gesteinsumwandlung vier Formen tektonischer Störungszonen in den Gneisen unterscheiden:

- a) Chloritisierungszonen
- b) Episyenite
- c) Mylonite
- d) Ruschelzonen

Während die unter a) bis c) genannten Umwandlungsformen das betroffene Gestein in der Hauptsache noch fest lassen, sind die Ruschelzonen durch eine sehr starke Zerklüftung und Zerschering gekennzeichnet. Die Zerstörung des Gesteins kulminiert in der Bildung von weichen, meist tonhaltigen „Kluftletten“ entlang den Flächen der stärksten Durchbewegung. Diese „Lettenklüfte“ sind meist nur einige cm, seltener wenige dm breit. Sie enthalten eine aus Gesteins- und Mineralfragmenten sowie Neubildungen (vorwiegend Schichtgitterminerale) bestehende Füllung von grauer, roter, seltener weißer oder rostbrauner Farbe. Das unmittelbare Nebengestein trägt oft deutliche Rutschharnische, die manchmal durch feinverteilten Graphit schwarz gefärbt sind. Außerhalb dieser Zonen stärkster Beanspruchung ist das Gestein oft über mehrere Zehner oder gar Hunderte von Metern stark zerklüftet und zersetzt. Häufig sind nicht nur die Kluftletten rot, sondern auch die Klüfte der weiteren Umgebung sind mit roten tonig-hämatitischen Substanzen belegt.

Infolge ihrer Wasserführung sind die Kluft- und Ruschelzonen bevorzugte Orte von Quellaustritten. Da sie der Erosion wenig Widerstand bieten, ist die Talbildung im Gebirge sehr weitgehend von ihnen bestimmt. Auf diese Verhältnisse hat erstmals DEECKE (1933) nachdrücklich hingewiesen.

Der Verlauf vieler kleinerer und auch größerer Täler, z. B. des Höllentals, folgt solchen Zerrüttungszonen. Wo mehrere benachbarte Ruschelzonen an steilen Erosionshängen ausstreichen oder sich kreuzen, kommt es zur Bildung turm- oder bastionartiger Felsen aus festem Gestein, zwischen denen das verruschelte Material ausgeräumt ist (z. B. Hirschsprungfelsen im Höllental und Stapfelefelsen am Schauinsland). In künstlichen Aufschlüssen wird die Koinzidenz der Rinnen zwischen solchen Felsen und überhaupt von Erosionsrinnen mit Ruschelzonen oft sichtbar. Die Kluffletten sind gewöhnlich nur kurze Zeit sichtbar, da sie zumindest nahe der Oberfläche bald ausgewaschen werden.

Größere Aufschlüsse in stark zerklüftetem und teilweise völlig verruscheltem Gneis bieten zur Zeit die Steinbrüche der Firma Reidel im Gropptal nördlich Villingen und der Firma Bader nahe dem Bahnhof Bärenthal. Auch die Baustellen an der Höllentalstraße oberhalb Höllsteig (1969—1974) und oberhalb des Staubeckens Wehr sind hier zu nennen. In zahlreichen Stollen und Strecken der schwarzwälder Bergwerke waren Kluff- und Ruschelzonen in großer Ausdehnung erschlossen. Der zwischen 1938 und 1946 erbaute 6,5 km lange tiefe Kappeler Stollen des Erzbergwerkes Schauinsland durchfuhr unter jedem der ihn an der Oberfläche überquerenden Täler eine solche Zone, die jeweils ausbetoniert werden mußte. Kernbohrungen in beliebigen Gesteinen des Schwarzwaldes fördern immer hohe Anteile an zerklüftetem und zersetztem Material zutage, auch aus Tiefe von mehreren hundert Metern unter Tage.

Nach allen diesen Befunden sollte die Bedeutung der Kluff- und Ruschelzonen für die reale mineralogische und geochemische Beschaffenheit des flacheren Untergrundes nicht unterschätzt werden, zumal sie dank ihrer überall nachzuweisenden Wasserführung bevorzugte Schauplätze der Wechselwirkung zwischen Gestein und Gewässern sein dürften.

2. Petrographie der Kluffletten

(siehe auch Probenliste S. 116)

Die hier untersuchten Kluffletten stammen vorwiegend von künstlichen Aufschlüssen in der Gneis- und Anatexitmasse des Hoch- und mittleren Schwarzwaldes. Je nach den sich bietenden Verhältnissen wurden einige Kilogramm des am stärksten umgewandelt erscheinenden Materials aus den Ruschelzonen entnommen, wobei jeweils Gesteinsbruchstücke in nicht dosierbarer Menge mit in die Probe gelangten. Um vergleichbare Verhältnisse zu erzielen, wurden von diesen Rohproben die Fraktionen $< 10 \mu\text{m}$ abgetrennt und als eigentliche „Kluffletten“ weiter analysiert. Die gröberen Fraktionen wurden nur in einzelnen Fällen untersucht; sie enthalten mit zunehmender Korngröße immer mehr Minerale des Ausgangsgesteins (Quarz, Feldspäte,

Tabelle 1: Analysenergebnisse.
Konzentrationsangaben der Oxide und des Glühverlustes (GV) in Gewichtsprozent,
der Nebenelemente in ppm. Gesamtisen als Fe_2O_3 .

Probe Nr.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cu	Co	Zn	Ba	GV
1	42.43	1.17	24.26	10.84	0.09	0.59	0.79	2.31	5.28	18480	60	216	448	8.22
2	58.60	1.11	18.32	8.38	0.09	3.30	0.71	1.73	4.11	664	58	102	675	3.30
3	28.27	0.36	17.12	34.87	0.05	3.09	1.30	0.62	1.74	530	52	217	2038	10.70
4	66.61	0.91	15.16	6.32	0.04	2.16	0.59	1.63	3.26	34	41	101	580	3.17
5	47.62	1.09	23.00	8.32	0.19	5.60	0.82	0.69	4.73	40	81	189	613	7.82
6	66.31	0.71	14.66	5.48	0.07	2.85	0.45	2.81	2.67	14	53	101	483	3.98
7	46.41	0.29	27.59	7.94	0.15	1.33	0.34	1.13	4.00	38	72	60	273	8.90
8	73.36	0.27	15.05	2.37	0.02	0.74	0.92	3.14	2.78	9	32	55	440	1.99
9	44.42	1.14	25.02	8.92	0.09	5.00	0.79	0.65	5.60	29	52	166	68	7.14
10	62.91	0.79	16.53	7.00	0.09	2.91	0.52	2.68	3.19	23	51	78	613	3.13
11	46.62	0.30	27.05	7.49	0.16	1.78	0.26	0.71	6.08	40	52	69	535	8.68
12	72.15	0.24	15.25	1.98	0.08	0.52	0.36	4.70	3.35	9	34	33	415	1.38
13	45.17	0.78	24.07	10.49	0.18	0.88	0.55	0.11	3.84	875	72	162	775	8.94
14	68.40	0.70	15.25	4.98	0.05	2.02	0.68	1.93	2.98	30	48	82	623	2.71
15	45.65	0.77	24.35	7.44	0.01	2.19	0.30	0.40	4.02	33	67	100	448	10.02
16	49.31	0.42	22.25	8.60	0.10	3.74	1.03	2.39	4.48	19	58	206	173	7.68
17	67.55	0.46	15.49	4.06	0.08	1.77	1.49	4.60	1.98	7	41	91	373	2.21
18	24.28	0.30	11.46	35.13	0.51	2.06	4.07	1.30	1.98	34	71	318	213	18.78
19	67.43	0.21	13.24	2.26	0.05	5.48	0.17	4.47	4.89	5	41	15	600	1.54
20	68.10	0.69	15.33	5.06	0.05	2.39	0.51	2.20	2.50	30	53	220	613	3.14
21	58.82	0.97	18.93	8.28	0.10	3.17	2.55	1.12	5.53	56	46	110	1313	0.72
22	60.32	0.87	17.25	7.95	0.09	2.88	0.83	2.10	4.02	80	39	136	713	3.83
23	48.16	1.30	17.86	11.88	0.16	6.35	7.72	2.47	0.93	62	68	98	340	2.57
24	50.05	0.91	22.38	9.38	0.08	3.98	1.11	0.31	4.76	15	81	120	340	7.04
25	59.79	0.60	14.62	4.63	0.11	2.13	6.61	4.17	1.39	70	37	82	255	5.92
26	41.12	0.91	17.49	26.30	0.10	3.66	1.39	2.17	3.02	13	37	197	198	4.70
27	52.54	1.43	19.42	9.80	0.17	4.07	6.54	3.69	1.09	37	34	174	205	1.86
28	58.47	0.76	15.92	6.80	0.08	2.52	3.69	5.80	1.77	16	27	122	225	4.36
29	49.01	0.59	21.19	8.82	0.08	5.88	1.32	0.83	4.99	13	37	129	240	7.65
30	68.81	0.39	15.59	3.44	0.06	1.29	1.68	5.10	1.99	9	22	80	383	1.64
31	39.12	0.76	24.82	14.40	0.35	3.25	0.49	0.59	3.76	178	77	262	730	12.60
32	50.61	0.33	25.33	6.61	0.17	2.32	0.66	1.36	6.00	420	63	174	248	6.77
33	66.06	0.60	15.72	5.06	0.10	2.11	2.71	3.84	1.96	15	27	190	323	1.75

MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN STÖRUNGSZONEN

101

Tabelle 1 Fortsetzung.

Probe Nr.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cu	Co	Zn	Ba	GV
34	44.87	1.23	21.85	16.78	0.35	1.74	0.75	0.50	5.39	51	53	167	1363	7.32
35	68.54	0.50	14.87	4.68	0.07	1.54	2.09	3.77	2.68	20	19	118	483	1.32
36	36.34	0.69	9.06	10.12	0.26	12.84	13.84	0.50	1.15	8	53	497	553	15.66
37	59.02	0.63	16.57	6.09	0.13	3.73	3.86	3.91	3.45	39	27	340	1400	2.51
38	45.05	0.64	21.66	10.77	0.05	3.29	0.28	0.65	5.17	21	30	96	255	12.15
39	76.13	0.54	11.42	3.28	0.06	1.35	1.54	2.37	1.31	11	19	71	155	2.14
40	85.17	0.36	6.20	2.06	0.03	0.91	0.33	1.04	2.32	13	13	104	675	1.42
41	53.82	0.40	20.85	11.96	0.04	1.70	0.61	0.39	6.09	27	30	73	280	4.97
42	66.14	0.52	16.25	4.73	0.07	1.80	2.32	4.26	2.18	8	26	90	405	1.57
43	75.79	0.09	13.73	0.85	0.06	0.18	0.64	4.47	2.52	10	18	36	213	1.16
44	51.07	1.16	20.83	8.08	0.08	3.53	2.21	0.46	4.84	15	53	118	475	7.83
45	63.24	0.74	15.41	5.76	0.04	2.11	2.57	2.32	2.95	9	22	78	500	4.43
46	36.00	0.75	15.87	14.72	0.18	19.82	1.65	0.22	0.26	90	90	174	165	10.81
47	66.57	0.24	16.29	1.83	0.05	1.35	1.27	4.49	6.17	10	30	55	2250	1.71
48	40.20	1.17	20.02	15.14	0.21	10.56	1.23	0.41	2.29	56	86	356	280	9.40
49	62.42	0.91	16.20	7.36	0.11	3.05	2.12	3.48	1.80	35	37	126	1025	2.64
50	51.81	0.58	9.69	6.89	0.12	12.39	6.39	0.85	0.82	27	48	80	350	10.14
51	65.28	0.74	16.07	5.48	0.08	3.28	0.50	2.94	2.69	17	46	120	513	3.23
52	51.50	0.92	24.46	5.98	0.07	3.42	0.67	0.12	5.28	45	46	162	313	7.58
53	66.86	0.70	14.46	5.99	0.07	2.71	0.80	2.11	2.99	17	33	148	713	3.38
54	69.87	0.71	13.73	4.85	0.06	2.11	0.90	2.91	2.82	50	28	100	850	2.37
55	46.56	1.09	21.37	9.12	0.06	2.42	0.31	1.00	2.01	57	46	150	288	16.19
56	79.89	0.43	9.28	3.45	0.06	1.09	0.16	0.66	2.33	22	16	128	625	2.62
57	60.29	0.19	18.38	6.30	1.88	1.32	0.23	0.44	5.40	19	33	134	588	5.56
58	72.68	0.20	14.10	2.05	0.04	0.40	0.50	3.62	4.89	8	23	36	800	1.29
59	41.34	1.08	23.47	12.66	0.10	2.80	0.27	0.56	3.19	45	69	200	525	14.34
60	63.30	0.79	16.82	6.87	0.05	2.77	0.33	1.78	3.81	12	61	110	538	3.14
61	42.70	0.72	28.22	8.38	0.08	3.22	0.28	0.70	2.70	52	71	134	413	13.80
62	41.71	0.63	25.56	15.51	0.21	2.72	0.21	0.98	3.02	31	92	172	575	8.35
63	61.88	1.04	18.02	7.35	0.04	2.72	0.21	0.32	5.87	11	48	110	725	3.93
64	62.80	0.93	16.49	7.27	0.10	3.07	1.41	3.17	2.44	9	27	100	488	2.56
65	48.83	0.61	22.04	11.93	0.10	3.36	1.12	3.78	3.85	37	51	234	288	7.68
66	72.05	0.66	12.73	4.48	0.07	1.77	1.46	3.18	2.24	12	28	94	463	1.19
67	52.24	0.30	23.62	5.46	0.07	3.05	1.09	0.21	7.41	11	56	58	225	6.35
68	48.31	0.47	23.78	10.95	0.33	2.94	0.58	0.25	6.03	37	100	162	663	7.12
69	75.68	0.57	11.26	3.34	0.04	1.39	0.57	3.06	2.55	9	28	52	288	0.97

zersetzten oder frischen Biotit, Chlorit und andere). Außerdem wurde an jedem Fundort eine Probe des der Ruschelzone nächstgelegenen frischen Gesteins entnommen. Wenn auch im allgemeinen anzunehmen ist, daß außer diesem speziellen Gestein auch andere Varietäten der Gneise aus der näheren Umgebung mit in die Kluffletten verarbeitet wurden, erbringt doch die Gesamtheit der analysierten Nebengesteine (28 Proben) ein Mittel mit relativ geringer Streuung, das mit den Analysenmitteln der Kluffletten und der roten Böden verglichen werden kann (Tabelle 1 und Abb. 1 und 2). Dies erscheint um so mehr berechtigt, als die überwiegende Mehrzahl der Nebengesteine Paragneise oder aus solchen entstandene Anatexite sind. In einzelnen Fällen wurden auch spezifische Beziehungen zwischen Kluffletten und ihrem Nebengestein festgestellt (z. B. Mg-reicher Kluffletten im biotit- und hornblende-reichen Metablastit von Bernau; Fe-reicher Kluffletten im Amphibolit von Wagensteig). Nur eine Probe stammt von dem verwitterten Tagesausbiß eines Erzganges (Gang II am Schauinsland mit Bleiglanz, Zinkblende, Baryt und Calcit; goethitreicher Kluffletten mit 35% Fe_2O_3).

