

Studie über

M A G N E S I A P U L V E R

erstellt im Auftrag

des

DEUTSCHEN ALPENVEREINS

von

Dr. rer. nat. H. Aschauer, Diplom-Geologe

München, im Juli 1985

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Abschnitt	Seite
Einleitung		1
	Worum geht es?	1
	Studie über Magnesia - Auftraggeber und Auftragnehmer.	2
	Unterstützung.	2
Was ist Magnesia?		4
	Magnesiatypen.	4
	Analyse von Magnesiapulver.	5
	Analyse der Spurenelemente.	8
	Ergebnis.	9
	Vergleich mit einer früheren Publikation.	9
Was nützt Magnesia?		10
	Der Hängeversuch.	10
	Die Auswertung.	13
	Ergebnisse des Hängeversuchs.	15
	Zusammenfassung der Ergebnisse des Hängeversuchs.	22
Auswirkungen von Magnesia und Handschweiß		23
	Optische Begutachtung der Gesteinsproben.	23
	Zusammenfassung der Ergebnisse der optischen Begutachtung.	28
	Deutung der Ergebnisse anhand der Chemie von Schweiß und Magnesia.	28
	Gewichtsabnahme der Gesteinsproben.	30
	Dickenabnahme der Gesteinsproben.	33
	Wasseraufnahme der Sandsteinproben.	33
Wieviel Magnesia wird verbraucht?		34
	Der Magnesiaverbrauch (Schätzung).	34
	Vergleich mit der Bodendüngung saurer Waldböden.	35
Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie		37
Anhang 1: Ergebnisse der Zählungen beim Hängeversuch.		
Anhang 2: Graphische Darstellung der Ergebnisse beim Hängeversuch.		
Literaturverzeichnis		

## Einleitung

Worum geht es?

In den letzten Jahren hat in der Bundesrepublik Deutschland mit dem SPORTKLETTERN eine neue Spielart des Alpinismus Fuß gefasst. Vor allem jüngere Bergsteiger finden in großer Zahl Gefallen am akrobatischen und relativ ungefährlichen Klettern an den Mittelgebirgsfelsen von der Pfalz bis in die Fränkische Schweiz.

In kurzer Zeit wurde die Schwierigkeitsskala von 6 auf 10 erweitert, eine Fülle neuer Routen wurde in teilweise neuen Klettergebieten erschlossen, es fand eine Leistungsexplosion statt.

Die Ausrüstung der Sportkletterer entwickelte sich aus der der Alpinkletterer heraus und trug bald eigenständige Merkmale:

Andere Kleidung, andere Anseilmethoden, anderes Schuhwerk. Auch das MAGNESIAPULVER ist in einem Magnesiabeutel aufbewahrt zu einem weitverbreiteten Ausrüstungsgegenstand der Sportkletterer geworden.

Der Sinn dieser geänderten Ausrüstung liegt darin, dem Sportkletterer das Bewältigen höherer Schwierigkeitsgrade zu ermöglichen.

Die Kleidung muß kein Wetterschutz mehr sein, sondern soll Bewegungsfreiheit und Tragekomfort bieten.

Die Hüftanseilmethode muß nicht den Sicherheitsanforderungen eines 20-Metersturzes in alpinem Gelände gerecht werden, sondern soll ebenfalls Bewegungsfreiheit bieten und kontrollierte Stürze im Bereich um 5 Meter absichern.

Die Schuhe müssen nicht im nassen Schrofengelände ihren Zweck erfüllen, sondern sollen auf trockenem Fels bestmögliche Reibung bieten.

Auch das Magnesiapulver soll dadurch, daß es den Schweiß an den Händen bindet, eine bessere Haftung der Finger am Fels ermöglichen.

Wie so manches Neue wurden auch das Sportklettern und seine typische Ausrüstung hauptsächlich von denjenigen, die bei der klassischen Form des Alpinkletterns bleiben wollten, kritisch gewertet. Im Laufe der Zeit wurde das Sportklettern als eigenständiger Zweig des Alpinismus anerkannt, die Diskussionen über Schuhwerk und Anseilmethode sind abgeebbt, was deren vernünftige Anwendung in Klettergärten anlangt. Lediglich die Verwendung von Magnesia wurde immer heftiger und polemischer diskutiert.

Meinungen wie "Magnesia zerstört wie ein Schleifpulver den Fels" oder "Magnesia ist ein Gift" waren bei vielen Gelegenheiten zu hören.

Dadurch kam es zu einer Verunsicherung nicht nur bei den Sportkletterern, sondern auch im weiteren Umfeld der Sportkletterszene bis hin zu den Kommunen, denen einzelne Sportklettergebiete unterstehen. So droht in letzter Zeit die behördliche Sperrung einzelner norddeutscher Klettergebiete, falls dort weiter Magnesia verwendet wird.

#### Studie über Magnesia - Auftraggeber und Auftragnehmer:

Angesichts dieser wenig erfreulichen Entwicklung sah sich der Deutsche Alpenverein veranlaßt, die Finsternis dieser polemisch geführten Diskussion durch eine Studie über die verschiedenen Aspekte von Magnesia zu erhellen und damit eine sachliche Gesprächsgrundlage zu liefern.

Es sollte also so wissenschaftlich wie möglich geklärt werden, was Magnesia ist, wie es im Vergleich zu Handschweiß wirkt und ob es nützlich oder schädlich für Mensch, Gestein und Umwelt ist.

Die Detailfragen zielen in die Bereiche der Chemie, der Geologie, der Bodenkunde, der Medizin und der Biologie. Damit die Studie auch praxisgerecht durchgeführt werden konnte, sollte der Leitende der Untersuchungen zudem eine Vorstellung davon haben, was Sportklettern ist.

Somit wurde ich, Hannes Aschauer, mit der Durchführung der Untersuchungen beauftragt. Ich bin promovierter Geologe und Kletterer sowohl alpiner als auch sportlicher Neigung.

Dadurch, daß ich Geologie studiert habe, ist der Schwerpunkt der Untersuchungen vorgegeben. Die Nachforschungen in den nichtgeologischen Teilbereichen dieser Studie sind nicht so fundiert wie die geologischen. Sie sind oft als Hinweis zu weiteren Überlegungen zu verstehen.

#### Unterstützung:

Die Untersuchungen wurden teils in den Anlagen der Zentralen Hochschulsportanlage (ZHS) der TU-München, teils in den Räumen des Instituts für Geologie und Mineralogie und des Lehrstuhls für Hydrogeologie und Hydrochemie der TU-München durchgeführt.

Die Analyse der Spurenelemente wurde von Herrn Diplom-Geologen T. Eisenmann an der GSF/Neuherberg durchgeführt.

Einzelne Sportkletterer, darunter Frau A. Eisenhut und die Herren H.P. Huppert, W. Kraus und A. Kubin waren mir bei der Durchführung praktischer Versuche im Gelände behilflich.

Bei den medizinischen Fragen half mir Herr stud. med. S. Mahler weiter,

bei den bodenkundlichen Herr Dr. H. Rodenkirchen vom Lehrstuhl für Bodenkunde am Institut für Forstwissenschaften der LMU-München. Allen diesen Personen und Stellen, auch denen, die hier aus Platzgründen nicht genannt wurden, sei für ihre Hilfe gedankt.

Magnesia ist zwar nur ein sehr kleines Problem, das sich bei der Nutzung der Sportklettergebiete stellt, jedoch hoffe ich mit dieser Studie einen Beitrag zur Verständigung der Befürworter und Gegner von Magnesia zu liefern, damit beide Gruppen sich in Zukunft wieder mit mehr Freude ihrem Sport widmen können.

München, im Juli 1985

Hannes Aschauer.

## Was ist Magnesia?

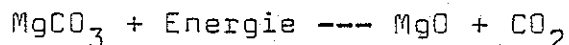
### Magnesiattypen:

Sucht man in einem größeren Chemie-Lehrbuch wie Holleman-Wiberg nach dem Stoff Magnesia, so finden sich gleich mehrere Substanzen, deren Name den Ausdruck Magnesia beinhaltet:

- Kaustische Magnesia mit der Formel  $MgO$ .
- Sintermagnesia mit der Formel  $MgO$ .
- Magnesia usta oder gebrannte Magnesia mit der Formel  $MgO$ .
- Magnesia alba oder Magnesia carbonica oder basisches Magnesiumcarbonat mit der Formel  $Mg(OH)_2 \cdot 4MgCO_3 \cdot 4H_2O$ .

Im Folgenden werden die Herstellung und die Unterschiede der verschiedenen Magnesiattypen beschrieben:

KAUSTISCHE MAGNESIA und SINTERMAGNESIA entstehen in Analogie zum Kalkbrennen aus dem Mineral Magnesit ( $MgCO_3$ ):



Hierbei wird Magnesit unter Luftabschluß erhitzt.

Bei Temperaturen von  $800^\circ$ - $900^\circ$  entsteht KAUSTISCHE MAGNESIA, ein instabiles Produkt, das mit Wasser und  $CO_2$  aus der Luft wie Mörtel wieder zu Magnesit reagiert.

Bei Temperaturen von  $1600^\circ$ - $1700^\circ$  entsteht SINTERMAGNESIA, ein feuerfestes steinartiges Material, welches nicht mehr weiterreagiert. Dieser Stoff ist aus der Natur unter dem Mineralnamen Periclas bekannt und hat eine Mineralhärte nach Mohs von  $5 \frac{1}{2}$  bis 6.

MAGNESIA USTA entsteht durch Glühen von Magnesiumhydroxid ( $Mg(OH)_2$ ) oder von basischem Magnesiumcarbonat bei  $600^\circ$ . Diese instabile Form von  $MgO$  ist ein lockeres, leichtes, weißes Pulver, das unter anderem in der Medizin als mildes Neutralisationsmittel Verwendung findet.

BASISCHES MAGNESIUMCARBONAT entsteht in wässriger Lösung aus Magnesium- und Carbonat-Ionen bei einem Unterschluß an freier Kohlensäure. Ist ein Überschuß an freier Kohlensäure vorhanden, so entsteht Magnesiumcarbonat, also Magnesit.

Basisches Magnesiumcarbonat wird in der Medizin in Form eines lockeren, weißen Pulvers als mildes Neutralisationsmittel zur Beseitigung überschüssiger Magensäure verwendet. Daneben wird es zur Herstellung von Pudern, Zahn- und Putzpulvern, sowie in der Kautschuk-, Papier- und Farbindustrie verwendet.

In der Natur kommt basisches Magnesiumcarbonat als das Mineral Hydromagnesit vor. Die Farbe dieses Minerals ist weiß bis grau, seine Dichte beträgt  $1,9 \frac{g}{cm^3}$ , seine Härte liegt bei  $2 \frac{1}{2}$ .

## Analyse von Magnesiapulver:

Es ist nun zu klären, welcher der vier obengenannten Magnesiatypen von den Kletterern verwendet wird.

In Deutschland wird über die Sportgeschäfte hauptsächlich Magnesia der italienischen Societa generale per l' Industria della Magnesia sowohl an Turner, als auch an Sportkletterer verkauft.

Der Hersteller bezeichnet dieses Produkt als "Pure basic magnesium carbonate" und gibt die chemische Formel  $7\text{MgCO}_3 \cdot 2 \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  ( $= \text{Mg}(\text{CO}_3)_7(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) an. Diese Formel ist der des basischen Magnesiumcarbonats sehr ähnlich.

Dieses Produkt wurde mit Röntgenstrahlen in einem Röntgendiffraktometer untersucht.

In einem Röntgendiffraktometer wird ein fein pulverisiertes Material einer Röntgenstrahlung ausgesetzt, wobei die Strahlung durch die Netzebenen im Kristallgitter unter bestimmten Winkeln und Intensitäten reflektiert wird. Diese für jede chemische Verbindung unterschiedliche Kombination von Reflexwinkeln und Reflexintensitäten wird an einem Schreibgerät aufgezeichnet. Hieraus können die d-Werte, welche die Netzebenenabstände im Kristallgitter angeben, in der Einheit Ångström ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) berechnet werden. Mit diesen d-Werten kann mit dem Katalog und der Kartei des Joint Commitees of Powder Diffraction Standards die Substanz identifiziert werden.

Die beiliegende Schreibgerät-Aufzeichnung der Röntgendiffraktometermessung ordnet jedem Reflex eine Nummer zu (Peaknummer) und gibt seinen Reflex- oder Brechungswinkel  $2\theta$  in Grad und die Reflexintensität I in % an.

In der Tabelle 1 werden auf der linken Seite die Messergebnisse für das Magnesiapulver mit Peaknummer, Brechungswinkel, berechneten d-Werten und gerundeten Intensitäten den Werten der Karteikarte des Joint Commitees für Hydromagnesit gegenübergestellt.

Dabei werden auf der rechten Seite die Differenzen der Karteikarte zu den Messwerten zusätzlich angegeben.

Tabelle 1:

Auswertung der Röntgendiffraktometermessung von Magnesiapulver des Typs "Pure basic magnesium carbonate".

Messung an Magnesiapulver $Mg_9(CO_3)_7(OH)_4 \cdot 7H_2O$ Basic magnesium carb.				Messwerte aus Karteikarte für $Mg_8(CO_3)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$ Hydromagnesit			
Peak Nr.	Winkel $2\theta$ (°)	d (Å)	I (%)	d (Å)	Diff. d (Å)	I (%)	Diff. I (%)
1	9,575	9,229	60	9,180	-0,049	40	-20
2a	13,740	6,439	40	6,440	+0,001	40	00
2	13,825	6,400	40				
3	15,250	5,805	100	5,790	-0,015	100	00
4a	19,225	4,613	20	4,580	-0,033	5	-15
4	19,875	4,463	20	4,470	+0,007	20	00
5	21,150	4,197	50	4,210	+0,013	20	-30
6	21,680	4,095	20				
6a	21,900	4,055	20	4,050	-0,005	5	-15
7	23,250	3,822	20	3,810	-0,012	10	-10
8	25,375	3,507	20	3,500	-0,007	10	-10
9	26,900	3,312	30	3,310	-0,002	30	00
10	27,850	3,201	25	3,210	+0,009	5	-20
11	28,300	3,151	25	3,150	-0,001	5	-20
12	28,800	3,097	25	3,090	-0,007	5	-20
13	30,825	2,898	70	2,900	+0,002	90	+20
	31,500			2,840		5	
	32,200			2,780		5	
14	33,175	2,688	30	2,690	+0,002	30	00
	34,050			2,630		5	
15	35,950	2,496	30	2,500	+0,004	30	00
	37,100			2,420		5	
16	38,375	2,344	20	2,350	+0,006	5	-15
17	39,100	2,302	30	2,300	-0,002	30	00
18	40,850	2,207	30	2,200	-0,007	10	-20
19	41,750	2,162	40				
19a	41,960	2,152	40	2,150	-0,002	50	+10
	43,250			2,090		5	
	44,600			2,030		5	
20	45,500	1,992	30	1,990	-0,002	20	-10
	46,150			1,966		5	
21	47,000	1,932	20	1,930	-0,003	10	-10
	47,800			1,900		5	
22	48,950	1,859	20	1,860	+0,001	5	-15
	49,500			1,840		5	
22a	50,070	1,820	15	1,820	0,000	5	-10
	52,050			1,756		5	
23	52,700	1,735	20	1,740	+0,005	10	-10
	54,900			1,670		5	
	55,600			1,650		5	
24	56,900	1,617	25	1,620	+0,003	30	+ 5
25a	58,320	1,581	15	1,580	-0,001	5	-10
25	58,950	1,565	20	Ende der Tabelle			
Ende der Messung							



Es ist aus Tabelle 1 ersichtlich, daß beide Seiten gut übereinstimmen. Lediglich die Peaks Nr. 2, 6 und 19 der Messung sind in der Karteikarte nicht aufgeführt, was jedoch aus der untypischen Breite der Peaks erklärt werden kann.

Die Reflexwerte der Karteikarte, die in der Messung nicht erscheinen, haben durchwegs sehr geringe Intensitäten von 5 %, sodaß anzunehmen ist, daß sie von den Anstiegen zu Reflexspitzen höherer Intensität überdeckt sind.

Somit liegt die Vermutung nahe, daß es sich bei dem vom Handel unter der Bezeichnung "Pure basic magnesium carbonate" vertriebenen Magnesiapulver um Hydromagnesit handelt. Diese Vermutung wird zur Gewissheit, wenn man die Röntgenreflexe anderer in Frage kommender Magnesiumverbindungen mit den gemessenen vergleicht. In der folgenden Tabelle 2 werden die drei stärksten Röntgenreflexe verschiedener Magnesiumverbindungen miteinander verglichen.

Tabelle 2:

Magnesiumverbindung Formel	d-Wert 1 Intensität	d-Wert 2 Intensität	d-Wert 3 Intensität	
pure basic magnesium carb. $Mg_9(CO_3)_7(OH)_4 \cdot 7H_2O$	5,805 100	2,898 70	2,152 40	MESSUNG
Hydromagnesit $Mg_8(CO_3)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$	5,79 100	2,90 90	2,15 50	
Periclas $MgO$	2,11 100	2,42 80	1,50 80	
Magnesit $MgCO_3$	2,74 100	2,10 50	1,74 40	
Lansfordit $MgCO_3 \cdot 5H_2O$	4,16 100	3,85 100	5,80 80	
Artinit $Mg_2CO_3(OH)_2 \cdot 3H_2O$	2,74 100	5,34 70	3,69 50	
Dypingit $Mg_{10}(CO_3)_8(OH)_4 \cdot 10H_2O$	10,6 100	5,86 90	6,34 60	

Auf der Karteikarte des Joint committees ist als chemische Formel für Hydromagnesit  $Mg_8(CO_3)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$  angegeben, was einen Unterschied zur vom Hersteller angegebenen Formel bedeutet. Dieser Unterschied kann jedoch auf verschiedene Berechnungsmethoden der Formel aus der chemischen Analyse zurückgeführt werden.

Die folgende Tabelle 3 zeigt Hydromagnesitformeln verschiedener Autoren und verdeutlicht damit den Variationsbereich der chemischen Formel.

Tabelle 3

Name der Substanz	Autor	Formel
Basisches Magnesiumcarb.	Holleman & Wiberg	$Mg_{10}(CO_3)_8(OH)_4 \cdot 8H_2O$
Hydromagnesit	Lieber	$Mg_{10}(CO_3)_8(OH)_4 \cdot 8H_2O$
Pure basic magnesium carb.	untersuchte Probe	$Mg_9(CO_3)_7(OH)_4 \cdot 7H_2O$
Hydromagnesit	Niggli	$Mg_8(CO_3)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$
Hydromagnesit	Joint committee	$Mg_8(CO_3)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$

Analyse der Spurenelemente:

Es wurden folgende Spurenelemente gefunden:

Phosphor	160 ppm	ppm = part per million
Eisen	100 ppm	
Calcium	1000 ppm	
Vanadium	5 ppm	
Titan	3 ppm	
Mangan	1 ppm	
Aluminium	20 ppm	
Natrium	50 ppm	

Bis auf Aluminium und Natrium wurden alle anderen Elemente mittels Atom Emissions Spektroskopie im durch ein Hochfrequenzfeld angeregtem Plasma (ICP - AES) ermittelt. Aluminium und Natrium wurden mit einem Gleichstrom - Plasmagerät gemessen.

