

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche
Laboratorio federale di prova dei materiali e di ricerca
Institut federal da controlla da material e da retschertgas
Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

EMPA
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
Tel. +41-1-823 55 11
Fax +41-1-821 62 44



Polierverhalten von Mineralstoffen

Comportement au polissage des granulats minéraux

Polished Stone Value, PSV
Coefficient de polissage accéléré

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bern
Forschungsauftrag 8/90

Zusammenfassung

Die vorliegende Forschungsarbeit basiert auf umfangreichen Vorarbeiten, wie intensiver Erfahrungsaustausch und vergleichende Untersuchungen. Diese Arbeiten wurden teilweise im Rahmen des internationalen Arbeitskreises "Polierprüfung von Mineralstoffen - Erfahrungsaustausch", 6.2.2, der deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen durchgeführt, bei der die EMPA als Vertreter der Schweiz und der VSS Kommission 271 "Baustoff-Technologie" teilnimmt.

Hauptschwerpunkte dieser Forschungsarbeit FA 8/90, "Polierverhalten von Mineralstoffen", der EMPA bilden die Quantifizierung der Wiederhol- und Vergleichbarkeit sowie Verbesserungen der Prüfgeräte. Dafür sind Untersuchungsergebnisse von der Ringanalyse aus FA 10/86 zusätzlich ausgewertet worden.

Beobachtungen des Messvorganges mit dem SRT-Messgerät mittels Hochfrequenzkinematographie zeigen, dass sich der Gummigleiter mit unterschiedlichem Anpressdruck über die Prüfkörperoberseite bewegt. Deshalb werden die PSV-Werte einiger Prüfkörper in Laufrichtung sowie in entgegengesetzter Richtung bestimmt. Die Resultate sind unterschiedlich. Einige der Prüfkörper zeigen keine Unterschiede, andere Prüfkörper haben Abweichungen bis zu 5 % des mittleren Messwertes.

Der Ort für die Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät ist äusserst ungünstig gewählt, da die weitaus grösste Menge des Feinkorundes während der Prüfung an die Abdeckhaube geschleudert wird, ohne gleichmässig am Poliervorgang beteiligt zu sein.

Die Qualitätskontrollen zukünftiger Lieferungen von Grob- und Feinkorund aufgrund der Untersuchungen der Abteilung 131, Anorganische Chemie, mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse sind möglich.

Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung durch den Vergleich der Korngrössenverteilung vor und nach der Polierprüfung wird bestimmt.

Für die Ermittlung der Präzision der Prüfung gemäss British Standard BS 812, Polished Stone Value, PSV, dienen die Untersuchungsergebnisse einer nochmals durchgeführten multinationalen Ringanalyse. Diese Auswertung ergibt einen Wert für die Wiederholbarkeit von 3.4 und für die Vergleichbarkeit von 6.3. Daraus folgt eine ergänzende Empfehlung an die zuständige normenschaaffenden Kommission "Baustoffe-Technologie" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, VSS, in die Schweizer Norm SN 670 710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften", die Mindestwerte der Polished Stone Value, PSV, für Mineralstoffe entsprechend Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse aufzunehmen.

Vom Institut LAVOC der EPFL, Lausanne, zusammen mit der EMPA, wurden Messungen mit Prüfkörpern unterschiedlicher Mineralstoffe und unterschiedlicher Lagerungsbedingungen durchgeführt, um Unterschiede der Untersuchungsergebnisse beider Institute zu minimieren.

Résumé

Le présent travail de recherche repose sur des travaux préliminaires importants ainsi que sur des échanges d'expérience et des essais comparatifs. Ces travaux ont été en partie exécutés dans le cadre du groupe de travail international "Essai de polissage des granulats - Echange d'expériences", 6.2.2, de la "Deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen", auquel participent l'EMPA et la Commission VSS 271 "Technologie des matériaux de construction" en tant que représentants de la Suisse.

L'accent principal de ce travail de recherche FA 8/90. "Comportement au polissage des granulats" de l'EMPA porte sur la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité des résultats ainsi que sur l'amélioration des appareils d'essai. Pour ceci, on a procédé à une évaluation supplémentaire des résultats des essais interlaboratoires organisés dans le cadre du travail de recherche FA 10/86.

Des observations de l'essai dans l'appareil SRT au moyen de la cinématique haute fréquence montrent que la pression du patin de caoutchouc varie lors de son déplacement sur la face supérieure de l'éprouvette. Cette observation a conduit à déterminer les valeurs PSV (Polished Stone Value) de quelques éprouvettes dans deux directions opposées. Ces déterminations ont fourni des résultats variables. Sur quelques éprouvettes, on ne constate pas de différence alors que sur d'autres, les écarts atteignent jusqu'à 5 % de la moyenne.

Le point d'introduction du corindon fin dans l'appareil est très mal choisi, car durant l'essai, la majeure partie de l'abrasif est projetée contre le capot de l'appareil sans participer véritablement au processus de polissage.

Un contrôle de la qualité par microscopie et par diffraction des rayons X des livraisons ultérieures de corindon grossier et du corindon fin peut être effectué par la section 131, Chimie inorganique, de l'EMPA.

La résistance des abrasifs aux sollicitations mécaniques a été déterminée par comparaison de leur granulométrie avant et après l'essai de polissage.

La précision de l'essai selon la norme British Standard BS 812, Polished Stone Value, PSV, a été déterminée à partir des résultats d'une nouvelle campagne d'essais interlaboratoires organisée à l'échelon international. L'évaluation a donné une valeur de 3.4 pour la répétabilité et une valeur de 6.4 pour la reproductibilité. Sur la base de ces résultats, une recommandation complémentaire a été adressée à la commission "Technologie des matériaux de construction" de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS) en vue d'introduire aussi dans la norme SN 670 710d "Sables, graviers, gravillon, pierres concassées pour la construction des revêtements, Prescriptions de qualité", en plus des valeurs limites pour les granulats, les domaines d'exigence nécessaires de Polished Stone Value PSV tenant compte des valeurs de répétabilité et de reproductibilité déterminées.

Le Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) de l'EPF de Lausanne a effectué en collaboration avec l'EMPA des mesures sur des éprouvettes confectionnées avec différents granulats et différentes conditions de pose des granulats afin de minimiser les différences entre les résultats de ces deux instituts.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Auftrag	5
2. Allgemeines	6
3. Forschungsprogramm	7
4. Bestimmen der massgebenden Polished Stone Values, PSV	8
5. Ergebnisse der Untersuchungen aus FA 10/86	8
5.1. Zusammenfassung der petrographischen Untersuchungen	8
5.2. Polished Stone Value, PSV	9
Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaliger Polierung	9
Messen des Polished Stone Value, PSV, nach verschiedener	
Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper	12
5.3. Ringanalyse aus FA 10/86	16
Einflüsse auf Polished Stone Value, PSV	16
Einfluss Einlegen der Mineralstoffkörner	16
Einfluss Polieren	16
Einfluss Messen	17
Daten der Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished Stone	
Value, PSV	17
5.4. Auswertungen, Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished	
Stone Value, PSV	18
Folgerungen, Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished Stone	
Value, PSV	19
6. Erweiterung der Aufgabenstellung: Untersuchungen zum PSV Mess- und	
Prüfvorgang	20
7. Hochfrequenzkinematographie	20
7.1. Verfahren	20
7.2. Geräte der EMPA	21
7.3. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen am SRT-Messgerät	21
Messung mit dem SRT-Messgerät	22
Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff	24
Folgerungen	26
7.4. Verhalten des Feinkorundes während der Zugabe	26
Folgerungen	27
8. Probleme mit den Poliermitteln Korund	28
8.1. Mikroskopische Untersuchung	28
Probenmaterial	28
Analysenmethode	28
8.2. Untersuchungen einer weiteren Lieferung Korund	33
9. Vergleich der Korngrößenverteilung von Grobkorund	36
9.1. Korngrößenvergleich des Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung	36

10.	Röntgendiffraktionsanalyse	38
10.1.	Folgerungen	38
	Röntgendiffraktionsanalyse des Grobkorundes	39
	Röntgendiffraktionsanalyse des Feinkorundes	40
11.	Auswertungen der multinationalen Ringanalyse	41
11.1.	Allgemeine Angaben	41
11.2.	Interpretation der Auswertungen	43
12.	Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA	44
12.1.	Vorgehen	44
12.2.	Folgerungen	45
13.	Empfehlung an die Normenkommission	45
14.	Erkenntnisse	46
14.1.	Allgemeines	46
14.2.	Messvorgang mit dem SRT-Messgerät	47
	Messung mit dem SRT-Messgerät an speziellem Prüfkörper	47
	Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff	47
14.3.	Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät	48
14.4.	Qualitätskontrollen von Grob- und Feinkorund	48
14.5.	Mikroskopie und Röntgendiffraktionsanalyse an Grobkorund	49
14.6.	Grob- und Feinkorund, mechanische Widerstandsfähigkeit	49
14.7.	Multinationale Ringanalyse zur Bestimmung der Präzision	49
14.8.	Präzision der Prüfung	50
14.9.	Vergleichende Prüfungen, LAVOC und EMPA	50
15.	Vorschläge für Verbesserungen	51
15.1.	Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff	51
15.2.	Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät	51
15.3.	Qualitätskontrollen von Grob- und Feinkorund	52
15.4.	Grob- und Feinkorund, mechanische Eigenschaften	52
15.5.	Mikroskopie und Röntgendiffraktionsanalyse an Korund	52
16.	Ausblick	53
17.	Verzeichnis der Abbildungen	56
18.	Verzeichnis der Tabellen	59
19.	Literaturverzeichnis	61
20.	Anhang	62

1. Auftrag

Das Eidgenössische Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement erteilte am 1. November 1990 auf Antrag der VSS-Kommission K 271, "Baustoff-Technologie", der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Dübendorf (EMPA), den Forschungsauftrag 8/90 "Polierverhalten von Mineralstoffen".

Diese Forschungsarbeit ist die Fortsetzung der Arbeiten des FA 10/86, "Polierwiderstand von Mineralstoffen". Sie liefert Erkenntnisse zu Prüfgeräten und Prüfmitteln und ausserdem durch die Auswertung einer multinationalen Ringanalyse Grundlagen für das Festlegen von den Mindestwerten der Polished Stone Value, PSV, für Mineralstoffe in der Schweizer Norm SN 670 710 d"Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften", Ziffer 19, "Polierwiderstand".

Hauptschwerpunkte dieser Forschungsarbeit, FA 8/90, "Polierverhalten von Mineralstoffen", der EMPA bilden Untersuchungen von Prüfgeräten und Prüfmitteln sowie die Quantifizierung notwendiger Bereiche und der Mindestwerte der Polished Stone Value, PSV, entsprechend Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Dafür sind folgende Arbeiten notwendig:

- zusätzliche statistische Auswertungen der Untersuchungsergebnisse von der Ringanalyse aus FA 10/86.
- genaue Beobachtungen des Messvorganges mit dem SRT-Messgerät, um diesen besser zu verstehen und Messfehler zu finden.
- Um das beobachtete Verhalten auf Prüfkörper mit Mineralstoff zu untersuchen, wurden die PSV-Werte einiger Prüfkörper in Laufrichtung sowie in entgegengesetzter Richtung bestimmt. Die Resultate sind unterschiedlich. Einige der Prüfkörper zeigen keine Unterschiede, andere Prüfkörper haben Abweichungen bis zu 5 % des mittleren Messwertes.
- genaue Beobachtungen des Feinkorundes während der Zugabe
- Eine Möglichkeit von Qualitätskontrollen zukünftiger Lieferungen von Grob- und Feinkorund sind Untersuchungen der Abteilung 131, Anorganische Chemie, mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse.
- Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung durch den Vergleich der Korngrössenverteilung vor und nach der Polierprüfung wurde bestimmt.
- Für die Ermittlung der Präzision der Prüfung gemäss British Standard BS 812, Polished Stone Value, dienten die Untersuchungsergebnisse einer nochmals durchgeführten multinationalen Ringanalyse.
- Empfehlung an die Normenkommission bezüglich notwendiger Bereiche des Polished Stone Value, PSV, entsprechend Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse
- Vom Institut LAVOC der EPFL, Lausanne, zusammen mit der EMPA, wurden Messungen mit Prüfkörpern unterschiedlicher Mineralstoffe und unterschiedlicher Lagerungsbedingungen durchgeführt, um Unterschiede der Untersuchungsergebnisse beider Institute zu minimieren.

2. Allgemeines

Der Wunsch vieler Verkehrsteilnehmer ist die sichere, schnelle, komfortable Fortbewegung im eigenen Fahrzeug auf der Strasse. Damit Fahrsicherheit und Fahrkomfort möglichst vielen Erfordernissen und Wünschen gerecht werden, sind ausser technischen Einrichtungen am Fahrzeug auch bauseitig Anforderungen an die Strasse bezüglich Fahrbahngeometrie, Ebenheit längs und quer zur Fahrriichtung gestellt. Auch die Baustoffe müssen festgelegte Anforderungen erfüllen. Speziell bei grossen Fahrgeschwindigkeiten und generell bei nassen Fahrbahnoberflächen tragen korrekt ausgewählte Mineralstoffe zum Erreichen der notwendigen Verkehrssicherheit entscheidend bei.

In allen Strassenbelägen stellen die Mineralstoffe den weitaus grössten Anteil dar in der Mischung aus körnigen Gesteinen und bituminösem oder hydraulischem Bindemittel. Die am häufigsten verwendeten Bindemittel für die Herstellung von Strassenbelägen werden mit etwa 10 bis 15 Volumenprozent dosiert. Diese Grössenordnung gilt sowohl für bituminöse Bindemittel als auch für Zement. Die Rauhigkeit von Fahrbahnen wird deshalb zum überwiegenden Anteil von der Qualität der verwendeten Mineralstoffe bestimmt.

Die Griffigkeit von Strassenbelägen, einer der wesentlichen Faktoren für den Kraftschluss zwischen Fahrbahnoberseite und Gummipneu, von Fahrzeugen und somit hauptsächliche Einflussgrösse auf die Verkehrssicherheit, hängt sehr stark von der Rauhigkeit der Fahrbahnoberseite ab. Die Griffigkeit von Strassenbelägen lässt sich kompositionell beeinflussen. Die Wahl eines hohen Grobkornanteils der Mineralstoffe führt zu grosser Makrorauhigkeit. Diese allein genügt jedoch nicht. Mineralstoffe, die unter Verkehrseinwirkung ihre Mikrorauhigkeit weitgehend behalten, sind unabdingbare Voraussetzung, um die Rauhigkeit von Strassenbelägen während der gesamten Gebrauchsdauer zu erhalten.

Bemühungen um die Verbesserung der Verkehrssicherheit führten unter anderem dazu, der Mikrorauhigkeit von Mineralstoffen wesentliche Beachtung zukommen zu lassen. Gerade Änderungen der Mikrorauhigkeit unter der polierenden Wirkung des Strassenverkehrs sollten vor der Herstellung von Strassenbelägen gemessen und beurteilt werden. Als Folge davon begann die Suche nach einem Prüf- und Messverfahren, das die Beurteilung der Änderung von Makro- und Mikrorauhigkeit der Mineralstoffe während der Beanspruchung durch den Verkehr zulässt. Das in der englischen Norm BS 812 beschriebene, normierte Prüfverfahren zur Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, fand weite Verbreitung. Auch für diese Forschungsarbeit dient es als Grundlage zur Ermittlung der Messwerte.

Die Forschungsarbeit hat insofern erhöhte Aktualität, als beispielsweise im soeben in den USA abgeschlossenen Strategic Highway Research Program (SHRP) die Frage der Polierbarkeit nahezu vollständig ausser acht gelassen wurde.

3. Forschungsprogramm

Hauptschwerpunkte dieser Forschungsarbeit, FA 8/90, "Polierverhalten von Mineralstoffen" der EMPA bilden die Quantifizierung notwendiger Bereiche des Polished Stone Value, PSV, entsprechend Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse sowie Verbesserungen der Prüfgeräte. Dafür sind Untersuchungsergebnisse von der Ringanalyse aus FA 10/86 zusätzlich statistisch ausgewertet worden.

Einflüsse der Modalitäten des Prüfverfahrens auf die Ergebnisse sind zu analysieren und zu dokumentieren.

Der Messvorgang mit dem SRT-Messgerät wurde mittels Hochfrequenzkinematographie analysiert. Der dabei beobachtete unterschiedliche Anpressdruck des Gummigleiters auf der Prüfkörperoberseite wurde mit einem speziellen Prüfkörper gemessen.

Es wurden PSV-Werte einiger Prüfkörper in Laufrichtung sowie in entgegengesetzter Richtung bestimmt. Daraus ergibt sich ein Verbesserungsvorschlag für die Praxis.

Die Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät wurde mittels Hochfrequenzkinematographie analysiert. Daraus ergibt sich ein Verbesserungsvorschlag für konstruktive Änderungen am Prüfgerät.

Die Qualitätskontrollen zukünftiger Lieferungen von Grob- und Feinkorund sind möglich aufgrund von Untersuchungen der Abteilung 131, Anorganische Chemie, mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse.

Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung durch den Vergleich der Korngrößenverteilung vor und nach der Polierprüfung wurden bestimmt.

Für die Ermittlung der Präzision der Prüfung gemäss British Standard BS 812, Polished Stone Value, PSV, wird nochmals eine multinationalen Ringanalyse durchgeführt. Daraus ist eine ergänzende Empfehlung an die zuständige normenschaffenden Kommission "Baustoffe-Technologie" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, VSS, zu erarbeiten, damit in der Schweizer Norm SN 670 710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften", die Mindestwerte der Polished Stone Value, PSV, für Mineralstoffe entsprechend Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse aufgenommen werden.

Vom Institut LAVOC der EPFL, Lausanne, sind zusammen mit der EMPA Messungen mit Prüfkörpern unterschiedlicher Mineralstoffe und unterschiedlicher Lagerungsbedingungen durchzuführen, um Unterschiede der Untersuchungsergebnisse beider Institute zu minimieren. Die Auswertungen dieser Untersuchungen werden vom LAVOC übernommen.

4. Bestimmen der massgebenden Polished Stone Values, PSV

Damit die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse gewährleistet ist, sind sämtliche Untersuchungsergebnisse in diesem Forschungsbericht gemäss der im Forschungsauftrag 10/86, "Polierwiderstand von Mineralstoffen", beschriebenen Arbeitsvorschrift ermittelt worden (vgl. Anhang). Diese Arbeitsvorschrift entspricht der BS 812 von 1975 mit den Änderungen von Hoskin und Tubey (1983). Sie entspricht somit dem Stand zum Zeitpunkt der Ausgabe der Schweizer Norm SN 670710 d.

5. Ergebnisse der Untersuchungen aus FA 10/86

Die in den Schweizer Normen SN 640 431 a, "Asphaltbetonbeläge, Konzeption, Anforderungen, Ausführung" und SN 640 461, "Zementbetonbeläge, Ausführung, Anforderungen" festgehaltenen Querverweise zur Schweizer Norm SN 670 710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften", bedingen das Festlegen von Mindestanforderungen für den Polished Stone Value, PSV, von Mineralstoffen. Um die in der Schweizer Norm SN 670 710 d, unter Ziffer 19, "Polierwiderstand", enthaltenen Anforderungen an die Polished Stone Value, PSV, von Mineralstoffen bei deren Verwendung im Strassenbau festzulegen, war es unerlässlich, die aus schweizerischer Sicht notwendigen Mindestwerte entsprechend der Verkehrsbeanspruchung und der Fahrbahnoberflächen zu fixieren.

Die EMPA untersuchte 12 Mineralstoffe unterschiedlicher Provenienzen, deren Splitt im schweizerischen Strassenbau verwendet werden. Die erwähnten Mineralstoffe stammen aus Steinbrüchen, die über die gesamte Schweiz verteilt sind.

Für die Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse sind den Mineralstoffen Buchstaben zugeordnet in alphabetischer Reihenfolge von A bis N ohne den Buchstaben J. Vom Steinbruch mit der Bezeichnung L sind keine Mineralstoffe für diese Abklärungen geschickt worden.

5.1. Zusammenfassung der petrographischen Untersuchungen

Gemäss petrographischer Zusammensetzung der 12 untersuchten Mineralstoffe (vgl. Anhang, Petrographische Untersuchungen von 12 Mineralstoffen aus FA 10/86) lassen sich diese gruppieren in:

Gruppierung der Mineralstoffe aufgrund der petrographischen Untersuchungen	Provenienz
Kiesel- und Sandkalke	D ; M
Kristalline Gesteine mit alpinen Sandsteinen sowie Kiesel- und Sandkalken	A ; F ; G
Alpine Sandsteine mit Hornstein- bzw. Quarzanreicherungen	H ; I ; K
Kalksilikatmarmor, teilweise in Silikاتفels übergehend	E
Kalkstein	B ; C

5.2. Polished Stone Value, PSV

Für die Untersuchungen des Polished Stone Value, PSV ist nach der im FA 10/86 beschriebenen Arbeitsvorschrift (vgl. Anhang) geprüft worden.

Mineralstoff-Provenienz	massgebende PSV
A	54
B	32
C	32
D	43
E	54
F	47
G	59
H	42
I	50
K	49
M	49
N	48

massgebende PSV

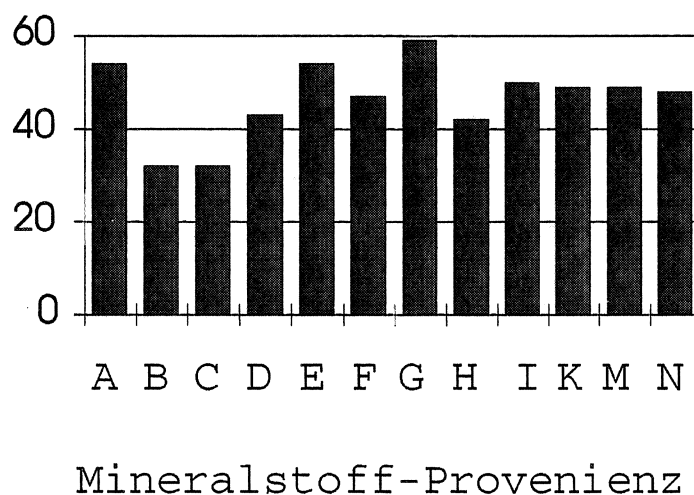


Tabelle 1 Massgebende Polished Stone Value, PSV

Abbildung 1 Massgebende Polished Stone Value, PSV

Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaliger Polierung

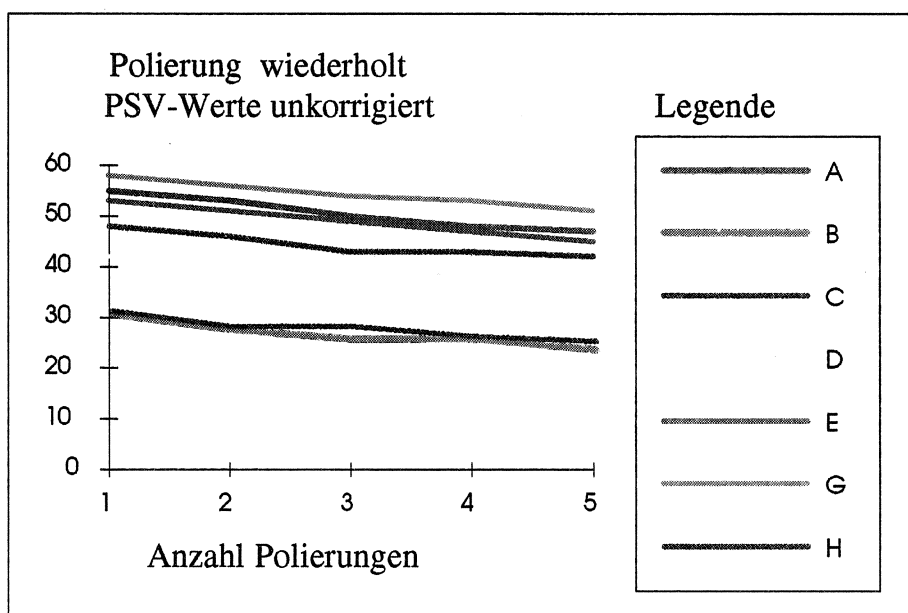


Abbildung 2 Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, alle Mittelwerte der Messungen sind aus Tabelle 2 entnommen.

