

Die wichtigeren Gesteine Württemberg's, deren Verwitterungsprodukte und die daraus entstandenen Ackererden.

Chemisch untersucht

von Dr. E. Wolff, Professor in Hohenheim.

I. Der Hauptmuschelkalk und seine Verwitterungsstufen.

Im Herbst 1864 wurden mir von Herrn Professor O. Fraas 14 verschiedene Gesteins- und Erdproben behufs der chemischen Untersuchung zugeschickt. Um mich vorläufig hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit dieser Gesteine und Erdarten einigermaßen zu orientiren, liess ich dieselben fein pulvern und eine kleinere Quantität von jeder Sorte auf deren Hauptbestandtheile von meinem Assistenten, Herrn List, untersuchen. Aus den Resultaten dieser vorläufigen Untersuchungen konnte man ersehen, welche von den Gesteins- und Erdproben eine ausführliche und genaue chemische Prüfung verdienten und den hierzu nöthigen Aufwand von Zeit und Mühe vorzugsweise lohnen möchten.

Die mir zugeschickten Gesteinsproben gehörten theils der Formation des Hauptmuschelkalkes an, theils waren sie Glieder und Verwitterungsprodukte des weissen Jura.

I. Hauptmuschelkalk vom Hühnerfeld (bei Schwieberdingen).

Nr. 1. Ein dichtes kompaktes Gestein mit fast muschligem Bruch, im Innern dunkelgrau, nach aussen heller und etwas ab-

färbend; hie und da, aber spärlich mit Löchern versehen, die mit kleinen gelblichbraun gefärbten Krystallen ausgekleidet sind. Oberer dolomitischer Muschelkalk im ersten Stadium der Verwitterung, aber noch fest und zäh, schwierig zu pulvern.

Nr. 2. Ein ebenfalls festes und zähes Gestein, im Innern hellgrau und wie Nr. 1 nach aussen hin weisslich und abfärbend. Dieses Gestein ist aber keineswegs aus Nr. 1 durch Verwitterung hervorgegangen und steht mit demselben, wie es scheint, gar nicht in einem direkten Zusammenhange. Nr. 2 ist in seinem noch unverwitterten Theile deutlich körnig-krystallinisch und reichlich mit Poren oder ganz kleinen, inwendig gelblichbraun gefärbten Löchern und Punkten versehen, während Nr. 1 eine dichte durchaus nicht krystallinische Masse darstellt und weit weniger, aber grössere Löcher hat. Auch ergab die vorläufige chemische Prüfung, dass Nr. 2 weniger unlösliche, thonige Substanz (im Verhältniss 2,0 : 4,2 Proc.) und weniger Magnesia, dagegen mehr Kalk enthält als Nr. 1. Beide Gesteine müssen daher als verschiedene Varietäten von Muschelkalk betrachtet werden.

Nr. 3. Ein mürbes, leicht zu pulverndes Gestein, ohne Löcher und Poren, auf dem Bruch erdig und stark abfärbend. Der ganzen Struktur nach scheint diese Gesteinsmasse durch Verwitterung aus Nr. 1 entstanden zu sein, indem aus dem letzteren Gestein namentlich kohlenaurer Kalk ausgelaugt und dadurch im Rückstande der Gehalt an unlöslicher, thonig-sandiger Substanz von 4,2 bis auf 13,8 Proc. erhöht worden ist.

Nr. 4. Wird von Prof. Fraas bezeichnet: „Verwitterung des oberen Hauptmuschelkalkes, aus der Bank genommen.“ Die Probe bildet eine grobpulverige Masse, grossentheils aus scharfkantigen Muschelstückchen bestehend. Ein beiliegendes festes Gesteinsstück zeigt deutlich, dass aus einem sehr muschelreichen Kalkstein die dichte Bindemasse zunächst aufgelöst und ausgelaugt worden ist, während die Muscheln selbst, deren Schalen eine krystallinische, d. h. eine Kalkspath-Struktur haben, weit weniger leicht von dem atmosphärischen Wasser angegriffen wurden, vielmehr zu einem Muschelsande zerfielen. Ein flüchtiger Blick auf diese Masse und auch das Resultat der vorläufigen chemischen

Untersuchung zeigt übrigens, dass dieser Muschelsand unmöglich ein Verwitterungsprodukt der dichten und erdigen, muschelleeren Gesteine Nr. 1 bis Nr. 3 sein kann, sondern einer ganz anderen Schicht der Muschelkalkformation angehört.

Nr. 5. ist der „Untergrund des Fruchtbodens, beim Ausbiss der Schichten aufgenommen,“ — zur Hälfte etwa aus einem feineren Pulver, zur Hälfte aus kleineren und grösseren, sehr mürben und leicht zu pulvernden Gesteinsbröckeln bestehend (82,6 Grm. : 108,9 Grm.); die letzteren sind offenbar von ganz ähnlicher, nur etwas mehr thoniger Beschaffenheit, wie das mürbe Gestein Nr. 3, aus welchem Nr. 5 unter dem Einfluss weiterer Verwitterung jedenfalls entstanden ist. Steine und Pulver haben, wie die vorläufige Untersuchung ergab, fast genau dieselbe procentische Zusammensetzung und konnten daher behufs der weiteren Prüfung als ein Ganzes behandelt werden, indem sie auf's feinste zerrieben und mit einander vermischt wurden. In dieser Masse hat gegenüber von Nr. 3 die procentische Menge von Kalk und Magnesia beträchtlich abgenommen, dagegen die der unlöslichen sandig-thonigen Substanz entsprechend zugenommen (von 13,8 auf 36,2 Proc.).

Nr. 6. Ein „Gemische der Schichtenböden der unteren Lettenkohle mit den dolomitischen Schichten im Katzenloch (Hühnerfeld).“ Die Probe bildet eine feinpulverige, gelb gefärbte lehmige Masse, im Aeussern dem Pulver von Nr. 5 ähnlich, nur von etwas dunklerer Farbe. Es wurde in dieser Substanz die geringe Menge von 1,7 Proc. kohlenaurer Kalkerde und noch weniger Magnesia gefunden; es ist vorläufig nicht zu entscheiden, ob und in welchem Zusammenhange dieser Boden mit Nr. 3 und Nr. 5 steht. Uebrigens war die mir zugeschickte Probe bei dieser, wie bei mancher anderen Gesteins- oder Bodenart zu unbedeutend, als dass eine ausführliche chemische Untersuchung möglich gewesen wäre. Es sollten in Zukunft von jeder der zu untersuchenden Gesteins- und Erdmasse mir wenigstens 2 bis 3 Pfd. zu Gebote stehen.

II. Gebilde des weissen Jura.

A. Boden von Langenau.

Nr. 7. „Anstehendes Weiss-Juragestein. Liegendes der Felder von Langenau. Ist bedeckt von Nr. 8.“ — Ein thoniger gelber Kalkstein, von dichtem Gefüge, nur wenig abfärbend, fest und unverwittert. Die vorläufige Analyse ergab einen Gehalt von 80 Proc. kohlen saurem Kalk, nur wenig Magnesia, ausserdem aber 16,7 Proc. lehmige, in Säuren unlösliche Substanz.

Nr. 8. „Lehm auf den Feldern von Langenau; deckt Nr. 7.“ Ein zäher Thonboden, der zu einer steinartigen Masse austrocknet. Der Kalkgehalt ist sehr gering, da ein Aufbrausen mit Säuren durchaus nicht stattfindet. Ob dieser gelbgefärbte fast kalkfreie Thonboden durch direkte Verwitterung aus dem gelben thonhaltigen Kalkstein Nr. 7 entstanden ist, würde die ausführliche und vergleichende chemische Untersuchung beider Proben ergeben. Eine genauere Prüfung des ursprünglichen Gesteins (Nr. 7) und des, wie es scheint in Nr. 8 gegebenen Extrems der Verwitterung möchte interessant genug sein, um für die nächste Zeit vorbehalten zu bleiben.

B. Boden von Rammingen.

Nr. 9. „Grundgestein für Nr. 10. 11. 12.“ Ein sehr festes, völlig unverwittertes Gestein, mit kleinen Drusenräumen und Adern von Kalkspath, von heller, schmutzig-fleischrother Farbe. Ein sehr reiner Kalkstein, welcher 97 Proc. kohlen sauren Kalk und nur 1 Proc. in Salzsäure unlöslicher Substanz enthält.

Nr. 10. „Erstes Stadium der Verwitterung nächst Nr. 9.“ Dem vorigen in Farbe und Struktur ganz ähnlich, nur namentlich in den äusseren Theilen mit zahlreichen Poren und kleinen Löchern versehen. Das Gestein ist sehr richtig als erstes Stadium der Verwitterung von Nr. 9 bezeichnet, aber es ist dem letzteren in der chemischen Zusammensetzung so nahe stehend, dass eine ausführliche vergleichende Untersuchung beider Gesteine in keiner Weise ein die Zeit und Arbeit der Analyse lohnendes Resultat liefern und daher nicht hinreichend gerechtfertigt sein

würde. Der Gehalt von Nr. 9 und 10 an kohlensaurem Kalk ist nämlich 97 und 95 Proc., an unlöslicher Substanz 1 und 2,5 Proc.