Die gefundenen Spurenelemente sind in Art und Menge vergleichbar mit Analysen ähnlicher Substanzen, die vom Hersteller als "rein" bezeichnet werden.

Ergebnis:

Das von den Sportkletterern verwendete Magnesiapulver ist ein auf chemischen Wege hergestelltes Magnesiumhydroxidcarbonat-Hydrat, das den Namen Basisches Magnesiumcarbonat hat.

Es ist identisch mit dem in der Natur vorkommenden Mineral Hydro-magnesit, das weiß-graue Farbe, eine Härte von 2 1/2 und eine Dichte von 1,9 g/cm<sup>3</sup> hat.

Das Magnesiapulver ist leicht basisch mit einem pH-Wert von 8,5 und dient in der Medizin als Neutralisationsmittel zur Beseitigung organischer Säuren.

Ferner ist Magnesiapulver leicht hygroscopisch (wasseranziehend), jedoch nicht so stark wie z.B. Magnesiumchlorid, welches als Beimengung das Speisesalz an der Luft feucht werden läßt. Deswegen ist das Magnesiapulver nur einfach in Papier verpackt und lange Zeit lagerfähig.

Magnesiapulver kann in Wasser nicht gelöst werden.

Magnesiapulver enthält eine Reihe von Spurenelementen, die jedoch dermatologisch nicht wirksam sind.

Vergleich mit einer früheren Publikation:

Schweißhelm (1978) bezeichnet Magnesiapulver als Magnesiumoxid (MgO) in Form eines lockeren, weißen Pulvers, das stark hygroscopisch, nicht wasserlöslich sein sollte und eine Mineralhärte von 6 haben sollte. Würde es sich hierbei um die wasseranziehende Form von MgO (kaustische Magnesia) handeln, die wieder zu Magnesit erhärtet, so hätte Schweißhelm die betonartige Versiegelung aller mit Magnesia benutzter Griffe fordern und nachweisen müssen.

Würde es sich um MgO in Form von Sintermagnesia der Mineralhärte 6 handeln, so hätte wenigstens die Herstellung eines lockeren, weißen Pulvers aus einem feuerfesten, steinähnlichen Produkt erklärt werden müssen.

Offensichtlich wurden hier von verschiedenen Substanzen verschiedene Eigenschaften durcheinandergemischt und daraus bedauerlicherweise unrichtige Folgerungen gezogen.

## Was nützt Magnesia?

In diesem Kapitel soll geklärt werden, ob der Gebrauch von Magnesia dem Kletterer dazu verhilft, sich an verschiedenen Gesteinsarten in verschiedenen Stadien der Abnutzung besser festzuhalten, als er es ohne die Verwendung von Magnesia könnte.

### Der Hängeversuch:

Um die oben angerissene Problematik klären zu können, mußte ein Versuchsprogramm entwickelt werden, in dem an unterschiedlichen Gesteinsprobenserien die Haltefähigkeit von Kletterern einmal mit und einmal ohne Magnesia getestet wurde.

Als Test bot sich eine Übung in einem Circeltraining für Kletterer an der ZHS der TU-München an: Innerhalb eines Circels von dreißig Stationen war als eine Station an einer 4,5 cm breiten Holzleiste 40 Sekunden lang an den Händen zu hängen. Diese Übung soll die Fingermuskulatur trainieren.

In diese Holzleiste wurden vier Gesteinsproben als Griffe eingebaut, an denen trainiert werden konnte.

Die folgende Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau:

Abb. 1



Die aus Gesteinsblöcken herausgesägten Gesteinsproben hatten eine nahezu ebene natürliche Grifffläche und waren an den anderen fünf Seiten mit einer Polyesterhaut ummantelt. Dadurch konnten sie fest in die

Versuchsanordnung eingebaut werden und boten gleichmäßige Voraussetzungen zum Hängen.

Das Training wurde im Schnitt von 30 Personen besucht, die an den Gesteinsproben zwei Durchgänge absolvierten. In jeder Übungseinheit wurde im Schnitt 35 Minuten an jeder Gesteinsprobe gehangen.

Auf diese Weise lag mit einer im Kraft- und Trainingszustand statistisch gesehen konstanten Menge an Testpersonen eine intensive Benutzung der Gesteinsproben vor.

Während einer Vorversuchsphase vom 8. - 24. Januar 1985, in der kein Magnesia verwendet wurde, zeigte sich folgende Entwicklung:

Der Prozentsatz der Trainierenden, die sich das volle Intervall von 40 Sekunden festhalten konnten, wurde mit zunehmender Abnutzung (Abspeckung) der Gesteinsproben immer geringer. Eine statistische Erfassung und Auswertung (Zählung) dieses Prozentsatzes schien als direktes Maß für die Beurteilung des Abspeckungsgrades der Griffsteine geeignet.

Auf dieser Beobachtung aufbauend wurde ein Versuchsprogramm erstellt, das folgenden zeitlichen Ablauf hatte:

Phase 1: 25.01.85. - 03.05.85. Probenserie 1, mit Magnesia,  
62 Übungseinheiten, 9 Zählungen.

Phase 2: 06.05.85. - 30.05.85. Probenserie 1, ohne Magnesia,  
15 Übungseinheiten, 9 Zählungen.

Phase 3: 03.06.85. - 20.06.85. Probenserie 2, ohne Magnesia,  
12 Übungseinheiten, 5 Zählungen.

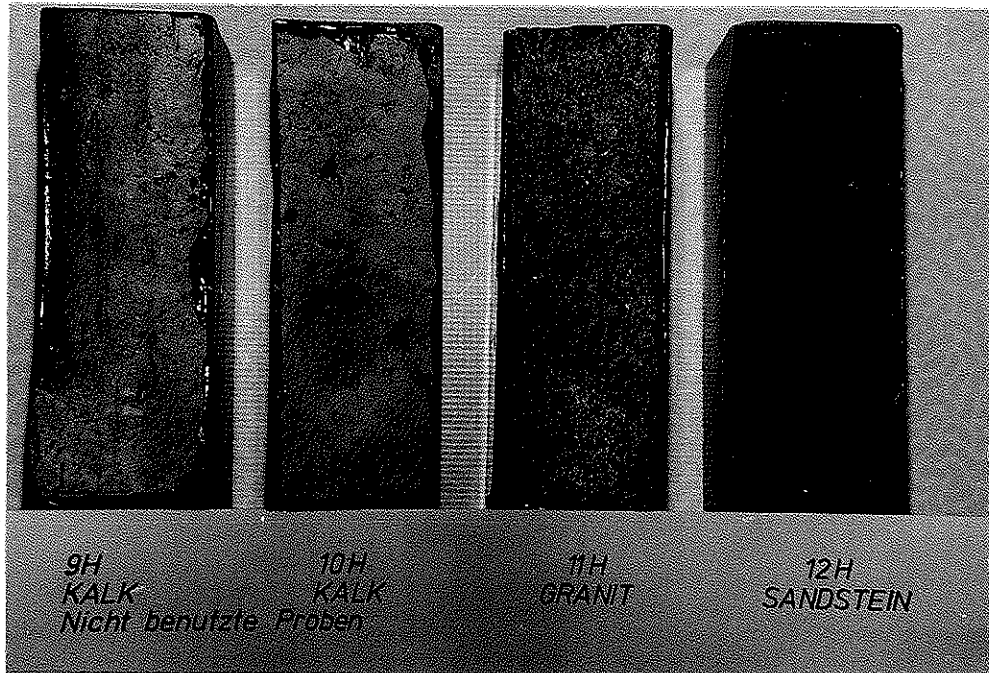
Phase 4: 21.06.85. - 04.07.85. Probenserie 2, mit Magnesia,  
10 Übungseinheiten, 5 Zählungen.

Die Probenserie 1 bestand aus zwei Kalksteinen aus der Römerwand vom Donaudurchbruch bei Weltenburg (Oberer Jura - Schwammriffkalk), aus einem Sandstein aus dem Pfälzerwald (Untere Trias - Buntsandstein) und aus einem Granit aus einem Steinbruch im Bayerischen Wald.

Die Probenserie 2 bestand aus zwei Kalksteinen von der Lochwand bei Konstein (Oberer Jura - Schwammriffkalk) und aus zwei Sandsteinen aus dem Pfälzerwald.

Die folgende Abbildung 2 zeigt einige frische Gesteinsproben:

Abb. 2



Während der Phasen 1 und 2 zeigte sich, daß die Kalke schneller als Granit und dieser wiederum schneller als Sandstein abspeckt. Bedingt durch die Anordnung der Proben in der Hängeleiste (Granit - Kalk - Sandstein - Kalk) kam es zu einer Beeinflußung der Ergebnisse für Granit und Sandstein. Denn bei einem Griffpaar Sandstein - Kalk bzw. Granit - Kalk konnte oft nicht mehr das volle Intervall gehalten werden, wenn der Kalk schon stark abgespeckt war. Bei einem Griffpaar Kalk - Kalk oder Sandstein - Sandstein oder Granit - Granit wären aussagekräftigere Ergebnisse zu erwarten. Dieser Beobachtung wurde in den Phasen 3 und 4 Rechnung getragen, es wurden Griffpaare von Sandstein und Kalk in die Hängeleiste eingebaut, auf Granit wurde wegen der nur vier vorhandenen Plätze verzichtet.

Somit sind aus den Phasen 1 und 2 lediglich die Ergebnisse für Kalksteinproben als signifikant anzusehen, während die Ergebnisse für Granit und Sandstein mit Unsicherheiten behaftet sind.

Die Auswertung:

Zunächst wurde an ausgewählten Übungstagen eine Strichliste für jede Gesteinsprobe nach folgendem Muster angefertigt:

Datum, Probenserie, mit oder ohne Magnesia.			
Intervall	40-35 sec (Vollintervall)	35-20 sec (Teilintervall)	20-00 sec (Teilintervall)
Probe			
links aussen			
links			
rechts			
rechts aussen			

Aus dieser Strichliste wurde für jede Probe die prozentuale Verteilung in den drei Intervallen ermittelt und in Tabellen eingetragen. Ferner wurde aus allen Proben die Anzahl der Trainierenden und die Trainingszeit berechnet.

In der Phase 1 wurden die Übungseinheiten von Freitag und Dienstag über vier Wochen gezählt. Da die Freitagsgruppe vom Trainingszustand her gesehen sehr inhomogene Leistungen zeigte, wurde mit der Diens-tagsgruppe zusammen ein Wochenmittelwert gebildet.

Die Ergebnisse der Zählungen aus den Phasen 1 bis 4 sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Nun wurde für jede Phase der Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 sec. Intervall gegen Übungseinheiten und Probennummern aufgelistet. Diese Datenzusammenstellungen sind ebenfalls im Anhang 1 am Ende jeder Phase aufgeführt.

Aus dieser Datenzusammenstellung wurde für jede Probe ein Diagramm angefertigt, in dem der Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 sec. Intervall (y-Achse) gegen die Übungseinheiten (x-Achse) aufgetragen wurde.

Dabei sind die Phasen 1 und 2 sowie die Phasen 3 und 4, die ja immer die gleichen Probenserien beinhalten, in einem Diagramm zusammengestellt. Die Punkte in diesen Diagrammen sind einem Trend folgend angeordnet, der die Entwicklung der Abnutzung der Gesteinsproben angibt.

Nimmt man dabei die Abfolge der Übungseinheiten als nicht fehlerbehaftet an, so läßt sich dieser Trend in einer Trendgeraden der Formel

$$y = a_{yx} + b_{yx} x$$

ausdrücken.

Dabei ist  $b_{yx} = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} \sum x \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2}$  und  $a_{yx} = \frac{\sum y - b_{yx} \sum x}{n}$

n = Anzahl der Fälle (Zählungen bzw. Punkte im Diagramm).

Durch die Variationen in der Dauer einer jeden Übungseinheit ist die Abfolge der Übungseinheiten nicht ganz fehlerfrei. Daher kann man eine zweite Trendgerade aufstellen, in der der Prozentsatz der Trainierenden in 40-35 Sec. Intervall als nicht fehlerbehaftet angenommen wird. Diese Trendgerade hat die Formel:

$$x = a_{xy} + b_{xy} y$$

Dabei ist  $b_{xy} = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} \sum x \sum y}{\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2}$  und  $a_{xy} = \frac{\sum x - b_{xy} \sum y}{n}$

Je spitzer der Winkel zwischen den beiden Trendgeraden ist, desto größer ist die Signifikanz der Aussage.

Multipliziert man die Werte für  $b_{yx}$  und  $b_{xy}$  einer Trendgeraden miteinander und zieht aus dem Ergebnis die Wurzel, so erhält man den Korrelationskoeffizienten r (Schätzverfahren).

$$r = \sqrt{b_{yx} \cdot b_{xy}}$$

Dieser Korrelationskoeffizient gibt zusammen mit n die Signifikanz an. Je näher r bei 1,000 liegt, desto aussagekräftiger ist die Trendgerade. Je näher r bei 0,000 liegt, desto unsicherer ist die Aussage.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Werte für r bei einem n von 5 und 9 und bei Signifikanzniveaus von 99%, 95% und 90%

	99%	95%	90%
n = 5	0,9000	0,8000	0,7000
n = 9	0,7667	0,5833	0,4667

r ist auf den Diagrammen unter den Trendgeraden eingetragen.



Im Anhang 2 sind für jede Probe die Diagramme mit den beiden Trendgeraden und die Tabellen zur Berechnung der Trendgeraden zusammengestellt.

Im folgenden Abschnitt "Ergebnisse" ist als Trendgerade diejenige mit der Formel  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  in den Diagrammen eingetragen, weil die Abfolge der Übungseinheiten sicher weniger Fehler hat, als der Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 sec. Intervall.

Ergebnisse des Hängeversuchs:

Phase 1 und Phase 2 - Probenserie 1.