Alle im Abschnitt Polished Stone Values, PSV, untersuchten Prüfkörper sind nach dem Bestimmen des massgebenden Polished Stone Value, PSV, zusätzlich noch viermal während 3 Stunden mit Feinkorund- und Wasserzugabe poliert und der Polished Stone Value, PSV, erneut bestimmt worden. Jedesmal nachdem die Prüfkörper nochmals mit Feinkorund poliert worden waren, bestimmte der Laborant die Messwerte.

Als massgebender Wert des Polished Stone Value, PSV, gilt jedoch ausschliesslich die Bestimmung nach einer einzigen Polierung mit Feinkorund und der entsprechenden Korrektur mit dem Mittelwert der beiden Prüfkörper aus Kontrollgestein, englischer Splitt.

In Tabelle 2 sind die Untersuchungsergebnisse aufgelistet, wobei die zusätzlich ermittelten Messwerte ausschliesslich mit dem Resultat des Kontrollgesteines, englischer Splitt, nach einmaligem Bearbeiten der Referenzprüfkörper mit Feinkorund berechnet wurden.

Provenienz	Anzahl	Polierung mit Feinkorund					Differenz
		1.	2.	3.	4.	5.	
	Werte						5. - 1.
A	12	55	53	50	48	47	- 8
B	36	31	28	26	26	24	- 7
C	36	31	28	28	26	25	- 6
D	36	42	41	40	39	39	- 3
E	24	53	51	49	47	45	- 8
G	12	58	56	54	53	51	- 7
H	12	48	46	43	43	42	- 6

Negative Differenzen bedeuten Verringerung des Messwertes nach der fünften Polierung mit Feinkorund.

Tabelle 2 Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein nur einmal mit Feinkorund poliert. Alle Mittelwerte der Messungen sind mit dem Mittelwert der beiden Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, nach einer einzigen Polierung mit Feinkorund korrigiert worden.

In Abbildung 2 sind diese Daten in Abhängigkeit der Anzahl Bearbeitungen der Prüfkörper mit Feinkorund dargestellt. Aus der Abbildung 2 geht hervor, dass der absolute Polished Stone Value, PSV, aller untersuchten Mineralstoffe abnimmt, wenn die Bearbeitung der Prüfkörper mit Feinkorund mehrfach durchgeführt wird. Diese Abnahme des Polished Stone Value, PSV, ist bei fast allen untersuchten Mineralstoffen proportional zur Anzahl Bearbeitungen der Prüfkörper mit Feinkorund.

Provenienz	Anzahl	Polierung mit Feinkorund					Differenz
	Werte	1.	2.	3.	4.	5.	5. - 1.
A	12	56	57	57	58	58	2
B	36	32	30	29	29	28	- 4
C	36	31	31	31	30	29	- 2
D	36	43	43	43	44	44	1
E	24	53	56	56	56	55	2
G	12	59	61	62	63	63	4
H	12	49	49	50	52	52	3

Negative Differenzen bedeuten Verringerung des Messwertes nach der fünften Polierung mit Feinkorund.

Tabelle 3 Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein mehrmals poliert mit Feinkorund. Alle Mittelwerte der Messungen sind korrigiert worden mit dem Mittelwert der beiden Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, die jeweils genau so oft mit Feinkorund poliert wurden wie die Prüfkörper mit den Mineralstoffen.

In Tabelle 3 sind die Untersuchungsergebnisse aufgelistet, wobei die ermittelten Messwerte aller nach der normalen Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, zusätzlich noch viermal während 3 Stunden mit Feinkorund bearbeiteten Prüfkörper jeweils mit dem Resultat des Kontrollgesteines, englischer Splitt, das nach gleich häufiger Bearbeitungen der Prüfkörper mit Feinkorund bestimmt wurde berechnet worden sind. In Abbildung 3 sind diese Daten in Abhängigkeit der Anzahl Bearbeitungen der Prüfkörper mit Feinkorund dargestellt.

Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass diese relativierten Ergebnisse des Polished Stone Value, PSV, fast keine Änderung erfahren. Diese Beobachtungen treffen sowohl für harte, polierresistente wie auch für weiche, polierfähige Mineralstoffe zu.

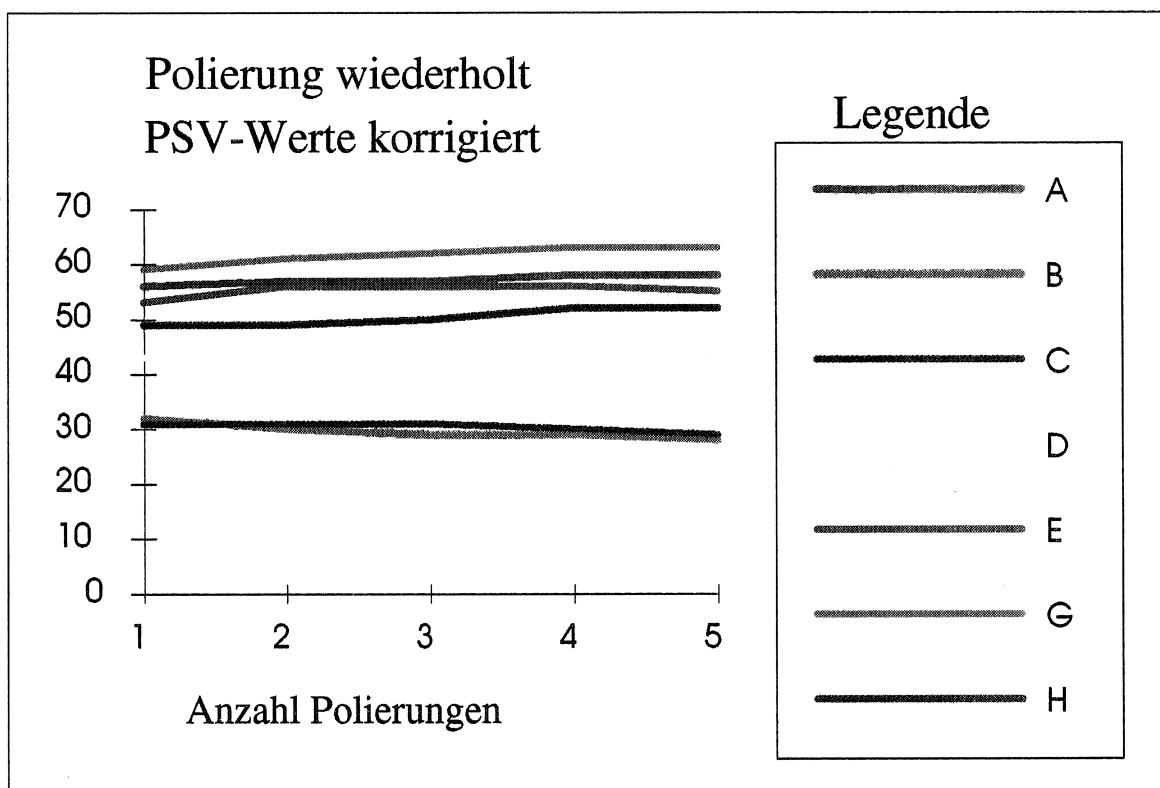


Abbildung 3 Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein mehrmals poliert mit Feinkorund, alle Mittelwerte der Messungen sind aus Tabelle 3 entnommen.

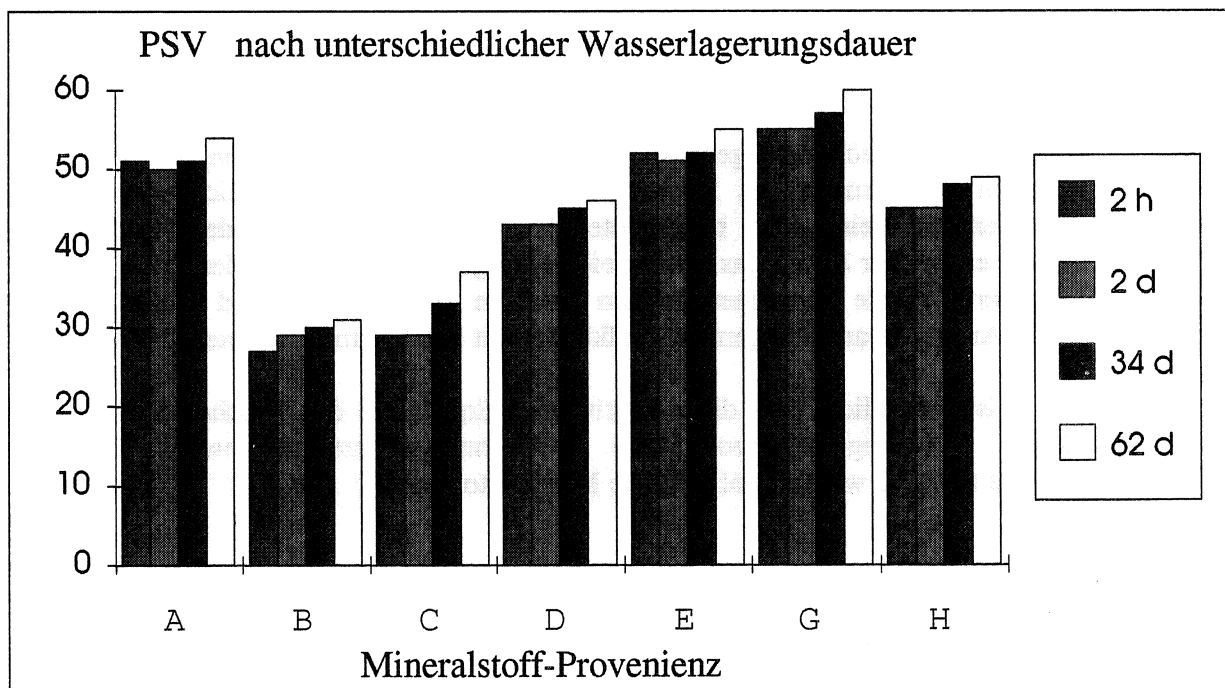


Abbildung 4 Messwerte nach 2 h, 2 d, 34 d und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern. Werte aus Tabelle 4

Messen des Polished Stone Value, PSV, nach verschiedener Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper

Prüfkörper, die bereits fünfmal poliert worden waren, wurden nach der Messung des Polished Stone Value, PSV, weiterhin im Wasser gelagert und zu Zeiten, wie in Tabelle 4 aufgeführt, geprüft.

Provenienz	Wasserlagerungsdauer			
	2 h	2 d	34 d	62 d
A	51	50	51	54
B	27	29	30	31
C	29	29	33	37
D	43	43	45	46
E	52	51	52	55
G	55	55	57	60
H	45	45	48	49

Tabelle 4 Messwerte nach 2 h, 2 d, 34 d und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern

Kurze Lagerungszeiten bis zu 2 Stunden Wasserlagerung über die in der englischen Prüfvorschrift vorgeschriebenen 1 ½ h hinaus ergaben keinen Unterschied in den PSV-Werten, wiederholtes Prüfen innerhalb eines Tages kann somit als wesentlicher Einfluss auf die Messwerte ausgeschlossen werden.

Provenienz	Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer			
	2 h	2 d	34 d	62 d
A	0	-1	0	+3
B	0	+2	+3	+4
C	0	0	+4	+8
D	0	0	+2	+3
E	0	-1	0	+3
G	0	0	+2	+5
H	0	0	+3	+4

Tabelle 5 Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern

Die wiederholten Messungen des PSV-Wertes weisen auf den Einfluss der Lagerungsdauer in Wasser und die dadurch veränderte Beschaffenheit der beanspruchten Mineralstoffoberseite hin.

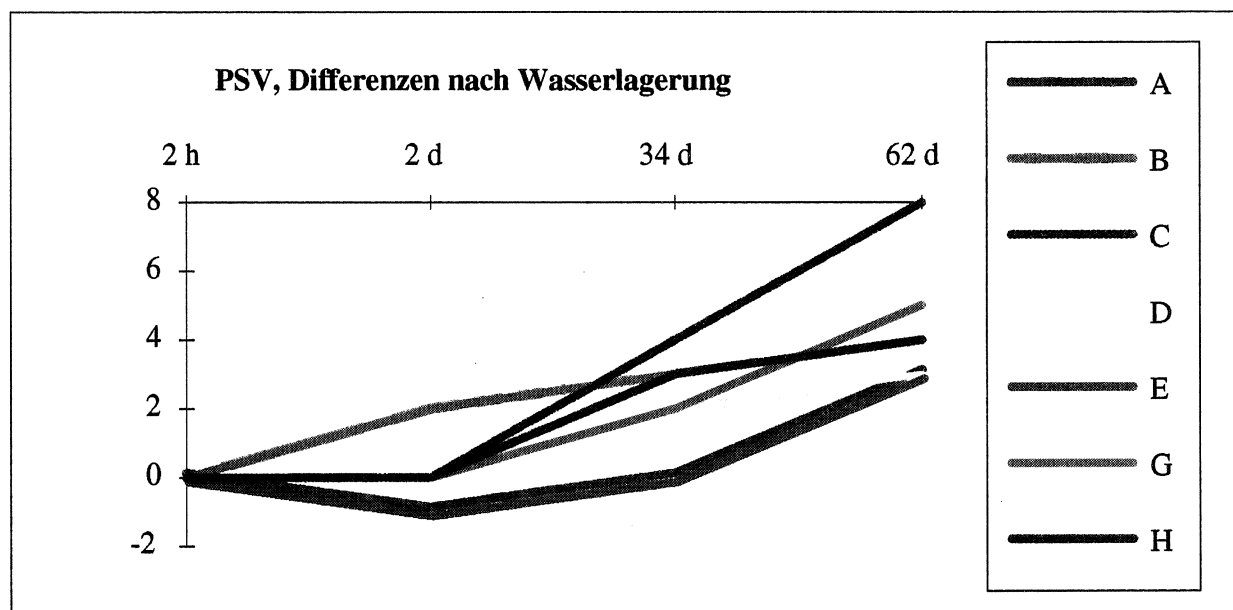


Abbildung 5 Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, dargestellte Werte aus Tabelle 5

Provenienz	Wasserlagerungs- dauer		Differenz
	2 h	2 d	
A	51	50	- 1
B	27	29	+ 2
C	29	29	0
D	43	43	0
E	52	51	- 1
G	55	55	0
H	45	45	0

Tabelle 6 Differenzen der Mittelwerte nach 2 h und 2 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper

Provenienz	Wasserlagerungs- dauer		Differenz
	2 h	62 d	
A	51	54	+ 3
B	27	31	+ 4
C	29	37	+ 8
D	43	46	+ 3
E	52	55	+ 3
G	55	60	+ 5
H	45	49	+ 4

Tabelle 7 Differenzen der Mittelwerte nach 2 h und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper Differenzen der

Mittelwerte nach 2 h und 2 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper

Positive Differenzen bedeuten Zunahme, negative Differenzen Abnahme des Messwertes der Prüfkörper nach Wasserlagerungsdauer, bezogen auf die Messwerte nach 2 h Wasserlagerungsdauer.

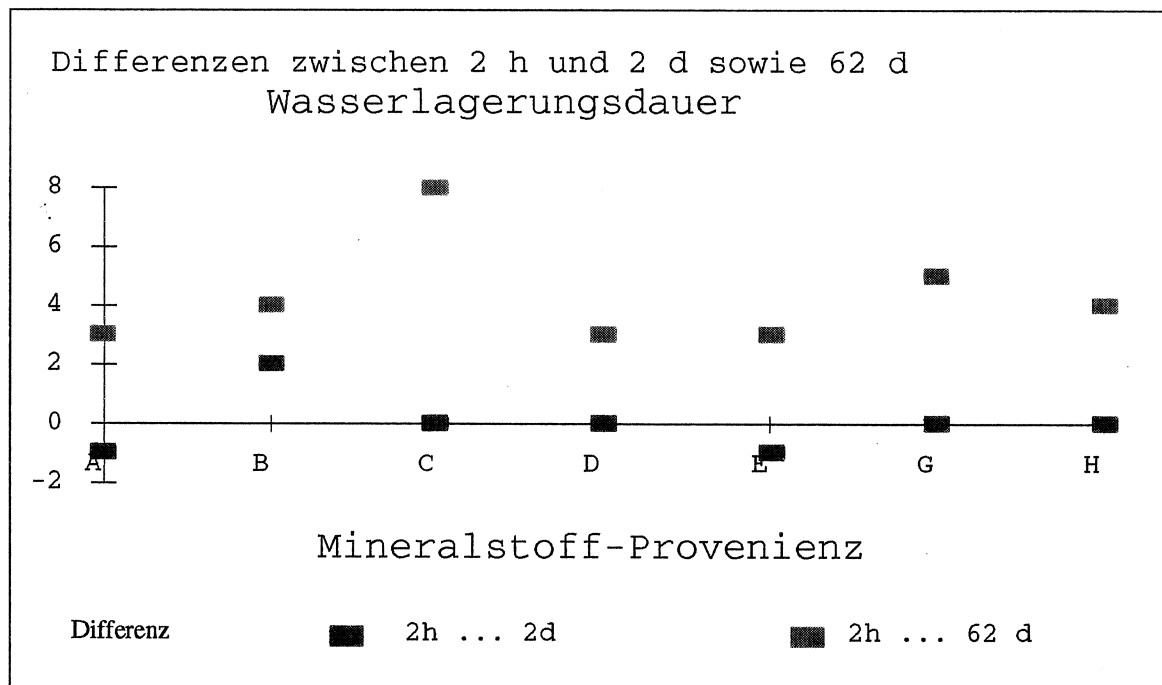


Abbildung 6 Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, dargestellte Werte aus Tabellen 6 und 7

5.3. Ringanalyse aus FA 10/86

Einflüsse auf Polished Stone Value, PSV

Die EMPA arbeitete zusammen mit dem internationalen Arbeitskreis "Polierprüfung von Mineralstoffen - Erfahrungsaustausch" das detaillierte Prüfprogramm aus für die Abklärungen zum Eingrenzen der Einflüsse Einlegen der Mineralstoffkörner in die Form zur Herstellung von Prüfkörpern, Polieren und Messen. Damit Einflüsse der Arbeitsweise auf das Untersuchungsergebnis des Polished Stone Value, PSV, untersucht werden können, ist die als Gesamtheit bestehende Prüfmethode in 3 Arbeitsabschnitte unterteilt. Dies sind Arbeitsabschnitte, die während des gesamten Prüfungsvorganges problemlos als eigenständige Einheiten getrennt betrachtet werden können, wie:

- Einlegen der Mineralstoffkörner in die Formen zur Herstellung von Prüfkörpern
- Durchführen der Polierprüfung
- Messen des Polished Stone Value, PSV

Einfluss Einlegen der Mineralstoffkörner

Jede beteiligte Prüfstelle stellte bis zu 8 Prüfkörper her und brachte diese zum Workshop nach Konstanz mit. Als Mineralstoff ist dafür Kontrollgestein, englischer Splitt, verwendet worden. Die EMPA erhielt alle Prüfkörper, um sie von demselben Laboranten mit der Poliermaschine sowie den Dosiervorrichtungen der EMPA zu polieren. Ein Laborant der EMPA bestimmte alle Polished Stone Values, PSV, mit dem Messgerät der EMPA.

Durch dieses Vorgehen sind die gemessenen Polished Stone Values, PSV, weitgehend auf individuell bedingte Unterschiede beim Einlegen der Mineralstoffkörner in die Form zur Herstellung der Prüfkörper zurückzuführen.

Mitarbeiter der Güteschutzgemeinschaft Alpine Moräne Edelsplitt, Konstanz, sammelten die von jeder Prüfstelle ermittelten Untersuchungsergebnisse, bearbeiteten sie und teilten sie verschlüsselt, ohne Bekanntgabe der Herkunft, der EMPA zur statistischen Auswertung mit.

Einfluss Polieren

Die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, stellte für alle 11 beteiligten Prüfstellen jeweils 4 Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, her und verschickte diese. Jede Prüfstelle polierte diese 4 Prüfkörper mit der eigenen Poliermaschine und benutzte auch die eigenen Dosiervorrichtungen für Grobkorund, Feinkorund und Wasser. Die Bestimmungen der Polished Stone Values, PSV, von sämtlichen Prüfkörpern aller beteiligten Prüfstellen erfolgte durch denselben Laboranten der Prüfstelle in Konstanz.

Ausgehend von der Annahme, dass die Verteilung der Mineralstoffkörner auf allen Prüfkörperoberseiten gleichmässig ist, wurden durch dieses Vorgehen die gemessenen Polished Stone Values, PSV, ausschliesslich durch Mängel an der Poliermaschine oder an einem der Dosiergeräte beeinflusst.

Einfluss Messen

Um den Einfluss Messen des Polished Stone Value, PSV, auf die Untersuchungsergebnisse abzuklären, stellte die Prüfstelle Güteschutzgemeinschaft Alpine Moräne Edelsplitt, Konstanz, 14 Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, her, polierte sie einmal mit Grobkorund und dann einmal mit Feinkorund. Jedes teilnehmende Labor bestimmte die vorgeschriebenen Messwerte an jedem Prüfkörper durch fünfmaliges Messen mit eigenem Messgerät, mit eigener Bodenplatte und neuem Gummigleiter.

Durch dieses Vorgehen wurden die gemessenen Polished Stone Values, PSV, ausschliesslich durch Bedienungspersonal oder Mängel des verwendeten Messgerätes beeinflusst.

Um mit geringem Arbeitsaufwand möglichst viele Messwerte von jeder Prüfstelle zu bekommen, schickte die Güteschutzgemeinschaft Alpine Moräne Edelsplitt, Konstanz, alle Prüfkörper gleich anschliessend nach dem Herstellen an die beteiligten Prüfstellen. Diese bestimmten den PSV-Wert an unpolierten Prüfkörpern, schickten diese zum Grobpolieren zurück, bestimmten ihn anschliessend an grobpolierten und zuletzt an feinpolierten Prüfkörpern. Dadurch bestimmte jede Prüfstelle dreimal 5 Messwerte von jedem der 14 Prüfkörper.