Nach der äußeren Erscheinung im Aufschluß wurden zunächst graue und rote Kluffletten unterschieden, eine Aufteilung, die sich auch nach der mineralogischen und geochemischen Untersuchung als berechtigt erwies. Aus der

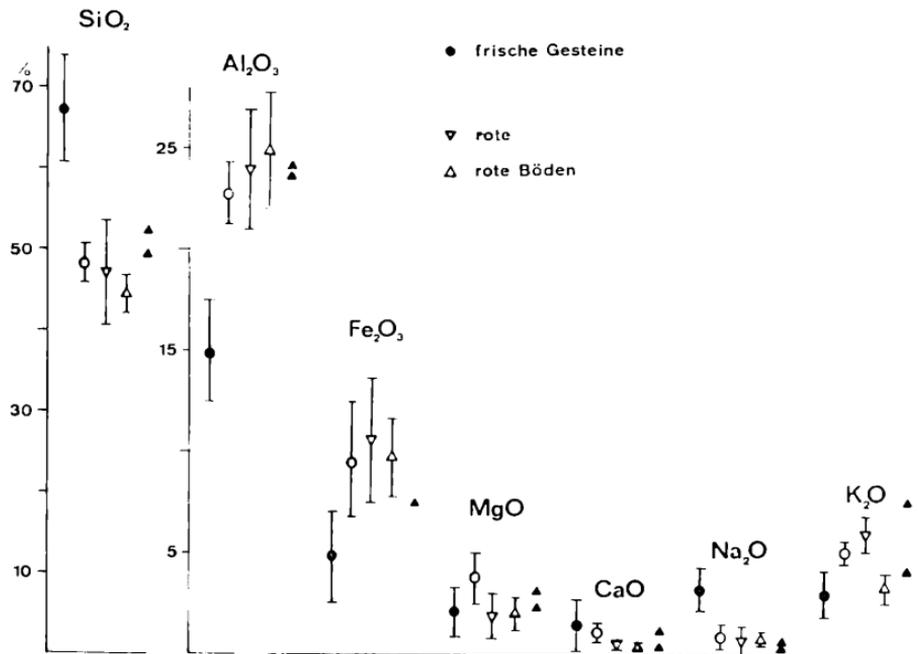


Abb. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Oxide der Hauptelemente.

Gruppe der grauen Kluffletten (14) wurden weiter drei Mg-reiche vorwiegend aus Chlorit bestehende Letten ausgegliedert; drei besonders eisenreiche Kluffletten, darunter der aus der Oxydationszone eines Pb-Zn-Erzganges, wurden aus der Gruppe der roten Kluffletten (12) herausgenommen. So ergaben sich zwei Hauptgruppen (11 graue, 9 rote) und zwei aberrante Gruppen (3 Mg-reiche, 3 Fe-reiche) von Kluffletten.

Die nach der Röntgen-Diffraktion abgeschätzten Mineralbestände der Kluffletten sind in Abb. 3 gezeigt. Etwa gleiche Mengen von Illit und Chlorit neben wenig Kaolinit und Montmorillonit kennzeichnen die grauen Kluffletten. Die Mg-reichen Kluffletten bestehen größtenteils aus Chlorit. In den roten Kluffletten treten Kaolinit und das Hämatitpigment deutlicher hervor. In den roten Böden (siehe S. 111) ist der Anteil des Kaolinitis noch größer. Quarz und Feldspäte sind auch in den Fraktionen $< 10 \mu\text{m}$ noch vorhanden. In einer roten Ruschelzone bei Höllsteig (Baustelle an der Höllentalstraße, 1972) trat Malachit in bis zu cm-großen erdigen Aggregaten auf.

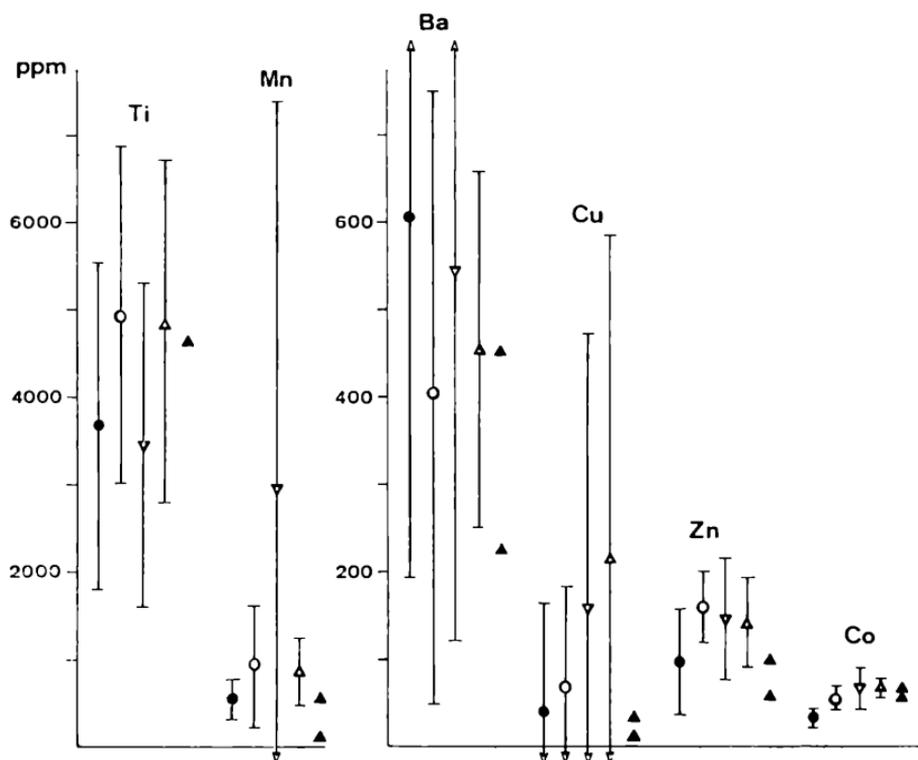


Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nebenelemente.
Zeichen wie in Abb. 1.

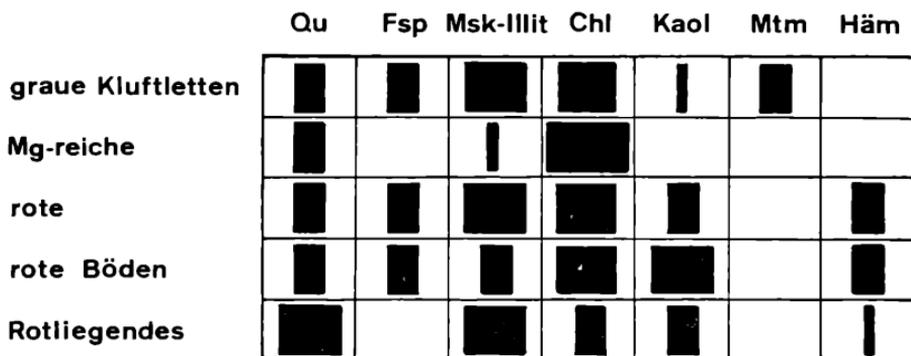


Abb. 3: Hauptminerale der Kluftletten der roten Böden und zweier Sedimente des Rotliegenden, jeweils Fraktion unter $10\ \mu\text{m}$. Nach der Röntgendiffraktion geschätzt. Qu = Quarz, Fsp = Feldspäte, Msk-Illit = Muskovit und Illit, Chl = Chlorit, Kaol = Kaolinit, Mtm = Montmorillonit, Häm = Hämatit.

Graue Kluftletten enthalten gelegentlich kleine Kristalle von Pyrit; sie zeigen an, daß diese Letten von der Verwitterung unberührt sind (Höllsteig-Kreuzfelsen; Staubecken Wehr).

Zu den charakteristischen Eigenschaften der roten Kluftletten und Kluftbeläge gehört auch ihre relative Vergänglichkeit. Künstliche Aufschlüsse, die zunächst kräftig rot erscheinen, verblassen deutlich im Laufe mehrerer Jahre.