Nr. 11. „Zweites Stadium der Verwitterung am Ausgehenden von Nr. 9 und 10.“ Das Gestein ist fast weiss mit erdigem Bruch, ein wenig abfärbend und an der Zunge etwas anhaftend; dabei aber sehr fest, hart und schwierig zu pulvern. Ein Aufbrausen mit Säuren findet durchaus nicht statt, die vorläufige Untersuchung ergab 96,2 Proc. in kochender Salzsäure unlöslicher Substanz und eine nur äusserst geringe Menge von Kalk und Magnesia. Hier kann also nicht die Rede sein von der Verwitterungsstufe irgend eines Kalksteins. Es ist vielmehr eine ganz kieselige Masse mit sehr geringem Thongehalt, welche mit den fast reinen Kalksteinen Nr. 9 und 10 in gar keinem direkten Zusammenhange steht.

Nr. 12. „Auf den Feldern umherliegende unverwitterbare Reste von Nr. 9—11.“ Scharfkantige Stücke von einem festen, kieseligen, fast kalkfreien Gestein, ganz von derselben Beschaffenheit wie Nr. 11, nur theilweise gelb gefärbt. Nr. 11 und 12 sind offenbar gleichartige Gebilde, gehören aber einer ganz anderen Gesteinsformation an, als Nr. 9 und 10.

Nr. 13. „Fruchtboden auf und aus Nr. 9—12.“ Zum grösseren Theile aus einem gelbgefärbten, sandigen Lehm, zum kleineren Theile aus abgerundeten, braunen, sehr eisenhaltigen Steinchen bestehend. Das Verhältniss zwischen beiden Theilen war 256 : 43,8. Aus den Resultaten der vorläufigen Untersuchung ersah man, dass man es hier mit einem fast kalkfreien Boden zu thun hat, von sandig-lehmiger Beschaffenheit, der vermischt ist mit sehr eisenreichen Steinchen und unmöglich durch Verwitterung weder aus den Kalksteinen Nr. 9 und 10, noch aus den kieseligen Gebilden Nr. 11 und 12 hat entstehen können; der Boden steht mit den Gesteinen Nr. 9—12 in gar keinem Zusammenhange und ist entweder aus einem anderen in der Nähe anstehenden Gestein durch Verwitterung gebildet oder in seinen Hauptbestandtheilen aus der Ferne her angeschwemmt worden.

C. Sandiger Lehm auf weissem Jura ϵ & δ bei
Bissingen etc.

Nr. 14. Sandiger Lehmboden, welcher stellenweise in kleineren Parthien auf der Alb vorkommt; von ähnlicher Beschaffenheit wie der pulverige Theil von Nr. 13, nur etwas heller gefärbt, mit Säuren nicht aufbrausend, also sehr kalkarm. Der Ursprung ist vorläufig unbekannt.

Bei den chemischen Untersuchungen, welche von Professor Fraas in Vorschlag gebracht und von mir zur Ausführung übernommen worden sind, hat man die bestimmt ausgesprochene Absicht, die in Württemberg besonders verbreiteten Gebirgsformationen in ihrer ursprünglichen Beschaffenheit wie in ihren wichtigeren Verwitterungsstufen und die aus den letzteren unmittelbar hervorgegangenen Fruchtböden einer genauen Analyse zu unterwerfen und aus den Resultaten derselben wo möglich geologisch und landwirthschaftlich wichtige Folgerungen zu ziehen. Es kann nicht zweifelhaft sein, dass in der That interessante Resultate erzielt werden müssen, wenn

1. die Analyse nach allen Richtungen hin vollständig und genau ausgeführt wird, unter Anwendung verschiedener Lösungsmittel (kalte Salzsäure, kochende concentrirte Salzsäure, concentrirte Schwefelsäure und Flusssäure), um dadurch die für die nähere Vergleichung nöthigen Anhaltspunkte zu gewinnen; und

2. wenn die Uebergangsstufen vom ursprünglichen Gestein bis zum daraus schliesslich gebildeten Fruchtboden mit der äussersten Sorgfalt ausgewählt werden und überhaupt zu einer speciellen Analyse geeignet sind.

Wie schwierig es ist, in letzterer Hinsicht den Ansprüchen des Chemikers zu genügen, ergibt sich aus der vorstehenden kurzen Beschreibung der mir zur näheren Prüfung zugeschickten Erd- und Gesteinsproben. Von den Verwitterungsprodukten des

Hauptmuschelkalkes Nr. 1—6 können nur Nr. 1, 3 u. 5 der grossen Mühe einer ausführlichen chemischen Analyse werth erachtet werden, indem nur diese deutlich in einem direkten Zusammenhange mit einander stehen und ausserdem Verwitterungsstufen repräsentiren, die hinreichend weit von einander entfernt sind, wie diess der steigende Gehalt an in Salzsäure unlöslicher thonig-sandiger Substanz (4,2—13,8 und 36,2 Proc.) erkennen lässt. Auch Nr. 7 und 8 scheinen noch eine genauere chemische Untersuchung zu verdienen, obgleich es noch fraglich ist, ob Nr. 8 wirklich durch Verwitterung von Nr. 7 entstanden ist, ohne dass hierbei eine Vermischung mit anderweitigen Substanzen stattgefunden hätte; jedenfalls stehen Nr. 7 und 8 einander gleichsam als Extreme eines und desselben Gesteins gegenüber und es wäre daher sehr interessant, wenn vielleicht die Mittelglieder in einigen Verwitterungsstufen aufgefunden werden könnten. — Die Gesteine Nr. 9 und 10 einerseits und Nr. 11 und 12 andererseits haben mit einander und wahrscheinlich auch mit dem Fruchtboden Nr. 13 gar keinen Zusammenhang; es kann bezüglich derselben nicht von verschiedenen Verwitterungsstufen eines und desselben Gesteines die Rede sein, sie haben daher auch für den vorliegenden Zweck vorläufig keinen Werth. — Die nähere Untersuchung des sandigen Lehmes Nr. 14, welcher im Terrain des weissen Jura stellenweise vorkommt und den Charakter eines Diluviallehms hat, kann möglicherweise zu interessanten Resultaten führen, jedoch geschieht diese am besten im Zusammenhange mit der Prüfung derjenigen Gesteine, welche in der Nähe anstehen und in ihren Verwitterungsprodukten wahrscheinlich das Material zur Bildung dieser Lehmlagerungen geliefert haben.

Aus den oben angedeuteten Gründen habe ich mich vorläufig auf die specielle chemische Untersuchung der Gesteins- und Erdproben Nr. 1, 3 und 5 beschränken müssen. Diese Untersuchung nun, die in allen ihren Einzelheiten von mir allein ausgeführt wurde, hat vielfach interessante Resultate geliefert, welche zur weiteren Prüfung anderer Gesteine und deren Verwitterungsprodukte auffordern möchten.

Die Methode der Untersuchung war im Allgemeinen dieselbe, welche man in meinem „Entwurf zur Bodenanalyse“ beschrieben findet (s. Nobbe's „Landwirthschaftliche Versuchsstationen“, Bd. VI. 1864, S. 141—171; auch in Fresenius „Zeitschrift für analytische Chemie“, Bd. III. 1865. S. 85—115), jedoch mit einigen Modifikationen, welche theils die Natur der untersuchten Substanz, theils das Quantum, welches zur Analyse verwendbar war, nöthig machten. Die analytischen Belege zu den folgenden Untersuchungen sind in der Zeitschrift „Die landw. Versuchsstationen“, Bd. VII. 1865. S. 296—302 mitgetheilt worden.

Zu jeder ausführlichen Analyse wurden 150 Grm. der fein gepulverten und gleichförmig gemischten Substanz in Arbeit genommen und die folgende procentische Zusammensetzung der betreffenden Masse aus den direkten Wägungsergebnissen berechnet.