Daten der Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished Stone Value, PSV

Labor-Nr	Einlegen	Polieren	Messen
1	53.0	54.3	54.4
2	53.1	54.9	54.6
4	53.9	55.5	53.5
5	53.8	52.6	54.1
6	54.6	50.7	54.0
8	53.8	54.3	54.5
9	53.5	49.8	54.1
10	54.9	50.1	53.3
11	52.9	52.8	53.4
12	52.5	50.3	52.5
13	53.6	52.8	53.7

Tabelle 8 Massgebende Polished Stone Values, PSV, nach Einlegen, Polieren, Messen

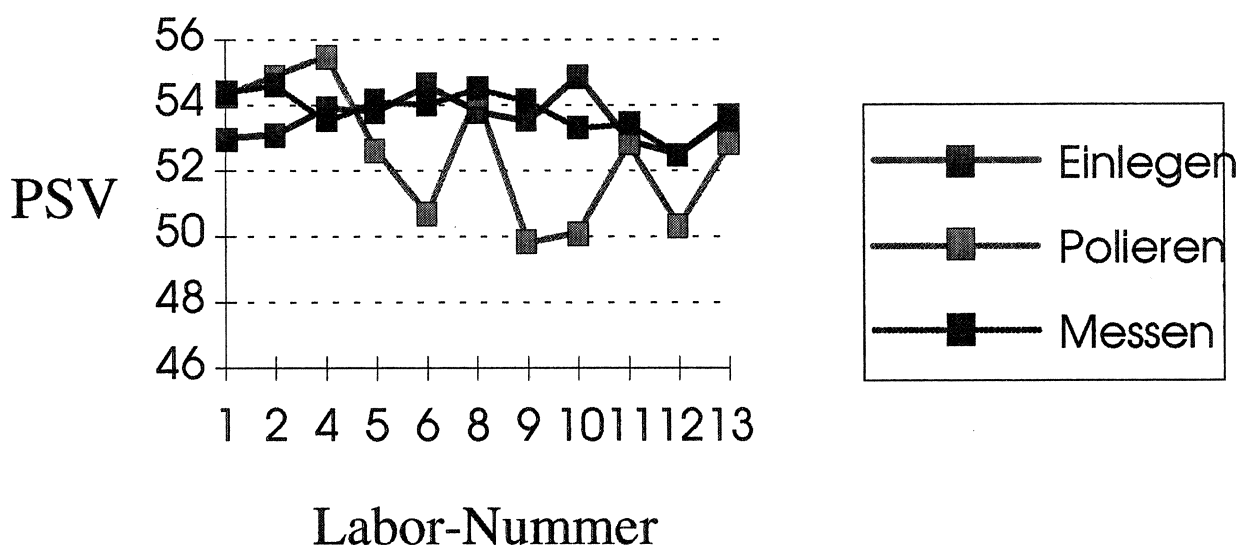


Abbildung 7 Massgebende Polished Stone Values, PSV, nach Einlegen, Polieren, Messen

5.4. Auswertungen, Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished Stone Value, PSV

PSV Werte	Einlegen	Polieren	Messen	alle Werte zusammen
Anzahl Werte	11	11	11	33
Minimale Werte	53	50	53	50
Maximale Werte	55	56	55	56
Mittelwerte	54	53	54	53
Standard-Abweichung	0.7	2.0	0.6	1.0

Tabelle 9 Statistische Kennwerte der massgebenden Polished Stone Values, PSV
Anzahl, Mittelwerte, minimale und maximale Werte, Standardabweichungen

Folgerungen, Ringanalyse aus FA 10/86, Einflüsse auf Polished Stone Value, PSV

Aus den berechneten statistischen Kennwerten Mittel-, minimale-, maximale Werte sowie Standardabweichungen der Ringanalyse aus FA 10/86 ist ersichtlich, dass sowohl das Einlegen der Mineralstoffkörner in die Metallformen zur Herstellung der Prüfkörper als auch das Messen des Polished Stone Value, PSV, in den an diesen Untersuchungen beteiligten Prüfstellen etwa zu gleich grossen Standardabweichungen der Mittelwerte führen. Etwa dreimal so grosse Differenzen der Standardabweichungen ergeben sich bei der Auswertung der Resultate bestimmt an Prüfkörpern, die bei jeder Prüfstelle poliert worden sind. Dies deutet darauf hin, dass hauptsächlich beim Poliervorgang mit Feinkorund ein starkes Eingrenzen der Fehlerquellen zu erfolgen hat.

Aus Untersuchungen der EMPA Dübendorf geht eindeutig hervor, dass die Resultate der Polished Stone Values, PSV, sehr personengebunden systematische Abweichungen beim Messen ergeben, obwohl jedem Mitarbeiter die Arbeitsvorschrift genau bekannt ist. Visuelle Kontrollen ergeben beim Messen des Polished Stone Value, PSV, geringe mitarbeitertypische Abweichungen des Beginns und Endpunktes der Gleitlänge des Gummigleiters auf den Prüfkörpern, verursacht durch unterschiedliche Annäherungsgeschwindigkeiten des Pendelarmes, und dadurch hervorgerufene unterschiedliche Deformationen der Kante des Gummigleiters führen somit zu unterschiedlichen Gleitlängen des Gummigleiters auf der Prüfkörperoberseite.

Die Untersuchungsergebnisse der Polished Stone Values, PSV, des Kontrollgesteins, englischer Splitt, sind vor dem Einwirken des Grobkorundes kleiner als nachher. Diese Tatsache lässt auf eine bedeutende aufrauende Wirkung des Grobkorundes schliessen. Diese ausserordentlich heftige Beanspruchung der Splittoberseite führt zu einer relativ gleichmässigen Ausgangssituation für alle Splitte vor der Polierung mit Feinkorund. Ausserdem treten sowohl bei der Messung des Polished Stone Value, PSV, vor als auch nach dem Polieren mit Grobkorund grosse Streuungen im Mittelwert der zur Berechnung verwendeten einzelnen Messwerte von Prüfkörper zu Prüfkörper auf. Deshalb ist von einer Einbeziehung dieser Resultate in eine Beurteilung der Mineralstoffe dringend abzusehen.

Das Polieren der Prüfkörper mit Feinkorund und Wasser während 3 Stunden glättet die Splittoberfläche wieder. Dies drückt sich in eindeutig niedrigeren Polished Stone Values, PSV, aus als in denjenigen nach der Polierung mit Grobkorund gemessen. Die Unterschiede der gemessenen Polished Stone Values, PSV, zwischen den einzelnen Prüfkörpern reduzieren sich ebenfalls.

6. Erweiterung der Aufgabenstellung: Untersuchungen zum PSV Mess- und Prüfvorgang

Bei einer Reihe von Messungen im Rahmen der routinemässig durchgeführten Qualitätskontrollen von Gesteinen fielen die PSV-Werte überraschend aus dem Bereich der Anforderungen der englischen Norm BS 812. Eine sofort durchgeführte Untersuchung mit Kontrollgestein erbrachte das gleiche Resultat. Dies liess nur den Schluss zu: Die Messungen verlaufen nicht einwandfrei. Änderungen der Parameter am Messgerät innerhalb der zulässigen Toleranzen erbrachten keine wesentlichen Verbesserungen. Es wurde daraufhin beschlossen, den Messvorgang mit dem SRT-Messgerät genauer zu untersuchen, ihn insgesamt besser zu verstehen, um einerseits Messfehler zu finden und andererseits Toleranzfehler weniger willkürlich festzulegen.

Zudem soll an der Entwicklung einer neuen Messmethode gearbeitet werden.

7. Hochfrequenzkinematographie

7.1. Verfahren

Mittels Hochfrequenzkinematographie können sichtbare Veränderungen von Objekten räumlich und zeitlich erfasst und aufgelöst werden. Die Objekte werden in kurzen regelmässigen Zeitabständen fotografisch für Auswertungen auf einem Film festgehalten. Diese Objekte können sich bewegen, verformen, verfärben oder ihre Helligkeit verändern.

Der Vorgang einer solchen Veränderung kann so geschwind geschehen, dass ihn Menschen mit ihren Sinnen nicht oder nur summarisch beobachten können. Gelingt es jedoch, Momentaufnahmen des Vorganges nacheinander herzustellen, dann scheint es auf jedem Einzelbild so, als sei der Vorgang jedesmal "eingefroren". Die Herstellung solcher Bildfolgen ist das Produkt der Hochfrequenzkinematographie. Anschliessend kann in aller Ruhe jede festgehaltene Zwischenstufe der Veränderung betrachtet werden. Je mehr solcher Momentaufnahmen über einen Vorgang vorliegen, um so umfassender ist die Information über den zeitlichen Ablauf.

Hochfrequenzkinematographie umschreibt Verfahren, welche es ermöglichen, viele Einzelbilder in eindeutig definierten Zeitpunkten festzuhalten. Dabei spielt die Art der Bildkonservierung keine wesentliche Rolle. Verschiedene Filmarten, Bildröhren oder Videobänder können Informationsträger sein. Charakteristische Kenngrössen solcher Bildserien sind insbesondere:

- die Anzahl der aufgenommenen Einzelbilder
- das Bildformat
- die Belichtungsfrequenz und daraus resultierend die zeitliche Auflösung
- die Raumauflösung.

Wegen der Vielzahl von Verfahren der Hochfrequenzkinematographie ist nur das für diese Forschungsarbeit verwendete Framing-System der Aufnahmeverfahren kurz beschrieben. Framing-System bedeutet, dass bei den Aufnahmen einer Bildserie das Folgebild erst aufgenommen werden darf, wenn es vom vorherigen Bild räumlich getrennt ist; d.h. die Einzelbilder dürfen sich nicht überlappen.

Es wurde eine Filmkamera mit rotierendem Kompensationsprisma verwendet. Bei diesem System wird der Film für eine Aufnahme nicht mehr angehalten, wie dies bei einer Kamera mit mechanischem Greifer der Fall ist. Der Film läuft kontinuierlich durch die Kamera, wobei ein mit der Zahnrolle angetriebenes Prisma synchron mitrotiert. Dadurch kommt eine Bildnachführung zustande, so dass die Relativbewegung vom Lichtstrahl zum Film gleich Null ist.

7.2. Geräte der EMPA

Die EMPA verwendet eine Hochfrequenz-Rotationsprismen-Kamera des Types HYCAM mit 16 mm Film. Der optische Teil dieser Kamera besitzt eine Kombination von Filmzahntrummel, Rotationsprisma und Kameraverschluss auf derselben Achse, die durch den Film angetrieben ist.

Die genauen Betriebsdaten für die Aufnahmen wie Belichtungszeiten sind durch Variieren der Bildfrequenz auf die mögliche Beleuchtungsintensität ermittelt worden.

7.3. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen am SRT-Messgerät

Der eigentliche Messvorgang läuft so schnell ab, dass ein Mensch ohne Hilfsmittel nicht in der Lage ist, etwas zu erkennen. Deshalb wurde beschlossen, mit einer Hochgeschwindigkeits-Kamera den Messvorgang zu filmen. Bei etwa 2000 Bildern/s wurden die brauchbarsten Resultate erreicht. Nach der Entwicklung des Schwarzweissfilms wurde dieser noch zusätzlich auf ein Videoband kopiert; damit er für Vorführungen verfügbar ist.

Die visuelle Auswertung des Films ermöglicht einen Einblick in den Ablauf des Messvorganges. Dabei ist zu beobachten, dass sich der Gummigleiter nicht mit gleichmässigem Anpressdruck über die gesamte Oberseite des Prüfkörpers, die Bremsstrecke, bewegt. An der Deformation des Gummigleiters, die ein einfaches Mass für die Kraft ist, mit der ein Gummi zusammengedrückt wird, lässt sich in etwa folgender Ablauf des Messvorganges beobachten.

Direkt nach dem Kontakt des Gummigleiters mit der Prüfkörperoberseite ist er am stärksten zusammengedrückt, gefolgt von einer Phase, in welcher der Gummigleiter fast abhebt, um dann wieder angedrückt zu werden, und so weiter, wobei die Amplituden dieser Oszillationen stark gedämpft sind.

Aus physikalischer Sicht der wirkenden Kräfte ist dieser mechanische Ablauf gut zu verstehen. Nach dem Ausklinken des Pendels werden durch die Schwerkraft alle bewegten Teile der Messeinrichtung auf gleiche Winkelgeschwindigkeit bezüglich der Pendelachse beschleunigt. Beim Übergleiten des Pendels mit Gummigleiter über die Prüfkörperoberseite wird der Gummigleiter und seine federnde Aufhängung in eine Ausweichbewegung gezwungen. Die Drehachse ist in diesem Fall die Aufhängeachse der Gummigleiteraufhängung. Um Massen zu beschleunigen, bedarf es einer Kraft. Diese Kraft kann aber nur über eine Deformation des Gummigleiters vom Stein auf die zu bewegenden Masseteile übertragen werden.

Infolge der Elastizität des Gummis kommt es dann, ähnlich einem Gummiball, zum Hüpfen, das wiederum wegen der nicht ideal elastischen Eigenschaften des Gummis stark gedämpft ist.

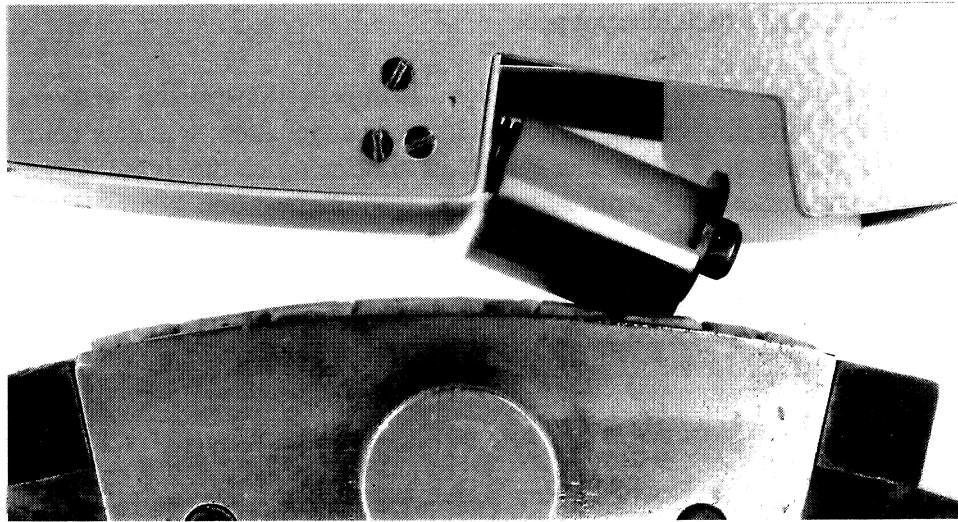


Abbildung 8 Der Gummigleiter ist stark angepresst

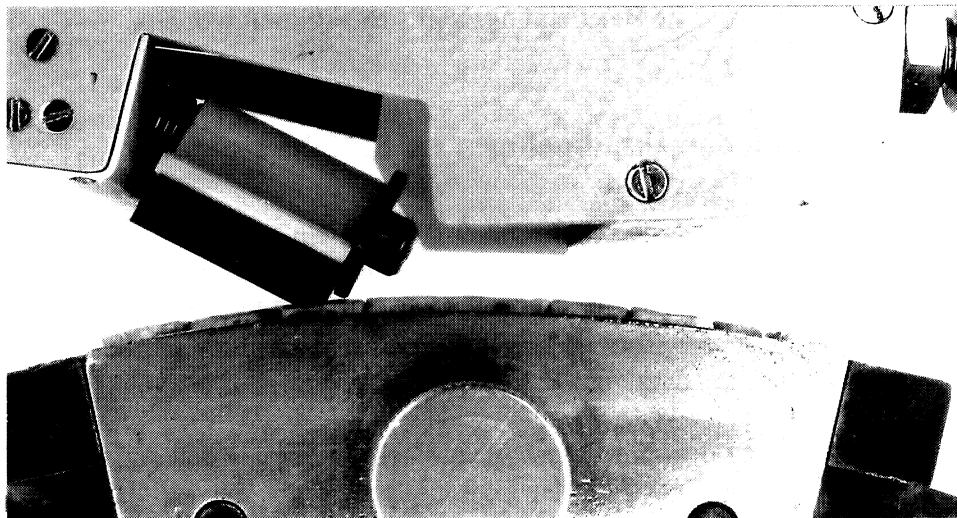


Abbildung 9 Der Gummigleiter hebt fast ab

Messung mit dem SRT-Messgerät

Durch die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wurde erkannt, dass der Anpressdruck des Gummigleiters nicht auf der vollen Messlänge gleich ist, sondern dass er vielmehr am Anfang, kurz nach dem Aufsetzen, viel stärker ist als kurz nachher, wenn der Gummigleiter fast abhebt. Um dieses Verhalten genauer zu bestimmen und das beobachtete Verhalten zahlenmässig zugänglich zu machen, wurden Messungen mit einem speziellen Prüfkörper, einer Art Sonde, durchgeführt.

Als spezieller Prüfkörper wurde ein Vollkunststoffteil verwendet, das aus der Zweikomponenten-Klebmasse in der Form zur Herstellung der Prüfkörper gegossen wurde. Von diesem Prüfkörper wurde der PSV-Wert in Skaleneinheiten bei nasser Oberfläche bestimmt. Dann wurde am Ort des Auftreffens des Pendels, quer zur Pendelrichtung, ein 10 mm breites Stück Schleiflein, beschichtet mit Korund, über die Pendelbahn geklebt und der Skalenwert erfasst. Das Schleiflein wurde dann in 5 mm Abständen versetzt und die Messung wiederholt. Dabei wurde jedesmal neues Schleiflein benutzt (siehe Abbildung 10).

Auf diese Art wurde die gesamte Prüfkörperoberseite nacheinander abgetastet. Es zeigte sich das gleiche Verhalten, wie es auf den Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen beobachtet wurde.

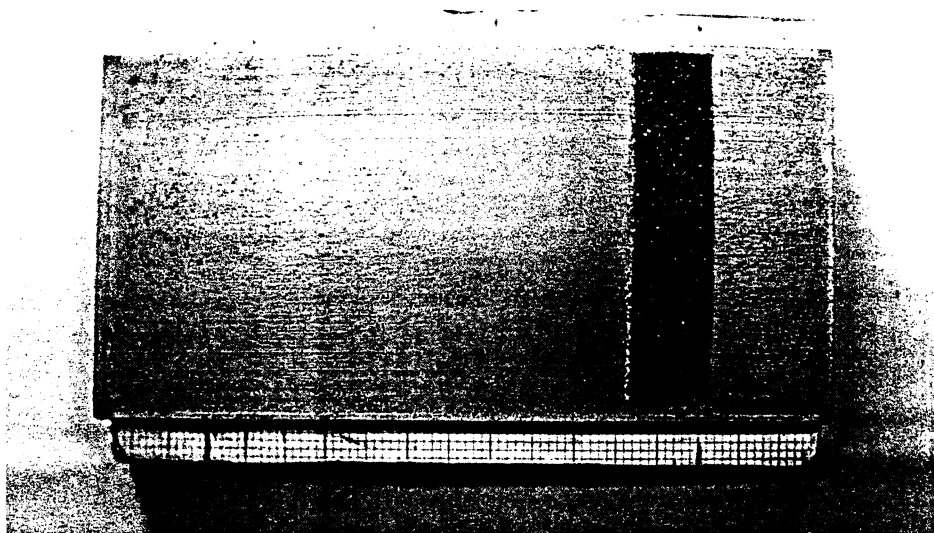


Abbildung 10 Der verwendete Prüfkörper mit aufgeklebtem Schleiflein, Breite 10 mm

Abstand in mm vom Kontaktpunkt Gummigleiters	Skalenwert
0	28
5	25
10	24.5
15	20
20	23
25	21
30	22
35	18

Abstand in mm vom Kontaktpunkt Gummigleiters	Skalenwert
40	18
45	17
50	18
55	20
60	21
65	19
70	20.5
76	20

Tabelle 10 Skalenwerte des speziellen Prüfkörpers

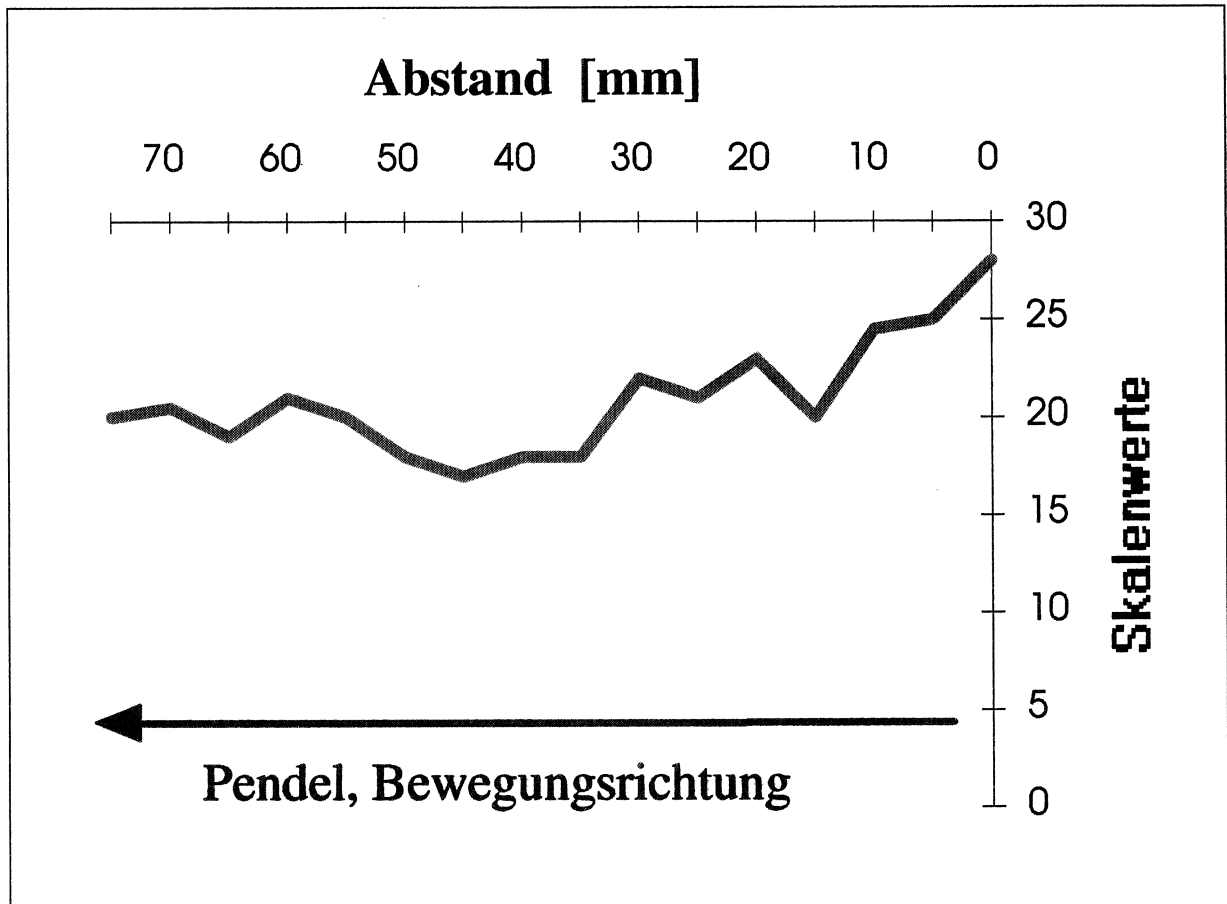


Abbildung 11 Graphische Darstellung der Skalenwerte des speziellen Prüfkörpers

Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff

Wie wirkt sich das beobachtete Verhalten auf die Prüfkörper mit Mineralstoff aus? Um diese Frage etwas näher zu untersuchen, wurden die PSV-Werte einiger Prüfkörper in beiden Laufrichtungen gemessen. Die Resultate sind sehr unterschiedlich, aber aufschlussreich. Zeigten einige der Prüfkörper überhaupt keine Unterschiede, ob man sie in der Laufrichtung des Prüfkörperrades oder in entgegengesetzter Richtung vermass, so zeigten andere Prüfkörper signifikante Abweichungen bis zu 2 Einheiten, also bis zu 5 % des mittleren Messwertes.