Diagramm 1. Probennr. 5M Kalk

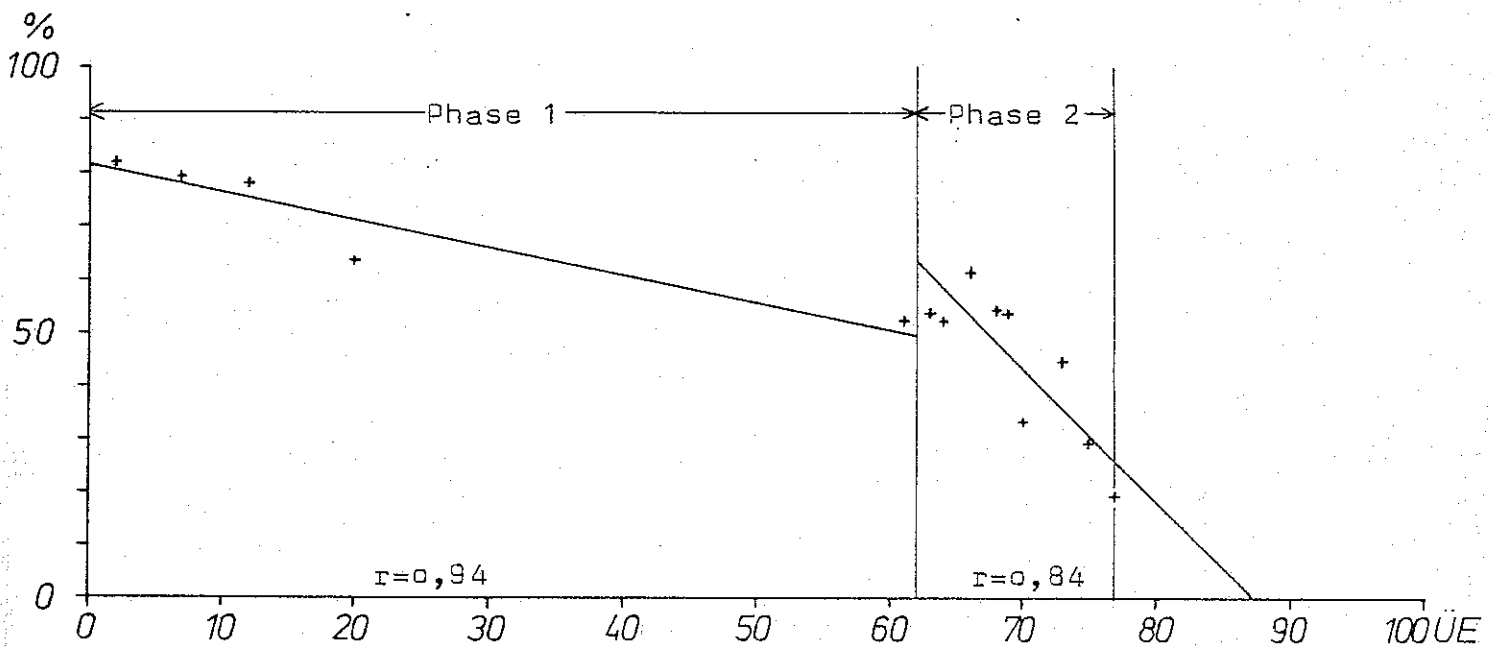


Diagramm 2. Probennr. 6M Kalk

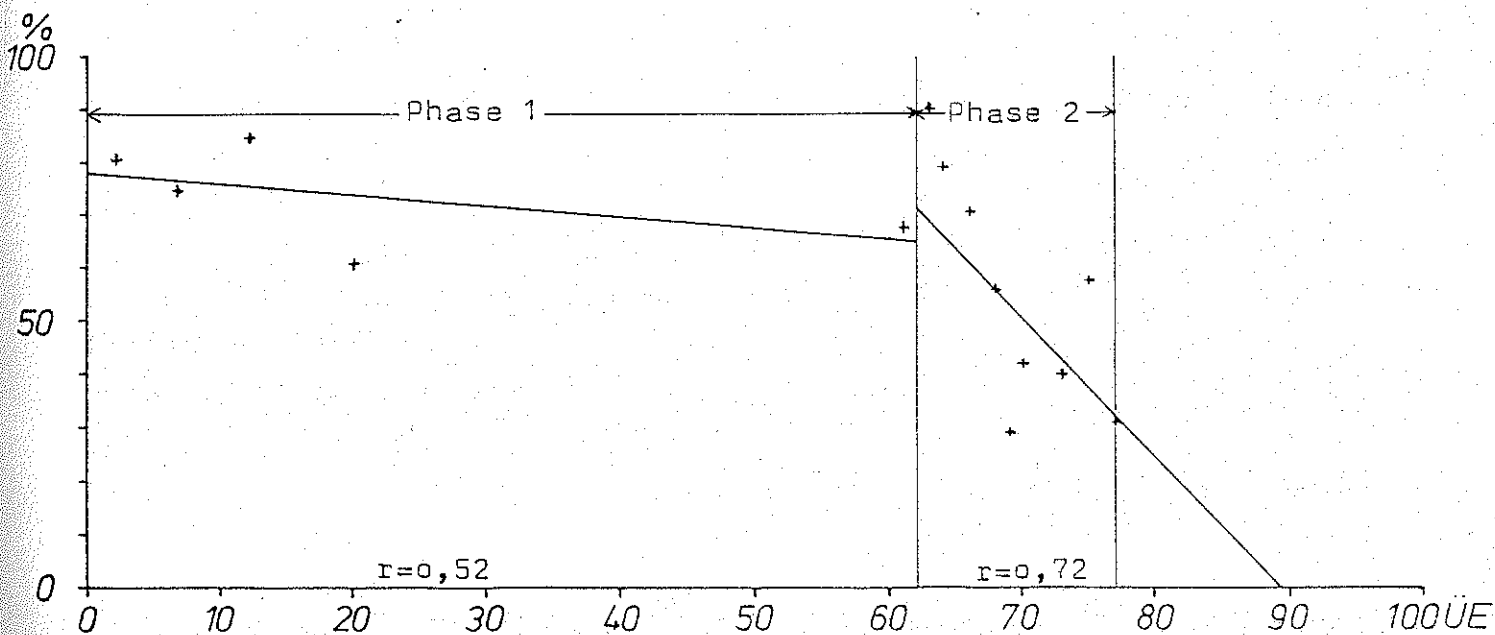


Diagramm 3. Probennr. 7M Granit

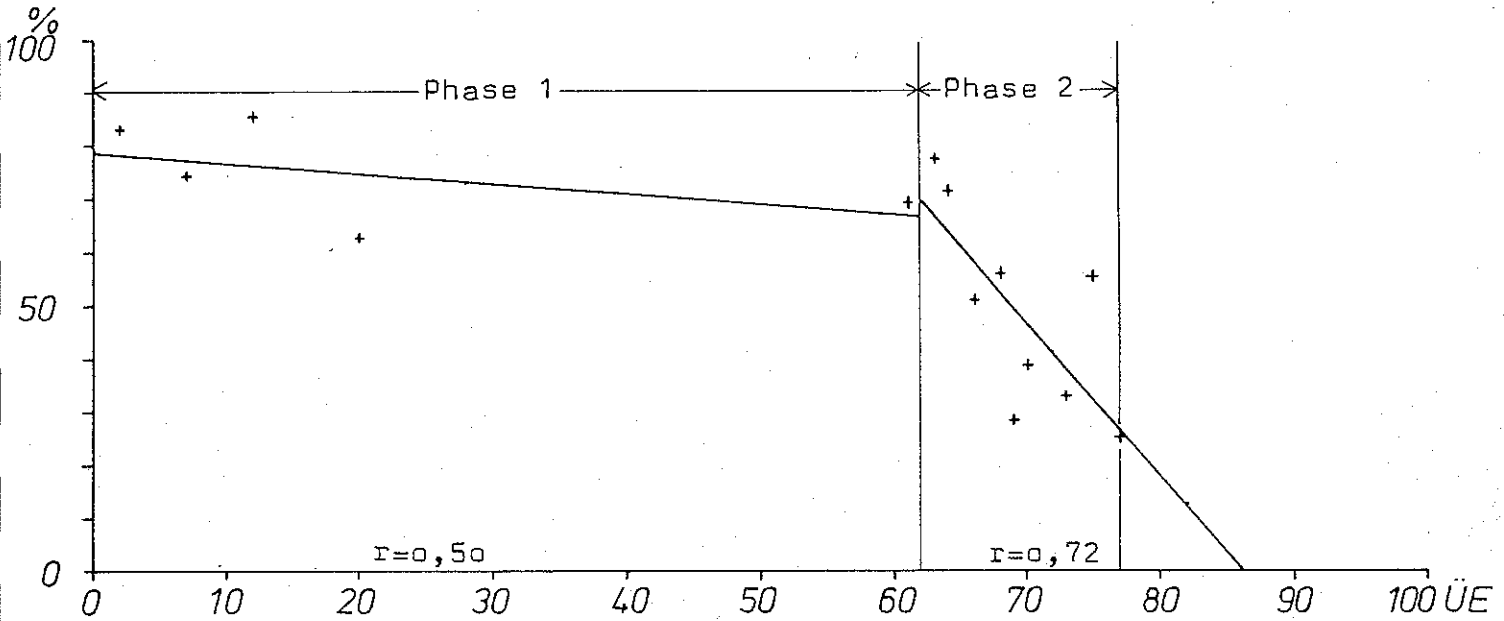
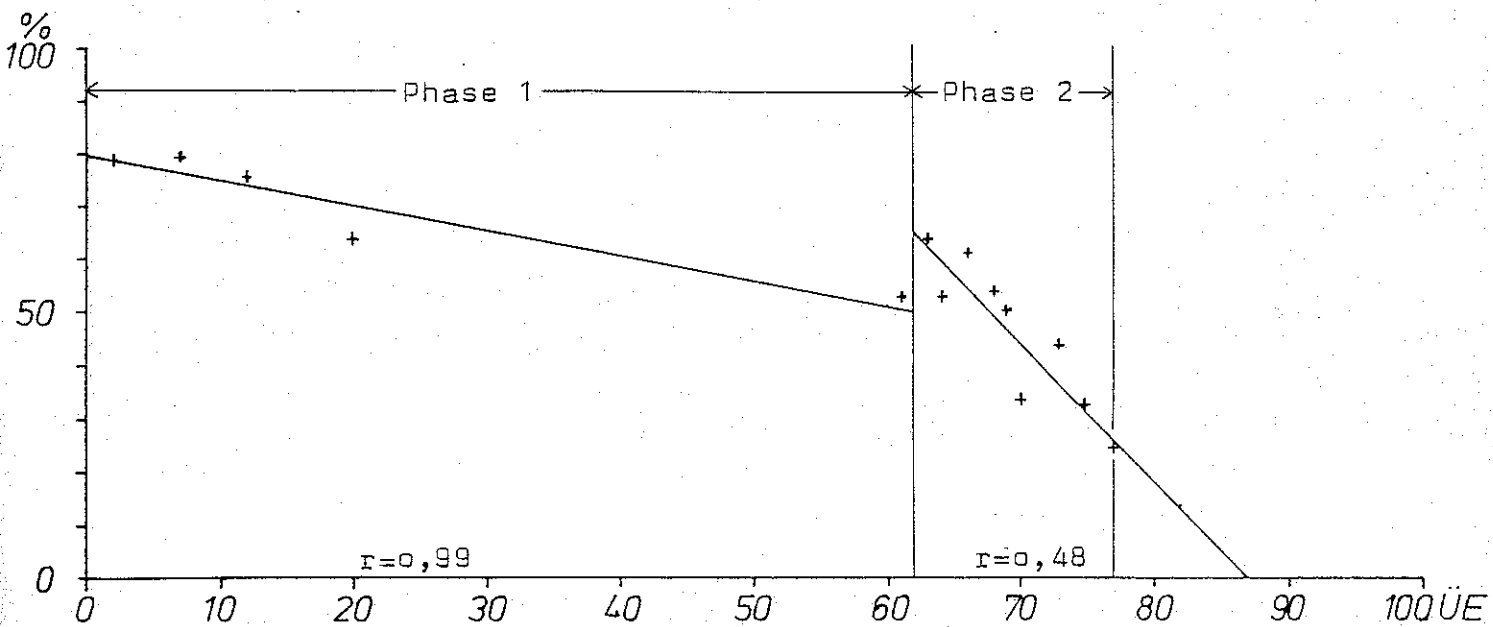


Diagramm 4. Probennr. 8M Sandstein



Auf allen Diagrammen ist während der Phase 1 die Trendgerade bedeutend flacher als im Verlauf der Phase 2.

Das bedeutet, daß in der Phase 1 unter Verwendung von Magnesia die Felsbeschaffenheit sich nur langsam verschlechterte. Von anfänglich ca. 80% der Trainierenden im Vollintervall blieben nach 62 Übungseinheiten ca. 50% über.

Diese 62 Übungseinheiten bedeuten einen Zeitraum von ca. 35 Stunden oder 2100 Minuten.

Nimmt man an, daß sich ein Kletterer eine halbe Minute an einem Griff hält, bis er weitergreift, dann bedeuten das 4200 "Begehungen" dieses Kletterzuges.

Es dürfte wohl einige Jahre dauern, bis eine Route diese Begehungszahl hat. Dazu kommt, daß der Test in einer Halle mit konstanten Klimabedingungen durchgeführt wurde, sieht man vom viermaligen Wässern der Proben (siehe Kapitel "Auswirkungen von Magnesia und Handschweiß") ab. Es entfiel also weitgehend der verwitternde Einfluß, der abgegriffenes Gestein wieder rauh macht.

Die Phase 2 begann nach gründlicher Reinigung der Gesteinsproben mit durchwegs höheren Prozentsätzen der Trainierenden im Vollintervall, als zum Ende der Phase 1.

Das zeigt recht deutlich, daß die Griffe von besserer Qualität sind, wenn das Magnesiapulver nicht über längere Zeit an ihnen haften bleibt. In der Praxis würde das bedeuten, daß die Reinigung einer Route vom Magnesiapulver nach einer Begehung die besten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wiederholung schafft.

Im Anschluß an dieses Hoch zu Beginn der Phase 2 ging die Trendgerade jedoch steil nach unten.

Das bedeutet, daß sich in der Phase 2 ohne Verwendung von Magnesia die Felsbeschaffenheit rapide verschlechterte.

Von anfänglich 65% der Trainierenden im Vollintervall blieben nach 15 Übungseinheiten nur noch ca. 25% über.

Diese 15 Übungseinheiten bedeuten einen Zeitraum von ca. 8,75 Stunden oder 525 Minuten.

Das wären nach dem gleichen Schema wie in Phase 1 1050 Begehungen, eine Anzahl, die in einigen Moderouten in ca. 2 Jahren erreicht werden kann.

Natürlich fand auch dieser Test unter Ausschluß jeglicher Witterungseinflüsse statt.

Nachdem in der Versuchsbeschreibung die Unsicherheiten im Ergebnis bedingt durch die ungleichen Griffpaare in der Hängeleiste schon angesprochen wurden, sei hier nochmals betont, daß allein die Diagramme 1 und 2 für die Kalksteinproben als repräsentative Ergebnisse betrachtet werden können. Die Diagramme 3 (Granit) und 4 (Sandstein) sind dagegen mit Vorbehalten zu interpretieren.

Daher werden die Diagramme 1 und 2 noch eingehender betrachtet:

$b_{yx}$  gibt an, um wieviel %/Übungseinheit der Prozentsatz der Trainierenden im Vollintervall zurückgeht:

	Phase 1	Phase 2
Probe 5M Kalk	0,50 %/ÜE	2,47 %/ÜE
Probe 6M Kalk	0,22 %/ÜE	2,59 %/ÜE

Das bedeutet für die Probe 5M eine 5-fach beschleunigte Abnutzung des Griffes in der Phase 2 gegenüber der Phase 1. Bei der Probe 6M liegt dieser Faktor sogar bei 12.

Die Unterschiede in den Faktoren sind mit 5 und 12 sehr groß. Sie sind zum einen durch die unterschiedliche Oberfläche der Griffe, zum anderen sicher auch durch Schwächen in der statistischen Aussagekraft des Versuchs bedingt.

Die Aussage, daß sich Kalkstein unter der Verwendung von Magnesia nur ca. 5 mal so langsam abnützt, als ohne die Verwendung von Magnesia kann jedoch nicht als aus der Luft gegriffene Behauptung hingestellt werden.

Ergebnisse des Hängeversuchs:  
Phase 3 und Phase 4 - Probenserie 2.

Diagramm 5. Probenr. 9H Kalk

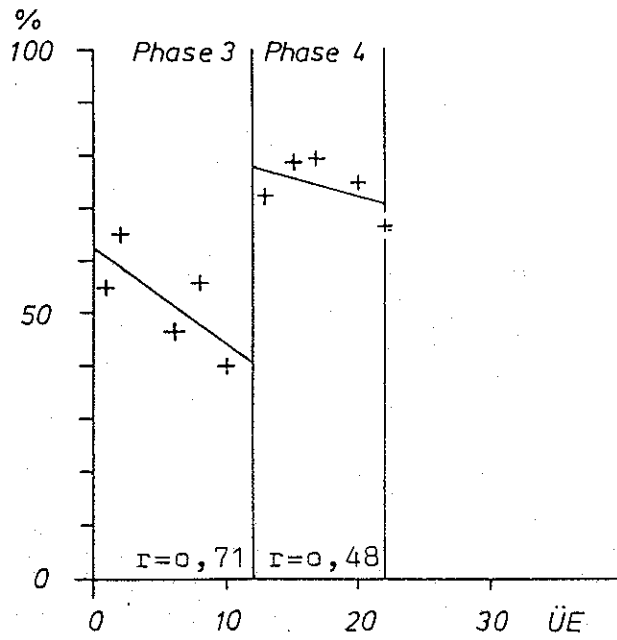


Diagramm 6. Probenr. 10H Kalk

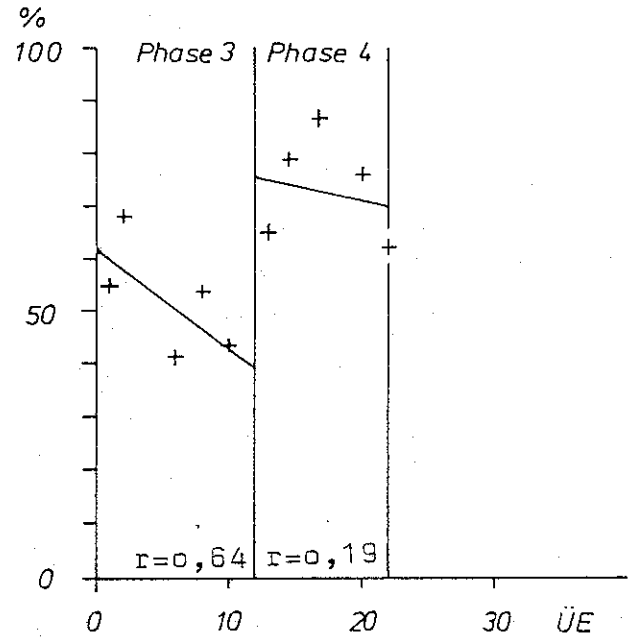


Diagramm 7. Probenr. 12H Sandst.

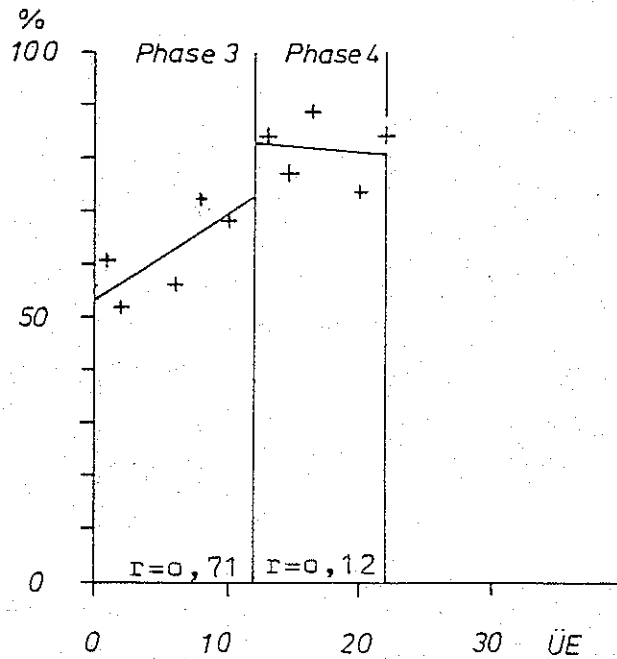
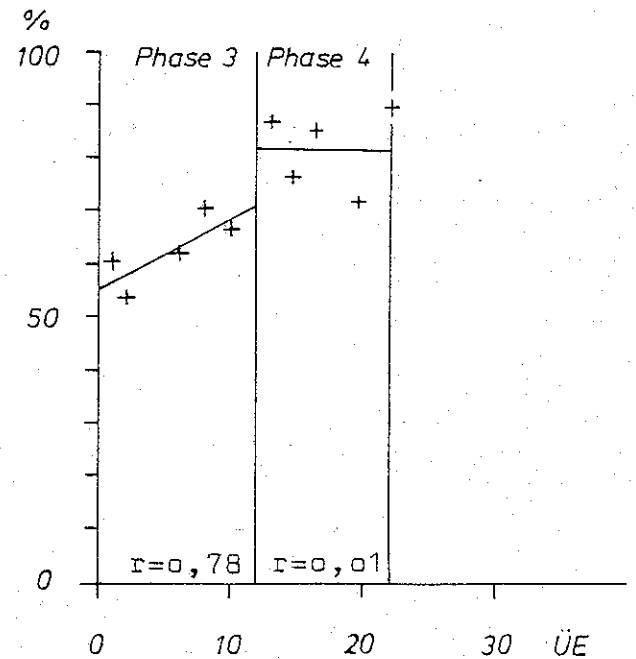


Diagramm 8. Probenr. 4H Sandst.



Für die Kalke 9H und 10H zeigen die Diagramme 5 und 6 in der Phase 3 (ohne Magnesia) einen signifikanten Verlauf der Trendgeraden, der dem aus den Diagrammen 1 und 2 (Phase 2) durchaus ähnlich ist.

Jedoch fallen die Trendgeraden nicht so steil ab wie in der Phase 2; der Prozentsatz der Trainierenden im Vollintervall geht um 1,78%/ÜE bei Probe 9H und um 1,81%/ÜE bei Probe 10H zurück.

Von anfänglich 62% der Trainierenden im Vollintervall blieben nach 12 Übungseinheiten 40% über.

Die Ergebnisse der Phase 2 sind also reproduzierbar. Es kann berechnet werden, daß die Abnutzung von Kalkstein, an dem noch nie mit Magnesia geklettert wurde, etwa 0,7 fach langsamer abläuft, als die Abnutzung von bereits mit Magnesia beklettertem Kalkstein. Dieses Ergebnis wäre jedoch noch durch weitere Versuche zu bestätigen.