A. Die Substanz mit kalter concentrirter Salzsäure behandelt:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
	Proc.	Proc.	Proc.
Wasser bei 125° C. verflüchtigt	0,285	0,673	1,248
Verlust bei schwachem Glühen	0,128	0,673	1,414
Kohlensaurer Kalk	77,907	47,752	35,200
Kohlensaure Magnesia	16,593	34,949	22,767
Eisenoxyd	0,613	1,551	1,951
Thonerde	0,064	0,087	0,354
Phosphorsäure	0,0771	0,1624	0,4188
Schwefelsäure	0,0320	0,0128	0,0330
Kieselsäure	0,0227	0,0120	0,0230
Kali	0,0137	0,0263	0,0531
Natron	0,0145	0,0209	0,0161
Unlöslicher Rückstand (b. 100°)	4,270	14,434	37,882
	100,020	100,2534	101,360
Hievon ab			
Glühverlust des Rückstandes	0,143	0,651	1,636
	99,8770	99,7024	99,724

B. Der Rückstand von A mit concentrirter
Salzsäure gekocht.

	Nr. 3. Proc.	Nr. 5. Proc.
Im geglühten Zustande berechnet	13,783	36,246
Kieselsäure in der Lösung	0,0547	0,1340
Thonerde	0,4386	1,0333
Eisenoxyd	0,0707	0,1407
Kalk	0,0293	0,0420
Magnesia	0,0880	0,0407
Kali	0,1427	0,2947
Natron	0,0053	0,0087
	0,8293	1,6941
Kieselsäure, in kohlen saurem Natron löslich	1,3467	2,5040
Rückstand, als geglüht berechnet	11,6267	31,7867
	13,8027	35,9848

C. Der Rückstand von B mit concentrirter
Schwefelsäure behandelt.

	Nr. 1. Proc.	Nr. 3. Proc.	Nr. 5. Proc.
Rückstand von B (Nr. 1 von A) in geglühtem Zustande berechnet	4,127	11,6267	31,7867
Kieselsäure in der Lösung	0,0373	0,1380	0,2560
Thonerde	0,4267	1,2253	4,6007
Eisenoxyd	0,0347	0,0647	0,3813
Kalk	0,0106	0,0080	0,0613
Magnesia	0,0420	0,0827	0,3100
Kali	0,0803	0,2553	0,9507
Natron	0,0067	0,0140	0,0513
	0,6383	1,7880	6,6113
Kieselsäure, in kohlen saur. Natron löslich	0,9133	2,1700	7,6373
Rückstand geglüht	2,5740	7,6687	17,5390
	4,1266	11,6267	31,7886

D. Der Rückstand von C mit flusssäuren
Dämpfen behandelt.

	Nr. 1. Proc.	Nr. 3. Proc.	Nr. 5. Proc.
Rückstand von C, gegläht	2,5740	7,6687	17,5390
Thonerde	0,2740	0,8100	1,7267
Kalk	0,0107	0,0127	0,0947
Magnesia	0,0073	0,0093	0,0080
Kali	0,1787	0,6953	1,5220
Natron	0,0053	0,0140	0,0480
	0,4760	1,5413	3,3994
Kieselsäure	2,0980	6,1273	14,1407
	2,5740	7,6686	17,5401

Es ergibt sich also als procentische Zusammensetzung der ganzen Gesteinsmasse, wenn man die kleine Menge der im Rückstande von A gefundenen Kalkerde und Magnesia für sich, d. h. getrennt von der Hauptmasse der kohlen sauren Erden aufführt:

	Nr. 1. Proc.	Nr. 3. Proc.	Nr. 5. Proc.
Wasser bei 125° C.	0,285	0,673	1,248
Glühverlust	0,128	0,673	1,414
Kohlensaurer Kalk	77,907	47,752	35,200
Kohlensaure Magnesia	16,593	34,949	22,767
Kalkerde	0,0213	0,0500	0,1587
Magnesia	0,0493	0,1800	0,3587
Kali	0,2737	1,1196	2,8204
Natron	0,0265	0,0542	0,1241
Phosphorsäure	0,0771	0,1624	0,4188
Schwefelsäure	0,0320	0,0128	0,0330
Eisenoxyd	0,6477	1,6863	2,1490
Thonerde	0,7647	2,5611	7,7147
Kieselsäure	3,0714	9,8487	24,6950
	99,8775	99,7021	99,1014
Nach Abzug der kohlen sauren Erden	94,5000	82,7010	57,9670
bleibt als Rest	5,3775	17,0011	41,1334

Unter dem Einfluss des atmosphärischen Wassers findet bei der allmählichen Verwitterung der Kalksteine zunächst und vorzugsweise ein Auslaugen der kohlensauren Erden statt. Inwiefern auch die übrigen Bestandtheile des Gesteins in ihren ursprünglichen Mengenverhältnissen von diesem Auslaugungsprozess betroffen werden, ersieht man schon theilweise, wenn man einfach die Gesammtmengen der kohlensauren Erden in Abzug bringt und den Rest wiederum auf 100 Theile berechnet. Die lufttrockene Substanz würde alsdann enthalten:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
	Proc.	Proc.	Proc.
Wasser, bei 125° C. verflüchtigt . . .	5,30	3,96	3,03
Glühverlust	2,38	3,96	3,43
Kalkerde	0,40	0,29	0,39
Magnesia	0,92	1,06	0,87
Kali	5,09	6,58	6,85
Natron	0,50	0,32	0,30
Phosphorsäure	1,45	0,96	1,02
Schwefelsäure	0,59	0,08	0,08
Eisenoxyd	12,04	9,92	5,22
Thonerde	14,22	15,06	18,84
Kieselsäure	57,11	55,81	59,97
	100,00	100,00	100,00

Man bemerkt, dass von allen Bestandtheilen, welche ausser den kohlensauren Erden zugegen sind, das Eisenoxyd verhältnissmässig am leichtesten ausgewaschen wird, dass auch die Phosphorsäure und namentlich die Schwefelsäure bis zu einem gewissen in Nr. 3 erreichten Stadium der Verwitterung austraten, während Thonerde und Kali entschieden am wenigsten dem Auslaugungsprocesse unterliegen, die Kieselsäure aber und die übrigen Bestandtheile bei obiger Berechnungsweise keine recht bestimmten Zahlenverhältnisse darbieten.

Weit deutlicher treten die in Folge der Verwitterung des Gesteins stattgefundenen Veränderungen hervor, wenn man zu ermitteln versucht, wie viel dem Gewichte nach von dem ursprünglichen Gestein zur Bildung von einer bestimmten

Masse, z. B. von 100 Gewichtstheilen der betreffenden Verwitterungsstufe hat beitragen müssen, wenn man also die absoluten Mengenverhältnisse der einzelnen Bestandtheile in den verschiedenen Gesteinsproben mit einander vergleicht. Als Grundlage für eine derartige Berechnung scheint der Gehalt der verschiedenen Verwitterungsstufen an reinem Thon besonders geeignet zu sein, wie derselbe auf chemischem Wege durch Bestimmung der in Salzsäure und Schwefelsäure löslichen Thonerde und der durch Behandlung des Rückstandes mit kohlensaurem Natron etc. gelösten Kieselsäure ermittelt worden ist. Der Thon ist am wenigsten einer eingreifenden Zersetzung und Auflösung unter dem Einfluss der Atmosphärien unterworfen; man kann annehmen, dass bei einer langsamen und ruhigen Auslaugung des Gesteins der Thon ziemlich vollständig auf der ursprünglichen Lagerstätte zurückbleibt und hier ein Hauptmaterial der nach und nach entstehenden Ackerkrume liefert.

Aus der obigen Zusammenstellung der analytischen Resultate ergeben sich die folgenden Mengenverhältnisse der Thonerde und Kieselsäure, welche durch auf einander folgende Behandlung der Gesteinsmasse mit Salzsäure und Schwefelsäure nachgewiesen wurden:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
Thonerde .	0,491 = 33,52	1,750 = 32,11	5,988 = 36,20
Kieselsäure .	0,973 = 66,48	3,721 = 67,89	10,555 = 63,80
	1,464 = 100,00	5,471 = 100,00	16,543 = 100,00

Hierzu kommen bei Nr. 1 und 3 noch kleine Mengen von Thon, welche der Zersetzung durch Schwefelsäure sich entzogen hatten, wie aus der weiter unten folgenden Berechnung der Gemengtheile der mit Flusssäure aufgeschlossenen sandigen Substanz zu ersehen ist, nämlich:

Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
0,209	0,091	—
1,460	5,471	16,543
1,669	5,562	16,543
= 1	= 3,33 × Nr. 1.	2,97 × Nr. 3.

Die Rechnung ergibt nun die folgenden Zahlen für den Uebergang von Nr. 1 in Nr. 3:

	Nr. 1. Proc.	3,33×Nr. 1.	Nr. 3. Proc.	Differenz
Wasser, bei 125° C.	0,285	0,949	0,673	= - 0,276
Glühverlust	0,128	0,426	0,673	= + 0,247
Kohlensaurer Kalk	77,907	259,430	47,752	= - 211,678
Kohlensaure Magnesia	16,593	55,255	34,949	= - 20,306
Kalkerde	0,0213	0,071	0,0500	= - 0,021
Magnesia	0,0493	0,164	0,1800	= + 0,016
Kali	0,2737	0,911	1,1196	= + 0,209
Natron	0,0265	0,088	0,0542	= - 0,034
Phosphorsäure	0,0771	0,257	0,1624	= - 0,095
Schwefelsäure	0,0320	0,107	0,0128	= - 0,094
Eisenoxyd	0,6477	2,157	1,6863	= - 0,471
Thonerde ,	0,7647	2,547	2,5611	= + 0,014
Kieselsäure	3,0714	10,228	9,8487	= - 0,379
	99,8767	332,690	99,7021	= - 233,354
Kohlensaure Kalkerde und Magnesia				231,984
				1,370
Eisenoxyd und Kieselsäure				0,850
				0,520
Wasser				0,029
				0,491

Die Veränderungen ferner, welche Nr. 3 bei seiner Umwandlung in Nr. 5 erlitten hat, werden deutlich sichtbar, wenn man die Bestandtheile von Nr. 3 einzeln mit 2,97 multiplicirt und die gefundenen Zahlen mit der procentischen Zusammensetzung von Nr. 5 vergleicht:

	Nr. 3. Proc.	2,97×Nr. 3.	Nr. 5. Proc.	Differenz
Wasser, bei 125° C.	0,673	1,999	1,248	= - 0,751
Glühverlust	0,673	1,999	1,414	= - 0,585
Kohlensaurer Kalk	47,752	141,813	35,200	= - 106,613
Kohlensaure Magnesia	34,949	103,799	22,767	= - 81,032

	Nr. 3. Proc.	2,97 × Nr. 3.	Nr. 5. Proc.	Differenz
Kalkerde	0,0500	0,149 —	0,1587 = +	0,010
Magnesia	0,1800	0,535 —	0,3587 = —	0,186
Kali	1,1196	3,325 —	2,8204 = —	0,505
Natron	0,0542	0,161 —	0,1241 = —	0,037
Phosphorsäure	0,1624	0,482 —	0,4188 = —	0,063
Schwefelsäure	0,0128	0,038 —	0,0330 = —	0,005
Eisenoxyd	1,6863	5,008 —	2,1490 = —	2,859
Thonerde	2,5611	7,607 —	7,7147 = +	0,108
Kieselsäure	9,8487	29,251 —	24,6950 = —	4,556
	99,7021	296,166 —	99,1014 =	197,192
Kohlensaure Kalkerde und Magnesia				187,645
				9,547
Eisenoxyd und Kieselsäure				7,415
				2,132
Wasser				1,336
				0,796

1. Betrachten wir zunächst das Verhalten der kohlen-sauren Erden, deren Auflösung und Auslaugung das Verwittern des Kalksteines und die allmähliche Concentration der übrigen Bestandtheile hauptsächlich bedingt.

Der hier untersuchte Muschelkalk ist ein stark dolomiti-scher Kalkstein, welcher in seiner ursprünglichen Be-schaffenheit auf 1 Aeq. kohlen-saurer Magnesia fast genau 4 Aeq. kohlen-sauren Kalk enthält, nämlich $16,593 : 77,907 = 42 : 197$ ($50 \times 3,94$). Es ist bekannt, dass aus einem Gemenge von Do-lomit und kohlen-saurem Kalk gewöhnlich der letztere zuerst aus-gelaugt wird und das Gestein dadurch oft eine löcherige, poröse, sogar schlackenartige Beschaffenheit annimmt, bevor es im weite-ren Verlaufe des Verwitterungsprocesses vollends auseinander fällt. Auch im vorliegenden Falle sieht man sehr deutlich, dass bei dem Uebergang des ursprünglichen Gesteins Nr. 1 in die Ver-witterungsstufe Nr. 3 der kohlen-saure Kalk absolut und relativ

in weit reichlicherer Menge aufgelöst und aus dem Gestein entfernt worden ist, als die kohlen saure Magnesia, nämlich auf 1 Aeq. der letzteren beinahe 9 Aeq. des ersteren : 20,306 : 211,678 = 42 : 438 ($50 \times 8,76$). Das obige Gestein Nr. 1 ist aber ein so inniges Gemenge von Dolomit und kohlen saurem Kalk, dass in Folge des Auswaschens von letzterem keine sichtbaren Löcher entstanden sind; das Gestein hat in seiner Verwitterungsstufe Nr. 3 nur eine mürbe, stark abfärbende, gleichförmig lockere Beschaffenheit angenommen, bevor es in Nr. 5 bei seiner weiteren Verwitterung theilweise schon zu einem lockeren Pulver zerfallen ist.

In Nr. 3 sind die kohlen sauren Erden schon in einem fast rein dolomitischen Gemenge mit thonigen und feinsandigen Substanzen zugegen; der gleichsam freie kohlen saure Kalk ist bereits beinahe vollständig ausgewaschen, denn das Verhältniss der beiden kohlen sauren Erden entspricht ziemlich gleichen Aequivalenten derselben, nämlich $34,949 : 47,752 = 42 : 57,4$ ($50 \times 1,15$), also auf 1 Aeq. Magnesia 1,15 Aeq. Kalkerde. Das Verhältniss der gleichen Aequivalente ist ein noch genaueres, wenn man auch das vorhandene Eisen in Rechnung zieht und bedenkt, dass höchst wahrscheinlich ein Theil desselben in der Form von Eisenoxydul die Magnesia im Dolomit vertreten wird.

Bei dem Uebergang der Verwitterungsstufe Nr. 3 in Nr. 5 bleibt das gegenseitige Verhältniss der beiden kohlen sauren Erden ziemlich unverändert; diese werden bei der weiteren Verwitterung des Gesteins zu fast gleichen Aequivalenten ausgewaschen; denn in 100 Theilen der kohlen sauren Erden sind enthalten bei

Nr. 3 kohlen saure Magnesia 42,3 und kohlen saurer Kalk 57,7

„ 5 „ „ 39,3 „ „ „ 60,7

oder es verhalten sich

$47,752 : 34,949 = 35,200 : 25,8$ (anstatt 22,8)

und ferner die ausgewaschenen Mengen der kohlen sauren Erden :

$81,032 : 106,613 = 43 : 55,2$ oder wie

1 Aeq. kohlen saure Magnesia zu 1,1 Aeq. kohlen saurer Kalkerde.

Auch hier treten die angedeuteten Verhältnisse noch bestimmter hervor, wenn man annimmt, dass das Eisen als Eisenoxydul wenigstens theilweise dem dolomitischen und nicht dem thonigen Bestandtheile des Muschelkalkes angehört. Man sieht also, dass wenigstens im vorliegenden Falle bei der Verwitterung des Kalksteins zuerst der dem Dolomit beigemischte kohlen saure Kalk fast ausschliesslich und vollständig aufgelöst und fortgeführt wird, dann aber die Auslaugung den Dolomit als Ganzes, d. h. den kohlen sauren Kalk und die kohlen saure Magnesia in äquivalenten Mengenverhältnissen betrifft.

2. Nächst den kohlen sauren Erden werden bei der Vewitterung des Muschelkalkes besonders Eisenoxyd und Kieselsäure entfernt, jedoch bei der Umwandlung von Nr. 3 in Nr. 5 in verhältnissmässig weit grösserer Menge als bei dem Uebergange von Nr. 1 in Nr. 3. Diess erklärt sich hinsichtlich des Eisenoxyds dadurch, dass dieses (als Eisenoxydul) wahrscheinlich ein Bestandtheil des eigentlichen Dolomits ist und daher in verhältnissmässig grösserer Menge fortgeführt werden muss, wenn der Auslaugungsprocess nach der Entfernung des mechanisch beigemischten kohlen sauren Kalkes auf den Dolomit selbst übergeht. Ob aber die Kieselsäure in dem zweiten Stadium der Verwitterung des Muschelkalkes wirklich in beträchtlicher Menge und in normaler Weise ausgewaschen wird, oder ob im vorliegenden Falle besondere Verhältnisse eine raschere procentische Zunahme im Thongehalte gegenüber dem Gehalt an sandiger Substanz bewirkt und ausserdem den Thon selbst reicher an Thonerde und entsprechend ärmer an Kieselsäure gemacht haben, — hierüber müssen die Resultate weiterer Forschungen entscheiden.

3. Die Menge der im Muschelkalk und in dessen Verwitterungsprodukten gefundenen Schwefelsäure ist nur unbedeutend. Man bemerkt aber, dass im ersten Stadium der Verwitterung, so lange der kohlen saure Kalk vorherrschend ausgewaschen wird, auch die Schwefelsäure weit reichlicher aus dem

Gestein austritt als in einer späteren Periode der Verwitterung. Bei dem schliesslichen Zerfallen des Gesteins, bei der Bildung eines feinpulverigen Bodens findet wiederum eine Concentration, eine procentische Zunahme der Schwefelsäure statt.

4. Wegen der grossen landwirthschaftlichen Bedeutung der Phosphorsäure musste es von besonderem Interesse sein, das Verhalten dieses Körpers im Muschelkalk bei dessen Verwitterung und bei der Umwandlung desselben in einen fruchtbaren Ackerboden genau zu verfolgen. Ich habe daher auf die Bestimmung der Phosphorsäure eine vorzugsweise grosse Sorgfalt verwendet in der Weise, dass ich dieselbe, um ein vollkommen zuverlässiges Resultat zu erzielen, dreimal nach etwas verschiedenen Methoden ausführte. Zwei Bestimmungen (a und b) beziehen sich auf die Lösung, welche durch Behandlung von 150 Grm. der Substanz mittelst kalter concentrirter Salzsäure dargestellt worden war, bei der dritten Bestimmung dagegen wurde eine besonders abgewogene Quantität des Gesteins mit verdünnter Salpetersäure digerirt und in der abfiltrirten Flüssigkeit die Phosphorsäure direkt mit molybdänsaurem Ammoniak bestimmt. In Procenten der lufttrockenen Substanz berechnet ergab sich hierbei:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
a . . .	0,0730 Proc.	0,1565 Proc.	0,4302 Proc.
b . . .	0,0770 „	0,1582 „	0,4402 „
c . . .	0,0814 „	0,1725 „	0,3860 „

Mittel . 0,0771 Proc. 0,1624 Proc. 0,4181 Proc.