3. Geochemie der Kluftletten

In den Kluftletten sind alle analysierten Elemente außer Si, Pb und Ba gegenüber dem Mittel der frischen Gesteine angereichert (Abb. 1 und 2). Die Verarmung an Si ist die Folge des Vorherrschens der Tonminerale in den Kluftletten; aus dem gleichen Grund ist Al deutlich angereichert. Die in den frischen Gesteinen infolge des komplementären Verhaltens der Hauptminerale Quarz einerseits und Feldspäte + Glimmer andererseits entwickelte deutliche negative Korrelation setzt sich bei den Kluftletten gleichsinnig fort; hier wirkt sich in der Hauptsache das Verhältnis Quarz/Tonminerale aus (Abb. 4). Die magnesiumreichen und eisenreichen Kluftletten weichen wegen der wesentlichen Beteiligung einer dritten Komponente von dem allgemeinen Trend ab. — Das $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnis ist in den frischen Gesteinen von den Proportionen Albit : Kalifeldspat + Biotit abhängig; es besteht keine erkennbare Korrelation. Die Kluftletten sind infolge des Zurücktretens von Albit und des meist reichlichen Muskovit/Illit-Anteils K-betont. Die absoluten Gehalte an Alkalien sind bei den Mg- und Fe-reichen Kluftletten am niedrigsten (Abb. 5).

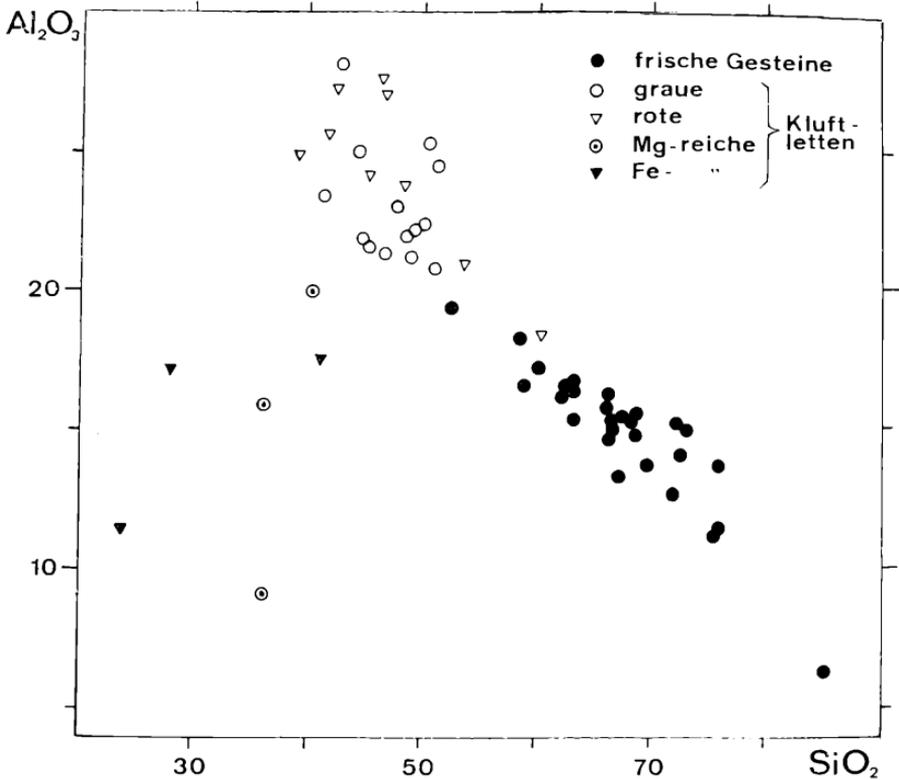


Abb. 4: Al_2O_3 - SiO_2 -Diagramm der frischen Gesteine und Kluffletten.

Wie Abb. 1 und 2 sowie Tab. 2 zeigen, sind Al_2O_3 , Fe_2O_3 (Gesamteisen), K_2O , MnO , Co und Zn gegenüber den frischen Gesteinen um Faktoren zwischen 1,5 und 2,1 angereichert; MgO ist nur in den grauen Kluffletten angereichert; CaO und Na_2O gehen zurück; MnO , Cu und Ba streuen sehr stark, ihre Mittelwerte und Standardabweichungen sind durch einige wenige Proben mit besonders hohen Gehalten bedingt. Die ebenfalls ausgeführten Bestimmungen von V , Ni und Pb sind nicht mit in die Diagramme und Tabellen aufgenommen, da die Gehalte zum Teil sehr niedrig liegen und bisher nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden konnten. Es ist aber erkennbar, daß V und Ni sich in ähnlichem Maße wie Fe anreichern; Pb scheint sich eher indifferent zu verhalten. Nach diesen Befunden treten also im Mittel der grauen und roten Kluffletten keine Elementkonzentrationen auf, die nicht als normale Anreicherungen in Begleitung von Al (Tonminerale) und Fe zu erklären wären. Von dieser Regel weichen nur ganz wenige Proben mit reichlicheren Mn -Oxiden oder mit Malachit ab. Das

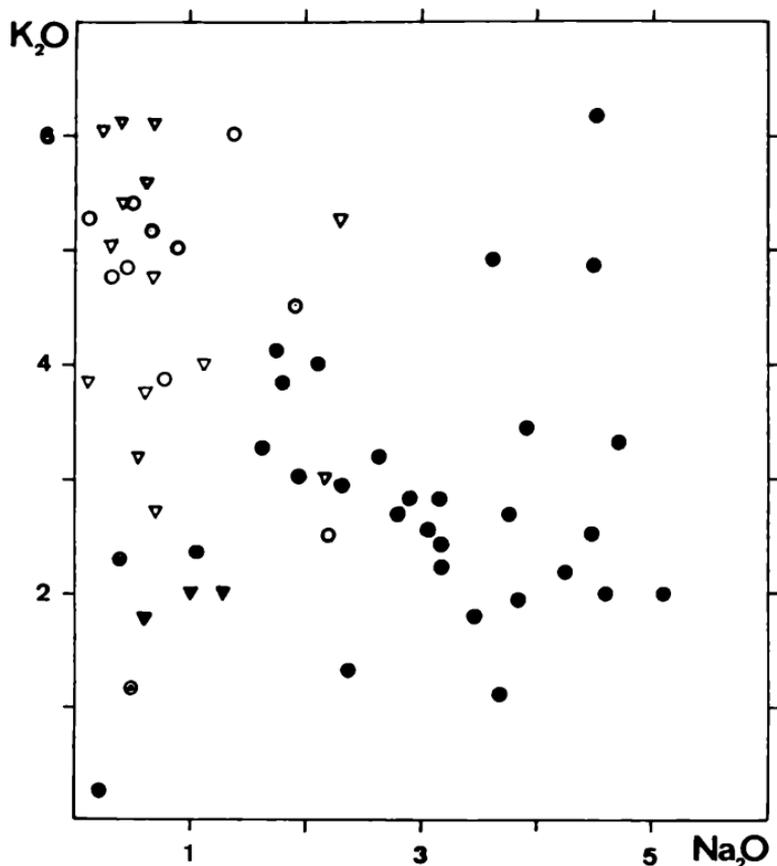


Abb. 5: K_2O - Na_2O -Diagramm der frischen Gesteine und der Kluffletten.
Zeichen wie in Abb. 4.

Kupfer kann sehr wohl aus primären Sulfiden des Nebengesteins stammen (Kupferkies neben Pyrrhotin und Pyrit in Cordieritgneisen und Amphiboliten; WIMMENAUER, 1950).

Signifikante Unterschiede zwischen den grauen und roten Kluffletten bestehen bei Mg und Ca und im Oxydationsgrad des Eisens (Tabelle 3). Die roten Kluffletten sind an Mg und Ca deutlich verarmt; der Oxydationsgrad $Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3)$ liegt über 0,9, während er bei den grauen Kluffletten unter 0,5 liegt. Alle anderen aus den Diagrammen zu entnehmenden Unterschiede von Mittelwerten werden beim Signifikanztest nicht anerkannt. Die Sonderentwicklungen der Kluffletten, Mg-reiche und Fe-reiche, weichen bei mehreren Elementen signifikant von den Haupttypen ab (Tabelle 3). Die Kovarianz von Ni und Zn mit Mg ist hier sehr deutlich.

MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN STÖRUNGSZONEN

107

Tabelle 2: Mittlere Gehalte und Standardabweichungen (in Klammern) der Oxide und der Nebenelemente in

- I frischen Gesteinen,
 II Mg-reichen Klüftletten,
 III grauen Klüftletten,
 IV roten Klüftletten,
 V Fe-reichen Klüftletten,
 VI roten Böden.

Oxide in Gewichtsprozent. Gesamteisen als Fe_2O_3 . Nebenelemente in ppm.

	I	II	III	IV	V	VI
SiO_2	67.5 (6.6)	37.5 (2.3)	48.4 (2.6)	47.1 (6.5)	31.2 (8.8)	44.4 (2.3)
TiO_2	0.61 (0.31)	0.87 (0.26)	0.82 (0.32)	0.55 (0.31)	0.52 (0.34)	0.79 (0.33)
Al_2O_3	15.0 (2.5)	15.0 (5.5)	22.7 (1.5)	24.0 (2.9)	15.4 (3.4)	24.9 (2.9)
Fe_2O_3	4.8 (2.3)	13.3 (2.8)	9.5 (2.9)	10.7 (3.1)	32.1 (5.0)	9.7 (1.9)
MnO	0.07 (0.03)	0.22 (0.04)	0.12 (0.09)	0.38 (0.57)	0.22 (0.25)	0.11 (0.05)
MgO	2.1 (1.2)	14.4 (4.8)	3.8 (1.3)	2.0 (1.1)	2.94 (0.81)	1.93 (0.80)
CaO	1.4 (1.3)	5.6 (7.2)	0.98 (0.50)	0.48 (0.18)	2.3 (1.6)	0.35 (0.12)
Na_2O	3.2 (1.1)	0.38 (0.14)	0.79 (0.62)	0.69 (0.68)	1.36 (0.78)	0.70 (0.40)
K_2O	2.9 (1.1)	1.2 (1.0)	5.01 (0.58)	5.06 (0.97)	2.25 (0.68)	3.15 (0.82)
Cu	43 (123)	51 (41)	64 (119)	156 (295)*	192 (293)	213 (370)
Co	33 (12)	76 (20)	55 (16)	65 (24)	53 (17)	66 (11)
Zn	98 (62)	342 (162)	160 (41)	146 (69)	244 (65)	141 (52)
Ba	606 (414)	333 (199)	398 (351)	541 (179)	816 (1058)	455 (206)

* (ohne Probe Nr. 1)

Tabelle 3: Unterschiede zwischen den Kluffletten-Typen. Bindestrich bedeutet signifikanten Unterschied. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (Gesamteisen), MgO , CaO und K_2O in Gewichts-%, Zn in ppm.

	Mg-reiche	graue	rote	Fe-reiche
SiO_2	37.5	— 48.4	47.1	— 31.2
Al_2O_3	15.0	— 22.7	24.0	— 15.4
Fe_2O_3	13.3	9.5	10.7	— 32.1
$\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$	<0.5	<0.5	— >0.9	>0.9
MgO	14.4	— 3.8	— 2.0	2.9
CaO	5.6	0.98	— 0.48	— 2.3
K_2O	1.2	— 5.0	5.05	— 2.25
Zn	342	— 160	146	240

Tabelle 4: Vergleich von frischem und zersetztem Gestein und Kluffletten; Steinbruch Wagensteig.

Oxide in Gewichts-%, Gesamteisen als Fe_2O_3 , Nebenelemente in ppm.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	Zn	Ba
Frishes Gestein	52.54	19.42	9.80	4.07	3.69	174	205
Zersetztes Gestein	58.47	15.92	6.80	2.52	5.80	122	225
Kluffletten	41.12	17.49	26.30	3.66	2.17	197	198

In zwei Fällen wurden auch die Fraktionen der Kluffletten zwischen 0,6 und 2,0 mm gesondert analysiert (Ruschelzonen in Cordieritgneis von Höllsteig und in Metaaplit von Wehr). Während im ersten Fall die Fraktion dem frischen Gestein sehr ähnlich ist, unterscheidet sich das Material von Wehr in den Fraktionen 0,6—2,0 mm und < 0,01 mm sehr stark von dem unmittelbaren Nebengestein des Fundortes. Dies bekräftigt die auf S. 102 angeführte Vermutung, daß das Lettenkluffmaterial häufig auch Komponenten von Gesteinen aus einiger Entfernung enthält. Das graphitführende kataklastische Gesteinsmaterial einer Harnischfläche aus dem Steinbruch beim Bahnhof Bärenental unterscheidet sich chemisch nur durch einen geringeren Ca-Gehalt von dem frischen Paragneis.

Theoretisch wäre zu fordern, daß den in der Fraktion < 10 μm festgestellten Anreicherungen bestimmter Elemente Verarmungen derselben Elemente an anderer Stelle entsprechen müßten und umgekehrt. Solche Verhältnisse wurden nur in einem Fall und auch dort nur bei einigen Elementen angetroffen: Amphibolit mit schmaler Ruschelzone im Steinbruch Wagensteig (Ta-

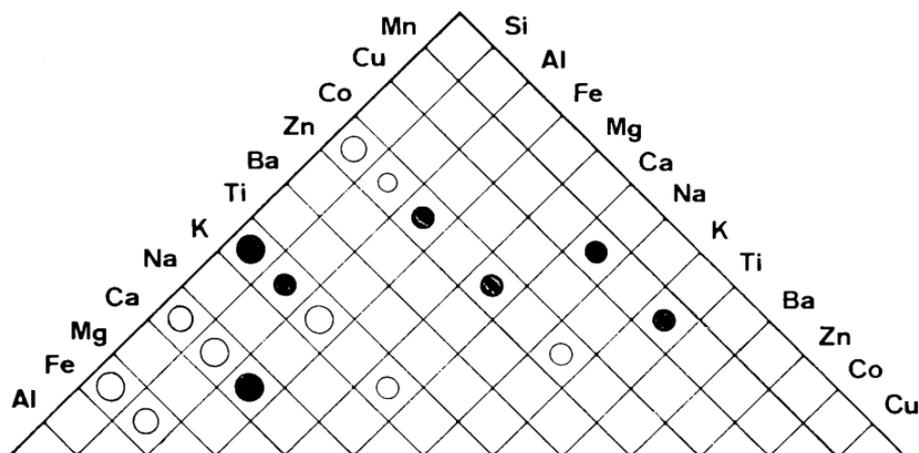


Abb. 8: Elementkorrelationen in den roten Kluffletten.
Zeichen wie in Abb. 6.

grauen Kluffletten (einschließlich der Mg-reichen) und die roten Kluffletten (einschließlich der Fe-reichen) in den Diagrammen Abb. 6—8 dargestellt. Nur die vom Computer als „signifikant“ bewerteten Korrelationen sind berücksichtigt. Bei den frischen Gesteinen fallen sieben negative Korrelationen des Siliziums auf, die in der Hauptsache durch das komplementäre Verhältnis des Quarzes zu den anderen Gesteinsmineralen, besonders Biotit und Plagioklas, bedingt sind. Positive Korrelationen zeigen sich besonders bei den im Biotit gemeinsam auftretenden Elementen Fe, Ti, Mg, Mn, Zn, Cu und Co. Viel weniger Korrelationen treten bei den grauen und roten Kluffletten auf. Hier wirkt sich allerdings auch die jeweils geringere Probenzahl aus. Nur wenige Korrelationen der frischen Gesteine sind erhalten. Bei den grauen und Mg-reichen Kluffletten bewirkt die Komplementarität von Chlorit zu Quarz und Muskovit/Illit die deutlichen negativen Korrelationen von Mg mit Si und Al und die positiven Korrelationen von K mit Si und Al. Die beiden letzteren Korrelationen sind auch in den roten Kluffletten vorhanden und mit negativen Korrelationen des Eisens mit Si und Al kombiniert. Die positiven K-Si- und K-Al-Korrelationen sind in den frischen Gesteinen nicht vorhanden; sie dürften in den Kluffletten mit der reichlichen Entwicklung von Muskovit-Illit zusammenhängen. — Als eines der interessanten aus den Diagrammen ablesbaren Details sei erwähnt, daß die positive Korrelation von Ca mit Zn die einzige dieses Vorzeichens ist, die in allen drei Diagrammen erscheint. Ebenso sind die negativen Korrelationen von Si mit Fe, Ca und Zn überall vorhanden. Alle anderen Korrelationen der frischen Gesteine ändern ihre Vorzeichen oder sind nicht mehr signifikant.