In der Phase 4 zeigen die Diagramme 5 und 6 einen nicht mehr signifikanten Verlauf der Trendgeraden. Daß die hohe Signifikanz der Trendgeraden aus der Phase 1 nicht mehr reproduzierbar war, mag an der Kürze der Phase 4 liegen. Zudem waren in dieser Phase wie auch in der Phase 3 die klimatischen Bedingungen nicht mehr konstant, denn im Sommer wird bei geöffneten Türen und bei stark wechselnden Temperaturen trainiert.

Die Trendgeraden der Phase 4 sind deutlich flacher als die der Phase 3 und beginnen mit 77% bei einem höheren Prozentsatz als in Phase 3 mit 62%.

Es zeigt sich jedoch schon aus den einzelnen Meßpunkten ungeachtet der nicht signifikanten Trendgeraden der positive Effekt von Magnesia bezüglich des Festhaltevermögens der Trainierenden.

Die Ergebnisse aus den Phasen 1 und 2 waren bedingt reproduzierbar: Vergleicht man trotz aller Unsicherheiten die Phasen 3 und 4, so ergibt sich für die Probe 9H eine 2,6-fach und für die Probe 10H eine 3,5-fach beschleunigte Abnutzung des Griffes in der Phase 3 gegenüber der Phase 4. In den Phasen 1 und 2 lag dieser Faktor zwischen 5 und 12.

Der Grund für diese großen Unterschiede liegt neben den vorne angeführten Punkten (statistische Unsicherheiten, unterschiedliche Griffflächen) in der geänderten Reihenfolge der Benutzung und Nichtbenutzung von Magnesia. Des Weiteren ist das nicht mehr konstante Klima während der Phasen 3 und 4 zu berücksichtigen.

Die Sandsteine 12H und 4H zeigen in den Diagrammen 7 und 8 während der Phase 3 einen signifikanten Anstieg der Trendgeraden.

Dieses Ergebnis ist überraschend. Es bedeutet, daß ohne die Verwendung von Magnesia der Prozentsatz der Trainierenden im Vollintervall um 1,54%/ÜE (12H) bzw. 1,28%/ÜE (4H) über 12 Übungseinheiten anstieg. Von anfänglich ca. 55% der Trainierenden im Vollintervall stieg die Trendgerade auf ca. 70%.

Dieser Verlauf würde nach der aufgestellten These, daß die Griffqualität in direktem Zusammenhang mit der Benutzungsdauer des Griffes steht, eine Zunahme des Festhaltevermögens mit zunehmender Benutzungsdauer bedeuten.

Diese Zunahme kann nicht mit einem Kraftzuwachs bei den Testpersonen erklärt werden, wenn man die Trendgeraden der Kalkproben 9H und 10H zum Vergleich heranzieht.

Die Trendgerade der Sandsteinprobe 8M in der Phase 2, die ja völlig anders verläuft als die hier beschriebenen, war also von der benachbart angebrachten Kalkprobe beeinflusst.

Allerdings war bei der Versuchsanordnung in der Phase 3 eine Beeinflussung auch nicht auszuschließen, weil die Sandsteinproben schnell mehr Beliebtheit erlangten als die Kalkproben. Diese subjektive Einstellung der Trainierenden zu den einzelnen Proben kann das Ergebnis stark beeinflusst haben.

Es ist also nicht mit Sicherheit festzustellen gewesen, ob die Griffqualität von Sandstein mit zunehmender Benutzungsdauer zunimmt.

Man kann jedoch unterstellen, daß die Sandsteingriffe sich sehr viel langsamer abgreifen als die Kalkgriffe.

In der Phase 4 zeigen die Diagramme 7 und 8 wiederum einen nicht signifikanten Verlauf der Trendgeraden. Sie verlaufen bei ca. 80% beginnend fast horizontal und besagen, daß bei der Verwendung von Magnesia der Prozentsatz der Trainierenden im Vollintervall um 0,20%/ÜE (12H) und um 0,02%/ÜE (4H) zurückgeht. Aufgrund der fehlenden Signifikanz ist jedoch kein eindeutiger Trend der Abnutzung festzustellen gewesen.

Die einzelnen Meßpunkte liegen in der Phase 4 höher als in der Phase 3, was wiederum zeigt, daß bei Verwendung von Magnesia das Festhaltevermögen an Sandstein größer ist als ohne die Verwendung von Magnesia. Die Streuung der Meßpunkte weist darauf hin, daß in dieser Phase weitere Faktoren (inkonstantes Klima) mitspielten, sodaß Festhaltevermögen und Benutzungsdauer nicht in einem direkten Zusammenhang stehen.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Hängeversuchs:

- Bei der Verwendung von Magnesia wurden durchwegs höhere Prozentsätze der Trainierenden im Vollintervall gezählt, als ohne die Verwendung von Magnesia. Dieses Ergebnis gilt für Kalk, Sandstein und Granit.
- Bei Kalksteinen ist die Abnutzungsgeschwindigkeit bei Nichtanwendung von Magnesia bedeutend größer (ca. 5-fach), als bei Anwendung von Magnesia. Somit bleiben Routen im Kalkstein bedeutend länger in einem gut kletterbaren Zustand, wenn Magnesia verwendet wird.
- Bei Sandsteinen gibt es weder bei Verwendung noch bei Nichtverwendung von Magnesia eindeutige Hinweise darauf, daß sich die Griffe mit der Benutzungsdauer stark abnutzen.  
Magnesia bringt hier von der Phase 3 auf die Phase 4 eine Steigerung des Prozentsatzes der Trainierenden im Vollintervall um 10%.  
Die positiven Auswirkungen des Magnesiapulvers auf das Festhaltenvermögen setzen bei Sandsteinen erst bei hohen Temperaturen ein.
- Mit Magnesia gekletterte Sandstein- und Kalkgriffe zeigten bei den ersten Benutzungen ohne Magnesia relativ hohe Prozentsätze der Trainierenden im Vollintervall, dann trat bei den Kalksteinen eine rapide Abspeckung der Griffe auf.
- Magnesiapulver nützt also beim Klettern im Kalk bezüglich der Gesteinsqualität und der Leistungsfähigkeit des Kletterers viel. Beim Klettern in Sandstein hat es auf die Gesteinsqualität keinen ausgeprägten Einfluß, auf die Leistungsfähigkeit des Kletterers hat es vor allem bei hohen Temperaturen positive Auswirkungen.



## Auswirkungen von Magnesia und Handschweiß

In diesem Kapitel wird behandelt, wie sich verschiedene Gesteinsarten im Verlauf des Hängeversuchs unter dem Einfluß von Magnesia und Handschweiß veränderten.

Dazu wurden die Gesteinsproben vor und nach jeder Phase des Versuchs optisch begutachtet und beschrieben.

Daneben wurde ihr Trockengewicht gewogen und ihre Dicke gemessen.

Bei den Sandsteinen wurden auch noch Versuche zur Wasseraufnahmefähigkeit gemacht.

Optische Begutachtung der Gesteinsproben:

### Vor Beginn des Hängeversuchs:

- Die Kalksteinproben 5M und 6M waren rauhe, löcherige Kalke von gelbbrauner Farbe mit einer stark welligen Oberfläche.

Die Kalksteinproben 9H und 10H waren rauhe kompakte Kalke von hellgrauer Farbe mit einer ebenmäßigen Oberfläche, die einzelne Dellen hatte.

- Die Granitprobe 7M war ein mittelkörniges Gestein mit dunklen Glimmern und rostbraunen Eisenoxidflecken, die sich aus den angewitterten Glimmern über die helleren Feldspäte und Quarze gelegt hatten. Die Oberfläche war uneben und kantig-rauh.

- Die Sandsteinproben 8M, 12H und 4H waren fein- bis mittelkörnige Sandsteine von tiefroter bis rotbrauner Farbe. Ihre nahezu ebene Oberfläche bröselte leicht ab.

Die Abb. 2 zeigt nicht benutzte Gesteinsproben.

### Nach der Phase 1 des Hängeversuchs (Mit Magnesia, 62 Übungseinheiten):

- Die Kalksteinproben 5M und 6M wiesen nach der unschwierigen Entfernung der Magnesiaresten eine weitgehend erhaltene Rauigkeit auf. Lediglich an wenigen exponierten Stellen war diese Rauigkeit einer glänzenden Politur gewichen, die eine etwas dunklere Farbe als das frische Gestein hatte. Ansonsten war keine Farbveränderung festzustellen.

- Die Granitprobe 7M unterschied sich nach der Reinigung durch eine etwas grauere Färbung vom frischen Gestein, die dunklen Glimmer traten optisch stärker in Erscheinung. Rauigkeitsunterschiede waren nicht feststellbar.

- Die Sandsteinprobe 8M zeigte eine Farbentwicklung von Rot nach Braun. Die ursprünglich bröselig-rauhe Grifffläche war rau geblieben und hatte sich bedeutend verfestigt. Sie wurde durch oberflächennah ausgefällte Eisenoxide stabilisiert. Dieser auch aus der Natur bekannte Effekt wurde durch die Wasseraufnahmeveruche erreicht. Das in die Probe

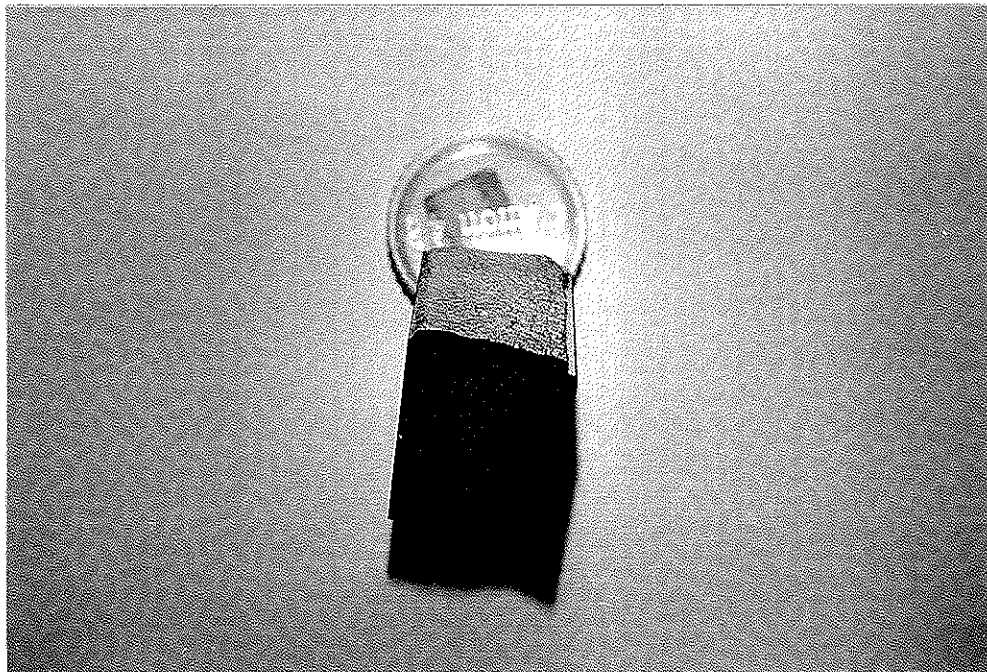
eingedrungene Wasser hatte innen die zementierenden Eisenoxide gelöst und sie an der Rinde wieder ausgefällt.

Das Magnesiapulver ließ sich mit Wasser und Bürste nicht mühelos entfernen. Bei Kalk und Granit genügte Abspülen mit Wasser. Feuchtes Magnesiapulver ließ sich nur mit Druckluft entfernen. Da in den Sandsteinen mit ihrem hohen Porenvolumen ein reger Wasseraustausch zwischen Gesteinsinnerem und Gesteinsoberfläche stattfindet, ist in der Natur oft mit feuchtem Magnesiapulver an den Griffen zu rechnen.

Vergleichende Untersuchungen über das Festhaltevermögen an feuchten Sandsteinfelsen mit und ohne Magnesia stehen noch aus.

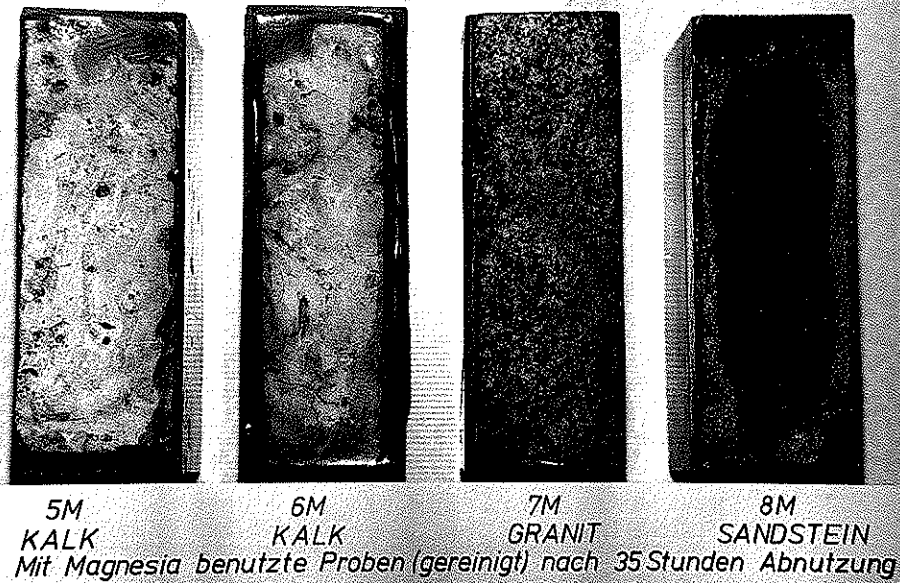
Das Magnesiapulver drang nicht in den Sandstein ein, wie die Abb. 3, eine aufgeschlagene Sandsteinprobe, zeigt.

Abb. 3



Die folgende Abb. 4 zeigt die Probenserie 1 nach der Phase 1. Der weiße Rand bei der Probe 8M rührt von Magnesiapulver her, das an dem die Gesteinsprobe umgebenden Polyester haften geblieben ist.

Abb. 4

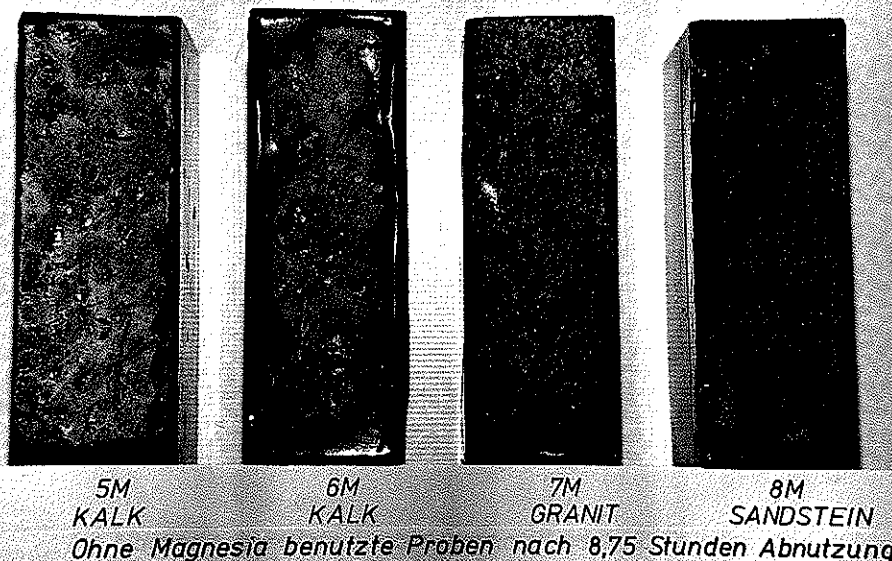


Nach der Phase 2 des Hängeversuchs (Ohne Magnesia, 15 Übungseinheiten):

- Die Kalksteinproben 5M und 6M waren über große Teile ihrer Griffflächen mit einer reflektierenden Politur graubrauner Färbung überzogen. Raue Stellen waren nicht mehr zu spüren;
- Die Granitprobe 7M zeigt eine deutlich dunklere Farbe als das frische Gestein. Die Eisenoxidflecken waren verschwunden. Das Gestein war immer noch rauh.
- Die Sandsteinprobe 8M war ebenfalls viel dunkler gefärbt als zu Beginn des Versuches. Sie hatte immer noch die unter der Phase 1 beschriebene kompakte Oberfläche und war auch noch rauh.

Abb. 5 zeigt die Probenserie 1 nach der Phase 2.

Abb. 5



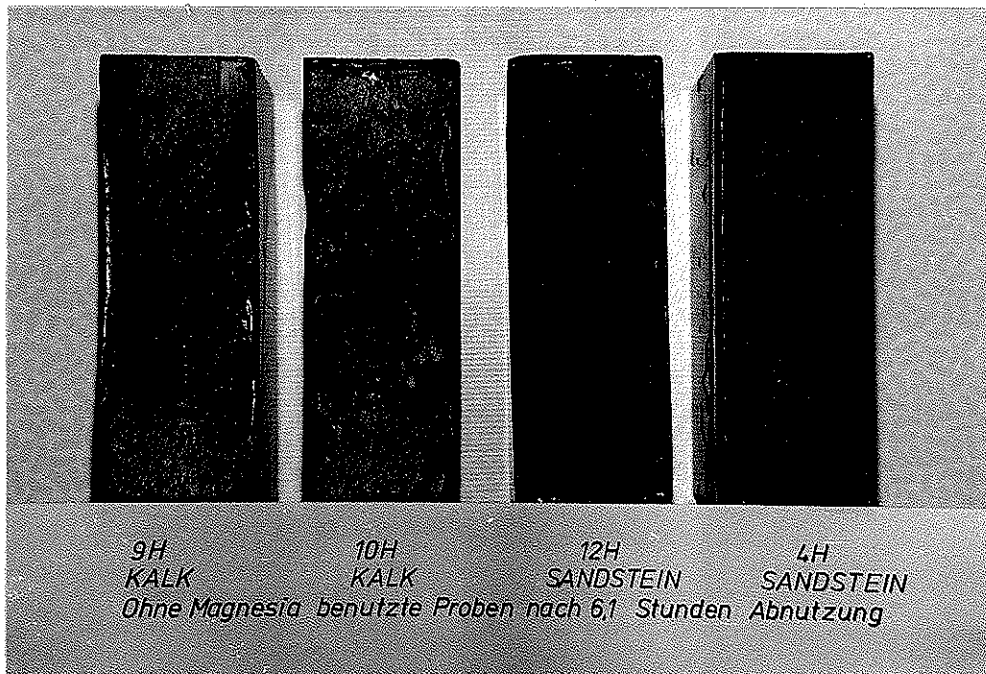
Nach der Phase 3 des Hängeversuchs (Ohne Magnesia, 12 Übungseinheiten):

- Die Kalksteinproben 9H und 10H zeigten den gleichen Oberflächenbefund wie die Proben 5M und 6M nach der Phase 2.