Die Phosphorsäure ist in dem hier untersuchten Gestein ohne Zweifel so gut wie ausschliesslich mit den alkalischen Erden verbunden, wie schon aus dem Umstande mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht, dass durch Digeriren mit heisser Salpetersäure durchschnittlich keine grössere Menge von Phosphorsäure gelöst werden konnte als durch Behandlung des Gesteinspulvers mit kalter Salzsäure, vielmehr unter Einwirkung der letzteren schon die ganze Menge der vorhandenen Phosphorsäure in die Lösung übergieng. Der phosphorsaure Kalk wird weit we-

niger leicht vom atmosphärischen kohlenensäurehaltigen Wasser gelöst als der kohlen-saure Kalk, wenigstens so lange noch kohlen-saure Erden reichlich vorhanden sind. Auffallender Weise wird bei dem Fortschreiten der Verwitterung die vorhandene Phosphorsäure, wenigstens in dem vorliegenden Falle, verhältnissmässig immer weniger ausgewaschen, je mehr der procentische Gehalt an kohlen-sauren Erden im Gestein abnimmt, die Menge der thonigen und sandigen Substanzen dagegen zunimmt:

Bei der Um-	ausgewaschen von der Gesamtmenge der	Proc.	Proc.
wandlung von			
Nr. 1 in Nr. 3 kohlen-sauren Kalkerde	81,6,	Phosphorsäure	36,9
„ 3 „ 5	„ „ 75,2,	„	13,1

In dem ersten Stadium der Verwitterung wurde also die kohlen-saure Kalkerde 2,21mal, in der zweiten Periode dagegen 5,74 mal leichter ausgewaschen als die Phosphorsäure.

Das so eben angedeutete Verhalten der Phosphorsäure ist von wesentlichem Einfluss auf die Gestaltung eines so fruchtbaren Ackerbodens, wie man in der That häufig im Terrain des Haupt-muschelkalkes antrifft. Der dieser Formation angehörende Frucht-boden zeigt bei uns in Württemberg fast überall einen beträchtlich höheren Phosphorsäuregehalt, als die aus irgend einer anderen Formation entstandenen Bodenarten, wie z. B. die folgenden Phosphorsäure-Bestimmungen bestätigen, welche im hiesigen Laboratorium von Herrn Beyer ausgeführt wurden:

Phosphorsäure im Fruchtboden auf dem	Proc.
Hauptmuschelkalk bei Assumstadt	0,309
Lettenkohlen-sandstein vom Schwärzer Hof	0,106
Keupersandstein vom Burgholz-hof	0,127
Lias-Posidonienschiefer bei Metzingen	0,137
Lias- Mittlerer Amaltheenthon bei Metzingen	0,160
Jura- Brauner Sandstein von Wasseral-fingen	0,203
Jura-Impressathon bei Geisslingen	0,090
Kieselkalkboden vom Lonseer Berg	0,043

Zur weiteren Vergleichung mögen hier noch die Phosphor-säuremengen Erwähnung finden, welche ich in sechs verschiedenen

Kulturböden des Hohenheimer Arealis ermittelte, von denen Nr. 1 einer lokalen, kleinen Süßwasser-Ablagerung angehört, einen kalk- und muschelreichen, sehr humosen und etwas torfigen Boden bildet, Nr. 2 und 4 aus dem Liassandstein, Nr. 3 aus dem Liaskalkstein, Nr. 5 aus den Keuper-Thonmergeln entstanden sind und Nr. 6 einen Diluviallehm bildet, dessen Material ursprünglich der Liasformation angehört:

Phosphorsäure im Boden von	Löslich in concentrirter	
	heisser	kalter
	Salzsäure.	
Nr. 1. Heidfeld, Schl. V . . .	0,185 Proc.	0,1383 Proc.
„ 2. Heidfeld, Schl. IV . . .	0,083 „	0,0621 „
„ 3. Chausseefeld, Schl. I . . .	0,178 „	0,1492 „
„ 4. Chausseefeld, Schl. III . . .	0,109 „	0,0826 „
„ 5. Meiereifeld, Schl. VII . . .	0,064 „	0,0346 „
„ 6. Freie Wirthschaft . . .	0,142 „	0,1218 „
Mittel . . .	0,127 Proc.	0,0981 Proc.

Im Mittel sind hier 77,2 Proc. von der in kochender Salzsäure löslichen Phosphorsäure durch 48stündige Behandlung des Bodens mit kalter Salzsäure gelöst worden.

5. Ganz ähnlich, wie bezüglich der Phosphorsäure, findet auch bei den Alkalien eine sehr beträchtliche Concentration derselben in Folge der fortschreitenden Verwitterung des Muschelkalkes statt. Bei dem Uebergang von Nr. 3 in Nr. 5 bemerkt man den verhältnismässig nur geringen Verlust von 15,2 Proc. der absoluten Menge des Kali, also fast dasselbe Verhältniss, welches bei der Phosphorsäure beobachtet wurde (nämlich 13,1 Proc.), während von dem kohlen-sauren Kalk 75,2 Proc. der in Nr. 3 noch vorhandenen Gesamtmenge, also 5mal mehr ausgewaschen wurden. In dem ersten Stadium der Verwitterung, so lange fast allein der kohlen-saure Kalk aus dem Gesteine ausgewaschen wird, findet ein noch geringer Verlust von Kali statt, weil dann procentisch noch weniger thonige und sandige Substanz zugegen ist als später und das Kali offenbar mit diesen Substanzen schwerlösliche Verbin-

dungen bildet, wie weiter unten noch näher wird erörtert werden. Die Zunahme aber, welche auch in der absoluten Menge des Kalis bei dem Uebergange des Gesteins von Nr. 1 in Nr. 3 scheinbar stattgefunden hat, kann wohl nur darauf beruhen, dass Nr. 1 kein ganz passendes, d. h. den Verwitterungsstufen Nr. 3 und 5 durchaus entsprechendes Material für die Untersuchung geliefert hat. Jedenfalls aber ergibt sich aus den Resultaten der Analyse deutlich genug, dass bei der Verwitterung des Muschelkalkes keine irgendwie beträchtliche Menge von Kali ausgewaschen wird, ungeachtet dieses Gestein relativ sehr reich ist an Kali, — dass vielmehr fortwährend eine immer grössere Concentration dieses wichtigen Bestandtheiles einer fruchtbaren Ackerkrume stattfindet, ganz entsprechend der stetigen procentischen Zunahme der thonigen und sandigen Substanz.

Die ausführlichen Analysen des Muschelkalkes und seiner Verwitterungsprodukte gestatten noch einige weitere Folgerungen, welche die Charakteristik des Hauptmuschelkalk-Bodens betreffen, über dessen Beschaffenheit ein helleres Licht zu verbreiten geeignet sind.

6. Die Menge der bei 48stündiger Berührung mit kalter concentrirter Salzsäure ungelöst gebliebenen Substanz (Thon und Sand) betrug, auf den geglühten Zustand berechnet, von 100 Theilen des Gesteins:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
(a)	4,127	13,783	36,246

Nach dem Auskochen mit concentrirter Salzsäure und Schwefelsäure blieben hiervon als feinsandige Substanz noch ungelöst:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
(b)	2,574	7,669	17,539
(b) in Proc. von (a) .	62,4	55,7	48,4

Hiernach hätte also die Menge der sandigen Substanz im Verhältniss zum Thon mit dem Fortschreiten der Verwitterung des Muschelkalkes regelmässig etwas abgenommen; ein Theil der

ersteren wäre ausgewaschen und fortgespült worden. Jedoch ist hierbei noch eine Correction anzubringen, weil in Nr. 1 und Nr. 3 eine kleine Menge des Thones sich der Zersetzung durch concentrirte Schwefelsäure entzogen hatte, wie man deutlich ersieht, wenn man die analytisch ermittelten Bestandtheile des sandigen Rückstandes etwas näher betrachtet und zu diesem Zweck procentisch berechnet:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
Thonerde . . .	10,65	10,56	9,84
Kalk	0,41	0,17	0,31
Magnesia . . .	0,28	0,12	0,05
Kali	6,94	9,07	8,68
Natron	0,21	0,18	0,27
Kieselsäure . .	81,51	79,90	80,85
	100,00	100,00	100,00

Die Masse, deren Zusammensetzung im Vorstehenden angegeben ist, wird hier nur wegen ihrer Unlöslichkeit in kochender Salzsäure und Schwefelsäure als sandige Substanz bezeichnet; in Wirklichkeit ist die mechanische Beschaffenheit derselben mehr thoniger Art, d. h. sie stellt eine weisse lockere Substanz dar, welche selbst unter dem Mikroskop kaum eine Spur von Sandkörnern und Gesteinspartikelchen erkennen lässt und auch beim Zerreiben und Abschlämmen im Achatmörser nur durch unbedeutendes Knirschen unter dem Pistill die Gegenwart von einzelnen festeren Körnchen andeutet, die übrigens ebenfalls sehr leicht zu einer feineren Masse sich zertheilen lassen. Die der Einwirkung der kräftigsten Säuren und alkalischen Lösungen widerstehende Substanz muss allerdings der Theorie nach als ein inniges Gemenge von Quarzsand und Feldspath betrachtet werden; aber es ist zweifelhaft, ob wirkliche, auf mechanischem Wege fein zerriebene Feldspath-Partikelchen zugegen sind. Man könnte auch vermuthen, dass unter geeigneten Verhältnissen in einer Flüssigkeit oder einer schlammigen Masse nachträglich feldspathartige Verbindungen gebildet und im innigen Gemenge mit den kohlen-sauren Erden abgelagert wären, — in welchem Falle diese kali-

reichen Doppelsilikate freilich wohl eine mehr zeolithische Natur haben müssten und deren Unzerlegbarkeit durch kochende Salzsäure und Schwefelsäure etwas räthselhaft sein würde.