4. Rote Böden

Böden von intensiv rotbrauner Farbe treten in dem hier behandelten Untersuchungsgebiet verbreitet auf. Sie kommen sowohl auf den Hochflächen des mittleren und Hochschwarzwaldes, die weithin der wiederaufgedeckten praetriadischen Einebnungsfläche entsprechen, als auch in den jungen Erosionstälern vor. Sehr oft sind sie auch in kleineren Erosionsrinnen („Tobeln“) und in Sätteln der Bergrücken anzutreffen. Künstliche Aufschlüsse in solchen Lagen zeigen häufig, daß dort das Gestein stark zerklüftet und verruschelt ist; die Kluffletten und Kluffbestege sind ebenfalls rot. Ganz offenbar besteht zwischen den roten Böden und den roten Ruschelzonen ein unmittelbarer Zusammenhang. Die Rotfärbung beider ist nicht vom Gestein bedingt, da die Gneise im frischen Zustand keinen Hämatit enthalten, der bei der Verwitterung freigesetzt werden könnte. Anders ist dies bei den Böden auf hämatitführenden Graniten und Sedimenten des Rotliegenden und des Buntsandsteins.

Von diesen roten Böden wurden fünf Proben untersucht; zwei von ihnen (St.-Peter-Schafhof und Höllental-Kehre) leiten nach ihrem Vorkommen im Gelände zu den roten Spaltenfüllungen im anstehenden Gestein über. Als vermittelnde Formationen wurden sie in die Mittelwertsbildung der roten Kluffletten und der roten Böden einbezogen.

Mineralogisch unterscheiden sich die Fraktionen der roten Böden $< 10 \mu\text{m}$ von den roten Kluffletten durch das stärkere Hervortreten des Kaolinit; dem entspricht chemisch als einziger signifikanter Unterschied der geringere Kaliumgehalt der Böden. Der Oxydationsgrad $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ liegt bei 0,8—0,9.

5. Sedimente des Rotliegenden

Die Fraktionen $< 10 \mu\text{m}$ eines Konglomerates des Oberrotliegenden von Schapbach und einer Rotliegend-Arkose von St. Peter wurden zum Vergleich mit den roten Böden analysiert. Die ermittelten Werte für Haupt- und Nebenelemente liegen zumeist innerhalb der Variationsbereiche der roten Böden und der roten Kluffletten.

6. Überlegungen zur Genese der Kluffletten

Die grauen Kluffletten können als Produkte der gewöhnlichen Veruschelung der Gneise unter nicht oxydierenden Bedingungen angesehen werden. Gegenüber den frischen Gesteinen verändern sie sich signifikant in ihren Gehalten an Si, Al, Fe, Mn, Mg, Na, K, V, Co, Ni und Zn. Muskovit/Illit und Chlorit sind die vorherrschenden Neubildungen, Montmorillonit und Kaolinit kommen gelegentlich hinzu. Gelegentlich erhaltener Pyrit spricht für reduzierende Bedingungen im Bildungsmilieu der grauen Kluffletten.

Die roten Kluffletten unterscheiden sich von den grauen durch signifikant niedrigere Gehalte an Mg und Ca sowie durch den hohen Oxydationsgrad des Eisens. Muskovit/Illit, Chlorit, Kaolinit und Hämatit sind die charakteristischen Komponenten. Die Veränderungen gegenüber den grauen Kluffletten könnten allein durch deszendente, oxydierende und zugleich kohlen-säurehaltige Wässer (die Calcium und Magnesium wegführen) bewirkt sein. Eine hydrothermale Hämatitisierung, wie sie v. GEHLEN, ZEINO, MURAD & SAMMAN (1970) für die Rotzonen des Münstertäler Lagerstättenreviers annehmen, braucht hier nicht gefolgert zu werden, zumal wenn keine stärkeren Anreicherungen an spezifischen Elementen der Schwarzwälder hydrothermalen Gänge (Ba, Zn, Pb) vorliegen. Es liegt nahe, den oben angedeuteten Umwandlungsprozeß der grauen in die roten Kluffletten im Zusammenhang mit der Bildung der roten Böden zu sehen. Während einer Klimaperiode, die an der Oberfläche rote Bodenbildung (mit Hämatit statt Goethit) bedingte, zirkulierten oxydierende Wässer auf Klüften bis in gewisse Tiefen und bewirkten dort die Angleichung der Kluffletten an das vergleichbare Feinmaterial der Böden. Auch an eine Einschlämmung von feinstem tonig-hämatitischen Material kann gedacht werden. Dadurch und durch Solifluktion möge rote Kluffletten und Böden bis zu mehrere hundert Meter abwärts in die jungen Erosionstäler gelangt sein.

An Beispielen aus dem Rotliegenden der Pfalz hat LORENZ (1972) überzeugend illustriert, wie weit solche Rotfärbungen durch geeignete Agentien reichen können. Tuffe in permischen Diatremen sind, ausgehend von durchschlagenen Rotsedimenten, sekundär rot gefärbt worden, wobei noch offen bleibt, ob die Sedimente schon zur Zeit des vulkanischen Durchbruchs rot waren oder nicht auch erst sekundär einer solchen Oxydation unterlagen. In jedem Fall beweist die Hämatitbildung in den ursprünglich grauen Tuffen die Möglichkeit einer Hämatitpigmentierung auch weit unterhalb der Tagesoberfläche. LORENZ denkt bevorzugt an Oxydation des Eisens unter geeigneten Eh/pH-Bedingungen durch zirkulierende Wässer; die Einschlämmung von hämatitisch-tonigem Material ist hier wenig wahrscheinlich.

Die Bedingungen der Hämatitbildung (anstelle von Goethit) in Böden sind von SCHWERTMANN (zuletzt 1969 und 1971) definiert worden. Wesentlich erscheint dabei ein relativ niedriger Gehalt des Bodens an organischen Stoffen, wie er unter trockenen und warm-feuchten Klimaten oft gegeben ist. Die Frage, wann und unter welchen Umständen Bedingungen für diese Bodenbildung auf den Kristallingesteinen des Schwarzwaldes herrschten, kann aus den bisherigen Befunden nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Es liegt nahe, hierfür den Bildungszeitraum der praetriadischen Landoberfläche anzunehmen, in deren Bereich die roten Böden heute bevorzugt vorkommen. Dieser Annahme steht entgegen, daß dort, wo die Auflagerung des Perms und des Buntsandsteins auf dem Kristallin heute aufgeschlossen ist,

eine rote Bodenbildung auf dem letzteren eher selten ist. Auch müßte eine Bodenbildung solchen Alters die Wiederaufdeckung der alten Landoberfläche im Jungtertiär und die intensive periglaziale Denudation im Quartär überdauert haben.

Abschließend möge noch einmal betont werden, daß die hier vorgebrachte Deutung der Rotzonen im Kristallin und besonders der roten Kluffletten keinesfalls eine Universalhypothese für alle mit Hämatitbildung verbundenen Gesteinsumwandlungen dieses Gebietes darstellen soll. Die Hämatitbildung in hydrothermalen Gängen und in ihrem Nebengestein ist von vielen Beispielen im Schwarzwald selbst gut bekannt und ein von dem hier betrachteten, zumindest in erster Näherung, ganz verschiedener Prozeß.

Bezüglich der Möglichkeiten hydrothormaler Auslaugung im Bereich von Ruschel- und Kluffzonen in Graniten des Schwarzwaldes sei auf die Arbeit von MURAD (1974) hingewiesen.