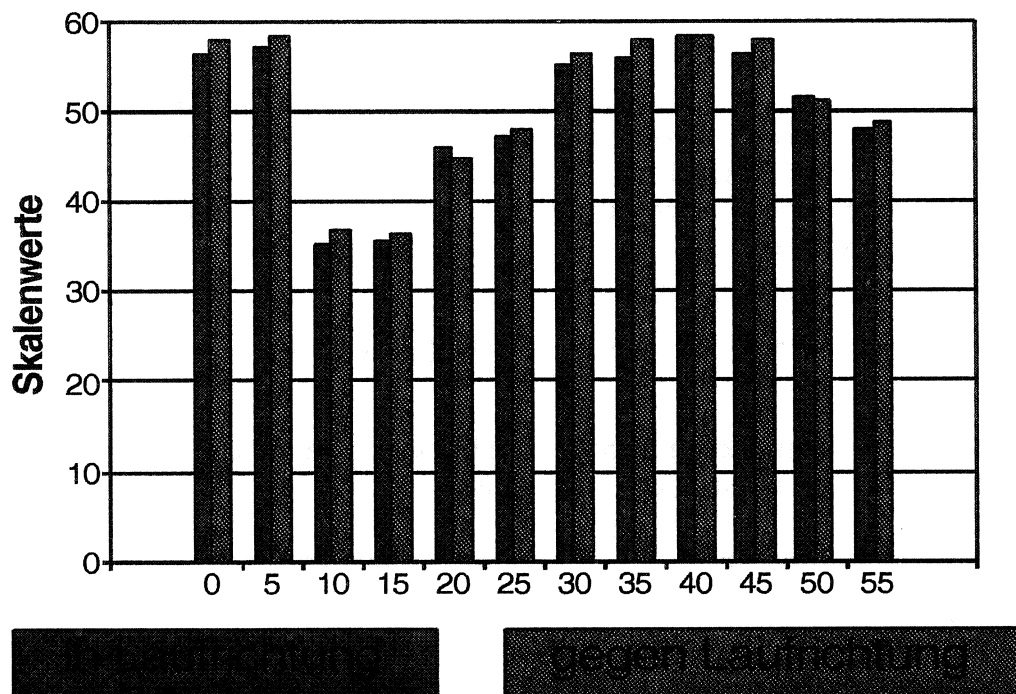


Abbildung 12 Skalenwerte der Prüfkörper in Laufrichtung des Prüfkörperrades und in entgegengesetzter Richtung gemessen

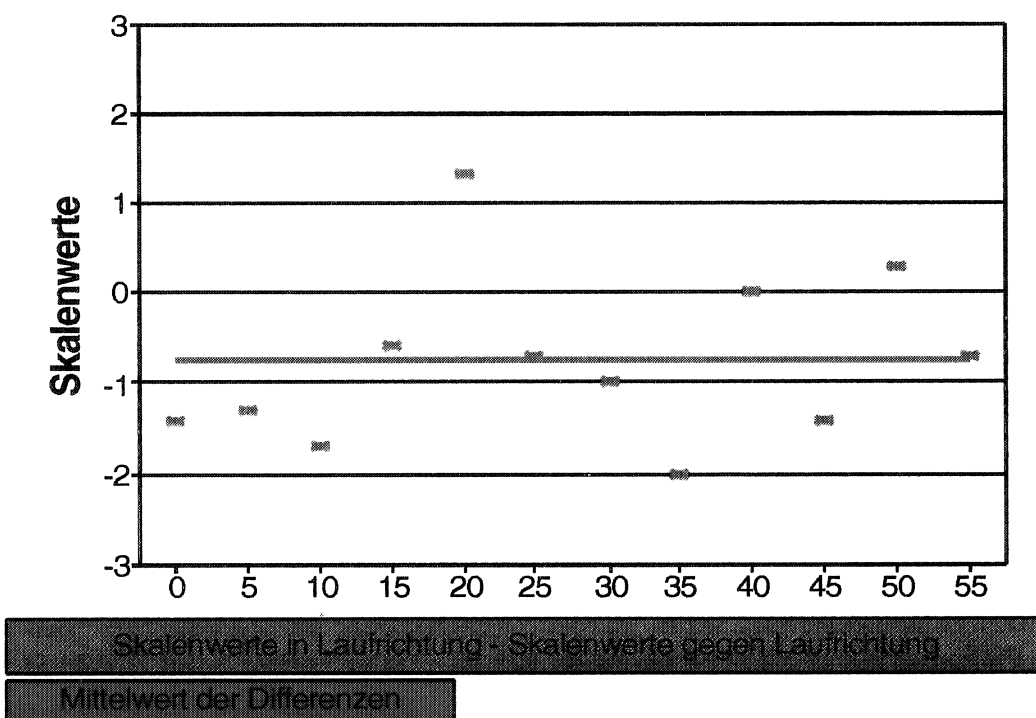


Abbildung 13 Differenzen der Skalenwerte und Mittelwert der Prüfkörper

Folgerungen

Beim Gleiten des Gummigleiters über die Prüfkörperoberseite wird ein PSV-Wert bestimmt, der sich unschwer als Höhenverlust der Pendelmasse und damit als Energie erkennen lässt. Diese Energie wird über die Reibungsstrecke x als Integral gewonnen, wobei die Reibkraft F aufgespalten werden kann in die Andruckkraft F_A multipliziert mit dem Reibungswert μ zwischen Stein und Gummigleiter.

$$E = \int_0^x F(x) \cdot dx = \int_0^x F_A(x) \cdot \mu(x) \cdot dx$$

Hieraus sieht man sofort, dass die im übrigen einzig interessierende Grösse $\mu(x)$ vor das Integral gezogen werden kann, wenn $\mu(x) = \text{konstant}$ ist.

Für die Messung bedeutet dies, wenn $\mu(x) = \text{konstant}$ ist, und das ist bei einer homogenen Steinfraktion der Fall, lässt sich das Integral auswerten

$$\mu = E / \int_0^x F_A(x) \cdot dx \quad \text{und} \quad \mu = E / \text{konst.}$$

Bei homogenen Steinfraktionen wurde experimentell festgestellt, dass es keinen Einfluss auf das Messergebnis ausübt, ob man die Prüfkörper in der Laufrichtung des Prüfkörperperrades oder in entgegengesetzter Richtung misst.

Ist jedoch $\mu(x)$ nicht konstant, ist die Steinfraktion inhomogen, dann kommt es darauf an, wo die entsprechenden stark reibenden Steine sitzen. Das Integral lässt sich in diesem Fall nicht nach μ auflösen.

Im Experiment haben wir festgestellt, dass inhomogene Steinfraktionen unterschiedliches Verhalten zeigen, je nachdem, wo die stark reibenden Steine eingebaut sind. Die Messresultate sind unterschiedlich, wenn man die Prüfkörper in der Laufrichtung des Prüfkörperperrades oder in entgegengesetzter Richtung misst.

7.4. Verhalten des Feinkorundes während der Zugabe

Die Zugabe des Feinkorundes während des Prüfvorganges erfolgt von oben auf das Prüfrad mit der vorgeschriebenen Menge in Gramm pro Minute. Nach Beendigung des Poliervorganges mit Feinkorund fiel immer wieder auf, dass die Abdeckhaube des Prüfades sehr stark durch anhaftenden Feinkorund verschmutzt ist. Diese Beobachtungen führten dazu, das Verhalten des Feinkorundes während des Auftreffens auf dem Prüfrad zu beobachten. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Prüfrad dreht und somit den Feinkorund beeinflusst, führt zunächst zu keinen sichtbaren Wahrnehmungen ausser zu der Tatsache, dass die Abdeckhaube sich mit zunehmender Prüfdauer mit Feinkorund beschlägt, der dann in unregelmässigen Zeitabständen unkontrolliert auf das Prüfkörperperrad fällt.

Dies führte dazu, mit der Hochfrequenzkinematographie die schnellen Vorgänge dem Beobachter sichtbar darstellen zu können.

Betrieb mit Feinkorund

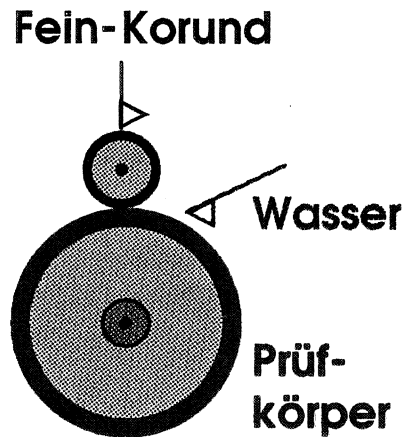


Abbildung 14

Prinzipskizze, Zugabe von Feinkorund

Folgerungen

Beim Auftreffen des Feinkorundes auf das Polierrad wird er so stark beschleunigt, dass der grösste Anteil davon weggeschleudert wird. Dieser weggeschleuderte Feinkorund wird an die Abdeckhaube des Prüfgerätes geworfen und setzt sich dort solange nieder, bis Schwerkraft und Vibration unterschiedlich grosse Agglomerate davon auf das Prüfkörperrad fallen lassen. Ein Teil von diesem heruntergefallenen Feinkorund wird dann wieder dem Poliervorgang zugeführt. Menge und Zeit dieser sporadisch auftretenden Zugaben sind vollkommen willkürlich und deshalb unkontrollierbar.

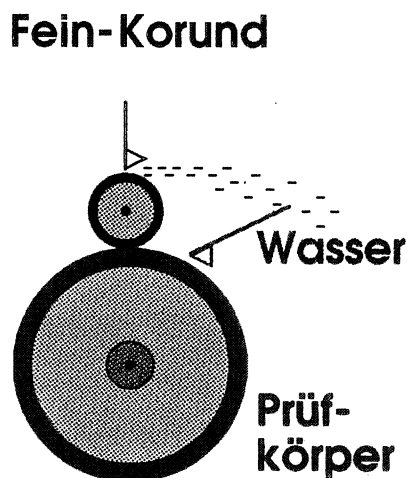


Abbildung 15

Feinkorund wird vom Polierrad
weggeschleudert

8. Probleme mit den Poliermitteln Korund

Etwa seit 1991 bietet die Beschaffung der Poliermittel Korund grosse Schwierigkeiten. Die bisher liefernde englische Vertriebsgesellschaft existiert nicht mehr, und ein Ersatz dafür ist bisher nicht organisiert worden. Anlässlich verschiedener Treffen mit dem Vertreter aus Grossbritannien sind nur mündliche Versprechungen abgegeben worden, die zu keinem Erfolg führten.

Dies bewog die EMPA dazu, vorhandene Reste aus den früheren Lieferungen genauer zu untersuchen mit dem Ziel, andere Beschaffungsquellen zu finden. Grob- und Feinkorund sind präziser als bisher zu beschreiben, und diese Beschreibungen sollen Grundlage von Qualitätskontrollen folgender Lieferungen sein. Deshalb wurde die Abteilung 131, Anorganische Chemie, mit Untersuchungen beauftragt.

Untersuchungen wurden an den Grob- und Feinkorunden durchgeführt mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse.

8.1. Mikroskopische Untersuchung

Probenmaterial

Das Probematerial besteht aus "rotem" und "schwarzem" Korund. Je eine Probe des "roten" bzw. des "schwarzen" Korunds wurden im Anlieferungszustand und nach der Bestimmung des Polished Stone Value, PSV untersucht.

Analysenmethode

Die Proben wurden durch Siebung in unterschiedliche Kornfraktionen geteilt und anschliessend mit Mikroskopie anhand von Ölimmersionspräparaten untersucht.

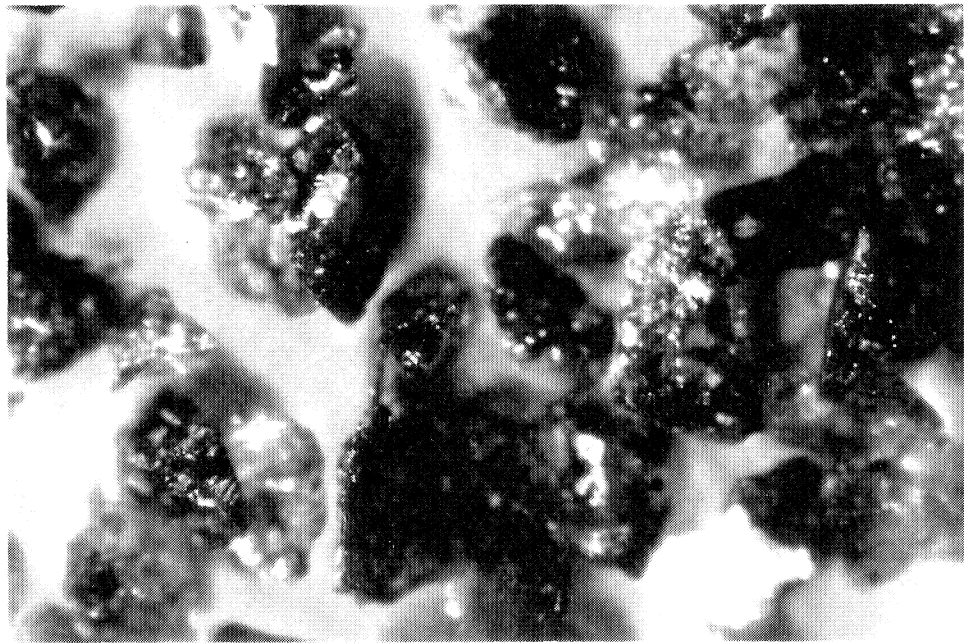
Der "rote" Korund besteht mit grosser Wahrscheinlichkeit aus Elektrokorund und der "schwarze" Korund aus natürlichem Korund (auch Schmirgel genannt).

Die Untersuchung des schwarzen Korunds wurde dadurch erschwert, dass die Körner opak (das heisst für das Licht undurchlässig) im Durchlicht erscheinen. Die Untersuchung der Struktur und der Textur der Körner aus schwarzem Korund ist daher mit dieser Methode nicht möglich.

Generell erscheinen die Korundkörner mit Korngrössen kleiner als 0.125 mm eckiger als die Korundkörner mit Korngrössen grösser als 0.125 mm.

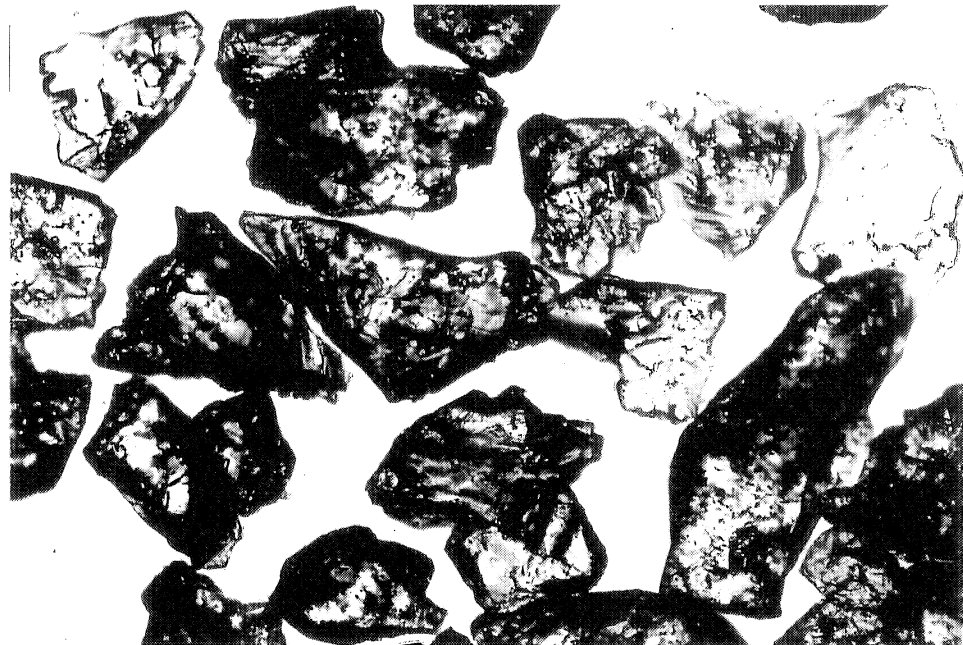
Eine auffällige Abrundung der Korundkörner nach der Prüfung des Polished Stone Value, PSV, wurde nicht beobachtet. Die Korundkörner weisen vor und nach dem Versuch eine eckige Morphologie auf.

Durch die Prüfung des Polished Stone Value, PSV, findet mit grosser Wahrscheinlichkeit eher eine Kornzerkleinerung als eine Abrundung der Kanten der Korundkörner statt.



40-fache Vergrößerung

Abbildung 16 Aufnahme von "roten" Korundkörnern mit dem Stereomikroskop. Die Korundkörner erscheinen rötlich. Alle Körner weisen eckige bis sehr eckige Kanten auf (EMPA-Foto Nr. 99203/7)



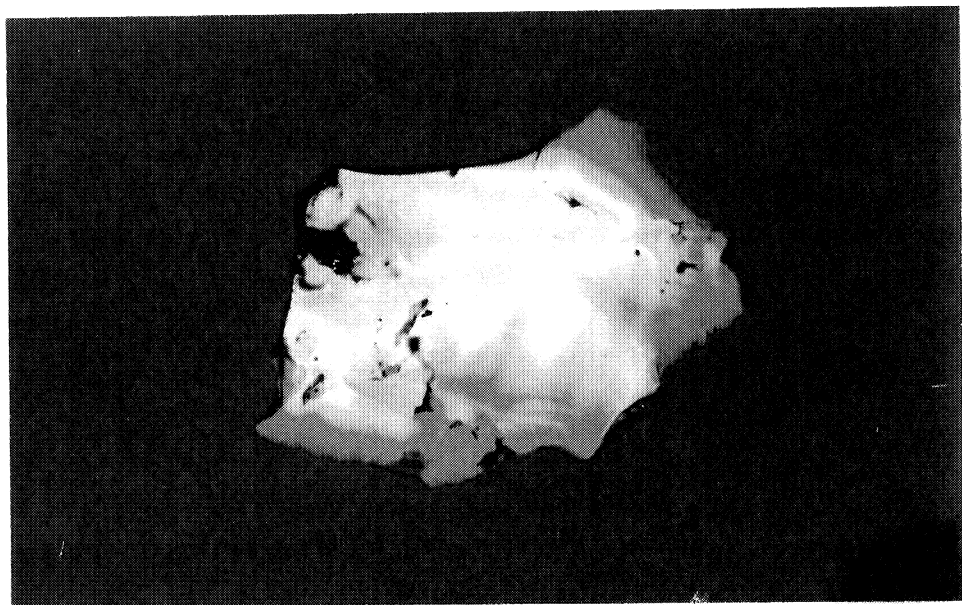
50-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 20 μm .

Abbildung 17 Übersichtsaufnahme von "roten" Korundkörnern im Anlieferungszustand im Durchlicht. Die Korundkörner weisen sehr eckige Kanten auf. (EMPA-Foto Nr. 99203/21)



125-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 8 μm .

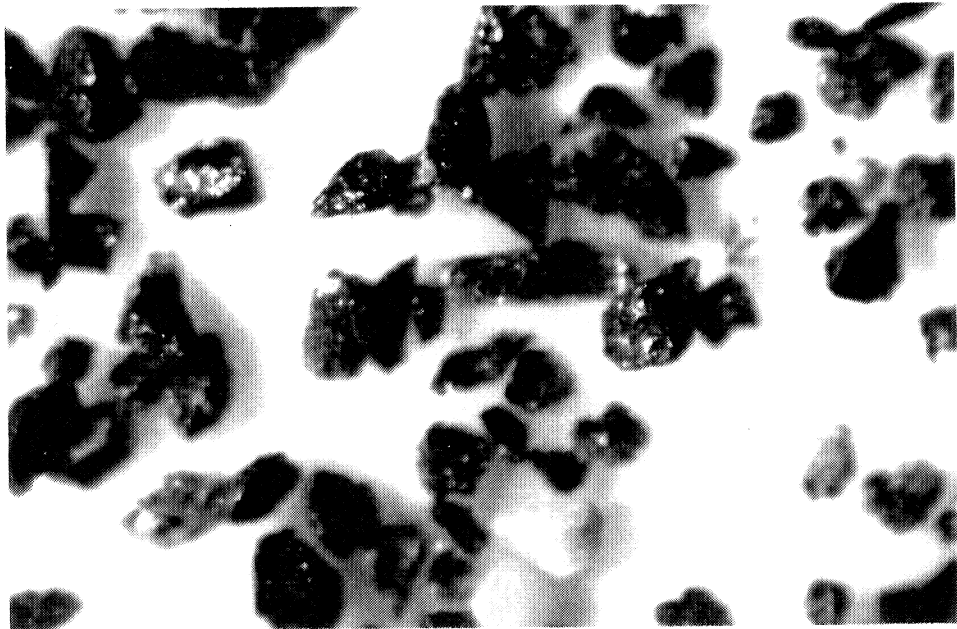
Abbildung 18 Detailaufnahme eines "roten" Korundkorns im Anlieferungszustand. Die Kanten des Korundkorns erscheinen sehr eckig und weisen ausserdem Bruchflächen auf (Mahlprozess). (EMPA-Foto Nr. 99203/24)



125-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 8 μm .

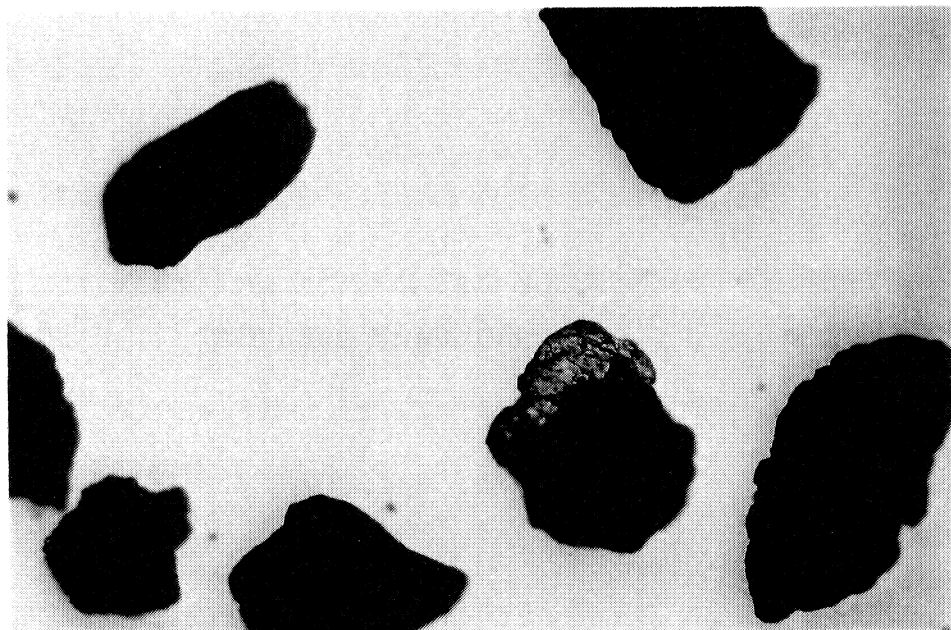
Abbildung 19 Detailaufnahme eines "roten" Korundkorns unter gekreuzten Polarisatoren. Es handelt sich um ein Bruchstück (mit eckigen Kanten) eines Einkristalles. (EMPA-Foto Nr. 99203/21)

Die Aufnahme wurde mit gekreuzten Polarisatoren und mit Hilfe des Lambda-Kompensators (Verschiebung der Wellenlänge der Interferenzfarben um ca. 550 nm) gemacht.