- Auch die Sandsteinproben 12H und 4H unterschieden sich nicht von der Probe 8M nach der Phase 2.

Abb. 6 zeigt die Probenserie 2 nach der Phase 3. Es ist deutlich von den Probenrändern zur Probenmitte hin der Wechsel von der ursprünglichen Gesteinsfarbe zum Farbton der stark abgegriffenen Gesteine zu sehen.

Abb. 6



Nach der Phase 4 des Hängeversuchs (Mit Magnesia, 10 Übungseinheiten):

- Die Kalksteinproben 9H und 10H wiesen nach der Reinigung vom Magnesiapulver immer noch den Abspeckungszustand auf, den sie nach der Phase 3 hatten. Es fand also keine Wiederherstellung der Gesteinsrauhigkeit statt.

- Die Sandsteinproben 12H und 4H sahen nach der Entfernung des Magnesiapulvers immer noch genauso dunkel aus, wie zum Ende der Phase 3. Ihre Rauigkeit war auch nicht verändert.

Abb. 7 zeigt die Probenserie 2 nach der Phase 4. Auf den Sandsteinen blieb bedeutend mehr Magnesiapulver haften als auf den Kalken.

Abb. 7

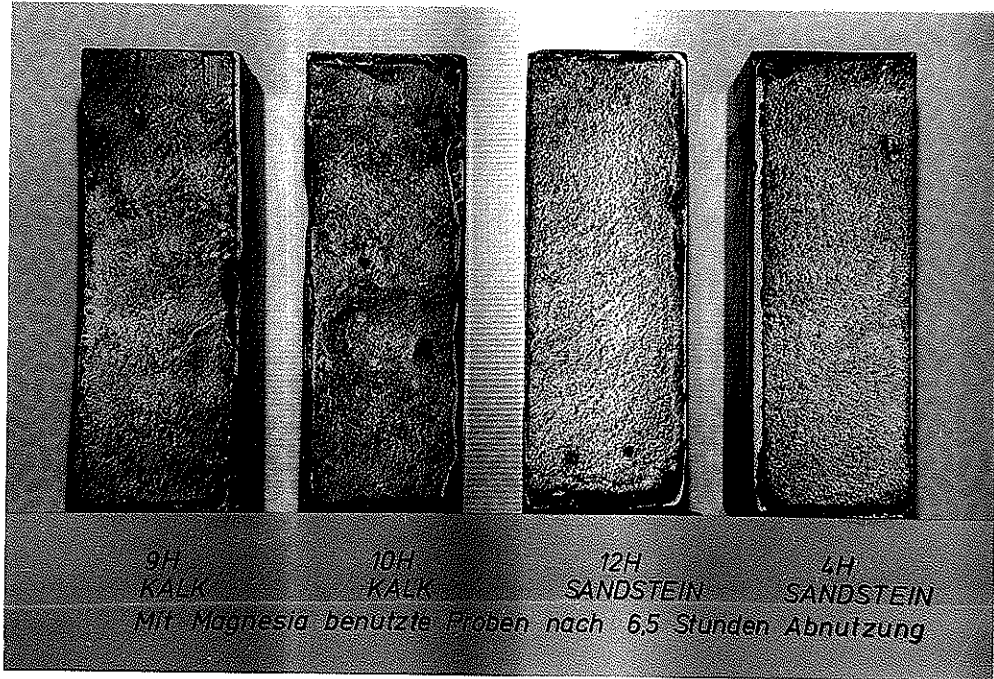


Abb. 8 zeigt die Kalkprobe 9H und die Sandsteinprobe 12H nach der Reinigung vom Magnesiapulver.

Abb. 8



Zusammenfassung der Ergebnisse der optischen Begutachtung:

- Bei Kalken wurden Rauigkeit und Farbe durch die Verwendung von Magnesia erhalten.  
Die Magnesiareste ließen sich leicht mit Wasser wegspülen.  
Bei Nichtverwendung von Magnesia wurden die Kalke schnell glatt und dunkel gefärbt. Dieser Effekt konnte durch die anschließende Verwendung von Magnesia nicht rückgängig gemacht werden.
- Bei Sandsteinen blieb die Rauigkeit sowohl bei Verwendung, als auch bei Nichtverwendung von Magnesia erhalten, die Oberfläche wurde in beiden Fällen kompakter.  
Die Farbe wurde bei der Nichtverwendung dunkler, bei der Verwendung war sie nach der Reinigung von den Magnesiaresten der ursprünglichen Farbe ähnlich.  
Die Magnesiareste ließen sich mit Wasser nur unter Druck bzw. mit Druckluft entfernen.
- Bei Granit wurde die Rauigkeit weder durch die Verwendung noch durch die Nichtverwendung von Magnesia beeinflusst.  
Die Gesteinsfarbe wurde in beiden Fällen dunkler, die Eisenoxidflecken wurden vor allem bei der Nichtanwendung von Magnesia entfernt.  
Die Magnesiareste ließen sich mit Wasser etwas schwerer als bei Kalk wegspülen.

Deutung der Ergebnisse anhand der Chemie von Schweiß und Magnesia:

Um die Ergebnisse der optischen Begutachtung erklären zu können, werden nun einige Merkmale des Schweißes aufgeführt. Dazu werden die Reaktionen des Schweißes mit den Gesteinen und mit Magnesia angerissen.

An den Händen hat der Mensch einen Großteil der zwei bis vier Millionen Schweißdrüsen, die über längere Zeiträume funktionsfähig sind und pro Tag bis zu 10 l Tröpfchenschweiß produzieren. Der aus diesen ecrinen Schweißdrüsen stammende Schweiß dient nicht nur zur Ausscheidung und Kühlung, sondern umgibt die Haut mit einem bakteriziden Säureschutzmantel. Dieser hat den Säuregrad (pH-Wert) von 4,5 - 5,5. Es gibt auch noch andere Schweißdrüsen (apocrine Schweißdrüsen), die Schweiß eines höheren, also weniger saueren pH-Wertes ausscheiden. Diese sind jedoch an behaarte Körperzonen gebunden und erscheinen nicht an den Handinnenflächen.

Der Schweiß beinhaltet unter anderem folgende Säuren: Milchsäure, Harnsäure, Buttersäure, Ammoniumionen ( $\text{NH}_4^+$ ), und Kohlensäure.

Diese Säuren reagieren mit den Gesteinsgriffen, an denen sich der Kletterer festhält.

So bildet sich z.B. aus Kohlensäure ( $H_2CO_3$ ) und Kalk ( $CaCO_3$ ) das wasserlösliche Kalziumhydrogenkarbonat mit der Formel  $Ca(HCO_3)_2$ . In der Natur werden alle Kalke durch die im Regenwasser enthaltene Kohlensäure angewittert, es entsteht das rauhe Karrenrelief.

Im Regenwasser ist die Kohlensäure stark verdünnt, das fließende Niederschlagswasser erzeugt den Schwächezonen des Gesteins folgend eine wellige bis kantige Oberfläche.

An den Händen ist die Säure konzentrierter als im Regenwasser, sie kann dadurch intensiver auf die Gesteine einwirken. In Verbindung mit dem Reiben der Hände auf den Griffen wird eine polierte Gesteinsoberfläche geschaffen.

Auch silikatische Minerale, die hauptsächlich Gesteine wie Granit oder Sandstein aufbauen, werden durch Säuren angegriffen.

Aus Feldspat wird beispielsweise Kaolinit, ein weiches Tonmineral, das durch Niederschläge leicht von der Gesteinsoberfläche weggespült werden kann. Sind die Feldspäte an der Gesteinsoberfläche zu Kaolinit umgewandelt, können auch die Quarzminerale aus dem Gestein herausbröseln und somit wird das ursprünglich feste Gestein abgebaut.

Die Verwitterungsgeschwindigkeit ist bei Granit jedoch bedeutend langsamer als bei Kalk.

Sandsteine sind meist durch Eisenoxide eisenschüssig zementiert.

Diese Eisenoxide können durch Säuren ebenfalls gelöst werden, womit der Sandstein seine Kornbindung verliert und zu Sand zerfällt.

Der Säuregehalt des Handschweißes ist also in der Lage, die Gesteinsoberflächen zu verändern. Vor allem bei Kalken und Dolomiten sind diese Veränderungen innerhalb kürzerer Zeit wahrnehmbar.

Das Magnesiapulver hingegen reagiert alkalisch mit einem pH-Wert von 8,5. Werden nun basisches Magnesia und saurer Schweiß zusammengebracht, so ist eine neutralisierende Reaktion zu erwarten, wobei Wasser und wasserlösliche Salze entstehen. Somit wird bei der Verwendung von Magnesiapulver der Schweiß nicht nur gebunden, sondern er verliert auch seinen Säuregehalt. Das hat zur Folge, daß die Gesteine nicht mehr so stark den Säuren aus dem Schweiß ausgesetzt sind und dadurch langsamer "abspecken".

Bereits abgespeckte Griffe sind der natürlichen Kohlensäureverwitterung gegenüber relativ resistent. Auf den polierten Griffen kann das Regenwasser nicht so lange verweilen, wie auf einer natürlich-rauhen Gesteinsoberfläche. Es fließt also schnell ab und kann die in ihm enthaltene Kohlensäure nur sehr kurz auf die Grifffläche einwirken lassen.

Hinzu kommt, daß Griffe in steilem bis überhängendem Gelände und Griffe, die sich auf der Regenschattenseite von Felsmassiven befinden, weitaus weniger Niederschläge bekommen, als flach geneigter Fels. Versuche zur Verwitterung abgespekter Griffe sind noch nicht durchgeführt worden.

Der Grund für die unterschiedlichen Hängeergebnisse an Kalk und Sandstein bei der Nichtverwendung von Magnesia liegt neben den unterschiedlichen Reaktionsgeschwindigkeiten in der Porosität des Sandsteins. Beim Sandstein kann der Schweiß schnell in das Gestein eindringen, bildet an der Oberfläche keinen ausgeprägten Feuchtigkeitsfilm und reagiert nur wenig mit dem Gestein.

Ist durch die Einwirkung der Schweißsäuren die Kornbindung an der Oberfläche zerstört, so bröseln die Sandkörner weg und es entsteht wiederum eine neue raue Oberfläche.

Dagegen kann der Schweiß nicht so schnell in den Kalk eindringen und wirkt unter den Händen an dem leicht löslichen Gestein.

Gewichtsabnahme der Gesteinsproben:

Die Proben wurden am Beginn und Ende jeder Versuchsphase, bei längeren Phasen auch in den Zwischenzeiten, nach 2 Stunden Trocknung im Trockenschrank bei 70°C gewogen.

Dabei wurde davon ausgegangen, daß die Abnahme der Trockengewichte in direktem Zusammenhang mit Materialverlusten an den Griffproben steht. Diese Materialverluste können mechanisch (Abrieb, vor allem bei Sandsteinen) oder chemisch (Lösung, hauptsächlich Kalke) bedingt sein.

Die folgenden Tabellen 4 und 5 zeigen den Verlauf der Gewichtsabnahme:

Tabelle 4: Veränderung der Trockengewichte bei der Probenserie 1 während der Phasen 1 und 2.

Übungseinheiten	5M Kalk			6M Kalk			7M Granit			8M Sandstein		
	Trockengewicht (g)	Differenz zur 1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	Differenz zur 1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	Differenz zur 1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	Differenz zur 1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)
0	616,5			572,1			602,5			592,1		
5	616,5	0,0	0,00	571,6	0,5	0,09	602,5	0,0	0,00	591,8	0,3	0,05
10	616,5	0,0	0,00	571,5	0,6	0,10	602,4	0,1	0,02	591,4	0,7	0,12
22	615,3	0,2	0,03	570,9	1,2	0,21	602,4	0,1	0,02	590,4	1,7	0,29
52	616,3	0,2	0,03	570,7	1,4	0,25	602,2	0,3	0,05	589,4	2,2	0,37
77	616,0	0,5	0,08	570,7	1,4	0,25	602,1	0,4	0,07	589,2	2,3	0,43



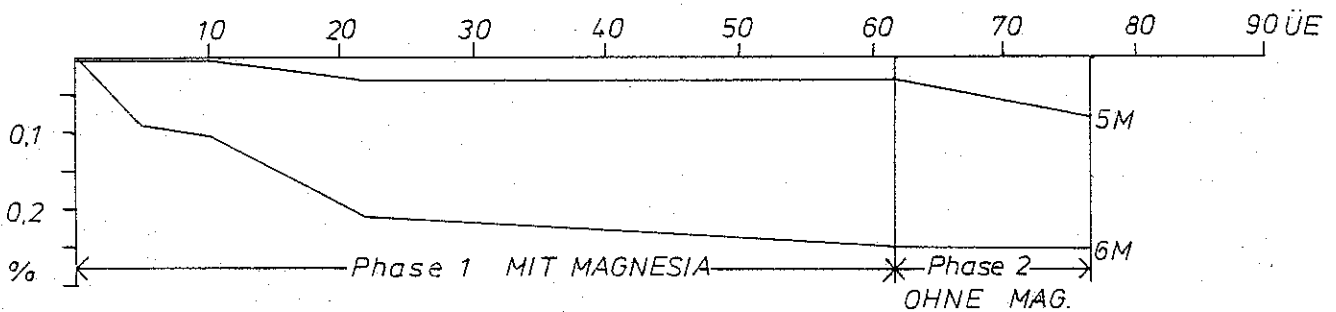
Tabelle 5: Veränderung der Trockengewichte bei der Probenserie 2 während der Phasen 3 und 4.

Übungseinheiten	9H Kalk			10H Kalk			12H Sandstein			4H Sandstein		
	Trockengewicht (g)	1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)	Trockengewicht (g)	1. Messung (g)	Differenz zur 1. Messung (%)
0	647,3			586,4			517,6			598,9		
4	647,3	0,0	0,00	586,4	0,0	0,00	517,2	0,4	0,08	598,4	0,5	0,08
10	647,2	0,1	0,02	586,2	0,2	0,03	517,2	0,4	0,08	598,3	0,6	0,10
22	647,0	0,3	0,05	keine Messung			516,1	1,5	0,29	597,5	1,4	0,23

Wichtig ist nun, ob diese Gewichtsabnahmen bei der Benutzung oder Nichtbenutzung von Magnesia unterschiedlich sind.

Das folgende Diagramm 9 zeigt die Gewichtsabnahme in % gegenüber der ersten Messung (y-Achse) gegen die Übungseinheiten (x-Achse) für die Kalke 5M und 6M aus der Probenserie 1.

Diagramm 9:



Es zeigt sich, daß in der Phase 1 ähnliche Gewichtsabnahmeraten auftreten, wie in der Phase 2. Die Probe 6M hat eine weitaus unebenere Grifffläche als die Probe 5M und bietet daher mehr Angriffspunkte. Daher hatte sie vor allem in der Anfangsphase eine größere Gewichtsabnahme als die Probe 5M.

Die Kalkproben 9H und 10H sowie die Granitprobe 7M verhalten sich ähnlich wie die Probe 5M.

Es sind also mit Ausnahme der Probe 6M keine wesentlichen Unterschiede in den Gewichtsabnahmeraten bei der Verwendung und Nichtverwendung von Magnesia zu sehen.

Auf dem Diagramm 10 ist die Gewichtsabnahme der Sandsteinprobe 8M während der Phasen 1 und 2, auf dem Diagramm 11 sind die Gewichtsabnahmen der Sandsteinproben 12H und 4H während der Phasen 3 und 4 dargestellt.

Diagramm 10:

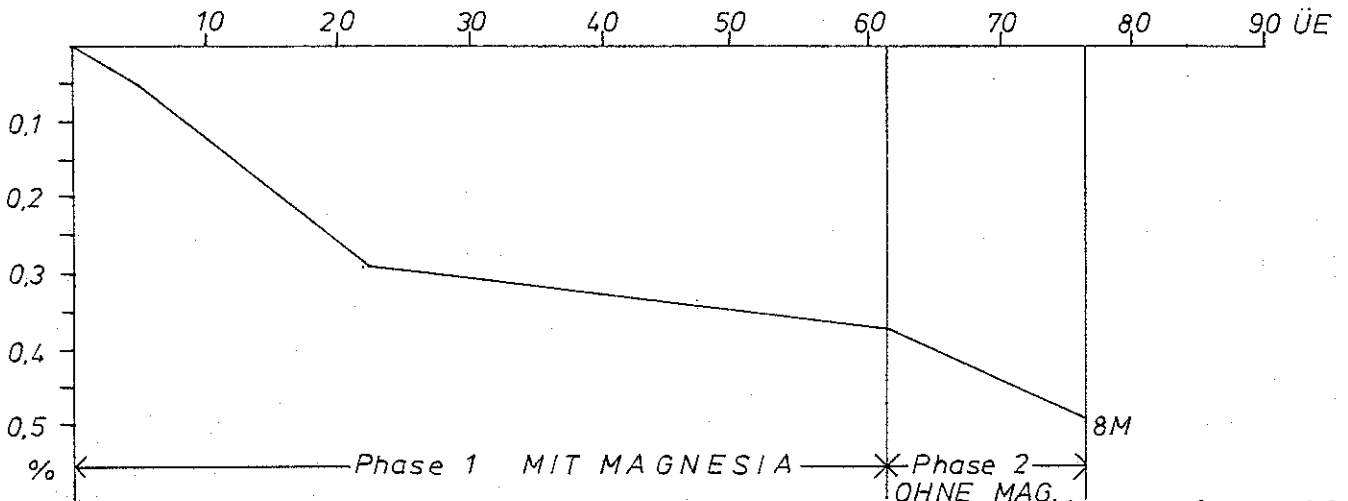
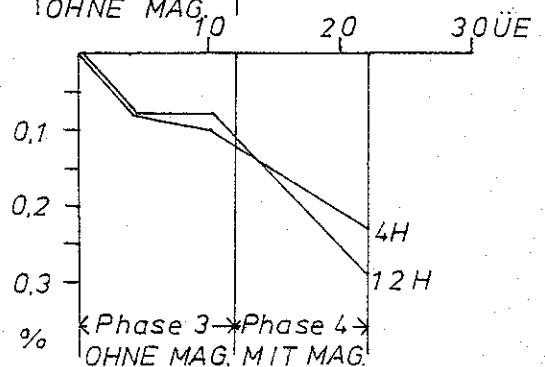


Diagramm 11:



Wiederum zeigt sich, daß sowohl in den Phasen der Verwendung von Magnesia, als auch in den Phasen der Nichtverwendung von Magnesia ähnliche Gewichtsabnahmeraten von maximal 0,02 %/UE auftreten.