7. Untersuchungsmethoden

Die Mineralbestände der untersuchten Fraktionen $< 10 \mu\text{m}$ der Kluffletten, roten Böden und des Rotliegenden wurden mit Hilfe der Röntgendiffraktion identifiziert. Hierzu wurden Aufnahmen von unbehandelten und von auf 550°C erhitzten Texturpräparaten sowie von Glycerin-gesättigten Pulver- und Texturpräparaten ausgewertet. Die Untersuchung wurde mit $\text{CuK}\alpha$ - und $\text{CoK}\alpha$ -Strahlung mittels eines Müller-111-Diffraktometers durchgeführt.

Geringe Mengen von Kaolin-Mineralen konnten wegen gleichzeitigen Vorkommens von Chlorit in den meisten Proben nicht mittels Röntgendiffraktion identifiziert werden. Statt dessen wurde die Methode von KODAMA & OINUMA (1963) angewandt, welche die Infrarot-Absorptionsbande des Kaolinites bei $3698 \pm 2 \text{ cm}^{-1}$ berücksichtigt. Hierzu diente ein Beckmann-IR 9-Spektrophotometer. Zur Identifizierung der Kaolin-Mineralen wurden ferner elektronenmikroskopische Aufnahmen mit dem Elmiskop IA der Firma Siemens versucht. Die erhaltenen Bilder erschienen wenig spezifisch.

Die Hauptelemente Si, Al, Fe, Mn, Ca, K und Ti wurden röntgenfluoreszenzanalytisch mit einem Siemens-Mehrkanal-Röntgenspektrometer bestimmt. Zur Anregung diente eine mit 45 kV und 50 mA betriebene Cr-Röhre. Die Messungen wurden an Schmelzpillen durchgeführt. Dazu wurde ein Teil der Probe mit acht Teilen $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ und einem Teil La_2O_3 vermischt, acht Minuten lang bei 1100°C in einem Pt/Au-Tiegel geschmolzen und durch Ausgießen in eine Graphitform abgeschreckt. Die Ergebnisse wurden unter Berücksichtigung der Absorptions-, Untergrund- und Glühverlusteffekte in Anlehnung an eine Methode nach NORRISH & HUTTON (1969) korrigiert. Die Berechnung erfolgte auf einem UNIVAC 1106-Computer mit Hilfe des Rechenprogramms MACOR-1 (GARCIA-GONZALEZ, 1972).

Es wurden die von BIRKS (1963) und HEINRICH & WITTRY (1966) berechneten Massenabsorptionskoeffizienten benutzt. Als Standardsubstanzen standen Proben des Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Nancy (Frankreich), sowie des U. S. Geological Survey, Washington (USA), zur Verfügung.

Die Na- und Mg-Gehalte wurden durch Atom-Absorptionsspektrophotometrie (AAS) nach den Anweisungen von OTTO (1970) bestimmt. Die bei der Präparation für die Röntgenfluoreszenzanalyse anfallenden Schmelzreste wurden in verdünnter HCl gelöst und in dieser Form direkt für die AAS verwendet. Die Ergebnisse wurden entsprechend den Glühverlusten der Proben korrigiert. Zur Messung diente ein Gerät Perkin-Elmer 303 mit Dreischlitzbrenner und Acetylen-Luft-Gemisch (Na-Analysen) bzw. mit Lachgasbrenner und Lachgas-Acetylen-Gemisch (Mg-Analysen).

Die Bestimmung der Nebenelemente wurde nach einem HF/HClO₄/HCl-Aufschluß der Proben mit Hilfe der Atomabsorptionsanalyse durchgeführt. In allen Fällen, in denen Graphit im Gestein vorhanden war, wurde der unlösliche Rest bei 1100 °C im Sauerstoffstrom verglüht. Die Asche wurde in HCl gelöst und zu der ursprünglichen Lösung hinzugegeben.

Der Fe^{II}-Gehalt der Proben wurde nach H₂SO₄/HF-Aufschluß (nach WEIBEL, 1961) mit KMnO₄ titrimetrisch bestimmt.

Die statistischen Berechnungen erfolgten auf einem UNIVAC 1106-Computer mittels des Rechenprogramms HILFE-1 (GARCIA-GONZALEZ, 1974). Es wurden berechnet:

- a) Mittelwerte und Standardabweichungen
- b) Vergleich zwischen zwei Mittelwerten durch den Student-t-Test
- c) Korrelationskoeffizienten und Vertrauensbereiche, Regressionsgeraden, Neigungen der Geraden und Student-t-Test für die Korrelationen.

Zum Vergleich der Mittelwerte wurden folgende Kriterien angewandt (MARSAL, 1967):

- Differenz signifikant: $t_c > t_{(99\%, f)}$
- wahrscheinlich signifikant: $t_{(99\%, f)} \geq t_c > t_{(95\%, f)}$
- nicht signifikant: $t_{(95\%, f)} \geq t_c$

wobei

- t_c = berechneter t-Wert,
- $t_{(95\%, f)}$ = Tafel-t-Wert für 95 % Wahrscheinlichkeit und f Freiheitsgrade,
- $t_{(99\%, f)}$ = Tafel-t-Wert für 99 % Wahrscheinlichkeit und f Freiheitsgrade

bedeuten.

Die Korrelation wurde als signifikant angenommen, wenn $t_c > t_{(95\%, f)}$ (CHAYES, 1967) ist.

Die Verfasser danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (Spanien) für die Förderung dieser Arbeit. Dank gilt ferner den Herren Dr. P. BUCK und Dr. V. KRÄMER im Kristallographischen Institut der Universität Freiburg i. Br. für die Anfertigung von elektronenmikroskopischen Aufnahmen und thermogravimetrischen Diagrammen sowie den Kollegen am Mineralogischen Institut der Universität Freiburg i. Br. für mannigfache Hilfe bei der Durchführung der Analysen.

Literatur

- BIRKS, L. S.: Electron Probe Microanalysis. — New York (Wiley-Interscience) 1963.
- CHAYES, F.: Ratio Correlation. — Chicago and London (The University of Chicago Press) 1971.
- DEECKE, W.: Die Tektonik des Schwarzwälder Grundgebirges. Fortschr. Geol. Paläont., **31**, 143—346, 1933.
- VON GEHLEN, K., ZEINO, H., MURAD, E., & SAMMAN, A.: Neue Ergebnisse zur Genese der Vererzung im südlichen Schwarzwald. — Z. dtsh. geol. Ges., **121**, 75—78, 1970.
- HEINRICH, K. F. J., & WITTRY, D. B.: The Electron Microprobe. — New York (Wiley) 1966.
- KODAMA, H., & OINUMA, K.: Identification of kaolin minerals in the presence of chlorite by X-ray diffraction and infrared absorption spectra. — Clays and Clay Minerals, **13**, 236—249, 1963.
- LORENZ, V.: Sekundäre Rotfärbung im Rotliegenden der Saar-Nahe-Senke, SW-Deutschland. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 356—270, 1972.
- MARSAL, D.: Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. — Stuttgart (Schweizerbart) 1967.
- METZ, R., RICHTER, M., & SCHÜRENBERG, H.: Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes. — Beih. Geol. Jb., **29**, 276 S., 1957.
- MURAD, E.: Hydrothermal alteration of granitic rocks and its possible bearing on the genesis of mineral deposits in the southern Black Forest, Germany. — Econ. Geol., **69**, 532—544, 1974.
- NORRISH, K., & HUTTON, J. T.: An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. — Geochim. et Cosmochim. Acta, **33**, 431—453, 1969.
- OTTO, J.: Erfahrungen mit Lithiumtetraaboratschmelzen bei der Röntgenfluoreszenz- und Atomabsorptionsspektralanalyse von Gesteinen. — N. Jb. Miner. Mh., 1970, 531—534.
- SCHWERTMANN, U.: Die Bildung von Eisenoxidmineralen. — Fortschr. Miner., **46**, 274—285, 1969.
- Transformation of hematite to goethite in soils. — Nature, **232**, 624—625, 1971.