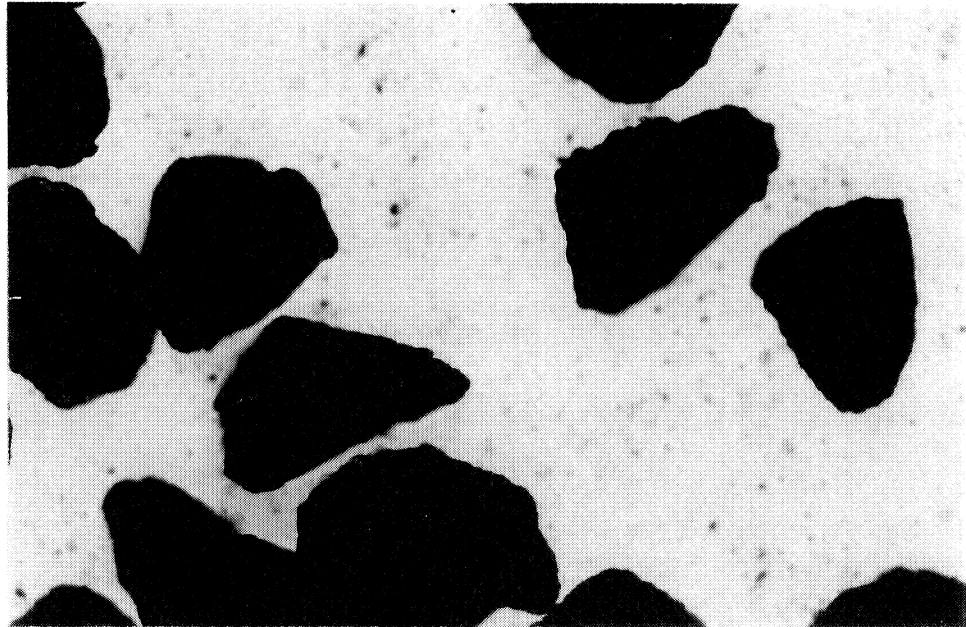
40-fache Vergrößerung

Abbildung 20 Aufnahme von "schwarzen" Korundkörnern (Sieb = 0.125 mm) mit dem Stereomikroskop. Die Korundkörner erscheinen schwarz. Alle Körner weisen eckige bis sehr eckige Kanten auf. (EMPA-Foto Nr. 99299/16)



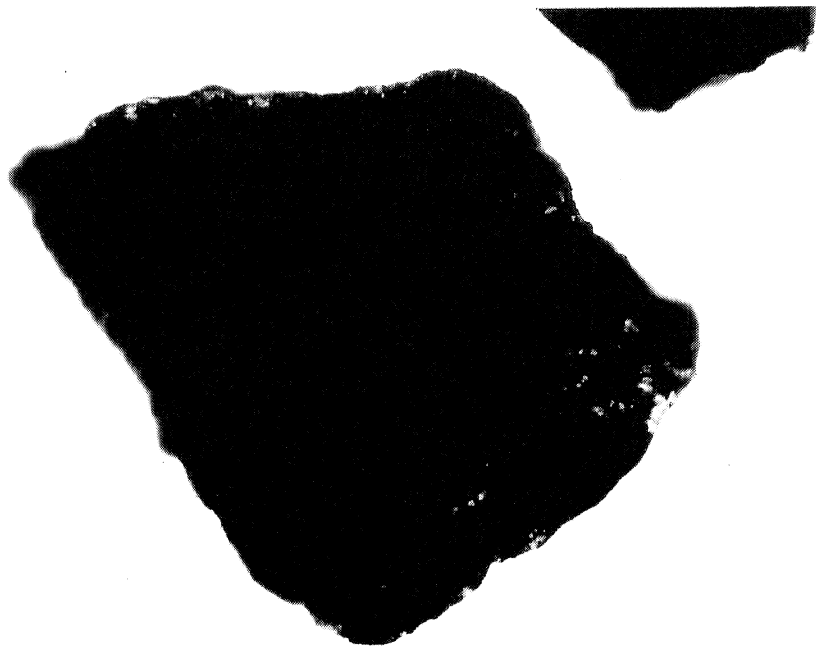
50-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 20 µm.

Abbildung 21 Übersichtsaufnahme von "schwarzen" Korundkörnern im Anlieferungszustand im Durchlicht. Die Körner erscheinen opak (für das Licht undurchlässig). Sie weisen eckige Kanten auf. (EMPA-Foto Nr. 99203/8)



50-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 20 μm .

Abbildung 22 Aufnahme von "schwarzen" Korundkörnern nach der Polierprüfung. Die Kanten der Korundkörner erscheinen sehr eckig, und keine Abrundung der Kanten wurde festgestellt. (EMPA-Foto Nr. 99203/16)



50-fache Vergrößerung, 1 mm in der Abbildung ist in Wirklichkeit 20 μm .

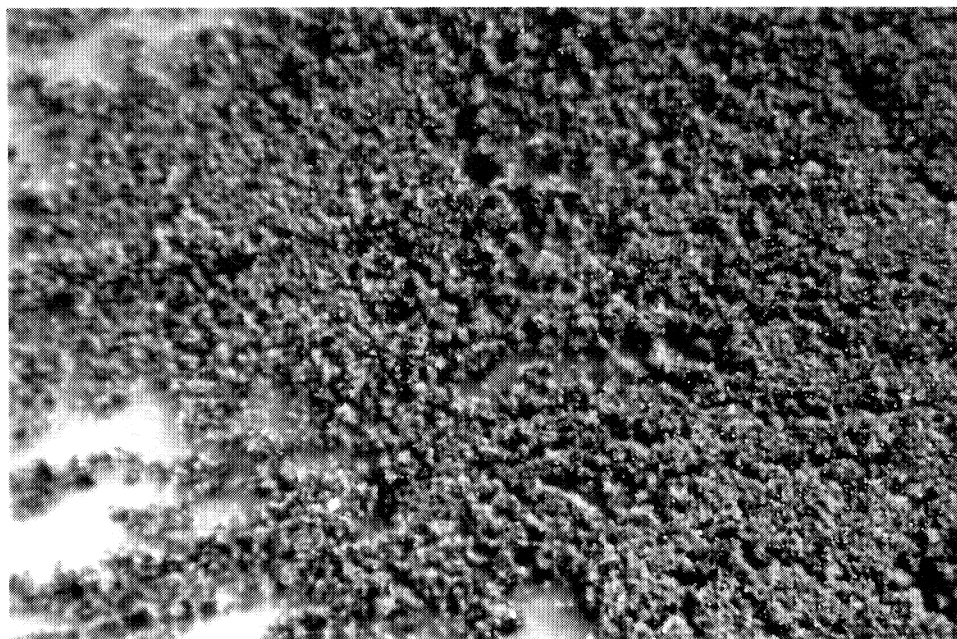
Abbildung 23 Detailaufnahme eines relativ grossen "schwarzen" Korundkorns. Das Korundkorn erscheint nicht homogen, und durchsichtige Bereiche treten auf (hell in der (EMPA-Foto Nr. 99203/10)

8.2. Untersuchungen einer weiteren Lieferung Korund



40-fache Vergrösserung, seitliche Beleuchtung.

Abbildung 24 Grobkorund: schwarze Körner bis ca. 1 mm Grösse mit bestäubter Oberfläche, daneben sind auch durchsichtige und braune Mineralkörner erkennbar (EMPA-Foto Nr. 100199/16)



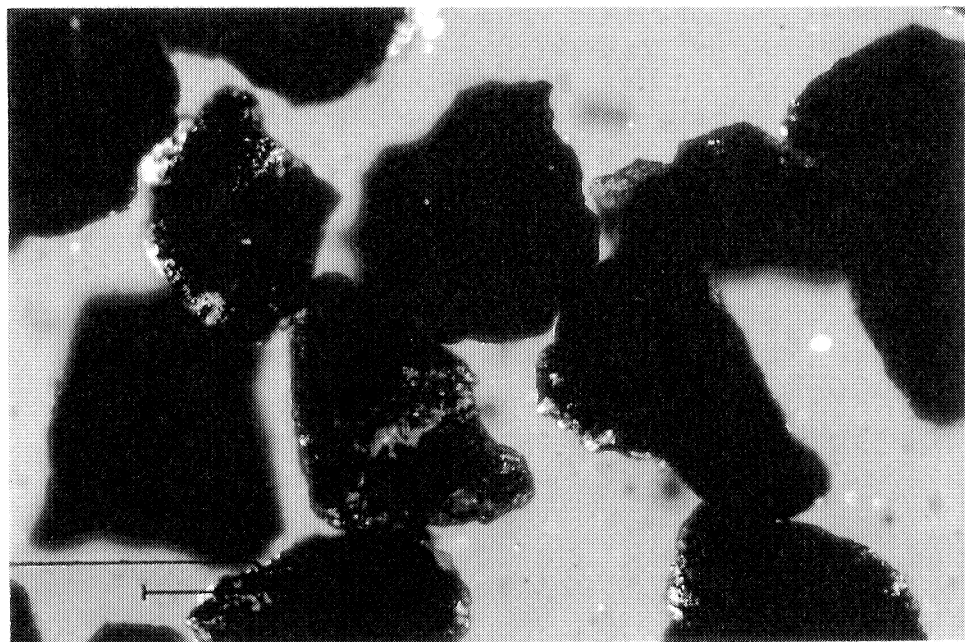
40-fache Vergrösserung, seitliche Beleuchtung.

Abbildung 25 Feinkorund: feines, bräunliches Pulver (EMPA-Foto Nr. 100199/17)



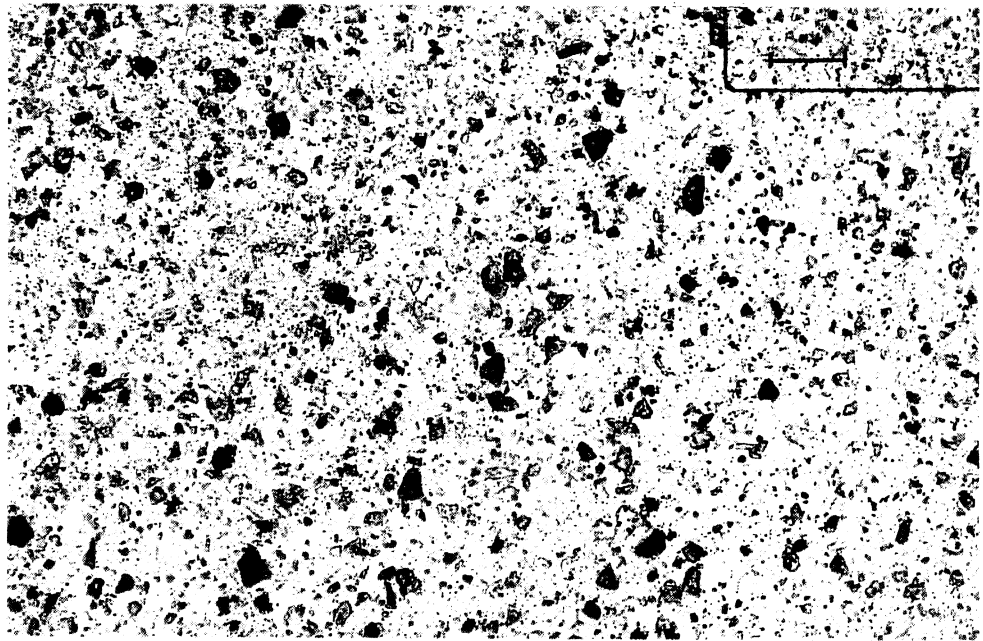
Marke (10 mm), entspricht 20 μm , Durchlicht.

Abbildung 26 Grobkorund: Opake (undurchsichtige) Körner mit teils farblos durchsichtigen Randpartien (EMPA-Foto Nr. 100199/18)



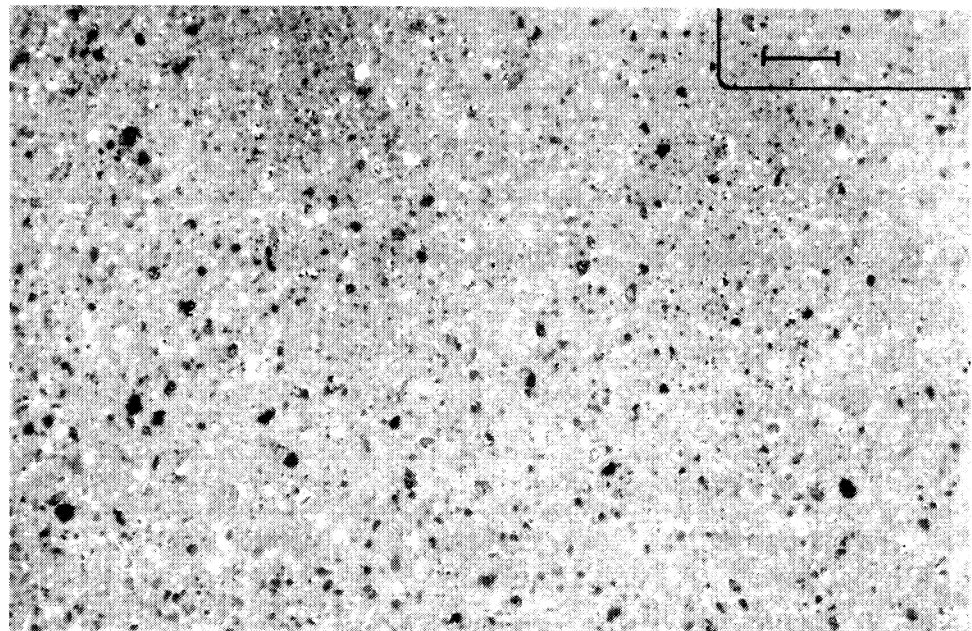
Marke (10 mm), entspricht 0.2 mm, gekreuzte Nicols, Gipsplättchen.

Abbildung 27 Grobkorund: In den durchsichtigen Partien (siehe Abbildung 26) ist die Doppelbrechung des Korundes erkennbar (EMPA-Foto Nr. 100199/19)



Marke (10 mm), entspricht 0.1 mm, Durchlicht.

Abbildung 28 Feinkorund: feinkörnige Probe mit farblosen bis schwarzen Körnern mit Grössen bis ca. 50 μm (EMPA-Foto Nr. 100199/22)



Marke (10 mm), entspricht 0.2 mm, gekreuzte Nicols, Gipsplättchen.

Abbildung 29 Feinkorund: die farblosen Partikel (siehe Abbildung 28) weisen deutliche Doppelbrechung auf (EMPA-Foto Nr. 100199/21)

9. Vergleich der Korngrößenverteilung von Grobkorund

Eine bessere Aussage in Bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung soll über den Vergleich der Korngrößenverteilung vor und nach der Polierprüfung (oder mehreren Polierprüfungen) erarbeitet werden.

9.1. Korngrößenvergleich des Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung

Gemäss Schweizer Norm SN 670 810, "Mineralische Baustoffe und Lockergesteine, Siebanalyse", ist die Korngrößenverteilung des Grobkorundes im Anlieferungszustand sowie nach einmaliger PSV-Prüfung bestimmt worden.

"roter" Grobkorund

	Anlieferungszustand		nach PSV-Prüfung	
Sieb mm	Siebrückstand Masse-%	Durchgang Masse-%	Siebrückstand Masse-%	Durchgang Masse-%
1.0	0.0	100.0	0.0	100.0
0.5	1.2	98.8	4.7	95.3
0.25	96.4	2.4	92.7	2.6
0.125	2.4	0	2.3	0.3
0.09	0.0	0.0	0.3	0.0

Tabelle 11 Korngrößenvergleich des "roten" Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung

"schwarzer" Grobkorund

	Anlieferungszustand		nach PSV-Prüfung	
Sieb mm	Siebrückstand Masse-%	Durchgang Masse-%	Siebrückstand Masse-%	Durchgang Masse-%
1.0	0.0	100.0	0.0	100.0
0.5	0.1	99.9	15.2	84.8
0.25	99.4	0.5	82.7	2.1
0.125	0.5	0.0	2.1	0.0
0.09	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle 12 Korngrößenvergleich des "schwarzen" Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung

Korngrößenverteilungskurven

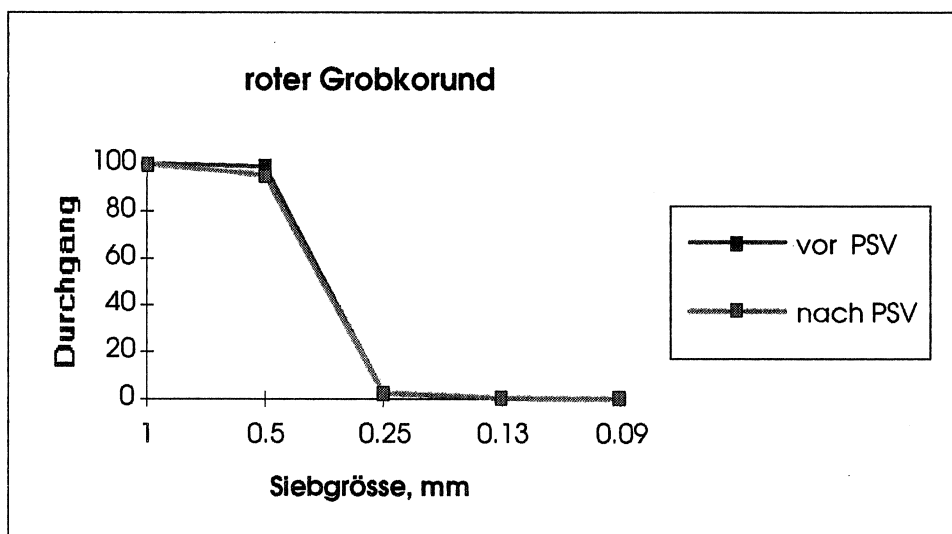


Abbildung 30 Siebanalyse des "roten" Grobkorundes vor und nach der PSV-Prüfung, Durchgänge der Siebe in Masse-% (Tabelle 11)

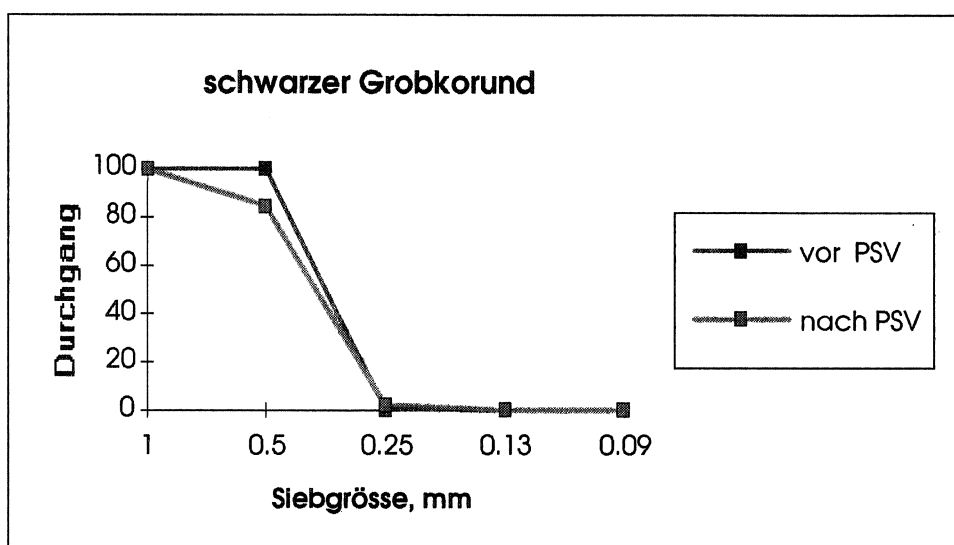


Abbildung 31 Siebanalyse des "schwarzen" Grobkorundes vor und nach der PSV-Prüfung, Durchgänge der Siebe in Masse-% (Tabelle 12)

10. Röntgendiffraktionsanalyse

Mittels Röntgendiffraktionsanalyse soll abgeklärt werden, ob die opaken Komponenten der beiden Korunde Aluminiumoxid Al_2O_3 oder ein anderes Mineral darstellen.

Aus den Spektren auf den Seiten 40 und 41 ist erkennbar, dass weitere mineralische Phasen wesentliche Bestandteile der Proben ausmachen:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Eisenoxid (Hämatit) | Fe_2O_3 |
| • Aluminiumoxidhydroid (Diaspor) | $\text{AlO}(\text{OH})$ |
| • Siliziumdioxid (Quarz) | SiO_2 |
| • Schichtsilikat (Ephesit) | $\text{Na}_2\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ |
| • Eisenaluminiumsilikat (Chloritoid) | $\text{FeAl}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_2$ |

10.1. Folgerungen

Die Körner aus "schwarzem" Korund bestehen vermutlich aus Aggregaten von feinkörnigen Mineralien. Dies kann allerdings nicht bestätigt werden, da die Struktur und die Textur dieser Sorte von Korund anhand von Ölimmersionsverfahren nicht untersucht werden kann, weil die Körner aus "schwarzem Korund" opak im Durchlicht erscheinen.

Die Körner aus "rotem" Korund (vermutlich Elektrokorund) bestehen zum grössten Teil aus grösseren Bruchstücken aus Einkristallen (vgl. Abbildung 19).

Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung, wie zum Beispiel gegen Druck und Abrieb, ist generell besser bei feinkörnigen Mineralaggregaten als bei grobkörnigen Einkristallen. Der schwarze Korund sollte daher besser sein als der rote Korund. Die Körner aus schwarzem Korund bestehen allerdings mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht nur aus Korund, sondern auch aus anderen, zum Teil weicheren oder brüchigeren Mineralien als der Korund.

Eine sichere Beurteilung kann allein auf mikroskopischen Immersionsölpräparaten beruhend nicht mit Sicherheit gemacht werden.

Eine eindeutige Abrundung der Korundkörner wurde weder beim roten noch beim schwarzen Korund nach dem Polieren beobachtet.

Die mineralogische Zusammensetzung des schwarzen Korunds ist mit Röntgendiffraktionsanalyse bestimmt worden. Aufgrund der mittels Röntgendiffraktionsanalyse nachgewiesenen mineralischen Komponenten der Grobkorunde handelt es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um natürlichen Korund, sogenannten Schmirgel. Die mineralogische Zusammensetzung der Korunde ist leicht unterschiedlich und deutet auf verschiedene Herkunft hin.