Das Ergebnis lautet somit, daß alle untersuchten Gesteinsproben unabhängig von der Verwendung und Nichtverwendung von Magnesia mit unregelmäßiger Geschwindigkeit an Gewicht verlieren.

Magnesiapulver hat also keinen Einfluß auf die Gewichtsabnahme und schleift nicht, wie früher angenommen, die Gesteinsoberfläche ab. Wäre dies der Fall, so müßte bei der Verwendung von Magnesia die Gewichtsabnahmerate konstant stärker sein, als bei der Nichtverwendung. Da das untersuchte Magnesiapulver eine Mineralhärte von 2 1/2 nach Mohs hat, ist ein Abschleifen der untersuchten Gesteine, deren Mineralbestand Härten zwischen 3 (Calcit) und 6 (Feldspat, Quarz) aufweist, nicht möglich.

#### Dickenabnahme der Gesteinsproben:

Gleichzeitig mit jeder Wiegung wurden die Gesteinsproben bei Zimmertemperatur mit einer Schublehre an bezeichneten Stellen in ihrer Dicke vermessen. Es stellte sich heraus, daß die Dickenabnahme mit der Meßgenauigkeit von  $\pm 0,05$  mm nicht meßbar war.

Lediglich bei der Probe 8M (Sandstein) wurde während der Phase 1 unter Verwendung von Magnesia eine Dickenabnahme von 0,1 mm (von 55,80 mm auf 55,70 mm) über 62 Übungseinheiten ermittelt.

Die Ermittlung der Gewichtsabnahme ist also die einfachere und präzisere Methode, um Materialverluste bei den Griffproben festzustellen.

#### Wasseraufnahme der Sandsteinproben:

Bei den stark porösen Sandsteinen wurde das Wasseraufnahmevermögen untersucht.

Die Proben wurden 2 Stunden bei 70°C getrocknet, gewogen, 1,5 Stunden mit destilliertem Wasser gewässert und danach wieder gewogen.

Es sollte festgestellt werden, ob die Sandsteine bei Verwendung oder Nichtverwendung von Magnesia unterschiedlich Wasser ansaugen.

Da bis auf die Grifffläche alle Seiten der Probe mit Polyester versiegelt waren, konnte das Wasser nur über die Grifffläche eintreten.

#### Ergebnis bei der Nichtverwendung von Magnesia:

Die Probe 8M nahm am Ende der Phase 2 nach 15 ÜE. 1,68 g mehr Wasser auf als zu Beginn der Phase 2.

Die Probe 4H nahm am Ende der Phase 3 nach 12 ÜE. 2,63 g mehr Wasser auf als zu Beginn der Phase 3.

Die Probe 12H nahm am Ende der Phase 3 nach 12 ÜE. 1,29 g weniger Wasser auf als zu Beginn der Phase 3.

#### Ergebnis bei der Verwendung von Magnesia:

Die Probe 8M nahm am Ende der Phase 1 nach 62 ÜE. 2,87 g weniger Wasser auf als zu Beginn der Phase 1.

Die Probe 12H nahm am Ende der Phase 4 nach 10 ÜE. 2,87 g mehr Wasser auf als zum Beginn der Phase 4.

Magnesia hat demnach keinen Einfluß auf den Wasseraustausch an der Gesteinsoberfläche. Die unterschiedlichen Ergebnisse müssen auf andere Faktoren zurückzuführen sein. Die Proben nahmen während des Versuchsablaufes zuerst weniger, dann mehr Wasser auf. Das kann bedeuten, daß erst nach einiger Zeit der Abnutzung die Oberfläche wasserwegsam wurde.

Jedenfalls zementiert das ohnehin nur punktförmig aufgetragene Magnesiapulver die Gesteinsoberfläche nicht zu.

### Wieviel Magnesiapulver wird verbraucht?

Dieses Kapitel versucht zu klären, welche Mengen von Magnesiapulver in die Natur ausgebracht werden und ob sie sich dort außer durch ihre weiße Farbe irgendwie bemerkbar machen.

#### Der Magnesiaverbrauch (Schätzung):

Es wurde mit einer Briefwaage (Skalenteilung 1 g) stichprobenartig der Magnesiaverbrauch vier verschiedener Sportkletterer in acht Routen des oberen 6. bis 8. Schwierigkeitsgrades ermittelt. Dabei lag der Maximalverbrauch bei 3,3g/10 Höhenmeter und der Minimalverbrauch bei 0,5g/10 Höhenmeter, jedesmal in einer Route des 8. Schwierigkeitsgrades.

Der durchschnittliche Verbrauch lag bei 2,2g/10 Höhenmeter. Ein g Magnesiapulver entspricht der Menge eines Eßlöffels.

Ist die Kletterroute nun 20 m hoch, was ein repräsentativer Mittelwert sein dürfte, so wird in ihr ca. 4,5 g Magnesiapulver bei jeder Begehung verbraucht. Dieses Magnesiapulver wird größtenteils auf eine Fläche am Wandfuß hinunterfallen, bzw. hinuntergewaschen werden.

Diese Fläche in  $m^2$  anzugeben, ist recht schwierig, sie hängt davon ab, ob die Route gerade oder schräg ansteigt, ob sie stark überhängt, ob das Gelände am Einstieg eben ist usw. Nimmt man jedoch als die Reichweite eines Kletterers einen Radius von 1,2 m (Armlänge und seitliche Beugung) an und stellt sich vor, daß er aus luftiger Höhe mit diesem Radius Magnesiapulver verstreut, so fällt dieses Pulver auf eine Einstiegsfläche von ca.  $5 m^2$ .

Daraus läßt sich die Menge von 0,9 g Magnesiapulver /  $m^2$  und Begehung berechnen.

Nach ca. 550 Begehungen wäre diese Menge auf 500 g Magnesiapulver /  $m^2$  angestiegen.

Diese Begehungszahl ist innerhalb eines Jahres erreichbar.

Vergleich mit der Bodendüngung saurer Waldböden:

In der Forstwissenschaft laufen zur Zeit - nicht unumstrittene - Versuche, die durch den saueren Regen übersäuerten Waldböden durch das Ausbringen von kohlensauerem Magnesiumkalk gegen weitere Versauerung abzuschotten.

Dabei wird großflächig mit bis zu 50 dt/ha (= 500 g/m<sup>2</sup>) gedüngt. Der Dünger hat bis zu 44% Anteil an Magnesiumkarbonat. Daher scheint es berechtigt, das Magnesiapulver mit diesem Dünger zu vergleichen. Allerdings wird nur in sehr großen Abständen ca. alle 10 Jahre gedüngt, während Magnesiapulver in sehr viel kleineren Raten kontinuierlich ausgebracht wird.

Dazu kommt, daß das Magnesiapulver nur auf sehr kleine Areale verteilt wird.

Es bestehen also doch Unterschiede in der Ausbringungsform und Ausbringungsfläche von kohlensauerem Magnesiumkalk und von Magnesiapulver.

Der Effekt der Düngung der Waldböden wäre eine Wiederherstellung des ursprünglichen Säuregrades im Boden, also eine Anhebung des pH-Wertes. Während im Gartenbau diese Düngemethode im kleinen Rahmen schon lange durchgeführt wird, stehen in der Forstwirtschaft eindeutige Ergebnisse noch aus.

Es lag nun nahe, festzustellen, ob Magnesia den pH-Wert der Böden in den Klettergärten verändert. Eine gravierende Anhebung des pH-Wertes durch das Magnesiapulver würde eine Überdüngung der Böden bedeuten und somit ökologische Folgen nach sich ziehen.

Es wurden zur Messung des pH-Wertes mit einer handelsüblichen Indikatorlösung zwei Gebiete ausgesucht.

Eines liegt in einem Kalkklettergarten (Konstein/Frankenjura) und hat basische Kalkböden mit hohen pH-Werten um pH 8.

Das andere liegt in einem Sandsteinklettergarten bei Kirkel in der Pfalz und hat saure Sandböden mit niedrigen pH-Werten um pH 4.

In den Kalkböden wurde in von Magnesia unbeeinflussten Waldböden ein pH-Wert von 7,5 gemessen.

Unter der Mittleren Weißen Wand, einer über Jahre sehr oft begangenen Route, wurde ein pH-Wert von 8,0 gemessen. Dieser Unterschied ist nicht sonderlich gravierend. Offenbar läßt sich der pH-Wert von Kalkböden durch die Ausbringung von Magnesiapulver nicht anheben.

In den Sandsteinböden wurden im vom Magnesia unbeeinflussten Boden pH-Werte zwischen 4,0 (Kiefernwald) und 5,5 (Buchenwald) gemessen.

In den von Magnesia beeinflussten Böden wurde ein pH-Wert von 4,5 ermittelt.

Auch hier hatte das Magnesiapulver keine den Säuregrad des Bodens ändernde Wirkung.

Es läßt sich also aussagen, daß die Verwendung von Magnesia nur geringen, wenn überhaupt vorhandenen Einfluß auf den Säuregrad der Böden hat.

---

## Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Studie

Die Studie wurde angefertigt, um als Grundlage eine sachliche Diskussion über das Thema "Verwendung oder Nichtverwendung von Magnesia" zu ermöglichen.

Das von den Kletterern verwendete Magnesiapulver ist ein Magnesiumhydroxidcarbonat-Hydrat, das in der Natur unter dem Mineralnamen Hydromagnesit vorkommt. Es hat eine Härte von 2 1/2. Es ist ungiftig. Es hat einige Spurenelemente in sich, die jedoch als nicht gesundheitsschädlich gelten.

Magnesia erhöht die Haftfähigkeit der Hände an Gesteinsgriffen erstens dadurch, daß es die Haut trocknet und zweitens dadurch, daß es die gesteinsaggressiven Säuren im Schweiß neutralisiert. In einem Versuch wurde festgestellt, daß hauptsächlich Karbonatgesteine bei der Verwendung von Magnesia bedeutend langsamer glatt werden, als bei der Nichtverwendung. Auch an Sandsteinen und Granit wurde die Beobachtung gemacht, daß die Haltefähigkeit der Hände bei der Verwendung von Magnesia erhöht war. Das traf vor allem bei höheren Temperaturen zu. Die beste Haftfähigkeit wurde erreicht, wenn alte Magnesiareste vor der Benutzung entfernt wurden.

Die Verwendung von Magnesia erhält bei Kalken die ursprüngliche fühlbare Gesteinsrauhigkeit bedeutend länger, als bei Nichtverwendung. Magnesiareste sind von Kalken leicht zu entfernen.

Bei Sandsteinen blieb die fühlbare Gesteinsrauhigkeit sowohl bei der Verwendung, als auch bei der Nichtverwendung von Magnesia erhalten. Hier waren Magnesiareste nur schwer zu entfernen.

Bei Granit nahm die ursprünglich fühlbare Gesteinsrauhigkeit weder mit noch ohne Magnesia ab. Bei glimmerreichen Gesteinen ist im Verlauf einer längeren Benutzung jedoch eine deutliche Abnahme der Rauigkeit zu erwarten. Dies wäre z.B. bei Glimmerschiefer der Fall.

Den Versuch begleitende Wiegungen und Dickenmessungen an den Gesteinsgriffen erbrachten keine Hinweise darauf, daß bei Verwendung von Magnesia die Gesteine schneller an Substanz verlieren (abgeschmiregelt werden) als bei Nichtverwendung.

Magnesia behindert nicht den Wasseraustausch poröser Sandsteine.

Der Magnesiaverbrauch wurde auf die Menge von ca.  $1 \text{ g/m}^2$  und Begehung einer Route geschätzt.

Diese Menge wurde mit Düngermengen von kohlen-sauerem Magnesiumkalk, der im Forstwesen versuchsweise zur Düngung übersäuerter Böden verwendet wird, verglichen.

Ein düngender Effekt von Magnesiapulver wurde weder auf sauren, noch auf basischen Böden festgestellt.



ANHANG 1

Ergebnisse der Zählungen beim Hängeversuch.

Anmerkung: In den Tabellen ist unter "Trainierende" in der  
Summenspalte die Anzahl der gemachten Striche zu ver-  
stehen.

Der Begleittext gibt die Zahl der trainierenden Personen  
an, die an zwei Durchgängen teilgenommen haben.

Phase 1: 25.01.85. - 03. 05.85.

Ergebnisse der Zählungen bei der Probenserie 1

MIT MAGNESIA

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	20	5	3	28	Trainierende
Kalk	71,4	17,9	10,7	100	%
6M	31	6	3	40	Trainierende
Kalk	77,5	15,0	7,5	100	%
7M	28	6	3	37	Trainierende
Granit	75,7	16,2	8,1	100	%
8M	23	5	3	31	Trainierende
Sandstein	74,2	16,1	9,7	100	%

Datum: Fr. 25.01.85  
 01. Übungseinheit  
 34 Trainierende  
 Trainingszeit: 42 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	39	5	0	44	Trainierende
Kalk	88,6	11,4	0,0	100	%
6M	41	6	2	49	Trainierende
Kalk	83,7	12,2	4,1	100	%
7M	37	3	1	41	Trainierende
Granit	90,3	7,3	2,4	100	%
8M	43	9	1	53	Trainierende
Sandstein	81,1	17,0	1,9	100	%

Datum: Di. 29.01.85  
 03. Übungseinheit  
 47 Trainierende  
 Trainingszeit: 60 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	26	2	2	30	Trainierende
Kalk	86,7	6,7	6,6	100	%
6M	29	6	0	35	Trainierende
Kalk	82,9	17,1	0,0	100	%
7M	32	6	0	38	Trainierende
Granit	84,2	15,8	0,0	100	%
8M	29	2	2	33	Trainierende
Sandstein	87,9	6,1	6,0	100	%

Datum: Fr. 01.02.85  
 06. Übungseinheit  
 34 Trainierende  
 Trainingszeit: 44 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	27	7	3	37	Trainierende
Kalk	73,0	18,9	8,1	100	%
6M	33	8	7	48	Trainierende
Kalk	68,7	16,7	14,6	100	%
7M	29	8	7	44	Trainierende
Granit	65,9	18,2	15,9	100	%
8M	28	8	3	39	Trainierende
Sandstein	71,8	20,5	7,7	100	%

Datum: Di. 05.02.85  
 08. Übungseinheit  
 42 Trainierende  
 Trainingszeit: 51 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	9	4	2	15	Trainierende
Kalk	60,0	26,7	13,3	100	%
6M	13	4	0	17	Trainierende
Kalk	76,5	23,5	0,0	100	%
7M	12	2	0	14	Trainierende
Granit	85,7	14,3	0,0	100	%
8M	9	6	2	17	Trainierende
Sandstein	52,9	35,3	11,8	100	%

Datum: Fr. 08.02.85  
 11. Übungseinheit  
 16 Trainierende  
 Trainingszeit: 19 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	33	4	2	39	Trainierende
Kalk	84,6	10,3	5,1	100	%
6M	43	4	2	49	Trainierende
Kalk	87,8	8,2	4,0	100	%
7M	42	4	3	49	Trainierende
Granit	85,7	8,2	6,1	100	%
8M	34	4	2	40	Trainierende
Sandstein	85,0	10,0	5,0	100	%

Datum: Di. 12.02.85  
 13. Übungseinheit  
 44 Trainierende  
 Trainingszeit: 57 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	14	7	5	26	Trainierende
Kalk	53,8	26,9	19,3	100	%
6M	10	5	4	19	Trainierende
Kalk	52,7	26,3	21,0	100	%
7M	11	5	4	20	Trainierende
Granit	55,0	25,0	20,0	100	%
8M	15	7	5	27	Trainierende
Sandstein	55,5	25,9	18,6	100	%

Datum: Fr. 22.02.85  
 19. Übungseinheit  
 23 Trainierende  
 Trainingszeit: 26 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	19	4	3	26	Trainierende
Kalk	73,1	15,4	11,5	100	%
6M	24	6	7	37	Trainierende
Kalk	64,9	16,2	18,9	100	%
7M	25	5	7	37	Trainierende
Granit	67,6	13,5	18,9	100	%
8M	22	6	3	31	Trainierende
Sandstein	71,0	19,4	9,6	100	%

Datum: Di. 26.02.85  
 21. Übungseinheit  
 33 Trainierende  
 Trainingszeit: 39 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	12	10	1	23	Trainierende
Kalk	52,2	43,5	4,3	100	%
6M	23	9	2	34	Trainierende
Kalk	67,6	26,5	5,9	100	%
7M	23	8	2	33	Trainierende
Granit	69,7	24,2	6,1	100	%
8M	12	10	1	23	Trainierende
Sandstein	52,2	43,5	4,3	100	%

Datum: Do. 02.05.85  
 61. Übungseinheit  
 28 Trainierende  
 Trainingszeit: 35 Min.

Phase 1: 25.01.85 - 03.05.85

Wochenmittelwerte aus den Zählungen vom 1. bis 21. Übungstag

Intervalle		40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.						
5M		59	10	3	72	Trainierende
Kalk		81,9	13,9	4,2	100	%
6M		72	12	5	89	Trainierende
Kalk		80,9	13,5	5,6	100	%
7M		65	9	4	78	Trainierende
Granit		83,3	11,5	5,2	100	%
8M		66	14	4	84	Trainierende
Sandstein		78,6	16,7	4,7	100	%

2. Übungseinheit =  
Mittelwert aus  
1. und 3. Übungseinh.

Intervalle		40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.						
5M		53	9	5	67	Trainierende
Kalk		79,1	13,4	7,5	100	%
6M		62	14	7	83	Trainierende
Kalk		74,7	16,9	8,4	100	%
7M		61	14	7	82	Trainierende
Granit		74,4	17,1	8,5	100	%
8M		57	10	5	72	Trainierende
Sandstein		79,2	13,9	6,9	100	%

7. Übungseinheit =  
Mittelwert aus  
6. und 8. Übungseinh.

Intervalle		40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.						
5M		42	8	4	54	Trainierende
Kalk		77,8	14,8	7,4	100	%
6M		56	8	2	66	Trainierende
Kalk		84,8	12,1	3,1	100	%
7M		54	6	3	63	Trainierende
Granit		85,7	9,5	4,8	100	%
8M		43	10	4	57	Trainierende
Sandstein		75,5	17,5	7,0	100	%

12. Übungseinheit =  
Mittelwert aus  
11. und 13.  
Übungseinheit

Intervalle		40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.						
5M		33	11	8	52	Trainierende
Kalk		63,5	21,2	15,3	100	%
6M		34	11	11	56	Trainierende
Kalk		60,8	19,6	19,6	100	%
7M		36	10	11	57	Trainierende
Granit		63,2	17,5	19,3	100	%
8M		37	13	8	58	Trainierende
Sandstein		63,8	22,4	13,8	100	%

20. Übungseinheit =  
Mittelwert aus  
19. und 21.  
Übungseinheit

Phase 1: 25.01.85. - 03.05.85.