WEIBEL, M.: Die Schnellmethoden der Gesteinsanalyse. — Schweiz. miner. petrogr. Mitt., 41, 285—294, 1961.

WIMMENAUER, W.: Erzmikroskopische Beobachtungen an Gesteinen des schwarzwälder metamorphen Grundgebirges. — Mitt.-Bl. Bad. geol. Landesanstalt, 14—20, 1950.

ZEINO, H.: Die Genese der hydrothermalen Mineralisation im südwestlichen Schwarzwald. — Diss. Frankfurt/Main, 117 S., 1968.

Probenliste

KL = Kluffletten, Fraktion < 10 μ m

Proben-Nr.	Fundort	Top. Blatt 1:25 000	Gestein
1	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	KL rot (mit Malachit)
2	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	Cordieritgneis
3	Zastlertal, Kehre der Forststraße südlich Rotheck	Höllsteig	KL rot
4	Zastlertal, Kehre der Forststraße südlich Rotheck	Höllsteig	Cordieritgneis
5	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	KL grau
6	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	Cordieritgneis
7	St. Peter, 300 m südlich Schafhof	St. Peter	roter Boden
8	St. Peter, 300 m südlich Schafhof	St. Peter	Diatexit
9	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	KL grau
10	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	Paragneis, diaphthoritisch
11	Ibental, beim Lochsepp (570.2)	St. Peter	KL rot
12	Ibental, beim Lochsepp (570.2)	St. Peter	Diatexit
13	Höllental, Forstweg bei der Kehre (599)	Höllsteig	roter Boden
14	Höllental, Forstweg bei der Kehre (599)	Höllsteig	Diatexit
15	St. Peter, Scheuerwald	St. Peter	Arkose des Oberrot- liegenden (< 10 m μ)
16	Schauinsland-Rennstrecke nördlich des Luisenfelsens	Freiburg	KL grau
17	Schauinsland-Rennstrecke nördlich des Luisenfelsens	Freiburg	Diatexit
18	Schauinsland-Rennstrecke südlich des Luisenfelsens	Freiburg	KL goethitreich
19	Schauinsland-Rennstrecke südlich des Luisenfelsens	Freiburg	Granitaplit
20	Höllental, Bundesstraße 31 am Kreuzfelsens, Baustelle 1972	Höllsteig	Ruschelzone mit Pyrit und Graphit

Proben-Nr.	Fundort	Top. Blatt 1:25 000	Gestein
21	Steinbruch Bader beim Bahnhof Bärental	Feldberg	graphitführender Gneis- mylonit
22	Steinbruch Bader beim Bahnhof Bärental	Feldberg	Paragneis
23	Steinbruch Bader beim Bahnhof Bärental	Feldberg	pyritführender Paragneis
24	Steinbruch Bader beim Bahnhof Bärental	Feldberg	KL grau
25	Steinbruch Bader beim Bahnhof Bärental	Feldberg	Amphibolit
26	Wagensteig, Steinbruch am Hansmeyerhof	Höllsteig	KL rot
27	Wagensteig, Steinbruch am Hansmeyerhof	Höllsteig	Amphibolit
28	Wagensteig, Steinbruch am Hansmeyerhof	Höllsteig	Amphibolit, diaphthoritisch
29	Wagensteig, Steinbruch am Hansmeyerhof	Höllsteig	KL grau
30	Wagensteig, Steinbruch am Hansmeyerhof	Höllsteig	Paragneis
31	Wagensteig, Straßenanschnitt beim Haurihof	Höllsteig	KL rot
32	Wagensteig, Straßenanschnitt beim Haurihof	Höllsteig	KL grau
33	Wagensteig, Straßenanschnitt beim Haurihof	Höllsteig	Diatexit
34	Hofsgrund, Straßenanschnitt am Steinwasen	Freiburg	KL grau
35	Hofsgrund, Straßenanschnitt am Steinwasen	Freiburg	Metatexit
36	Bernau, Forststraße am Schwemmbachfelsen	Feldberg	KL grau
37	Bernau, Forststraße am Schwemmbachfelsen	Feldberg	hornblendeführender Kali- feldspat-Metablastit
38	St. Wilhelm, Bundesstraße 0,5 km oberhalb Hohe Brücke	Freiburg	KL grau
39	St. Wilhelm, Bundesstraße 0,5 km oberhalb Hohe Brücke	Freiburg	Cordieritgneis
40	St. Wilhelm, Bundesstraße 0,5 km oberhalb Hohe Brücke	Freiburg	quarzitische Lage in Cordieritgneis
41	St. Peter, Steinbruch 0,3 km westlich Steighof	St. Peter	KL rot
42	St. Peter, Steinbruch 0,3 km westlich Steighof	St. Peter	Metatexit
43	St. Peter, Steinbruch 0,3 km westlich Steighof	St. Peter	Granitaplit
44	Waldkirch, nördlich der Eisenbahnbrücke	Waldkirch	KL grau
45	Waldkirch, nördlich der Eisenbahnbrücke	Waldkirch	Paragneis, diaphthoritisch

Proben- Nr.	Fundort	Top. Blatt 1:25 000	Gestein
46	Wehr, neue Straße am Staubecken (Schindelhalde)	Wehr	KL grau
47	Wehr, neue Straße am Staubecken (Schindelhalde)	Wehr	Paragneis, diaphthoritisch
48	Wehr, neue Straße am Staubecken (Schindelhalde)	Wehr	KL grau
49	Wehr, neue Straße am Staubecken (Schindelhalde)	Wehr	leukokrater Paragneis
50	Wehr, neue Straße am Staubecken (Schindelhalde)	Wehr	Fraktion 2,0—4,0 mm der Probe Nr. 47
51	Höllsteig, Bundesstraße 31 Baustelle 1972 am Finsterrank	Höllsteig	Fraktion 0,63—2,0 mm der Probe Nr. 6
52	Groppertal, Steinbruch Riedel	Villingen	KL grau
53	Groppertal, Steinbruch Riedel	Villingen	chloritisierter Paragneis
54	Groppertal, Steinbruch Riedel	Villingen	Paragneis
55	Hohle Graben, Landstraße 0,5 km nordwestlich Schweizerhof	Höllsteig	roter Boden
56	Hohle Graben, Landstraße 0,5 km nordwestlich Schweizerhof	Höllsteig	Paragneis
57	Feldberg, Straßenabzweigung zum Feldberger Hof	Feldberg	KL rot
58	Feldberg, Straßenabzweigung zum Feldberger Hof	Feldberg	Granitaplit
59	Oberaltenweg, beim Geigershof (998.2)	Höllsteig	roter Boden
60	Oberaltenweg, beim Geigershof (998.2)	Höllsteig	Paragneis
61	Hinterwaldkopf, Forststraße nach Alpersbach	Höllsteig	roter Boden
62	Hinterwaldkopf, Forststraße nach Alpersbach	Höllsteig	KL rot
63	Hinterwaldkopf, Forststraße nach Alpersbach	Höllsteig	Cordieritgneis, diaphthoritisch
64	Hinterwaldkopf, Forststraße nach Alpersbach	Höllsteig	Cordieritgneis
65	Todtnauberg, Steinbruch bei der Bergerhöhe	Todtnau	KL grau
66	Todtnauberg, Steinbruch bei der Bergerhöhe	Todtnau	Metatexit
67	Schapbach, Forststraße östlich Waldhans (640.4)	Oberwolfach	Arkose des Oberrot- liegenden (< 10 μ)
68	Schapbach, Forststraße vom Gierisloch zum Waldhans, Steinbruch	Oberwolfach	KL rot
69	Schapbach, Forststraße vom Gierisloch zum Waldhans, Steinbruch	Oberwolfach	Paragneis

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1975

Band/Volume: [65](#)

Autor(en)/Author(s): Garcia-Gonzalez Maria Teresa

Artikel/Article: [Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tektonischen Störungszonen im Grundgebirge des Schwarzwaldes I. Ruscheizonen in Gneisen und Anatexiten 97-118](#)