Röntgendiffraktionsanalyse des Grobkorundes

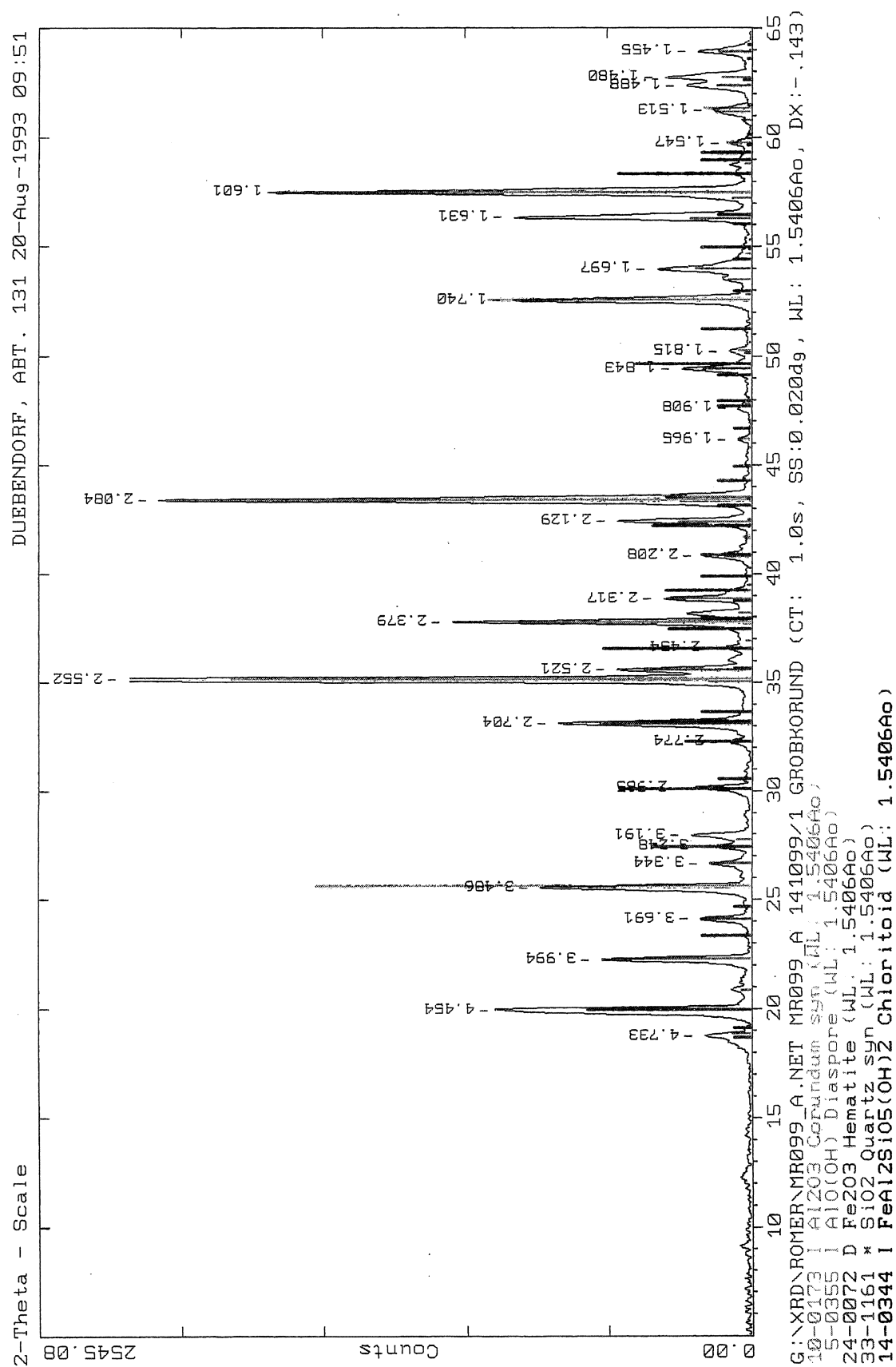


Abbildung 32 Röntgendiffraktionsanalyse des Grobkorundes

Röntgendiffraktionsanalyse des Feinkorundes

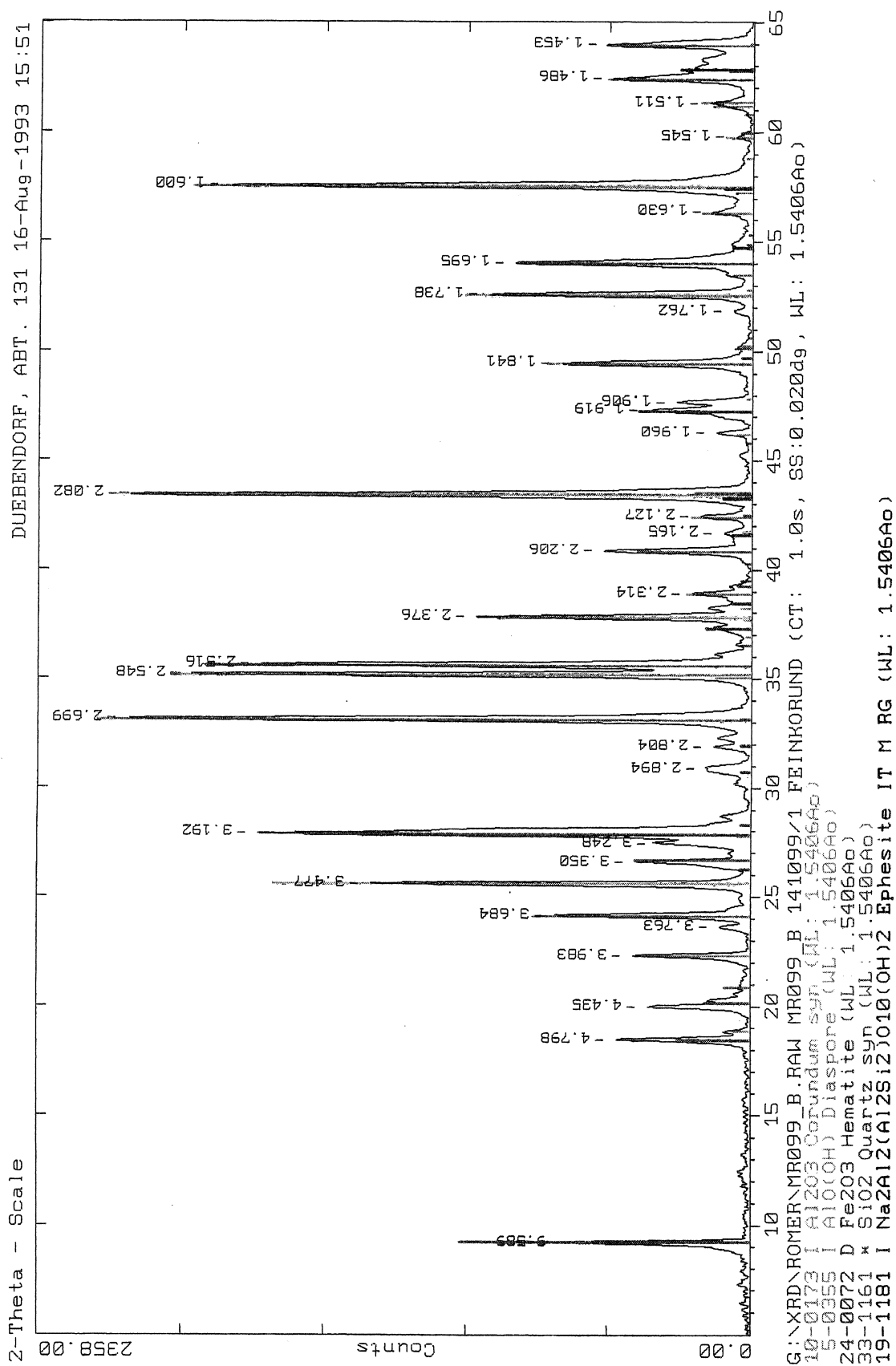


Abbildung 33 Röntgendiffraktionsanalyse des Feinkorundes

11. Auswertungen der multinationalen Ringanalyse

11.1. Allgemeine Angaben

Für die Ermittlung der Präzision der Prüfung gemäss British Standard BS 812, Polished Stone Value, diente eine multinationale Ringanalyse. Beteiligt waren die Länder Niederlande, Bundesrepublik Deutschland, Österreich und Schweiz. Von insgesamt 14 Prüfstellen wurden PSV-Werte von neun Gesteinsmaterialien ermittelt.

Name der Mineralstoffe	Nummer
Schremser Granit	1
Saalfelder Diabas	2
Kies Steyregg	3
LD-Schlacke, OÖ	4
Dolomit Bad Deutsch-Altenburg	5
Granit Limberg	6
Taunus-Quarzit	7
Basalt Klösch	8
Alpine Moräne (Niederrimsingen)	9

OÖ = Abkürzung für Oberösterreich

Tabelle 13 Name und Provenienz der untersuchten Mineralstoffe sowie Numerierung für die folgenden Tabellen 14 und 15

Die folgenden Auswertungen dieser multinationalen Ringanalyse wurden aus dem Heft 385, "Polierversuch, Teil III", des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, Strassenforschung übernommen. Herr Ing. Manfred Zieger führte die Auswertungen der Messergebnisse durch.

Labor	Massgebender PSV-Wert von Gestein-Nr.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	52.13	56.93	50.23	49.35	38.78	52.58	57.43	50.78	53.45
B	51.15	55.60	49.73	50.80	37.60	50.75	55.30	51.13	52.88
C	50.85	54.20	48.03	60.65	40.23	49.90	54.65	49.68	49.13
D	51.63	54.40	48.18	54.65	38.57	51.13	53.73	49.03	51.85
E	51.08	51.93	49.08	60.15	38.48	51.00	54.50	50.75	54.65
F	51.20	55.75	49.33	69.30	37.95	51.25	55.15	49.10	58.18
G	49.83	54.18	44.58	57.80	37.05	48.80	59.28⊗	51.60	54.38
H	55.20⊗	59.45	55.03	65.20	38.15	50.15	52.65	45.90	48.90
I	47.68	52.35	45.15	54.58	36.90	48.25	53.90	48.70	49.78
J	51.40	54.78	51.68	61.78	40.03	50.18	55.70	50.00	57.05
L	48.13	49.70	45.53	49.65	37.45	51.33	54.35	48.30	49.33
M	49.50	52.25	46.20	56.53	36.45	48.50	55.35	48.85	51.25
N	49.70	56.50	50.90	55.58	38.83	50.65	55.58	49.63	52.18

Tabelle 14 Auswertung multinationale Ringanalyse, 1. Messungen

⊗ Markierung für mögliche Ausreisser, die jedoch nicht ausgeschieden wurden.

Gestein-Nr.	Anzahl n	$\bar{x}$	S_r^2	r_i	S_R^2	R_i
1	13	50.75	0.907	2.667	4.313	5.815
2	13	54.47	1.203	3.071	7.684	7.762
3	13	48.59	2.682	4.586	8.915	8.360
4	13	57.39	2.724	4.622	37.704	17.193
5	13	38.21	1.923	3.883	2.725	4.622
6	13	50.38	1.628	3.572	2.714	4.613
7	13	55.20	1.552	3.488	3.991	5.593
8	13	49.58	0.840	2.566	2.609	4.523
9	13	52.54	1.257	3.139	9.776	8.755

Tabelle 15 Berechnete Werte der Gesteine; 1. Messungen, Mittelwert $\bar{x}$, Varianz der Wiederholbarkeit S_r^2 , Wiederholbarkeit r_i , Varianz der Vergleichbarkeit S_R^2 und Vergleichbarkeit R_i

11.2. Interpretation der Auswertungen

Zusätzliche Messungen mit Prüfkörpern aus LD-Schlacke bestätigen die Annahme, dass die Art und Dauer der Wasserlagerung einen grossen Einfluss auf den Polierwert ausübt. Die grosse Bandbreite der Ergebnisse der LD-Schlacke in der Ringanalyse lässt den Schluss zu, dass dieses Material in den Prüfanstalten unterschiedlich lange nach dem Polieren in Wasser gelagert wurde. Nach einer gewissen Zeit der Wasserlagerung entspricht der gemessene PSV-Wert nicht mehr dem Reibungsbeiwert, der unmittelbar nach dem Polieren gemessen wurde. Da man nachträglich nicht mehr feststellen konnte, wie lange die einzelnen Prüfkörper aus LD-Schlacke vor dem Messen in Wasser gelagert hatten und eine Wiederholung der ganzen Prüfung nicht möglich war, sah man sich gezwungen, die Ergebnisse der LD-Schlacke zur Berechnung der endgültigen Werte der Wiederholbarkeit r und der Vergleichbarkeit R nicht heranzuziehen.

Für die endgültige Berechnung von r und R dürfen nur die Werte der 1. Messungen herangezogen werden, weil hier dem statistischen Modell gehorchend die Vergleichsbedingungen exakt eingehalten wurden.

Die für die 1. Messungen ohne die Messwerte des Mineralstoffes Nr. 4, LD-Schlacke, berechneten statistischen Kennwerte sind in der folgenden Tabelle 16 zusammengefasst.

Standardabweichung von Einzelwerten	s_a	2.408
Standardabweichung unter Wiederholbedingungen	s_r	1.204
Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen	s_R	2.237
Zulässige Spannweite von Einzelwerten	d_a	8.74
Wiederholbarkeit	r	3.37
Vergleichbarkeit	R	6.26
Vertrauensbereich bei zweiseitiger Fragestellung	q_R	4.38

Tabelle 16 Berechnete statistische Kennwerte für 1. Messungen aus Tabelle 13 ohne die Messwerte des Mineralstoffes Nr. 4, LD-Schlacke

Die Vergleichbarkeit $R = 6.26$, die über dem Wert der BS 812; 1975, mit einem Wert von 6.0 liegt, konnte trotz umfangreicher Vorbereitungen der Ringanalyse nicht verringert werden. Für die Zukunft stellt sich daher die Frage, ob noch Verbesserungsmöglichkeiten der Polierprüfung gegeben sind.

Die statistische Auswertung zeigt, dass trotz grossem Aufwand bei der Polierprüfung eine wesentliche Verbesserung der Vergleichbarkeit kleiner als 6.0 nicht möglich ist.

12. Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA

12.1. Vorgehen

Auch zwischen LAVOC und EMPA wurden solche vergleichenden Untersuchungen an 6 petrographisch verschiedenen Mineralstoffen durchgeführt (vgl. Anhang). Für das Durchführen der Untersuchungen wurde gemäss der im FA 10/86 beschriebenen Arbeitsvorschrift (vgl. Anhang) vorgegangen.

Mineralstoff Provenienz	PSV EMPA	PSV LAVOC
A	53	53
C	36	41
D	47	52
E	54	57
F①	45	56
G	57	62

Tabelle 17 Polished Stone Value, PSV, Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA. F① konnte infolge Materialmangels nicht mehr experimentell kontrolliert werden.

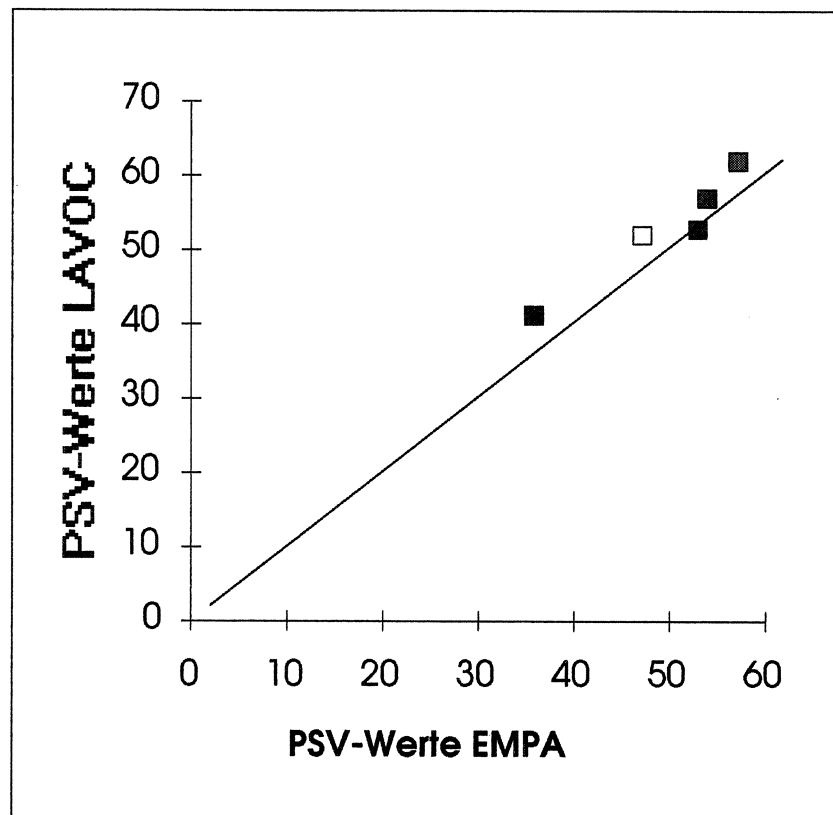


Abbildung 34

Polished Stone Value, PSV, Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA, ohne Mineralstoff F

Jedes der beiden Laboratorien polierte die selbst hergestellten Prüfkörper und bestimmte die Polished Stone Values, PSV. Dann wurden alle Prüfkörper sorgfältig in Plastiksäcken verpackt und dem anderen Labor zugeschickt. Nach erneuter Wasserlagerung wurden die Polished Stone Values, PSV, nochmals ermittelt.

Eine folgende Kalibrierung der SRT-Messgeräte beider Prüfstellen führte zu keinen grundsätzlichen Annäherungen der Ergebnisse.

12.2. Folgerungen

Aus den grafischen Darstellungen geht hervor, dass die von den beiden Labors bestimmten Untersuchungsergebnisse deutlich voneinander abweichen. Tendenziell sind die von der EMPA ermittelten Messwerte niedriger als diejenigen des LAVOC. Sie liegen jedoch bis auf eine Ausnahme innerhalb des Bereiches der Vergleichbarkeit, der das Ergebnis der statistischen Auswertung der multinationalen Ringanalyse sowie der in der englischen Norm BS 812 beschriebenen absoluten Reproduzierbarkeit für die Untersuchungsergebnisse mit 6 PSV-Einheiten ist.

13. Empfehlung an die Normenkommission

Die Zielvorstellung für den Polished Stone Value, PSV, von Deckschichten aus Asphaltbeton des Typs S, von Deckschichten aus Asphaltbeton des Typs N mit einer Verkehrslastklasse T5, von Betonbelägen sowie von Oberflächenbehandlungen von Strassen der Verkehrslastklasse $\geq$ T3 ist mindestens 53 PSV-Einheiten.

Für alle übrigen Fahrbahnoberflächen ist die Zielvorstellung der Polished Stone Value, PSV, mindestens 48 PSV-Einheiten.

Gemäss Auswertungen der Untersuchungsergebnisse im Forschungsauftrag FA 10/86 ist von einem Prüffehler (Vergleichbarkeit) von 3 ausgehend ein Mindestwert für Polished Stone Values, PSV, von 50 PSV-Einheiten für stark beanspruchte Fahrbahnen und für weniger stark beanspruchte Fahrbahnen ein Mindestwert von 45 PSV-Einheiten festgelegt worden.

Die in diesem Forschungsauftrag FA 8/90 auf einer internationalen Ringanalyse basierenden Auswertungen der Untersuchungsergebnisse führen zu einer Wiederholbarkeit von 3.4 und einer Vergleichbarkeit (Prüffehler) von etwa 6 PSV-Einheiten. Deshalb ist von der gleichen Zielvorstellung von 53 PSV-Einheiten ausgehend für stark beanspruchte Fahrbahnen und einem Prüffehler (Vergleichbarkeit) von 6 ein Mindestwert von 47 PSV-Einheiten zu erwägen.

Für weniger stark beanspruchte Fahrbahnen ist die Zielvorstellung 48 PSV-Einheiten, daraus folgt ausgehend von einem Prüffehler (Vergleichbarkeit) von 6 einen Mindestwert von 42 PSV-Einheiten zu erwägen.

Der Klassenabstand von 5 PSV-Einheiten bleibt erhalten.

14. Erkenntnisse

Zunächst ist noch einmal auf die ausserordentliche Wichtigkeit hinzuweisen, beim Bestimmen des Polished Stone Value, PSV, die Arbeitsvorschrift konsequent einzuhalten. Alle Arbeitsgeräte sind bezüglich Anforderungen und Funktion häufig zu überprüfen.

Werden diejenigen Dosiergeräte für Wasser und Korund bei der Durchführung der Prüfung verwendet, welche zum Poliergerät geliefert werden, dann müssen diese, während dem das Poliergerät arbeitet, ständig überwacht werden. Erfahrungsgemäss bereitet die Dosierung des Feinkorundes am meisten Probleme.

14.1. Allgemeines

In bituminösen wie zementgebundenen Strassenbelägen machen Mineralstoffe mit etwa 90 bis 95 Masse-% den weitaus grössten Anteil aus. Die Rauigkeit eines Strassenbelages hängt weitgehend von der Oberfläche der Mineralstoffe ab. Kann Mineralstoff vor seiner Verwendung in Strassenbelägen bezüglich seiner Reibungseigenschaften geprüft werden, respektive kann geprüft werden, wie sich diese Eigenschaften verändern, wenn Fahrzeuge darüber rollen, dann ist es auch möglich, ungeeignete Mineralstoffe für die Herstellung von Strassenbelägen auszuschliessen. Dies trägt dann wesentlich zur Sicherheit im Strassenverkehr bei. Der Zusammenhang zwischen Reibungseigenschaften der Mineralstoffe und Sicherheit gegen Schleuderunfälle sowie Rutschen bei Bremsverzögerung von Fahrzeugen ist schon lange bekannt.

Mit grosser Zufriedenheit reagieren Prüfstellen und Strassenbauämter auf die Veröffentlichung der englischen Prüfvorschrift, BS 812, "Polished Stone Value, PSV". Diese Prüfmethode liefert einen Kennwert von Mineralstoffen eines ausgewählten Korngrössenbereiches, der ein Mass für die Rauigkeit von Strassenoberflächen nach dem Befahren ist.

Dieser Kennwert ist dimensionslos, empirisch. Erst durch Vergleiche von Fahrbahnen, welche mit Mineralstoffen bekannter Provenienzen hergestellt und deren Unfallhäufigkeiten während mehreren Jahren beobachtet wird, lassen sich Mindestwerte für die Verwendbarkeit von Mineralstoffen für Strassenbeläge festlegen.

Im Forschungsauftrag 10/86 werden unter anderem die Arbeitsmethode und erste Auswertungen von Untersuchungsergebnissen veröffentlicht. Diese Auswertungen der Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen der EMPA führen zu Empfehlungen an die Normenkommission "Baustoff-Technologie" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, VSS, welche die Schweizer Norm SN 670'710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsanforderungen", Anforderungen an die Mindestwerte des Polished Stone Value, PSV, gemäss den Verkehrsbelastungen festzulegen.

14.2. Messvorgang mit dem SRT-Messgerät

Das Verhalten des Gummigleiters am SRT-Messgerät ohne Hilfsmittel zu beobachten, ist praktisch unmöglich. Dieser Vorgang verläuft so rasch, dass er nicht detailliert gesehen werden kann. Die Verwendung einer Filmkamera mit grosser Aufnahmefrequenz erlaubt die raschen Veränderungen in vielen Einzelbildern festzuhalten. Es sind zwischen 1500 und 2000 Bilder pro Sekunde, die je nach möglicher Beleuchtungsintensität aufgenommen werden können.

Auf diesen vielen Einzelbildern kann beobachtet werden, was in der zeitlichen Abfolge passiert. Der Messvorgang mit dem SRT-Messgerät ist mittels Hochfrequenzkinematographie analysiert worden. Der dabei beobachtete unterschiedliche Anpressdruck des Gummigleiters auf der Prüfkörperoberseite wird mit einem speziellen Prüfkörper gemessen.

Direkt nach dem Kontakt des Gummigleiters mit der Prüfkörperoberseite ist er am stärksten zusammengedrückt, gefolgt von einer Phase, in welcher der Gummigleiter fast abhebt, um dann wieder angedrückt zu werden, und so weiter, wobei die Amplituden dieser Oszillationen stark gedämpft sind. Infolge der Elastizität des Gummis kommt es, ähnlich wie bei einem Gummiball, zum Hüpfen des Gummigleiters, das wiederum wegen der nicht ideal elastischen Eigenschaften des Gummis stark gedämpft ist.

Messung mit dem SRT-Messgerät an speziellem Prüfkörper

Durch die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wird erkannt, dass der Anpressdruck des Gummigleiters nicht auf der vollen Messlänge gleich ist, sondern dass er vielmehr am Anfang, kurz nach dem Aufsetzen, viel stärker ist als kurz nachher, wenn der Gummigleiter fast abhebt. Um dieses Verhalten genauer zu bestimmen und das beobachtete Verhalten zahlenmässig zu erfassen, wurden Messungen mit einem speziellen Prüfkörper, einer Art Sonde, durchgeführt.