Berechnet man aus der Menge des gefundenen Kalis und Natrons den Gehalt an feldspathartigen Verbindungen und aus der bei Nr. 1 und Nr. 3 noch übrig bleibenden Thonerde den Thon, unter Zugrundelegung des Verhältnisses zwischen Thonerde und Kieselsäure, welches in der durch Säuren zerlegten Thonsubstanz wirklich ermittelt wurde, so erhält man die folgenden Zahlen für die Gemengtheile der sogen. sandigen Substanz:

	Nr. 1. Proc.	Nr. 3. Proc.	Nr. 5. Proc.
Kalifeldspath	41,20	53,82	51,46
Natronfeldspath	1,79	1,53	2,29
Thon	8,13	1,18	—
Quarzsand	48,19	43,22	45,89
Kalkerde und Magnesia	0,69	0,29	0,36
	100,00	100,00	100,00

Nach Abzug des Thones und der kleinen Mengen von Kalk und Magnesia bleiben also für Feldspath und Quarzsand:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.	Mittel.
Feldspath	47,2	56,7	53,9	52,6
Quarzsand	52,8	43,3	46,1	47,4
	100,0	100,0	100,0	100,0

Die Menge der reinen sandigen Substanz in 100 Theilen des Gesteins beträgt daher:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
(b) s. oben	2,574	7,669	17,539
Hiervon ab an Thon	0,209	0,091	—
	2,365	7,578	17,539
Thon und Sand	4,127	13,783	36,246
Thonige Substanz	1,762	6,205	18,707

oder in Procenten :

Sandige Substanz . .	57,3 Proc.	54,9 Proc.	48,1 Proc.
Thonige Substanz . .	42,7 „	45,1 „	51,6 „
	100,0 Proc.	100,0 Proc.	100,0 Proc.

Als zur thonigen Substanz gehörig ist hier die ganze Menge des Kali, welche in der durch heisse Salzsäure und durch Schwefelsäure bewirkten Lösung enthalten war, in Rechnung gebracht worden, sowie die in denselben Lösungen gefundenen kleinen Mengen von Eisenoxyd, Kalk und Magnesia. Bringt man die erwähnten Stoffe in Abzug und berechnet also nur den reinen Thon (Kieselsäure und Thonerde), so findet man die Zahlen: Nr. 1 = 40,4 Proc., Nr. 3 = 40,4 Proc., Nr. 5 = 45,6 Proc.

7. Es ist jedenfalls in landwirthschaftlicher Hinsicht von Interesse, die Zusammensetzung der feinsandigen Substanz, welche aus dem Hauptmuschelkalk in den durch dessen Verwitterung entstandenen Fruchtboden übergeht, mit derjenigen der entsprechenden Gemengtheile anderer Gebirgsformationen und Bodenarten zu vergleichen. Diese sandigen Gemengtheile sind bisher selten einer näheren Prüfung unterworfen worden und ich kann nur einige hieher gehörige Analysen mittheilen, welche der ausführlichen Untersuchung*) von 6 Hohenheimer Bodenarten entnommen sind, die schon oben Erwähnung gefunden haben, als von der Phosphorsäure die Rede war.

Die in concentrirter kochender Salzsäure und Schwefelsäure unlöslichen sandigen Gemengtheile der betreffenden Bodenarten aus dem Gebiete der Lias- und Keuperformation fand ich folgendermassen zusammengesetzt:

*) Vergl. die vorläufigen Mittheilungen über diese Bodenarten in der „Beschreibung der land- und forstwirthschaftlichen Akademie Hohenheim“. Stuttgart, 1863. S. 131—139. Die oben angegebene Zusammensetzung beruht auf einer neu vorgenommenen Berechnung der direkten Wägungsergebnisse der Analysen.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
Thonerde	5,51	6,79	3,91	6,23	5,45	5,47
Kali	1,63	1,88	1,22	1,80	1,49	1,72
Natron	1,37	1,69	1,13	1,25	0,59	1,39
Magnesia	0,23	0,35	0,16	0,29	0,15	0,16
Kieselsäure	91,26	89,29	93,58	90,43	92,32	91,26
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Hieraus berechnet man in derselben Weise wie oben, nur dass hier der Thon nach der Formel $3Al^2O^3$, $4SiO^3$ zusammengesetzt gefunden wurde:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kalifeldspath	9,68	11,16	7,25	10,69	8,85	10,21
Natronfeldspath	11,69	14,41	9,62	10,67	5,05	11,86
Thon	3,16	4,21	1,50	4,75	6,17	2,79
Quarzsand	75,24	69,87	81,47	73,60	79,78	74,98
Magnesia	0,23	0,35	0,16	0,29	0,15	0,16
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Man sieht, dass in der sandigen Substanz der betreffenden Bodenarten durchschnittlich 5mal weniger Kalifeldspath und an feldspathartigen Verbindungen überhaupt $2\frac{1}{2}$ mal weniger enthalten war, als in der sandigen Substanz des Muschelkalkes, welche ausserdem in einem noch feiner zertheilten Zustande sich befand als in den obigen Bodenarten. Der überaus grosse Kaligehalt in den sandigen Gemengtheilen des Hauptmuschelkalkes muss ohne Zweifel eine erhöhte Fruchtbarkeit des durch Verwitterung des letzteren entstehenden Ackerbodens bedingen. In den von mir untersuchten Verwitterungsstufen ist allerdings jene sandige Substanz in einem gleichsam noch jungfräulichen Zustande zugegen; nach der vollständigen Umwandlung des Gesteins in einen feinpulverigen Boden und nachdem der letztere schon längere Zeit kultivirt worden, also dem freien Zutritt der Luft ausgesetzt gewesen ist, überhaupt in einem fertigen Fruchtboden des Hauptmuschelkalkes

wird in Folge weiterer Verwitterung die sandige Substanz auch entsprechend ärmer an Kali sein, die Kieselsäure mehr vorherrschen; immerhin aber muss ein Reichthum an nach und nach den Pflanzen sich darbietendem Kali vorhanden sein, welcher dem Boden des Hauptmuschelkalkes noch auf Jahrtausende hinaus einen beträchtlichen Vorzug vor den meisten anderen Verwitterungsböden sichert.

8. Die thonige Substanz im Muschelkalke ist verhältnissmässig reich an Kieselsäure oder vielmehr ein inniges Gemenge von reinem Thon (Al_2O_3 , SiO_3 oder $3Al_2O_3$, $4SiO_3$) mit in Alkalien löslicher Kieselsäure, welche letztere entweder in einem fein zertheilten Zustande dem Thone beigemischt oder in anderweitigen Verbindungen, namentlich mit Kalk und Kali, im Gestein vorhanden war und aus diesen Verbindungen erst durch die Einwirkung der Salzsäure und Schwefelsäure abgeschieden worden ist. Wie fast überall findet man auch hier, dass die durch kochende Salzsäure zerlegbare Thonsubstanz anscheinend mehr Kieselsäure enthält als der Thon, welcher erst unter der kräftigeren Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure eine Zersetzung erleidet. Die analytischen Belege gestatten nur bei Nr. 3 und Nr. 5 eine Vergleichung des angedeuteten Verhaltens.

Mit heisser Salzsäure aufgeschlossen:

	Nr. 3.	Proc.	Nr. 5.	Proc.	Mittel.
Kieselsäure . . .	1,4014	= 76,2	2,6380	= 71,9	74,1
Thonerde . . .	0,4386	= 23,8	1,0333	= 28,1	25,9
	1,8400	100,0	3,6713	100,0	100,0

Mit Schwefelsäure aufgeschlossen:

	Nr. 3.	Proc.	Nr. 5.	Proc.	Mittel.
Kieselsäure . . .	2,3080	= 65,3	7,8933	= 63,2	64,3
Thonerde . . .	1,2253	= 34,7	4,6007	= 36,8	35,7
	3,5333	100,0	12,4940	100,0	100,0

Bei der Untersuchung der oben erwähnten Hohenheimer Bodenarten ergab sich im Mittel für die Thonsubstanz, aufgeschlossen mit

	Salzsäure.	Schwefelsäure.
Kieselsäure . . .	61,2 Proc.	54,5 Proc.
Thonerde . . .	38,8 „	45,5 „
	100,0 Proc.	100,0 Proc.

Die Zusammensetzung der mittelst Schwefelsäure aufgeschlossenen Thonsubstanz entspricht in letzterem Falle fast genau der Formel $3\text{Al}^2\text{O}^3$, 4SiO^3 —, welche 54,1 Proc. Kieselsäure und 45,9 Proc. Thonerde erfordert, während die entsprechende Substanz im Muschelkalle nach der Formel Al^2O^3 , 2SiO^3 (mit 63,9 Proc. Kieselsäure und 36,1 Proc. Thonerde) zusammengesetzt ist.