Probenserie 1 MIT MAGNESIA

DATENZUSAMMENSTELLUNG zur Berechnung der Trendgeraden

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall.

Übungseinheit	5M Kalk	6M Kalk	7M Granit	8M Sandst.
2	81,9	89,0	83,3	78,6
7	79,1	74,7	74,4	79,2
12	77,8	84,8	85,7	75,5
20	63,5	60,8	63,2	63,8
61	52,2	67,6	69,7	52,2

Anzahl der Fälle:  $n = 5$

Phase 2: 06.05.85. - 30.05.85.

Ergebnisse der Zählungen bei der Probenserie 1

OHNE MAGNESIA

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	7	4	2	13	Trainierende
Kalk	53,8	30,8	15,4	100	%
6M	20	2	3	25	Trainierende
Kalk	80,0	8,0	12,0	100	%
7M	14	2	2	18	Trainierende
Granit	77,8	11,1	11,1	100	%
8M	12	5	2	19	Trainierende
Sandstein	63,2	26,3	10,5	100	%

Datum: Mo. 06.05.85

01. Übungseinheit

19 Trainierende

Trainingszeit: 23 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	12	10	1	23	Trainierende
Kalk	52,2	43,5	4,3	100	%
6M	22	8	2	32	Trainierende
Kalk	68,8	25,0	6,2	100	%
7M	23	7	2	32	Trainierende
Granit	71,9	21,9	6,2	100	%
8M	13	11	1	25	Trainierende
Sandstein	52,0	44,0	4,0	100	%

Datum: Di. 07.05.85

02. Übungseinheit

28 Trainierende

Trainingszeit: 35 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	22	13	1	36	Trainierende
Kalk	61,1	36,1	2,8	100	%
6M	23	12	3	38	Trainierende
Kalk	60,5	31,6	7,9	100	%
7M	21	16	4	41	Trainierende
Granit	51,2	39,0	9,8	100	%
8M	23	14	1	38	Trainierende
Sandstein	60,6	36,8	2,6	100	%

Datum: Do. 09.05.85

04. Übungseinheit

38 Trainierende

Trainingszeit: 47 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	6	3	2	11	Trainierende
Kalk	54,5	27,3	18,2	100	%
6M	10	3	5	18	Trainierende
Kalk	55,6	16,6	27,8	100	%
7M	9	3	4	16	Trainierende
Granit	56,2	18,8	25,0	100	%
8M	8	4	3	15	Trainierende
Sandstein	53,3	26,7	20,0	100	%

Datum: Mo. 13.05.85

06. Übungseinheit

15 Trainierende

Trainingszeit: 17 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	7	4	2	13	Trainierende
Kalk	53,8	30,8	15,4	100	%
6M	7	11	6	24	Trainierende
Kalk	29,2	45,8	25,0	100	%
7M	6	9	6	21	Trainierende
Granit	28,6	42,8	28,6	100	%
8M	9	7	2	18	Trainierende
Sandstein	50,0	38,9	11,1	100	%

Datum: Di. 14.05.85  
 07. Übungseinheit  
 19 Trainierende  
 Trainingszeit: 21 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	3	5	1	9	Trainierende
Kalk	33,3	55,6	11,1	100	%
6M	10	10	4	24	Trainierende
Kalk	41,7	41,7	16,6	100	%
7M	7	8	3	18	Trainierende
Granit	38,9	44,4	16,7	100	%
8M	5	8	2	15	Trainierende
Sandstein	33,3	53,3	13,4	100	%

Datum: Mi. 15.05.85  
 08. Übungseinheit  
 16 Trainierende  
 Trainingszeit: 19 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	13	10	6	29	Trainierende
Kalk	44,8	34,5	20,7	100	%
6M	12	14	4	30	Trainierende
Kalk	40,0	46,7	13,3	100	%
7M	8	13	3	24	Trainierende
Granit	33,3	54,2	12,5	100	%
8M	13	10	7	30	Trainierende
Sandstein	43,3	33,3	23,4	100	%

Datum: Di. 21.05.85  
 11. Übungseinheit  
 29 Trainierende  
 Trainingszeit: 37 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	7	8	9	24	Trainierende
Kalk	29,2	33,3	37,5	100	%
6M	23	10	7	40	Trainierende
Kalk	57,5	25,0	17,5	100	%
7M	19	8	7	34	Trainierende
Granit	55,9	23,5	20,6	100	%
8M	10	10	11	31	Trainierende
Sandstein	32,3	32,3	35,4	100	%

Datum: Do. 23.05.85  
 13. Übungseinheit  
 32 Trainierende  
 Trainingszeit: 41 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
5M	5	5	16	26	Trainierende
Kalk	19,2	19,2	61,6	100	%
6M	13	13	16	42	Trainierende
Kalk	30,9	30,9	38,2	100	%
7M	11	13	19	43	Trainierende
Granit	25,6	30,2	44,2	100	%
8M	7	4	18	29	Trainierende
Sandstein	24,1	13,8	62,1	100	%

Datum: Do. 30.05.85  
 15. Übungseinheit  
 35 Trainierende  
 Trainingszeit: 34 Min.

Phase 2: 06.05.85. - 30.05.85.

Probenserie 1 OHNE MAGNESIA

DATENZUSAMMENSTELLUNG zur Berechnung der Trendgeraden

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall

Übungseinheit	5M Kalk	6M Kalk	7M Granit	8M Sandst.
1	53,8	80,0	77,8	63,2
2	52,2	68,8	71,9	52,0
4	61,6	60,5	51,2	60,6
6	54,5	55,6	56,2	53,3
7	53,8	29,2	28,6	50,0
8	33,3	41,7	38,9	33,3
11	44,8	40,0	33,3	43,3
13	29,2	57,5	55,9	32,3
15	19,2	30,9	25,6	24,1

Anzahl der Fälle:  $n = 9$



Phase 3: 03.06.85. - 20.06.85.

Ergebnisse der Zählungen bei der Probenserie 2

## OHNE MAGNESIA

Intervalle 40-35 35-20 20-00				Summe	
Probennr.					
9H	6	5	0	11	Trainierende
Kalk	54,5	45,5	0,0	100	%
10H	6	5	0	11	Trainierende
Kalk	54,5	45,5	0,0	100	%
12H	11	5	2	18	Trainierende
Sandstein	61,1	27,8	11,1	100	%
4H	11	5	2	18	Trainierende
Sandstein	61,1	27,8	11,1	100	%

Datum: Mo. 03.06.85  
 01. Übungseinheit  
 15 Trainierende  
 Trainingszeit: 17 Min.

Intervalle 40-35 35-20 20-00				Summe	
Probennr.					
9H	15	8	0	23	Trainierende
Kalk	65,2	34,8	0,0	100	%
10 H	17	8	0	25	Trainierende
Kalk	68,0	32,0	0,0	100	%
12 H	16	10	5	31	Trainierende
Sandstein	51,6	32,3	16,1	100	%
4H	14	7	5	26	Trainierende
Sandstein	53,9	26,9	19,2	100	%

Datum: Di. 04.06.85  
 02. Übungseinheit  
 26 Trainierende  
 Trainingszeit: 32 Min.

Intervalle 40-35 35-20 20-00				Summe	
Probennr.					
9H	6	5	2	13	Trainierende
Kalk	46,1	38,5	15,4	100	%
10H	7	8	2	17	Trainierende
Kalk	41,2	47,0	11,8	100	%
12H	18	13	1	32	Trainierende
Sandstein	56,3	40,6	3,1	100	%
4H	18	10	1	29	Trainierende
Sandstein	62,1	34,5	3,4	100	%

Datum: Di. 11.06.85  
 06. Übungseinheit  
 23 Trainierende  
 Trainingszeit: 28 Min.

Intervalle 40-35 35-20 20-00				Summe	
Probennr.					
9H	15	11	1	27	Trainierende
Kalk	55,6	40,7	3,7	100	%
10H	14	11	1	26	Trainierende
Kalk	53,9	42,3	3,8	100	%
12H	18	4	3	25	Trainierende
Sandstein	72,0	16,0	12,0	100	%
4H	17	4	3	24	Trainierende
Sandstein	70,8	16,7	12,5	100	%

Datum: Do. 13.06.85  
 08. Übungseinheit  
 26 Trainierende  
 Trainingszeit: 31 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe	
Probennr.					
9H Kalk	12 40,0	15 50,0	3 10,0	30 100	Trainierende %
10H Kalk	13 43,3	14 46,7	3 10,0	30 100	Trainierende %
12H Sandstein	26 68,4	9 23,7	3 7,9	38 100	Trainierende %
4H Sandstein	24 66,7	9 25,0	3 8,3	36 100	Trainierende %

Datum: Di. 18.06.85  
 10. Übungseinheit  
 34 Trainierende  
 Trainingszeit: 40 Min.

Phase 3: 03.06.85. - 20.06.85.

Probenserie 2 OHNE MAGNESIA

DATENZUSAMMENSTELLUNG zur Berechnung der Trendgeraden

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall.

Übungseinheit	9H Kalk	10H Kalk	12H Sandst.	4H Sandst.
1	54,5	54,5	61,1	61,1
2	65,2	68,0	51,6	53,9
6	46,1	41,2	56,3	62,1
8	55,6	53,9	72,0	70,8
10	40,0	43,3	68,4	66,7

Anzahl der Fälle: n = 5

Phase 4: 21.06.85. - 04.07.85.

Ergebnisse der Zählungen bei der Probenserie 2

## MIT MAGNESIA

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe
Probennr.				
9H	13	5	0	18 Trainierende
Kalk	72,2	27,8	0,0	100 %
10H	11	6	0	17 Trainierende
Kalk	64,7	35,3	0,0	100 %
12H	21	4	0	25 Trainierende
Sandstein	84,0	16,0	0,0	100 %
4H	20	3	0	23 Trainierende
Sandstein	86,9	13,1	0,0	100 %

Datum: Fr. 21.06.85

01. Übungseinheit

21 Trainierende

Trainingszeit: 27 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe
Probennr.				
9H	33	8	1	42 Trainierende
Kalk	78,6	19,0	2,4	100 %
10H	33	8	1	42 Trainierende
Kalk	78,6	19,0	2,4	100 %
12H	40	12	0	52 Trainierende
Sandstein	76,9	23,1	0,0	100 %
4H	35	11	0	46 Trainierende
Sandstein	76,1	23,9	0,0	100 %

Datum: Di. 25.06.85

03. Übungseinheit

45 Trainierende

Trainingszeit: 60 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe
Probennr.				
9H	23	6	0	29 Trainierende
Kalk	79,3	20,7	0,0	100 %
10H	25	4	0	29 Trainierende
Kalk	86,2	6,8	0,0	100 %
12H	24	3	0	27 Trainierende
Sandstein	88,9	11,1	0,0	100 %
4H	23	4	0	27 Trainierende
Sandstein	85,2	14,8	0,0	100 %

Datum: Do. 27.06.85

05. Übungseinheit

28 Trainierende

Trainingszeit: 37 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe
Probennr.				
9H	30	10	0	40 Trainierende
Kalk	75,0	25,0	0,0	100 %
10H	28	9	0	37 Trainierende
Kalk	75,7	24,3	0,0	100 %
12H	31	10	1	42 Trainierende
Sandstein	73,8	23,8	2,4	100 %
4H	33	12	1	46 Trainierende
Sandstein	71,7	26,1	2,2	100 %

Datum: Di. 02.07.85

08. Übungseinheit

41 Trainierende

Trainingszeit: 53 Min.

Intervalle	40-35	35-20	20-00	Summe
Probennr.				
9H	12	6	0	18 Trainierende
Kalk	66,7	33,3	0,0	100 %
10H	11	7	0	18 Trainierende
Kalk	61,6	38,9	0,0	100 %
12H	16	3	0	19 Trainierende
Sandstein	84,2	15,8	0,0	100 %
4H	17	2	0	19 Trainierende
Sandstein	89,5	10,5	0,0	100 %

Datum: Do. 04.07.85

10. Übungseinheit

19 Trainierende

Trainingszeit: 24 Min.

Phase 4:- 21.06.85 - 04.07.85.

Probenserie 2 MIT MAGNESIA

DATENZUSAMMENSTELLUNG zur Berechnung der Trendgeraden

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall.

Übungseinheit	9H Kalk	10H Kalk	12H Sandst.	4H Sandst.
1	72,2	64,7	84,0	86,9
3	78,6	78,6	76,9	76,1
5	79,3	86,2	88,9	85,2
8	75,0	75,7	73,8	71,7
10	66,7	61,6	84,2	89,5

Anzahl der Fälle: n = 5

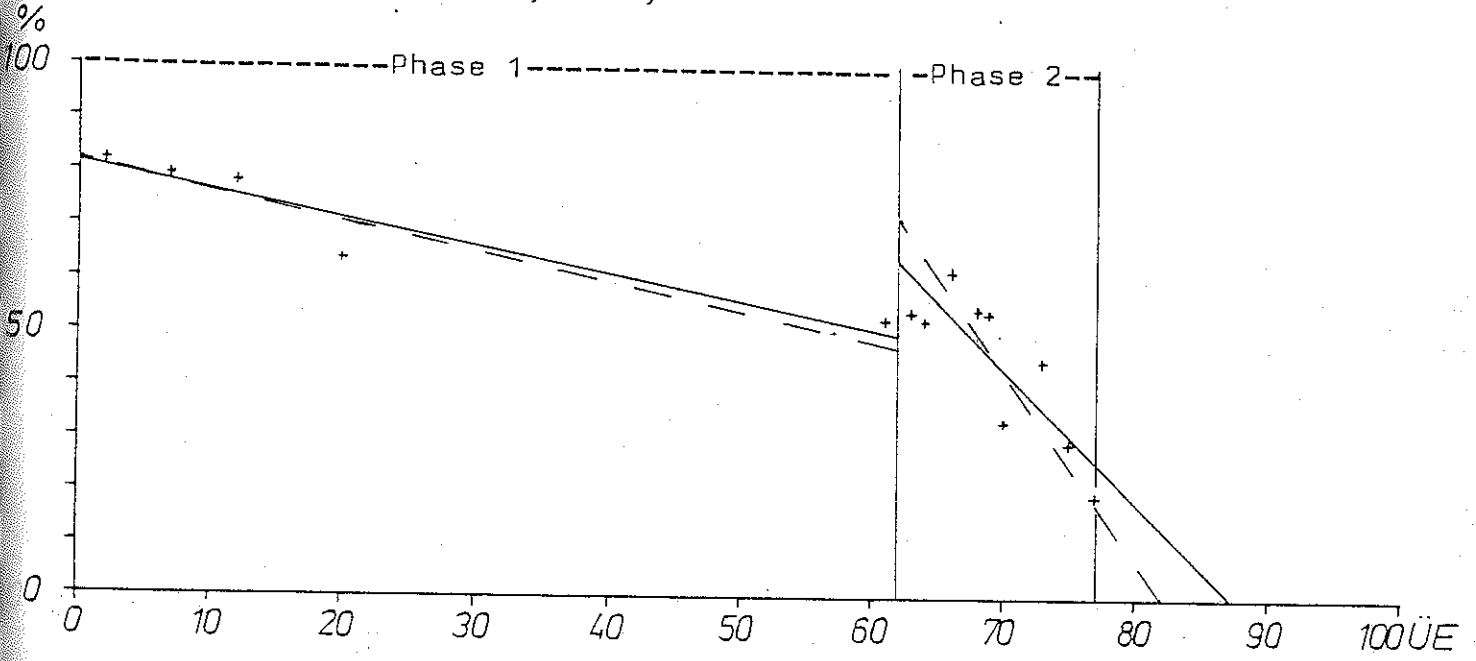
A 2 - 1

ANHANG 2

Probenserie 1: Probe 5M Kalk

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse) gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 1

Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 2

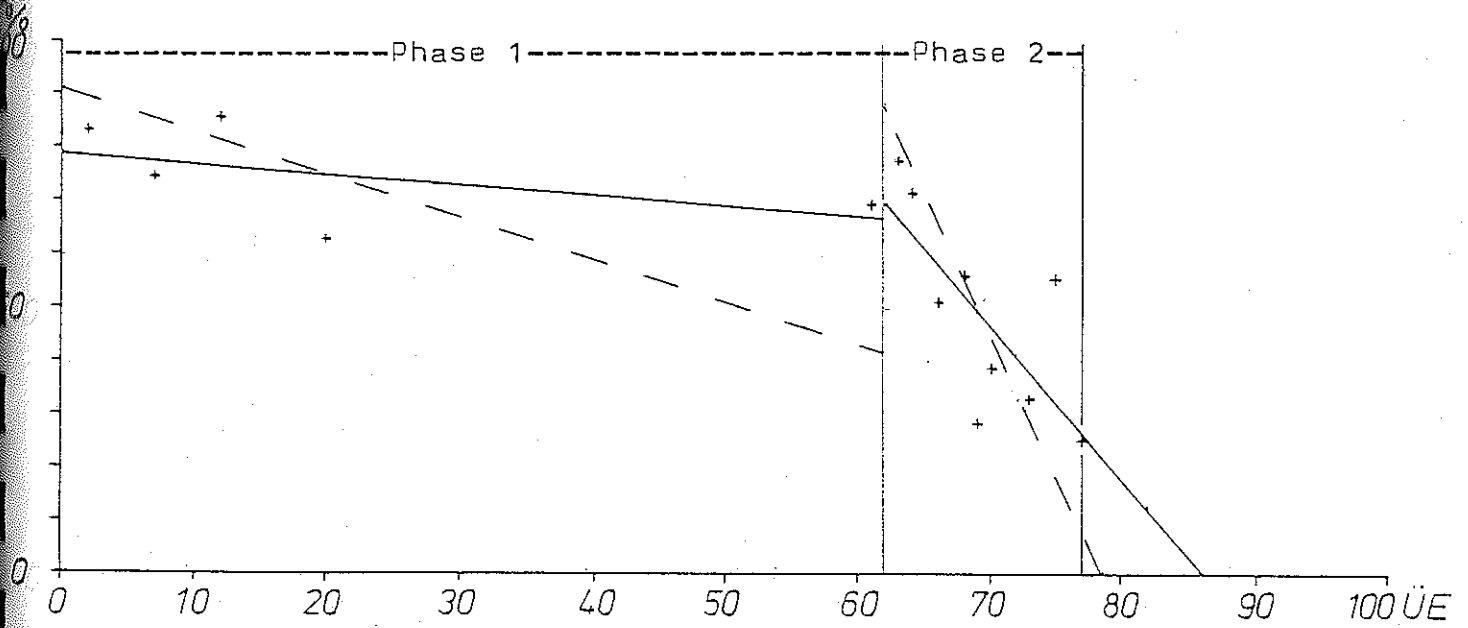
x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
2	81,9	163,8	4	6707,61
7	79,1	553,7	49	6256,81
12	77,8	933,6	144	6052,84
20	63,5	1270,0	400	4032,25
61	52,2	3184,2	3721	2724,84
102	354,5	6105,3	4316	25774,35
Σ x	Σ y	Σ xy	Σ x <sup>2</sup>	Σ y <sup>2</sup>
$b_{yx} = - 0,5034$ $a_{yx} = 81,2$ $r = 0,94$ $b_{xy} = - 1,7592$ $a_{xy} = 145,1$				