Als spezieller Prüfkörper wurde ein Vollkunststoffteil verwendet, das aus der Zweikomponenten-Klebmasse in der Form zur Herstellung der Prüfkörper gegossen wurde. Von diesem Prüfkörper wurde der PSV-Wert in Skaleneinheiten bei nasser Oberfläche bestimmt. Dann wurde am Ort des Auftreffens des Pendels quer zur Pendelrichtung ein 10 mm breites Stück Schleiflein, beschichtet mit Korund, über die Pendelbahn geklebt und der Skalenwert erfasst. Das Schleiflein wurde dann in 5 mm Abständen versetzt und die Messung wiederholt. Dabei wurde jedesmal neues Schleiflein benutzt.

Auf diese Art wurde die gesamte Prüfkörperoberseite nacheinander abgetastet. Es zeigte sich das gleiche Verhalten, wie es auf den Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen beobachtet wurde.

Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff

Es werden PSV-Werte einiger Prüfkörper in Laufrichtung sowie in entgegengesetzter Richtung bestimmt. Daraus ergibt sich ein Verbesserungsvorschlag für die Praxis.

Um zu untersuchen, wie sich das beobachtete Verhalten auf die Prüfkörper mit Mineralstoff auswirkt wurden die PSV-Werte einiger Prüfkörper in beiden Laufrichtungen vermessen. Die Resultate sind sehr unterschiedlich, aber aufschlussreich. Zeigten einige der Prüfkörper

überhaupt keine Unterschiede, ob man sie in der Laufrichtung des Prüfkörperrades oder in entgegengesetzter Richtung vermass, so zeigten andere Prüfkörper signifikante Abweichungen bis zu 2 Einheiten, also bis zu 5 % des mittleren Messwertes.

Im Experiment haben wir festgestellt, dass inhomogene Steinfraktionen unterschiedliches Verhalten zeigen, je nachdem, wo die stark reibenden Steine eingebaut sind. Die Messresultate sind unterschiedlich, wenn man die Prüfkörper in der Laufrichtung des Prüfkörperrades oder in entgegengesetzter Richtung misst.

14.3. Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät

Die Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät ist mittels Hochfrequenzkinematographie analysiert worden. Daraus ergibt sich ein Verbesserungsvorschlag für konstruktive Änderungen am Prüfgerät.

Die Beobachtungen des Feinkorundes während der Zugabe in der Polierprüfmaschine sowie das Verhalten des Gummigleiters am SRT-Messgerät ohne Hilfsmittel sind praktisch unmöglich. Diese Vorgänge verlaufen so rasch, dass sie nicht detailliert gesehen werden können. Die Verwendung einer Filmkamera mit grosser Aufnahmefrequenz erlaubt die raschen Vorgänge in vielen Einzelbildern festzuhalten. Es sind zwischen 1500 und 2000 Bildern pro Sekunde, die je nach möglicher Beleuchtungsintensität aufgenommen werden können.

Auf diesen vielen Einzelbildern kann beobachtet werden, dass der grösste Anteil des Feinkorundes sofort nachdem er auf das rotierende Polierrad auftrifft, durch die grosse Beschleunigung direkt an die Abdeckhaube der Poliermaschine geschleudert wird. Dies führt dazu, dass nur ein geringer Anteil des zugeführten Feinkorundes am Poliervorgang beteiligt ist.

Feinkorund sammelt sich an der Abdeckhaube des Poliergerätes und fällt in unterschiedlichen Zeitabständen in unterschiedlichen Mengen, also unkontrolliert, auf das Rad mit den Prüfkörpern. Von da aus wird Feinkorund wieder teilweise dem Poliervorgang zugeführt. Am Schluss der Prüfung bleiben Teile des Feinkorundes an der Abdeckhaube des Poliergerätes hängen.

14.4. Qualitätskontrollen von Grob- und Feinkorund

Durch die Aufmerksamkeit eines Mitarbeiters des LAVOC wurde das Augenmerk auf die Poliermittel Grob- und Feinkorund gelenkt. Beim Ansehen von Feinkorund ist aufgefallen, dass Farbunterschiede bei Rückstellmustern von verschiedenen Lieferungen vorhanden sind.

Die Bestimmungen der Korngrössenverteilung von 3 gelieferten Feinkorunden ergibt unterschiedliche Ergebnisse. Die vorhandenen Mengen dieser Rückstellmuster sind jedoch nicht ausreichend, um damit vergleichende Prüfungen an Prüfkörpern durchzuführen und so den Einfluss dieser Feinkorunde auf das Ergebnis zu erkennen.

Die Qualitätskontrollen folgender Lieferungen von Grob- und Feinkorund sind möglich aufgrund von Untersuchungen der Abteilung 131, Anorganische Chemie, mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse.

14.5. Mikroskopie und Röntgendiffraktionsanalyse an Grobkorund

Nachdem bekannt ist, dass der Feinkorund von 3 Lieferungen unterschiedliche Korngrössenverteilungen hat, untersucht die EMPA Rückstellmuster von Grobkorund.

Auch beim Grobkorund werden visuell Farbunterschiede bei Rückstellmustern alter Lieferungen festgestellt. Ausschliessliche Bestimmung der Korngrössenverteilung des Grobkorundes scheint nicht ausreichend zu sein für die Beurteilung der Materialien. Deshalb werden Teile der unterschiedlichen Grobkorunde unter dem Mikroskop und ebenfalls mit Röntgendiffraktion analysiert.

Aufgrund dieser Untersuchungen ist festzustellen, dass die Ecken und Kanten der Korundkörner nicht eindeutig abgerundet worden sind während der Beanspruchung beim Durchführen der Polierprüfung.

Die mineralogische Zusammensetzung der beiden "schwarzen" Grobkorunde mittels Röntgendiffraktionsanalyse deutet mit grosser Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass es sich um natürlichen Korund, sogenannten Schmirgel, handelt. Die mineralogische Zusammensetzung ist unterschiedlich und deutet auf verschiedene Herkunft hin.

Der "rote" Korund ist vermutlich Elektrokorund und besteht zum grössten Teil aus Bruchstücken von Einkristallen.

14.6. Grob- und Feinkorund, mechanische Widerstandsfähigkeit

Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung durch den Vergleich der Korngrössenverteilung vor und nach der Polierprüfung werden bestimmt.

Ein Vergleich der Korngrössenverteilung vor und nach der Polierprüfung führt zu Unterschieden bezüglich Widerstandsfähigkeit der Grobkorunde während der PSV-Prüfung.

14.7. Multinationale Ringanalyse zur Bestimmung der Präzision

Die Tatsache, dass es sich um eine empirische Prüfmethode handelt und in der englischen Norm, BS 812, die absolute Reproduzierbarkeit für die Untersuchungsergebnisse mit 6 PSV-Einheiten angegeben ist, führt zu Bestrebungen, die Bestimmung dieses Kennwertes genauer durchzuführen. Eine multinationale Ringanalyse soll Klärung bringen. Die EMPA nimmt daran teil.

Kollegen vom Österreichischen Prüfinstitut Arsenal in Wien veranlassen und betreuen diese multinationale Ringanalyse. 12 Prüfanstalten beteiligen sich an der Prüfung von 9 verschiedenen Mineralstoffen. Alle beteiligten Labors werden vor der Durchführung der Prüfungen

angewiesen, Prüfgeräte kontrollieren zu lassen und ihre Mitarbeiter über die genaue Arbeitsweise zu unterweisen.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse führt zu folgendem Ergebnis: Bei der Bestimmung des Polished Stone Values, PSV, ist die Vergleichbarkeit $R = 6.3$ PSV-Einheiten, d.h. wenn zwei Laboranten von verschiedenen Prüfstellen an ein und derselben Analysenprobe den Polished Stone Value, PSV, bestimmen, dann liegen 95% der Untersuchungsergebnisse innerhalb 6.3 PSV-Einheiten.

14.8. Präzision der Prüfung

Nach der Ermittlung der Präzision der Prüfung Polished Stone Value, PSV, gemäss British Standard BS 812, innerhalb einer multinationalen Ringanalyse durchgeführt, ist eine neue Empfehlung an die zuständige normenschaffenden Kommission "Baustoffe-Technologie" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, VSS, zu geben, damit die Mindestwerte für die Polished Stone Value, PSV, für Mineralstoffe entsprechend der neu ermittelten Vergleichbarkeit in der Schweizer Norm SN 670 710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften", geändert werden.

14.9. Vergleichende Prüfungen, LAVOC und EMPA

Vom Institut LAVOC der EPFL, Lausanne, sind zusammen mit der EMPA Messungen mit Prüfkörpern unterschiedlicher Mineralstoffe und unterschiedlicher Lagerungsbedingungen durchzuführen, um Unterschiede der Untersuchungsergebnisse beider Institute zu minimieren. Die Auswertungen dieser Untersuchungen werden vom LAVOC übernommen.

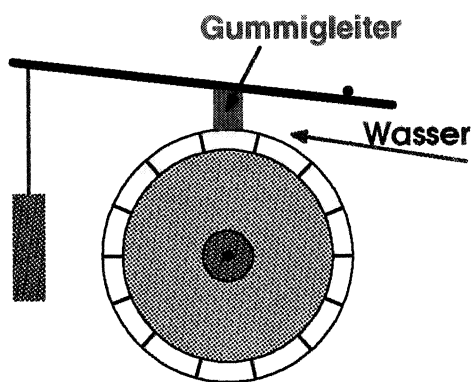
Auch zwischen LAVOC und EMPA sind solche vergleichenden Untersuchungen an 6 verschiedenen Mineralstoffen durchgeführt worden. Für das Durchführen der Untersuchungen ist gemäss der im FA 10/86 beschriebenen Arbeitsvorschrift vorgegangen worden.

Jedes der beiden Laboratorien polierte die selbst hergestellten Prüfkörper und bestimmte die Polished Stone Values, PSV. Dann sind alle Prüfkörper sorgfältig in Plastiksäcken verpackt und dem anderen Labor zugeschickt worden. Nach erneuter Wasserlagerung sind die Polished Stone Values, PSV, nochmals ermittelt worden.

Aus den grafischen Darstellungen geht hervor, dass die von den beiden Labors bestimmten Untersuchungsergebnisse deutlich voneinander abweichen. Tendenziell sind die von der EMPA ermittelten Messwerte niedriger als diejenigen des LAVOC. Sie liegen jedoch bis auf eine Ausnahme innerhalb des Bereiches der Vergleichbarkeit, der das Ergebnis der statistischen Auswertung der multinationalen Ringanalyse sowie der in der englischen Norm, BS 812, beschriebenen absoluten Reproduzierbarkeit für die Untersuchungsergebnisse mit 6 PSV-Einheiten ist.

15. Vorschläge für Verbesserungen

15.1. Messungen mit SRT-Messgerät an Prüfkörpern mit Mineralstoff

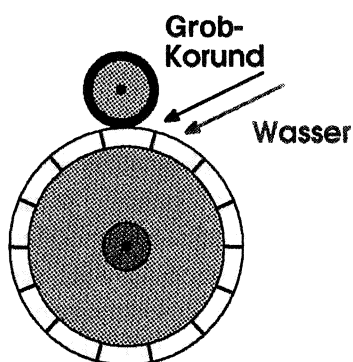


Das SRT-Messgerät ist baulich zu verändern, damit es möglich wird, die gesamte Prüfkörperoberseite gleichmässig in den Messvorgang einzubeziehen.

Ein Lösungsvorschlag ist, das bewegliche Pendel festzuhalten und den Prüfkörper mit gleichmässiger Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn darunter vorbeizubewegen. Der Abstand jedes Punktes der Prüfkörperoberseite ist dann immer gleich weit vom Gummigleiter entfernt respektive der Anpressdruck des Gummigleiters über der gesamten durch die Polierprüfung beanspruchten Fläche konstant. Das Messergebnis ist dann die integrierte Reibungskraft über die ganze polierte

Prüfkörperoberseite ohne Bevorzugung einzelner Abschnitte des Prüfkörpers.

Vorschlag für Sofortmassnahme



Aus der Erkenntnis, dass inhomogene Mineralstoffe unterschiedliche Messergebnisse liefern je nachdem, wo Körner mit rauher Oberseite auf dem Prüfkörper angeordnet sind, ist als Sofortmassnahme die Messung der Prüfkörper sowohl in der Laufrichtung des Prüfkörperrades als auch in entgegengesetzter Richtung angebracht, wenn von jedem Prüfkörper die Summe der beiden Messergebnisse halbiert wird, bevor sie mit dem gleichermassen ermittelten Messergebnis des Referenzgesteines korrigiert werden. Durch derartiges Vorgehen wird die einseitige Gewichtung der zufällig angeordneten Mineralkörner auf der Seite, auf die der Gummigleiter des SRT-Messgerätes auftritt, vermindert.

15.2. Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät

Die Zugabe des Feinkorundes im Prüfgerät ist mittels Hochfrequenzkinematographie analysiert worden. Daraus ergibt sich ein Verbesserungsvorschlag für konstruktive Änderungen am Prüfgerät.

Nach Meinung der EMPA ist der Ort für die Zugabe des Feinkorundes am Poliergerät ungünstig gewählt. Eine Verlagerung der Zugabe des Feinkorundes in die Nähe des Ortes, an dem der Grobkorund zugegeben wird, führt zu einer besseren Nutzung des Feinkorundes, da er durch die Bewegungen von Polier- und Prüfkörpernrad direkt zwischen diese beiden geführt wird.

15.3. Qualitätskontrollen von Grob- und Feinkorund

Die Kontrolle bezüglich Gleichmässigkeit der mineralogischen Zusammensetzung von neuen Lieferungen von Grob- und Feinkorund als Qualitätskontrolle ist möglich aufgrund von Untersuchungen mittels Mikroskop sowie Röntgendiffraktionsanalyse.

15.4. Grob- und Feinkorund, mechanische Eigenschaften

Bessere Beschreibung der abrasiven Eigenschaften von Grob- und Feinkorund mit entsprechenden Prüfmethoden ist vorzusehen, damit Lieferungen von Poliermaterialien auf ihre Eignung und Gleichmässigkeit der Schleifeigenschaften überprüft werden können. Solche Prüfmethoden müssen erarbeitet werden, damit sie nach jeder Lieferung von Grob- und Feinkorund zur Qualitätskontrolle herangezogen werden können.

Als einfache Prüfmethode beim Grobkorund bietet sich beispielsweise die Bestimmung der Korngrössenverteilung nach Beendigung des Poliervorganges an.

15.5. Mikroskopie und Röntgendiffraktionsanalyse an Korund

Ausschliessliche Bestimmung der Korngrössenverteilung des Grob- und Feinkorundes ist nicht ausreichend für die Beurteilung dieser Materialien. Deshalb sind neben visuellen Farbunterschieden beim Vergleich von Rückstellmustern alter Lieferungen mit neu geliefertem Korund Teile davon unter dem Mikroskop und ebenfalls mit Röntgendiffraktion zu analysieren. Aufgrund dieser Untersuchungen ist festzustellen, dass die mineralogische Zusammensetzung der Korunde mit grosser Wahrscheinlichkeit darauf hindeutet, dass es sich um natürlichen Korund gleicher Herkunft handelt.

16. Ausblick

Für die Erhöhung der Sicherheit im Strassenverkehr ist es notwendig, eine Prüfmethode zu besitzen, die vor der Herstellung eines Strassenbelages über die Veränderung der Reibungseigenschaften von Mineralstoffen unter Verkehrsbeanspruchung reproduzierbare Untersuchungsergebnisse liefert. Dazu dient die Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, an einem ausgewählten Korngrössenbereich der verwendeten Mineralstoffe.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse der multinationalen Ringanalyse des Polished Stone Value, PSV, ergibt eine Wiederholbarkeit von $r = 3.4$ und eine Vergleichbarkeit von $R = 6.3$ PSV-Einheiten. In der BS 812, Ausgabe 1989, sind mit $r = 3$ und $R = 5$ nur unwesentlich kleinere Toleranzen angegeben.

Würde der Toleranzbereich für den Polished Stone Value, PSV, entsprechend üblicher Gepflogenheiten, basierend auf dem Wert der in einer Ringanalyse bestimmten Vergleichbarkeit von R etwa 6 PSV-Einheiten, gewählt, dann müsste er ± 6 PSV-Einheiten betragen.

Mineralstoff-Provenienz	massgebende PSV
A	54
B	32
C	32
D	43
E	54
F	47
G	59
H	42
I	50
K	49
M	49
N	48

Tabelle 18 Massgebende Polished Stone Value, PSV

massgebende PSV

|| = 6 PSV-Einheiten

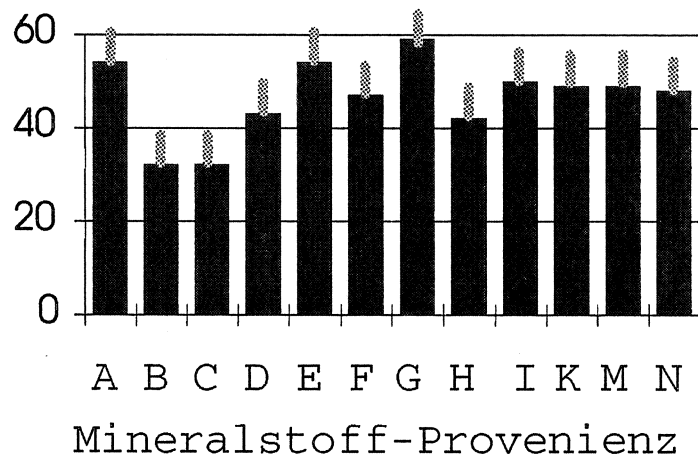


Abbildung 35 Massgebende Polished Stone Value, PSV, mit Vergleichbarkeit

Aufgrund der in der Ringanalyse ermittelten und in der britischen Norm BS 812 angegebenen grossen Reproduzierbarkeit lässt sich grundsätzlich als Empfehlung an die normenschaffende Kommission "Baustoff-Technologie" der VSS, ableiten den Text in der Schweizer Norm SN 670 710 d, "Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge, Qualitätsvorschriften" im Absatz 19 über Polierwiderstand zu überdenken und ein System einzuführen, das auf Sollwertbereichen und zulässigen Abweichungen in Anlehnung an die Schweizer Norm SN 640 431 a, "Asphaltbetonbeläge, Konzeption, Anforderungen, Ausführung" beruht. Zielsetzung dieser Normierung ist eine optimale Ausnützung vorhandener Ressourcen, und den notwendigen hohen Standard bezüglich Fahrsicherheit beizubehalten.

Bei den Erwägungen, die Prüfmethode zur Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, national oder gegebenenfalls international zu übernehmen, sollten die durch Hochfrequenz-kinematographie gemachten Erfahrungen zu baulichen Änderungen am Poliergerät und SRT-Messgerät führen.

Bei Grob- und Feinkorundlieferungen sind weitere Kontrollen notwendig um wichtige Eigenschaften zu überprüfen und ausser der Korngrössenverteilung Anforderungen festzulegen.

Bessere Beschreibung der abrasiven Eigenschaften von Grob- und Feinkorund mit entsprechenden Prüfmethoden ist vorzusehen, damit Lieferungen von Poliermaterialien auf ihre Eignung und Gleichmässigkeit der Schleifeigenschaften überprüft werden können. Solche Prüfmethoden müssen bearbeitet werden, damit sie nach jeder Lieferung von Grob- und Feinkorund zur Qualitätskontrolle herangezogen werden können.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages hat die EMPA auch an der Bearbeitung des Problems gearbeitet, den Einfluss des Grob- wie Feinkorundes auf die Mineralstoffe zu erfassen, und zwar unabhängig von der Korundqualität. Gesucht wird noch immer eine Beschichtung auf einem geeigneten Trägermaterial, die jedesmal nach gleicher Polierbeanspruchung eine eindeutige Veränderung zeigt. Diese Arbeiten können noch nicht abgeschlossen werden. Sie müssen jedoch unter allen Umständen weitergeführt werden.

Die baulichen Änderungen an der Polierprüfmaschine müssen unter allen Umständen weitergeführt werden. Die Veränderung des Ortes der Zugabe von Feinkorund während der Polierprüfung muss erst noch bearbeitet werden. Die daraus folgenden Unterschiede in den Resultaten sind noch unbekannt.

Auch die Änderung des SRT-Messgerätes in eine dem Lösungsvorschlag entsprechende Form muss Inhalt eines Forschungsauftrages werden, wobei einerseits die Verbesserung der Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse und andererseits neue Erkenntnisse der Materialkennwerte das Resultat sein sollen. Bei der oben beschriebenen Variante des SRT-Messgerätes kann der Anpressdruck des Gummigleiters variabel konstruiert werden. Die Prüfkörper auf dem Prüfkörperrad können ohne Demontage mit unterschiedlich grosser, jedoch konstanter Geschwindigkeit unter dem Gummigleiter bewegt werden. Dadurch ist es möglich, dass neue Erkenntnisse bezüglich der Reibungsbeiwerte der Mineralstoffe bei verschiedenen Prüfgeschwindigkeiten und unterschiedlich starkem Anpressdruck des Gummigleiters gewonnen werden.

Nachdem von der einzigen in der englischen Norm BS 812, Ausgaben 1975 angegebenen Bezugsquelle nachweislich unterschiedliche Grob- und Feinkorunde geliefert wurden, ist es sinnvoll, eine nationale Prüfmethode zu normieren und anzuwenden, wobei die unbedingt notwendigen Hilfsmittel eindeutig zu beschreiben sind.

In einer folgenden Forschungsarbeit sind weitere verfahrenstechnische Probleme bezüglich der Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, zu klären, so dass abschliessend eine Empfehlung für eine schweizerische Norm vorgelegt werden kann. Dafür ist noch ein Optimieren der Prüfmethode erforderlich, und notwendigerweise sind Übereinstimmung sowie Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu bestimmen. Für diese Abklärungen müssen weitere schweizerische Prüfstellen in die Untersuchungen einbezogen werden.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass prüftechnische Mängel im System mit Verfahrensoptimierung nicht behoben werden können. Weitere Forschungsarbeiten müssen daher eine Weiterentwicklung der Prüfgeräte zum Ziel haben.