9. Der Vollständigkeit wegen und um die Mengenverhältnisse der Bestandtheile der gleichsam „rohen“ thonigen Substanz, d. h. des mit heisser Salzsäure und Schwefelsäure aufschliessbaren Theiles vom Rückstande der Behandlung des Gesteines mit kalter Salzsäure, — mit der S. 90 angegebenen Zusammensetzung der sog. sandigen Substanz vergleichen zu können, mag hier noch die procentische Berechnung der ersteren Erwähnung finden und zwar auf den lufttrockenen Zustand dieser Masse bezogen:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
Kieselsäure in der sauren Lösung	2,20	2,85	1,92
Kieselsäure in alkalischer Lösung	53,85	51,98	49,85
Thonerde	25,16	24,60	27,70
Eisenoxyd	2,04	2,00	2,57
Kalk	0,63	0,55	0,51
Magnesia	2,52	2,52	1,72
Kali	4,80	5,88	6,12
Natron	0,39	0,28	0,29
Glühverlust etc.	8,41	9,34	9,32
	100,00	100,00	100,00

Bemerkenswerth ist es, dass auch in der thonigen Substanz bei Nr. 1, ebenso wie in dem sandigen Rückstand gegenüber von Nr. 3 und Nr. 5 eine verhältnissmässig geringere Menge von Kali zugegen war.

Der gesammte in kalter Salzsäure unlösliche Rückstand (thonige und sandige Substanz) hatte an luft-trockenem Zustande die folgende procentische Zusammensetzung:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
Kieselsäure	71,39	68,15	65,13
Thonerde	16,41	17,14	19,43
Eisenoxyd	0,81	0,94	1,38
Kalk	0,50	0,35	0,42
Magnesia	1,15	1,25	0,95
Kali	6,09	7,58	7,31
Natron	0,28	0,23	0,29
Glühverlust etc. . .	3,87	4,86	5,09
	100,00	100,00	100,00

10. Die natürliche Fruchtbarkeit des Bodens wird, wie durch die vorhandene Menge der Phosphorsäure, so auch zum grossen Theile durch das quantitative Verhalten der Alkalien, zunächst des Kalis zu den übrigen Bestandtheilen bedingt sein. Das Kali ist hauptsächlich durch die thonige Substanz im Boden gebunden und in dieser Verbindung das Auslaugen desselben durch Wasser und selbst die Lösung in schwach wirkenden oder verdünnten Säuren verhindert oder erschwert. Je mehr daher an Kali, im Verhältniss zur gleichzeitig gelösten Thonerde, in die betreffende Flüssigkeit übergeht, je vollständiger der vorhandene Thon mit dem Kali gleichsam gesättigt ist, desto leichter — so muss man annehmen — wird auch das Kali im Boden den Pflanzen zugänglich sein, desto weniger für die letzteren ein Mangel an Kali stattfinden können. Es muss jedenfalls immer bei der Beurtheilung der Güte und natürlichen Fruchtbarkeit eines Bodens als Hauptmoment das in einer und derselben Bodenlösung bestehende Mengenverhältniss zwischen dem Kali und der Thonerde ermittelt und in Betracht gezogen werden.

Bezüglich der durch kalte Salzsäure bewirkten Bodenlösung kann aus nahe liegenden Gründen auf das Verhältniss zwischen

Kali und Thonerde weniger Gewicht gelegt werden; hier wird es hauptsächlich nur auf die absolute Menge des in die Lösung übergegangenen Kalis und auf dessen Verhältniss zu der Gesamtmenge dieses Stoffes ankommen, namentlich zu derjenigen Quantität, welche in kochender concentrirter Salzsäure gelöst wird (s. unten).

Löslich in	Kali. Thonerde.		Kali. Thonerde.		Kali. Thonerde.	
	Nr. 1.		Nr. 3.		Nr. 5.	
kalter Salzsäure , .	0,9138	0,0640	0,0263	0,0870	0,0531	0,3540
kochender Salzsäure	—	—	0,1427	0,4386	0,2947	1,0333
			1:3,07		1:3,51	
Schwefelsäure . .	0,0803	0,4267	0,2553	1,2253	0,9507	4,6007
		1:5,31	1:4,80		1:4,84	
Salz- u. Schwefelsäure	0,0940	0,4907	0,4243	1,7509	1,2985	5,9880
		1:5,22	1:4,12		1:4,61	

Um diese Verhältnisse vollkommen würdigen zu können, ist es nöthig dieselben mit den für andere Gesteine oder Bodenarten gefundenen Zahlen zu vergleichen und zwar kann dieses vorläufig nur bezüglich der schon mehrfach erwähnten, von mir ausführlich untersuchten 6 Hohenheimer Bodenarten geschehen.

Verhältniss zwischen Kali und Thonerde.

Löslich in	1.	2.	3.	4.	5.	6.
heisser Salzsäure	1:13,1	1:13,8	1:9,1	1:11,9	1:6,9	1:13,1
Schwefelsäure .	1:11,6	1:9,1	1:9,9	1:7,9	1:6,7	1:7,5
beiden Säuren .	1:12,2	1:11,2	1:9,5	1:9,4	1:6,8	1:10,4

Wenn man bedenkt, dass die Hohenheimer Bodenarten schon als ziemlich reich an Kali bezeichnet werden müssen, so sieht man, ein wie überaus grosser Schatz von diesem landwirthschaftlich wichtigen Pflanzennährstoff theils in den sandigen (s. oben S. 89 ff.), theils auch in den thonigen Gemengtheilen des Muschelkalkes verborgen ist, — ein Reichthum, welcher bei der Verwitterung des Gesteins, bei dessen Umwandlung in einen fruchtbaren Boden procentisch immer zunimmt, um alsdann nach und nach, aber verhältnissmässig rasch den Pflanzen zugänglich zu werden, zur Produktion reichlicher Ernten mitzuwirken.

Um ein Beispiel anzuführen von einem merkwürdigen Gegensatz zu dem obigen Reichthum an Kali, theile ich hier die betreffenden Verhältnisszahlen mit, welche vor Kurzem bei der Untersuchung eines eigenthümlichen ungarischen Bodens im hiesigen Laboratorium von Herrn List ermittelt wurden:

Löslich in Salzsäure.	Schwefelsäure.	In Summa.
Kali. Thonerde.	Kali. Thonerde.	Kali. Thonerde.
0,264 : 5,380	0,164 : 3,064	0,428 : 8,444
1 : 20,4	1 : 18,7	1 : 19,7

Dieser Boden kommt stellenweise in der Nähe der Surány'er Zuckerfabrik vor; er ist berüchtigt durch grosse Unfruchtbarkeit, so dass selbst bei günstiger Witterung die Vegetation eine überaus dürftige ist, indem höchstens nur ganz kurzes Gras untermischt mit zahlreichen, aber sehr niedrig bleibenden Kamillen sich einstellt. Selbst durch Drainage und andere Meliorationen hat man die Produktivität der betreffenden Flächen nicht wesentlich steigern können. Den Boden bezeichnete man bisher als Soda- oder Salzboden, weil er zeitweise mit einer weissen Efflorescenz sich überzieht, welche aber nichts Anderes als auswitternde kohlen saure Kalkerde sein kann, woran die Erde reich ist. Der Boden ist im Gegentheil salzarm und namentlich ist das Kali offenbar im Verhältniss zu dem Thon in zu geringer Menge vorhanden und von dem letzteren zu fest gebunden. Hierin finde ich, abgesehen von den mechanischen und physikalischen Verhältnissen, die Hauptursache der so überaus geringen natürlichen Fruchtbarkeit des Bodens. Die übrigen Bestandtheile, auch die Phosphorsäure, sind in normalen Mengen zugegen.

11. Schliesslich will ich noch die Mengenverhältnisse der in kalter Salzsäure löslichen Stoffe, namentlich der Alkalien, einer näheren Betrachtung unterziehen. Die neuere Bodenanalyse widmet mit Recht gerade diesen Stoffen eine besonders grosse Beachtung; keineswegs aber darf man sich auf die Bestimmung derselben ausschliesslich beschränken, wenn es darauf ankommt, eine einigermaßen vollständige Charakteristik eines

Bodens zu liefern und über dessen Güte und natürliche Fruchtbarkeit ein möglichst zuverlässiges, praktisch brauchbares Urtheil zu fällen. Zu diesem Zweck ist gerade die Vergleichung der von verschiedenen, mehr oder weniger kräftig wirkenden Lösungsmitteln aufgenommenen Mengen der Bodenbestandtheile von grosser Wichtigkeit.

Das Natron bildet einen sehr unwesentlichen Bestandtheil des hier untersuchten Muschelkalkes. Der Umstand, dass die procentische Menge dieses Körpers in der mittelst kalter Salzsäure bewirkten Lösung bei allen Verwitterungsstufen des Muschelkalkes fast unverändert bleibt, also keine regelmässige Zunahme desselben, wie bezüglich des Kalis, stattfindet —, dieser Umstand deutet darauf hin, dass das in kalter Salzsäure lösliche Natron, vielleicht als Chlornatrium in kleinen Quantitäten dem Gestein nur mechanisch und zufällig beigemischt ist, in Folge der steten Berührung mit der Luft und den atmosphärischen Wassern. Auch kann aus dem Gestein selbst durch weitere Verwitterung keine irgendwie beträchtliche Menge von Natron in einen leichter löslichen Zustand übergehen, weil der Natrongehalt der in kalter Salzsäure unlöslichen thonigen und sandigen Substanz ein sehr geringer ist und theilweise sogar in die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt.