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	53,8	53,8	1	2894,44
2	52,2	104,4	4	2724,84
4	61,6	246,4	16	3794,56
6	54,5	327,0	36	2970,25
7	53,6	376,6	49	2894,44
8	33,3	266,4	64	1108,89
11	44,8	492,8	121	2007,04
13	29,2	379,6	169	852,64
15	19,2	288,0	225	368,64
67	402,4	2535,0	685	19615,74
Σ x	Σ y	Σ xy	Σ x <sup>2</sup>	Σ y <sup>2</sup>
$b_{yx} = - 2,4739$ $a_{yx} = 63,1$ $r = 0,84$ $b_{xy} = - 0,2836$ $a_{xy} = 20,1$				

Probenserie 1: Probe 7M Granit

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse) gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 1

Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 2

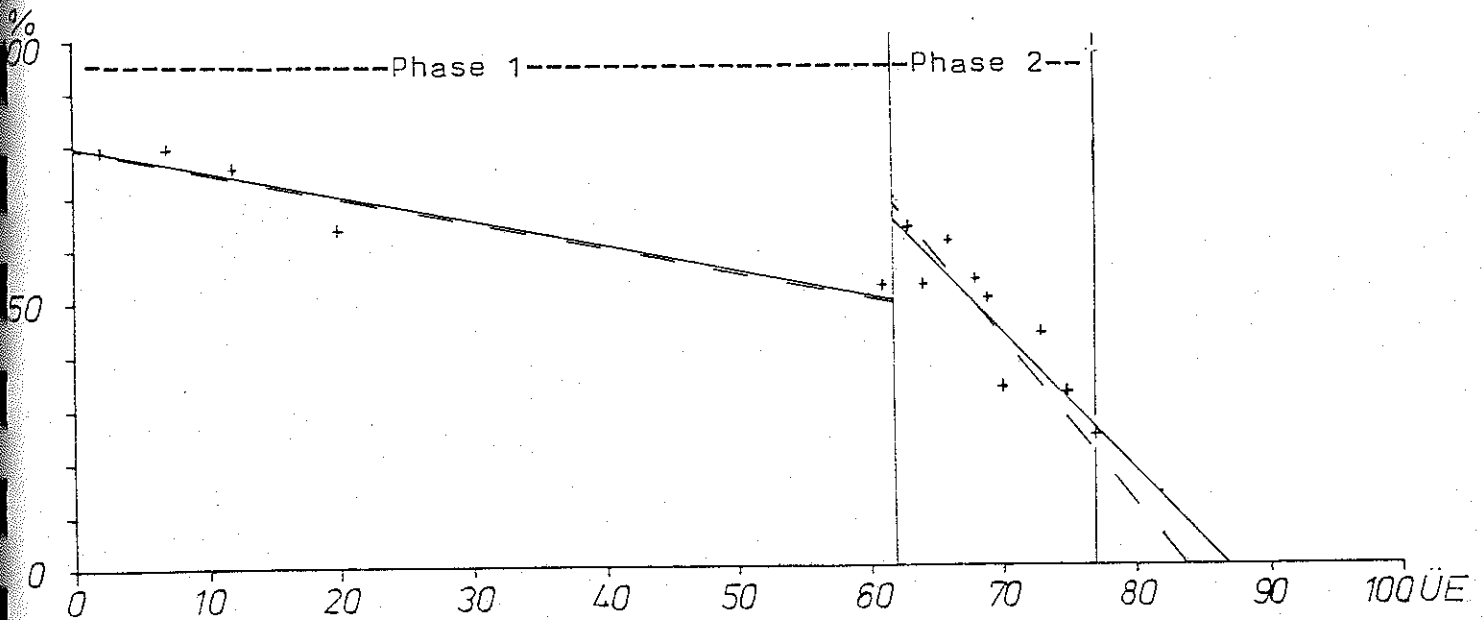
x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
2	33,5	166,3	4	3938,99
7	74,7	520,3	49	3539,39
12	35,7	1028,4	144	7344,49
20	33,1	1262,3	400	3981,61
31	33,7	4251,7	3721	4853,39
122	373,2	7223,5	4313	23653,44
Σx	Σy	Σxy	Σx <sup>2</sup>	Σy <sup>2</sup>
$b_{yx} = - 0,1989$ $a_{yx} = 79,3$ $r = 0,50$ $b_{xy} = - 1,2600$ $a_{xy} = 115,2$				

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	77,3	77,3	1	3052,34
2	71,3	143,3	4	5159,31
4	51,2	204,3	16	2621,44
5	53,2	337,2	36	3158,44
7	29,3	200,2	49	817,36
8	38,3	311,2	64	1513,21
11	33,3	366,3	121	1108,89
13	53,3	723,7	169	3124,31
15	25,3	384,3	225	655,36
67	439,4	2752,3	366	24222,55
Σx	Σy	Σxy	Σx <sup>2</sup>	Σy <sup>2</sup>
$b_{yx} = - 2,3423$ $a_{yx} = 39,33$ $r = 0,72$ $b_{xy} = - 0,1374$ $a_{xy} = 13,3$				

Probenserie 1: Probe 8M Sandstein

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse)  
gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und  
Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 1

Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 2

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
2	79,3	157,2	4	6177,36
7	79,2	554,4	49	6272,64
12	75,4	904,8	144	5685,16
20	63,8	1276,0	400	4070,44
31	52,5	1627,5	961	2756,25
102	349,5	6094,3	10404	24962,45
$\Sigma x$	$\Sigma y$	$\Sigma xy$	$\Sigma x^2$	$\Sigma y^2$

$b_{yx} = - 3,4825$	
$a_{yx} = 79,7$	$r = 0,99$
$b_{xy} = - 2,0283$	
$a_{xy} = 182,18$	

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	63,2	63,2	1	3994,24
2	52,0	104,0	4	2704,00
4	50,6	242,4	16	2560,36
6	53,3	319,8	36	2840,89
7	50,0	350,0	49	2500,00
8	53,5	268,4	64	1108,39
11	43,3	476,3	121	1874,89
13	32,5	419,8	169	1043,29
15	24,1	361,5	225	580,81
67	412,1	2603,5	4489	20319,37
$\Sigma x$	$\Sigma y$	$\Sigma xy$	$\Sigma x^2$	$\Sigma y^2$

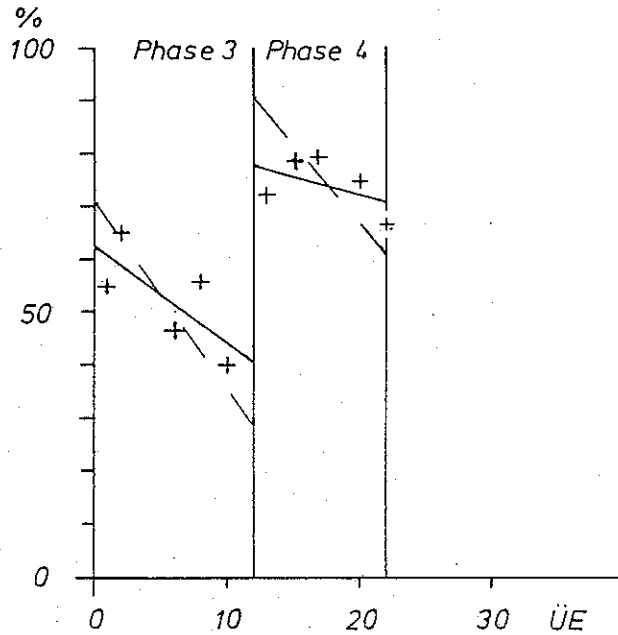
$b_{yx} = - 2,5430$	
$a_{yx} = 64,7$	$r = 0,90$
$b_{xy} = - 0,3203$	
$a_{xy} = 22,1$	



Probenserie 2: Probe 9H Kalk

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse) gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und  
Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 3

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	54,5	54,5	1	2970,25
2	65,2	130,4	4	4251,04
6	46,1	276,6	36	2125,21
8	55,6	444,8	64	3091,36
10	40,0	400,0	100	1600,00
27	261,4	1036,3	205	14037,86
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
$b_{yx} = -1,7780$ $a_{yx} = 61,9$ $r = 0,71$ $b_{xy} = -0,2831$ $a_{xy} = 20,2$				

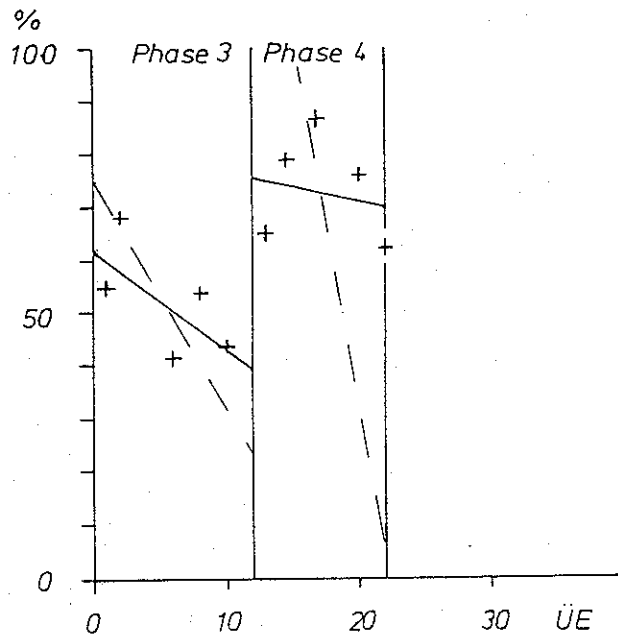
Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 4

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	72,2	72,2	1	5212,84
3	78,6	235,8	9	6177,96
5	79,3	396,5	25	6288,49
8	75,0	600,0	64	5625,00
10	66,7	667,0	100	4448,89
27	371,8	1971,5	199	27753,18
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
$b_{yx} = -0,6808$ $a_{yx} = 78,0$ $r = 0,48$ $b_{xy} = -0,3413$ $a_{xy} = 30,8$				

Probenserie 2: Probe 10H Kalk

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse)  
gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und  
Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 3

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	54,5	54,5	1	2970,25
2	68,0	136,0	4	4624,00
6	41,2	247,2	36	1697,44
8	53,9	431,2	64	2905,21
10	43,3	433,0	100	1874,89
27	260,9	1301,9	205	14071,79
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
$b_{yx} = -1,8068$ $a_{yx} = 61,9$ $r = 0,64$ $b_{xy} = -0,2335$ $a_{xy} = 17,6$				

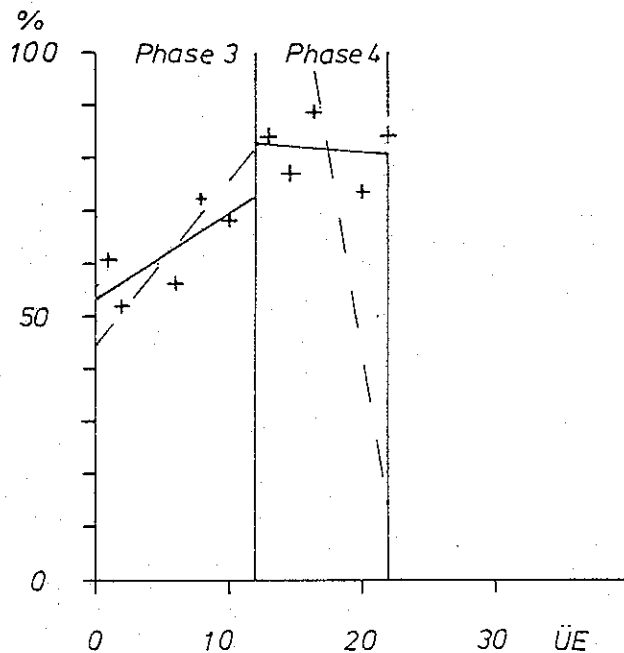
Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 4

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	64,7	64,7	1	4186,09
3	78,6	235,8	9	6177,96
5	86,2	431,0	25	7430,44
8	75,7	605,6	64	5730,49
10	61,6	616,0	100	3794,56
27	366,8	1953,1	199	27319,54
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
$b_{yx} = -0,5192$ $a_{yx} = 76,2$ $r = 0,19$ $b_{xy} = -0,0672$ $a_{xy} = 10,3$				

Probenserie 2: Probe 12H Sandstein

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y- Achse) gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und  
Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 3

Wertetabelle zur Berechnung der Trendgeraden für Phase 4

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	61,1	61,1	1	3733,21
2	51,6	103,2	4	2662,56
6	56,3	337,8	36	3169,69
8	72,0	576,0	64	5184,00
10	68,4	684,0	100	4678,56
27	309,4	1762,1	205	19428,02
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$

$b_{yx} = + 1,5429$				
$a_{yx} = 53,55$		$r = 0,71$		
$b_{xy} = + 0,3235$				
$a_{xy} = - 14,6$				

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	84,0	84,0	1	7056,00
3	76,9	230,7	9	5913,61
5	88,9	444,5	25	7903,21
8	73,8	590,4	64	5446,44
10	84,2	842,0	100	7089,64
27	407,8	2191,6	199	33408,90
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$

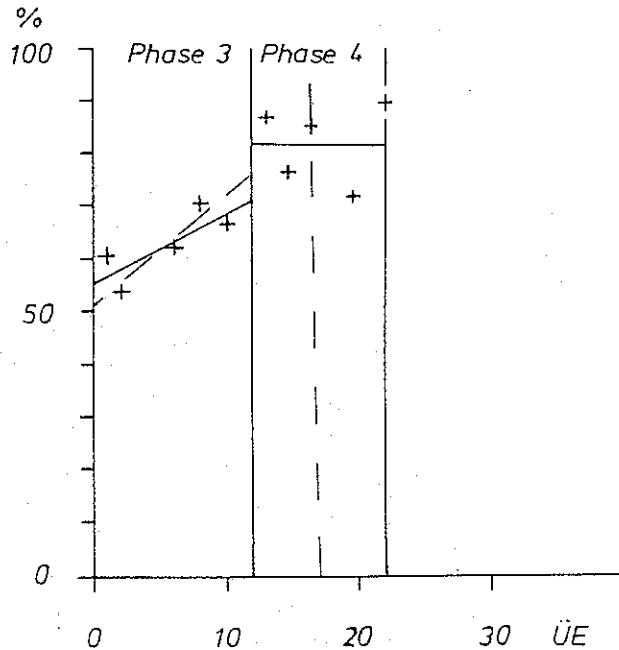
  

$b_{yx} = - 0,1977$				
$a_{yx} = 82,6$		$r = 0,12$		
$b_{xy} = - 0,0707$				
$a_{xy} = 11,2$				

Probenserie 2: Probe 4H Sandstein

Prozentsatz der Trainierenden im 40-35 Sec. Intervall (y-Achse),  
gegen Übungseinheiten (x-Achse)

Mit Trendgerade  $y = a_{yx} + b_{yx} x$  (ausgezogene Gerade) und  
Trendgerade  $x = a_{xy} + b_{xy} y$  (gestrichelte Gerade).



Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 3

Wertetabelle zur Berechnung  
der Trendgeraden für Phase 4

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	61,1	61,1	1	3733,21
2	53,9	107,8	4	2905,21
6	62,1	372,6	36	3856,41
8	70,8	566,4	64	5012,64
10	66,7	667,0	100	4448,89
27	314,6	1774,9	205	19956,36
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$

$b_{yx} = + 1,2848$				
$a_{yx} = 56,0$		$r = 0,78$		
$b_{xy} = + 0,4703$				
$a_{xy} = -24,2$				

x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	86,9	86,9	1	7551,61
3	76,1	228,3	9	5791,21
5	85,2	426,0	25	7259,04
8	71,7	573,6	64	5140,89
10	89,5	895,0	100	8010,25
27	409,4	2209,8	199	33753,00
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$

$b_{yx} = - 0,0180$				
$a_{yx} = 82,0$		$r = 0,01$		
$b_{xy} = - 0,0041$				
$a_{xy} = 5,1$				

## Literaturverzeichnis

- BRAUNS & CHUDOBA, (1964): Spezielle Mineralogie.  
11. Auflage, 193 S., Verlag de Gruyter, Berlin, New York.
- GANSSEN, R., (1965): Grundsätze der Bodenbildung.  
1. Auflage, 135 S., Verlag Bibliograph. Inst. Mannheim,  
Wien, Zürich.
- GUSSONE, H. A., (1984): Empfehlungen zur Kompensationsdüngung.  
In: Der Forst- und Holzwirt, Nr. 6, 39, S. 154-160.
- HOLLEMAN & WIBERG, (1976): Lehrbuch der Anorganischen Chemie.  
81. - 90. Auflage, 1323 S., Verlag de Gruyter, Berlin.
- HÜSER, R., (1983): Forstdüngung mit Blickrichtung auf die Immissions-  
belastung.  
In: Allgemeine Forstzeitschrift, Nr. 41, Jg. 38.
- LIEBER, W., (1969): Mineralogie in Stichworten.  
1. Auflage, 244 S., Verlag Ferdinand Hirt, Kiel.
- NIGGLI, P., (1927): Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mineralogie.  
300 S., Verlag Bornträger, Berlin.
- PIERROT, R. M., (1979): Chemical and Determinative Tables of Mineralogy  
(without the Silicates).  
591 S., Verlag Mason Publishing USA Inc.
- RICHTER, D. (1980): Allgemeine Geologie.  
2. Auflage, 388 S., Verlag de Gruyter, Berlin, New York.
- SACHS, (1978): "Angewandte Statistik". Statistische Methoden und ihre  
Anwendung.  
5. Auflage, 552 S., Verlag Springer, Berlin, Heidelberg,  
New York.
- SCHWEISSHELM, G. (1978): Magnesia - der neue Kletterleim.  
In: Alpinismus, Nr. 8, Jg. 1978, S. 5.
- THE JOINT COMMITTEE OF POWDER DIFFRACTION STANDARDS, (1971):  
Index (inorganic) to the Powder Diffraction File 1971.  
1322 S.

Röntgendiffraktometer-Messung an  
 "Pure Basic Magnesium Carbonate"  
 $7\text{MgCO}_3 \cdot 2\text{Mg(OH)}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Hersteller: SOCIETA GENERALE PER L'INDUSTRIA DELLA MAGNESIA (Mailand)