Hinsichtlich des Kalis sind hier aus den Resultaten der Analyse die folgenden Zahlenverhältnisse hervorzuheben. In Procenten des lufttrockenen Gesteins war an Kali löslich in

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
a. kalter Salzsäure . .	0,0137	0,0267	0,0531
b. kochender Salzsäure .	—	0,1427	0,2947
(a) in Procenten von (b)	—	18,7 Proc.	18,0 Proc.

Vergleichen wir zunächst wiederum die betreffenden Verhältnisse mit den Resultaten, welche ich bei der Untersuchung von 6 Hohenheimer, seit langer Zeit in Kultur befindlichen Bodenarten erhielt.

	Löslich in		
	(a) kalter	b. heisser	(a) in Proc.
	Proc.	Proc.	von (b).
1. Heidfeld, Schl. V . . .	0,0298	0,281	10,6
2. Heidfeld, Schl. IV . . .	0,0459	0,223	20,5
3. Chausseefeld, Schl. I . . .	0,0925	0,662	14,0
4. Chausseefeld, Schl. III . . .	0,0511	0,269	19,0
5. Meiereifeld, Schl. VII . . .	0,0604	0,984	6,1
6. Freie Wirthschaft . . .	0,0671	0,533	12,6
Mittel . . .	0,0578	0,492	11,7

Es ist daran zu erinnern, dass Nr. 1 ein sehr stark humoser, fast torfiger Boden ist und auch ziemlich viel Thon enthält; Nr. 2 und 4 sind feinsandige, Nr. 3 und 6 ziemlich thonige Böden und Nr. 5 ein sehr zähthoniger Boden. Mit dieser Beschaffenheit des Bodens steht offenbar die Leichtlöslichkeit des Kalis in einem direkten Zusammenhange, nämlich: Je thoniger ein Boden ist und oft auch je mehr Humus er enthält, desto weniger Kali verhältnissmässig geht durch die Behandlung des Bodens mit kalter concentrirter Salzsäure in den gelösten Zustand über, wenn auch mit dem grösseren Thongehalt die absolute Menge des vorhandenen Kalis und auch der in kalter, namentlich aber der in kochender concentrirter Salzsäure lösliche Theil desselben immer grösser wird.

Unter den obigen 6 Hohenheimer Ackererden sind die verschiedensten Bodenarten ziemlich gleichmässig vertreten, so dass das mittlere Resultat, dass nämlich das in kalter Salzsäure lösliche Kali 11,7 oder ungefähr 12 Proc. von der in heisser Salzsäure löslichen Menge ausmacht, im Allgemeinen als ein für die meisten Bodenarten durchschnittlich geltendes betrachtet werden kann. Diesem gegenüber ist offenbar das Verhältniss von 18,4 Proc. in den Verwitterungsstufen des Muschelkalkes Nr. 3 und 5 ein sehr günstiges, namentlich wenn man bedenkt, dass der allmählig sich bildende Ackerboden ziemlich thoniger Natur sein muss und ausserdem der absolute Kaligehalt des letzteren ein ungewöhnlich grosser ist.

Die scheinbar geringe procentische Menge des in Salzsäure löslichen Kalis, welche in dem Hauptmuschelkalk und in seinen Verwitterungsprodukten ermittelt wurde, wird in der That eine sehr beträchtliche, wenn man das Gestein durch Abzug der kohlen-sauren Erden auf einen mit den grossentheils kalkarmen Hohenheimer Bodenarten vergleichbaren Zustand berechnet; nämlich:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.	Mittel.
Löslich in	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
kalter Salzsäure .	0,2491	0,1520	0,1270	0,1760
heisser Salzsäure .	—	0,8191	0,7017	0,7604

Also wäre hier das in kalter Salzsäure lösliche Kali in dreimal grösserer Menge, das in heisser Salzsäure lösliche Kali in fast doppelt so grosser Menge zugegen, als durchschnittlich in jenen Hohenheimer, keineswegs kaliarmen Bodenarten gefunden wurde.

Die Gesamtmenge aber der Alkalien ist bei obiger Rechnungsweise:

Im Muschelkalle	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.			
Kali . . .	5,09 Proc.	6,58 Proc.	6,85 Proc.			
Natron . .	0,50 „	0,32 „	0,30 „			
Im Hohenheimer Boden	Nr. 1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kali	1,50	1,76	1,86	1,98	2,43	1,98
Natron	0,85	1,04	0,65	0,98	0,20	0,92

Das Eisenoxyd wird zum weitaus grösseren Theile schon durch Behandlung des Gesteins mit kalter Salzsäure gelöst, denn es ist in

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
	Proc.	Proc.	Proc.
a. kalter Salzsäure löslich . .	0,6130	1,5510	1,9510
b. „ „ unlöslich . .	0,0347	0,1354	0,5220
(b) in Procenten von (a) . . .	5,7	8,8	26,7

Es ist schon weiter oben darauf hingewiesen worden, dass das Eisen ohne Zweifel grossentheils als kohlen-saures Eisenoxydul in dolomitischer Verbindung in dem hier un-

tersuchten Muschelkalke zugegen ist. Hiermit steht im nothwendigen Zusammenhange, dass während der Umwandlung von Nr. 1 in Nr. 3, bei welcher die dolomitischen Verbindungen in einem nur sehr geringen Grade angegriffen werden, auch nur wenig Eisen aus dem Gesteine austritt und ausserdem das Verhältniss zwischen dem in kalter und dem in heisser Salzsäure auflöselichen Eisenoxyd ziemlich unverändert bleiben muss. Sobald aber bei dem Uebergange von Nr. 3 in Nr. 5 der dolomitische Theil des Muschelkalkes dem Auslaugungsprocess unterliegt, wird auch eine grössere Menge von kohlen-saurem Eisenoxydul gleichzeitig mit den kohlen-sauren Erden ausgewaschen werden, auf der anderen Seite aber auch ein Theil des Eisenoxyduls in Eisenoxyd übergehen und als solches in der procentisch rasch zunehmenden Thonsubstanz gebunden oder von derselben mechanisch umschlossen, überhaupt in einem weniger leicht löslichen Zustande zurückbleiben. Was die Menge des bei der Verwitterung des Gesteins ausgewaschenen Eisenoxyds betrifft, so beträgt dieselbe bei der Umwandlung von

Nr. 1 in Nr. 3 . . 2,157 — 1,6863 = 0,471 oder 21,9 Proc.
 „ 3 „ 5 . . 5,008 — 2,1490 = 2,859 „ 57,0 „

Im zweiten Falle wird also verhältnissmässig fast dreimal so viel Eisenoxyd ausgelaugt als im ersten Stadium der Verwitterung.

Bei der Behandlung der untersuchten Gesteine mit kalter Salzsäure entziehen sich kleine Mengen von Kalk und namentlich von Magnesia der Auflösung und werden erst unter der Einwirkung von kochender Salzsäure und Schwefelsäure, die letzten Spuren sogar erst durch Fluss-säure gelöst. Auf Procente der gesammten, in kalter Salzsäure unlöslichen Substanz berechnet, ergibt sich:

	Nr. 1.	Nr. 3.	Nr. 5.
Kalk	0,50	0,35	0,42
Magnesia . .	1,15	1,25	0,95

Es ist wohl zu beachten, dass hier die Magnesia in durchschnittlich zwei- bis dreimal grösserer Menge zugegen ist als die

Kalkerde — eine Erscheinung, welche als eine ganz gewöhnliche auch durch anderweitige Untersuchungen, namentlich der Hohenheimer Bodenarten, bestätigt wird. Die kleinen Mengen der alkalischen Erden können natürlich nicht mit Kohlensäure verbunden sein, sondern werden ohne Zweifel, ähnlich wie die Alkalien, in der Form von mehr oder weniger leicht zersetzbaren Doppelsilikaten, d. h. in chemischer Verbindung mit dem Thon schon ursprünglich im Gestein des Muschelkalkes vorkommen. Man sieht auch, dass hiermit in Uebereinstimmung die procentischen Verhältnisse dieser Stoffe in der in kalter Salzsäure unlöslichen Substanz ziemlich unverändert bleiben, dass also mit der allmählichen Zunahme der letzteren die relative Menge der ersteren eine grössere wird. Merkwürdig aber ist es, dass die einzelnen Verwitterungsstufen hinsichtlich der Zersetzbarkeit dieser Doppelsilikate durch gleiche Lösungsmittel sich sehr verschieden verhalten, eine Thatsache, welche ich vorläufig nicht zu erklären vermag.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1866

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Wolff Emil

Artikel/Article: [Die wichtigeren Gesteine Württemberg's, deren Verwitterungsprodukte und die daraus entstandenen Ackererden. 70-103](#)