Dübendorf, 7. Juni 1995

Der Sachbearbeiter:



O. Neubauer

EMPA Dübendorf

Strassenbau, Abdichtungen
Der Abteilungsvorsteher:



Dr. M. N. Partl

17. Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abbildung 1 Massgebende Polished Stone Values. PSV	9
Abbildung 2 Polished Stone Value. PSV, nach mehrmaligem Polieren, alle Mittelwerte der Messungen sind aus Tabelle 2 entnommen.	9
Abbildung 3 Polished Stone Value. PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein mehrmals poliert mit Feinkorund, alle Mittelwerte der Messungen sind aus Tabelle 3 entnommen.	12
Abbildung 4 Messwerte nach 2 h, 2 d, 34 d und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern. Werte aus Tabelle 4	12
Abbildung 5 Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, dargestellte Werte aus Tabelle 5	14
Abbildung 6 Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, dargestellte Werte aus Tabellen 6 und 7	15
Abbildung 7 Massgebende Polished Stone Values. PSV, nach Einlegen, Polieren, Messen	18
Abbildung 8 Der Gummigleiter ist stark angepresst EMPA Foto Nr. 102062/21	22
Abbildung 9 Der Gummigleiter hebt fast ab EMPA Foto Nr. 102062/22	22
Abbildung 10 Der verwendete Prüfkörper mit aufgeklebtem Schleifleinen, Breite 10 mm 23 EMPA-Foto Nr. 99'228/34 A	
Abbildung 11 Graphische Darstellung der Skalenwerte des Modellprüfkörpers	24
Abbildung 12 Skalenwerte der Prüfkörper in Laufrichtung des Prüfkörperrades und in entgegengesetzter Richtung gemessen	25
Abbildung 13 Differenzen der Skalenwerte und Mittelwert der Prüfkörper	25
Abbildung 14 Prinzipskizze, Zugabe von Feinkorund	27
Abbildung 15 Feinkorund wird vom Polierrad weggeschleudert	27
Abbildung 16 Aufnahme von "roten" Korundkörnern mit dem Stereomikroskop. Die Korundkörner erscheinen rötlich. Alle Körner weisen eckige bis sehr eckige Kanten auf EMPA-Foto Nr. 99'228/34 A	29

- Abbildung 17 Übersichtsaufnahme von "roten" Korundkörnern im Anlieferungszustand im Durchlicht. Die Korundkörner weisen sehr eckige Kanten auf
EMPA-Foto Nr. 99203/21 29
- Abbildung 18 Detailaufnahme eines "roten" Korundkorns im Anlieferungszustand. Die Kanten des Korundkorns erscheinen sehr eckig und weisen ausserdem Bruchflächen auf (Mahlprozess)
EMPA-Foto Nr. 99203/24 30
- Abbildung 19 Detailaufnahme eines "roten" Korundkorns unter gekreuzten Polarisatoren. Es handelt sich um ein Bruchstück (mit eckigen Kanten) eines Einkristalles
EMPA-Foto Nr. 99203/21 30
- Abbildung 20 Aufnahme von "schwarzen" Korundkörnern (Sieb = 0.125 mm) mit dem Stereomikroskop. Die Korundkörner erscheinen schwarz. Alle Körner weisen eckige bis sehr eckige Kanten auf
EMPA-Foto Nr. 99299/16 31
- Abbildung 21 Übersichtsaufnahme von "schwarzen" Korundkörnern im Anlieferungszustand im Durchlicht. Die Körner erscheinen opak (für das Licht undurchlässig). Sie weisen eckige Kanten auf
EMPA-Foto Nr. 99203/8 31
- Abbildung 22 Aufnahme von "schwarzen" Korundkörnern nach der Polierprüfung. Die Kanten der Korundkörner erscheinen sehr eckig, und keine Abrundung der Kanten wurde festgestellt
EMPA-Foto Nr. 99203/16 32
- Abbildung 23 Detailaufnahme eines relativ grossen "schwarzen" Korundkorns. Das Korundkorn erscheint nicht homogen, und durchsichtige Bereiche treten auf (hell in der
EMPA-Foto Nr. 99203/10 32
- Abbildung 24 Grobkorund: schwarze Körner bis ca. 1 mm Grösse mit bestäubter Oberfläche, daneben sind auch durchsichtige und braune Mineralkörner erkennbar
EMPA-Foto Nr. 100199/16 33
- Abbildung 25 Feinkorund: feines, bräunliches Pulver
EMPA-Foto Nr. 100199/17 33
- Abbildung 26 Grobkorund: Opake (undurchsichtige) Körner mit teils farblos durchsichtigen Randpartien
EMPA-Foto Nr. 100199/18 34
- Abbildung 27 Grobkorund: In den durchsichtigen Partien (siehe Abbildung 26) ist die Doppelbrechung des Korundes erkennbar
EMPA-Foto Nr. 100199/19 34

Abbildung 28	Feinkorund: feinkörnige Probe mit farblosen bis schwarzen Körnern mit Grössen bis ca. 50 m EMPA-Foto Nr. 100199/22	35
Abbildung 29	Feinkorund: die farblosen Partikel (siehe Abbildung 28) weisen deutliche Doppelbrechung auf EMPA-Foto Nr. 100199/21	35
Abbildung 30	Siebanalyse des "roten" Grobkorundes vor und nach der PSV-Prüfung, Durchgänge der Siebe in Masse-%	37
Abbildung 31	Siebanalyse des "schwarzen" Grobkorundes vor und nach der PSV-Prüfung, Durchgänge der Siebe in Masse-%	37
Abbildung 32	Röntgendiffraktionsanalyse des Grobkorundes	39
Abbildung 33	Röntgendiffraktionsanalyse des Feinkorundes	40
Abbildung 34	Polished Stone Value, PSV, Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA	44
Abbildung 35	Massgebende Polished Stone Value, PSV, mit Vergleichbarkeit	53

18. Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tabelle 1	Massgebende Polished Stone Values. PSV	9
Tabelle 2	Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein nur einmal mit Feinkorund poliert. Alle Mittelwerte der Messungen sind mit dem Mittelwert der beiden Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, nach einer einzigen Pol	10
Tabelle 3	Polished Stone Value, PSV, nach mehrmaligem Polieren, Kontrollgestein mehrmals poliert mit Feinkorund. Alle Mittelwerte der Messungen sind korrigiert worden mit dem Mittelwert der beiden Prüfkörper mit Kontrollgestein, englischer Splitt, die jew	11
Tabelle 4	Messwerte nach 2 h, 2 d, 34 d und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern	13
Tabelle 5	Differenzen der PSV-Werte nach verlängerter Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper, Mittelwerte aus Messwerten 3, 4, und 5 von jeweils 4 Prüfkörpern	13
Tabelle 6	Differenzen der Mittelwerte nach 2 h und 2 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper	14
Tabelle 7	Differenzen der Mittelwerte nach 2 h und 62 d Wasserlagerungsdauer der Prüfkörper	14
Tabelle 8	Massgebende Polished Stone Values. PSV, nach Einlegen, Polieren, Messen	17
Tabelle 9	Statistische Kennwerte der massgebenden Polished Stone Values, PSV, Anzahl, Mittelwerte, minimale und maximale Werte, Standardabweichungen	18
Tabelle 10	Skalenwerte des speziellen Prüfkörpers	23
Tabelle 11	Korngrössenvergleich des "roten" Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung	36
Tabelle 12	Korngrössenvergleich des "schwarzen" Grobkorundes vor und nach PSV-Prüfung	36
Tabelle 13	Name und Provenienz der untersuchten Mineralstoffe sowie Numerierung für die folgenden Tabellen 14 und 15	41
Tabelle 14	Auswertung multinationale Ringanalyse, 1. Messungen	42
Tabelle 15	Berechnete Werte der Gesteine; 1. Messungen, Mittelwert, Varianz der Wiederholbarkeit, Wiederholbarkeit, Varianz der Vergleichbarkeit und Vergleichbarkeit	42

Tabelle 16	Berechnete statistische Kennwerte für 1. Messungen aus Tabelle 13 ohne die Messwerte des Mineralstoffes Nr. 4, LD-Schlacke	43
Tabelle 17	Polished Stone Value, PSV, Vergleichende Untersuchungen zwischen LAVOC und EMPA	44
Tabelle 18	Massgebende Polished Stone Value. PSV	53

19. Literaturverzeichnis

Englische Norm BS 812, Teil 3, Ausgabe 1975

Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers, Part 3. Mechanical properties

British Standards Institution, 2 Park Street, London W1A 2BS

Englische Norm BS 812, Ausgabe 1990

Method for determination of the polished-stone value, part 114 : 1989

British Standards Institution, 2 Park Street, London W1A 2BS

Schweizer Norm SN 640 510 b, Ausgabe 1985

Griffigkeit, Messverfahren

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

Schweizer Norm SN 670 710 d, Ausgabe 1988

Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

J.R. Hosking and L.W. Tubey

Modifications of the PSV test: new solid tyres and control stone

Transport and Road Research Laboratory, Departement of the Environment,

Departement of Transport, Supplementary Report 743 (1983)

W. Humm, J. Junker, O. Neubauer

Polierwiderstand von Mineralstoffen, Polished Stone Value, PSV

Forschungsarbeit 10/86, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

EVED Nr. 184 (1989)

J. Weber, W. Studer

Untersuchungen zur Zertrümmerungsprüfung

Forschungsarbeit 8/86, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

EVED Nr. 193 (1990)

M. Zieger

Polierversuch, Teil III

Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Strassenforschung

Heft 385, Wien (1990)

20. Anhang

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Bestimmen des massgebenden Polished Stone Value, PSV	62
2.1. Geräte der EMPA	62
2.2. Poliergerät	62
2.3. Dosiervorrichtungen	64
2.4. SRT-Messgerät	64
2.5. Korund und Mineralstoffe	66
2.6. Prüfkörper	68
2.7. Ermitteln des Polished Stone Value, PSV	69
2. Petrographische Untersuchungen von 12 Mineralstoffen aus FA 10/86	72

1. Bestimmen des massgebenden Polished Stone Value, PSV

In diesem Forschungsbericht sind sämtliche Untersuchungsergebnisse gemäss der im folgenden beschriebenen Arbeitsvorschrift ermittelt worden.

2.1. Geräte der EMPA

Die Geräte der EMPA entsprechen den Anforderungen der BS 812, Teil 3, 1975, mit Ergänzungen von Husking und Tubey (1983) mit Ausnahme des Prüfkörperperrades sowie der Dosiervorrichtungen für Korund und Wasser. Diese sind im folgenden beschrieben.

2.2. Poliergerät

Poliergerät auf einem festen und ebenen Fundament aus Stein oder Beton festgeschraubt.

Prüfkörperperrad

Ein Prüfkörperperrad mit flacher Umfangsfläche, der Grösse und Form, das 14 Prüfkörpern auf der Umfangsfläche Platz bietet. Eine kontinuierliche Oberfläche von Prüfkörpern mit Gesteinskörnern von 45 mm Breite und 406 mm Durchmesser entsteht so.

Die EMPA-Dübendorf entwickelte Einzelklemmen für jeden Prüfkörper am Prüfkörperperrad, die jeden Prüfkörper separat auf die Umfangsfläche drücken (siehe Abb. 3). Somit kann das Prüfkörperperrad an der Poliermaschine belassen werden, wenn ein einzelner Prüfkörper ausgewechselt werden muss.

Diese Einzelklemmen gewährleisten ausserdem bei einer allfälligen Volumenabnahme der Kunststoffmasse von Prüfkörpern die vorgeschriebene Krümmung des Prüfkörpers trotzdem durch das Andrücken auf die Umfangsfläche des Prüfkörperrades.

Antrieb

Der Antrieb des Prüfkörperrades erfolgt mit einem elektrischen Motor. Während der Prüfdauer muss das Prüfkörperrad mit 320 ± 5 [U·min⁻¹] Umdrehungen pro Minute rotieren.

Polierreifen

Zwei Polierreifen, die mit Vollgummireifen ausgestattet sind, haben einen Durchmesser von 200 mm und eine Breite von 38 mm. Diese Polierreifen sind mit zwei verschiedenen Farben versehen, ein dunkel gekennzeichneter Polierreifen für den Grobkorund und ein hell gekennzeichneter für den Feinkorund. Der Gummi soll gemäss Herstellungskode 4454 der Avon Tire Ltd. gefertigt sein und eine Härte von 69 ± 3 IRHD aufweisen.

Vorbereiten neuer Polierreifen

Die Verwendung eines Polierreifens wird auf 40 Prüfungen beschränkt. Zeigen sich deutlich Verschleiss oder Beschädigungen der Gummibereifung, so ist der Polierreifen schon früher auszuwechseln.

Bevor neue Polierreifen für die Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, verwendet werden dürfen, ist mit demjenigen Poliermittel für welches sie verwendet werden, Grobkorund oder Feinkorund, wie bei einer tatsächlichen Prüfung, aber unter Verwendung von Reserveprüfkörpern, einmal eine Prüfung durchzuführen.

Kraft des Polierreifens auf das Prüfkörperrad

Eine Vorrichtung um die Lauffläche des entsprechenden Vollgummireifens mit einer Gesamtkraft von 725 ± 10 N auf das Prüfkörperrad aufzupressen. Prüfkörperrad und Polierreifen sollen dabei frei um ihre Achsen, die parallel liegen, rotieren können.

Eine Entlastungsvorrichtung muss vorhanden sein, die sicherstellt, dass der Polierreifen beim Stillstand der Prüfmaschine nicht belastet wird, da sonst die Gefahr einer Deformation des Vollgummireifens besteht.

Metallformen zur Herstellung der Prüfkörper

Exakt gearbeitete Metallformen zur Herstellung der Prüfkörper mit den Abmessungen 90.6 • 44.5 mm sind zur Herstellung der Prüfkörper zu verwenden.

2.3. Dosiervorrichtungen

Da die Dosiergeräte nach BS 812, Teil 3, 1975 mit Ergänzungen vom 31.3.1983 kaum einstellbar sowie reparaturanfällig sind beschaffte die EMPA geeignete Präzisions-Dosiergeräte, die eine grundsätzlich andere Bauart aufweisen als die Original-Dosiervorrichtungen. Vorteile dieser Dosiergeräte sind genügender Platz für Wasser und Korund für die gesamte Polierdauer von 3 h ohne nachzufüllen. Die Dosiervorrichtungen sind einfach einstellbar. Die Dosiermengen ändern während der gesamten Polierdauer nicht.

Dosiervorrichtungen für Grob- und Feinkorund

Die Dosiervorrichtungen für Grob- sowie Feinkorund sind Trichter mit bewegten Seitenwänden, die am tiefsten Ort mit einer Förderschnecke variabler Rotationsgeschwindigkeiten die Dosiermengen der Korunde während der gesamten Prüfdauer unverändert gewährleisten.

Dosiervorrichtung für Wasser

Die EMPA benützt als Dosiervorrichtung für Wasser eine Schlauchpumpe mit stufenlos regulierbarer Drehzahl, die zusammen mit dem optimalen Schlauchdurchmesser für die Arbeitsgeschwindigkeit des Antriebsmotors während beliebig langer Zeitdauer die gleiche Wassermengen pro Zeiteinheit fördert. Das Wasser ist immer über einen separaten Laufkanal auf das Prüfkörperrad zu leiten.

2.4. SRT-Messgerät

Ein Griffigkeitsmesser, der in Lizenz nach den Plänen des TRRL hergestellt worden ist mit Zusatzskala zum Bestimmen des Polished Stone Value, PSV, im Laboratorium.

Einstellen des Messgerätes

Das Gerät muss auf einer festen, waagerechten Unterlage lose aufgestellt sein, und die Fussrauben sind so zu justieren, dass die Hauptsäule vertikal steht. Dann wird die Aufhängungsachse des Pendelarmes so weit angehoben, dass der Arm frei schwingen kann. Die Reibung am Zeigermechanismus muss so eingestellt sein, dass dieser nach der Auslösung des Pendels aus der horizontalen Ausgangsposition genau im Nullpunkt der Skala zum Stillstand kommt.

Die Abteilung 174 -Konstruktion und Werkstatt der EMPA-Dübendorf entwickelte für dieses Messgerät einen stabilen Unterbau mit Arbeitshilfen für das Einspannen der Prüfkörper und Messen des Polished Stone Value, PSV.

Kalibrierung des Reibungsmessers

Die Kalibrierung des Gerätes soll mindestens einmal alle 2 Jahre überprüft werden. Sie wird in der Schweiz vom Institut für Verkehrsplanung und -technik, IVT, der ETH-Zürich vorgenommen.

Für die Bestimmung des Polished Stone Value, PSV, der Mineralstoffe ist eine Zusatzskala erforderlich wegen der kleinen Gummigleiter. Bei Laboruntersuchungen ist die Gleitlänge mit 76 mm und der Breite von 31.8 mm kleiner als die Gleitlänge von 126 mm und der Breite von 75 mm, die für die Messungen auf der Strasse verwendet wird.

Pendelarm

Eine Halterung mit Auslöser für den Pendelarm, so dass er frei aus einer horizontalen Stellung fallen kann.

Die Masse des Pendelarms einschliesslich des Gummigleiters soll 1500 ± 30 g betragen. Der Schwerpunkt des Pendelarmes soll 410 ± 5 mm vom Aufhängungspunkt entfernt sein.

Die Höhe der Aufhängungsachse des Pendelarmes so einstellen, dass der Gummigleiter mit seiner vollen Breite den Prüfkörper auf einer Länge von 76.0 mm überstreicht. Die Gleitlänge so genau als visuell möglich, auf jeden Fall innerhalb der Toleranzen von ± 0.5 mm einstellen.

Schleppzeiger

Ein Schleppzeiger, der mit dem Pendelarm gekoppelt ist und die Pendelposition beim Vorwärtsschwingen auf der kreisförmigen Skala anzeigt. Der Zeiger darf nicht schwerer als 85 g sein. Die Reibung des Zeigermechanismus muss so verstellbar sein, dass die äussere Spitze des 300 mm langen Zeigers am Umkehrpunkt des Pendels 10 mm unter der Horizontalen stehenbleibt.

Gummigleiter

Einen federgespannten Gummigleiter so am Pendelarm des Messgerätes montieren, dass das Ende zirka 510 mm von der Pendelachse entfernt ist. Der Gummigleiter, ein Gummiblock von 31.8 mm Länge, 24.4 mm Breite und 6.4 mm Dicke und einer Gesamtmasse von 20 ± 5 g, ist auf eine starre Trägerplatte als Unterlage geklebt.

Der Gummigleiter muss sich seitlich ungehindert um seine Achse neigen können, damit er Unebenheiten, die senkrecht zur Pendelspur aus der Prüffläche ragen, ohne Schwierigkeiten folgen kann. Der Gummigleiter wird mit einer Feder gegen die Prüffläche gedrückt. In der mittleren Position des Gummigleiters beträgt die statische Last 22.2 ± 0.5 N.

Die Härte des Gummigleiters muss nach IRHD (International rubber hardness degrees), gemäss BS 903 bestimmt, 55 ± 5 Einheiten betragen.

Der Gummigleiter muss den Anforderungen nach Tabelle 19 genügen.

Temperatur	°C	0	10	20	30	40
Elastizität	% *	43 - 49	58 - 65	66 - 73	71 - 77	74 - 79
Härte	IRHD **	55 ± 5				

Tabelle 19 Anforderungen an die Gummigleiter

- * Lüpke-Rückfederungstest nach BS 903, Teil A 8
- ** Internationaler Gummi Härte-Grad, International rubber hardness degrees, nach BS 903, Teil A 26

Die Kanten des Gummigleiters müssen rechtwinklig und sauber geschnitten sein. Der Gummi muss frei von Verunreinigungen sein (Korund, Öl usw.). Keinen Gummigleiter verwenden, der älter als ein Jahr ist.

Den Gummi in Platten oder bereits auf Grösse des Gummigleiters geschnitten in Dunkelheit bei Temperaturen unter 6 °C lagern.

Vorbereiten des Gummigleiters

Einen neuen Gummigleiter vor seiner Verwendung durch fünf Messungen auf der trockenen Oberfläche eines polierten Prüfkörpers aus Criggion Diabas und danach mit 20 weiteren Messungen auf nasser Oberfläche desselben Prüfkörpers vorbereiten. Diese Prüfkörper aus Criggion Diabas können wiederholt verwendet werden. Durch das wiederholte Messen sinkt der Polished Stone Value, PSV, des Prüfkörpers ab, und wenn er unter 55 liegt, soll der Prüfkörper mit Criggion Diabas ausgewechselt werden.

Jede Kante des Gummigleiters darf benützt werden. Ein Gummigleiter, der durch wiederholten Gebrauch Kerben oder stark zerkratzte Kanten aufweist, ist auszutauschen, da er zu falschen, für gewöhnlich zu hohen, Ergebnissen führt.

Vor jeder Messreihe den Gummigleiter mit einem Prüfkörper aus Criggion Diabas überprüfen und den gemessenen Wert protokollieren.

2.5. Korund und Mineralstoffe

Prüfsiebe

Für Grob- und Feinkorund Maschensiebe verwenden.

Für die Mineralstoffe Prüfsiebe mit 8.0 mm und 11.2 mm Quadratlochblechen, gemäss Schweizer Norm SN 670 808 a, verwenden.

Grobkorund

Grobkorund nur einmal für die Prüfung verwenden.

Korngrössenverteilung:	Maschensieb in mm	Durchgang in Masse-%		
	0.600	98	...	100
	0.500	70	...	100
	0.425	30	...	90
	0.355	0	...	30
	0.300	0	...	5

Feinkorund

Feiner gewaschener Naturkorund, der vollständig durch das 0.053 mm Prüfsieb gewaschen werden kann.

Kontrollgestein, englischer Splitt

Englischer, dunkelgrauer, homogener Splitt, der den Bezugswert für die Korrektur des Messwertes von Mineralstoffen liefert.

Die Polished Stone Values, PSV, für das Kontrollgestein, englischen Splitt, sind in der üblichen Weise zu bestimmen.

Liegen die Messwerte des Kontrollgesteins über 59 oder unter 51, wird diese Prüfung als unbrauchbar ausgeschieden, und es sind alle nötigen Veränderungen vorzunehmen, um sicherzustellen, dass der Mittelwert von zwei neuen Messungen an den Prüfkörpern, mit Kontrollgestein englischer Splitt, nach der Polierprüfung im Bereich zwischen 51 und 59 liegt.

Splitt Criggion Diabas

Gestein aus Criggion Diabas, zum Vorbereiten neuer, noch ungebrauchter Gummigleiter.

Zwecks Überprüfung des Gummigleiters soll ein Vorrat von Prüfkörpern mit Splitt aus Criggion Diabas, die in der vorgeschriebenen Weise hergestellt und poliert wurden, angelegt werden. Ihre Messwerte müssen zwischen 59 und 66 liegen. Die Prüfkörper sind zu numerieren und die Messwerte sind zusammen mit den Prüfkörpernummern zu protokollieren. Die Prüfkörper sind lufttrocken in einem verschlossenen Behälter für spätere Benützung aufzubewahren.

Mineralstoffe

Die Körner des Kontrollgesteins, englischer Splitt, sowie diejenigen der zu prüfenden Splitte, die zur Herstellung der Prüfkörper verwendet werden, müssen durch das 11.2 mm Quadratlochsieb fallen und auf dem 8 mm Quadratlochsieb liegen bleiben. Sie müssen vor der Herstellung der Prüfkörper gewaschen und getrocknet werden und dürfen nicht plattig oder stengelig sein.

Plattige und stengelige Splittkörner können mit einem Sieb mit Schlitzlöchern vom brauchbaren Splittanteil entfernt werden. Die Abmessungen der Schlitzlöcher sind 10 mm • 14 mm. Die angelieferte Mineralstoffmenge muss mindestens 3 kg geeignete Splittkörner enthalten.

Die Oberfläche der Prüfkörper, deren Splittkörner der polierenden Wirkung des Polierreifens ausgesetzt sind, muss die durchschnittliche Beschaffenheit des angelieferten Splittes repräsentieren.

2.6. Prüfkörper

Herstellen der Prüfkörper mit Epoxid-Harz

Von jedem zu prüfenden Splitt sind vier Prüfkörper herzustellen und zu prüfen. Vom Kontrollgestein, englischer Splitt, sind für jedes Prüfkörperrad zwei Prüfkörper pro Polierung herzustellen und als Referenz mitzuprüfen.

Jeder Prüfkörper besteht aus einer einzigen Lage von 42 ± 5 in Epoxidmörtel eingebetteten Splittkörnern, die so eng wie möglich angeordnet sind und eine Fläche von 90.6 • 44.5 mm ausfüllen.

Splittkörner mit natürlicher, flacher Oberfläche nach unten möglichst flächendeckend in die Form zum Herstellen der Prüfkörper einlegen. Zwischenräume zwischen den Körnern bis zu ungefähr einem Drittel ihrer Höhe mit feinem Sand (< 0.212 mm) füllen. Diesen feinen Sand mit einem feinen Haarpinsel gleichmässig in den Zwischenräumen der Splittkörner verteilen. Den Epoxidmörtel in einem Becher mischen. Das genaue Mischungsverhältnis hängt von dem verwendeten Epoxid und der Umgebungstemperatur ab.

Epoxidmörtel in zwei Lagen eingiessen. Erste Lage zähflüssig bis an die Gesteinsoberfläche auffüllen und dann zirka eine Stunde erhärten lassen. Mit der zweiten Schicht einer streichbaren, pastenähnlichen Epoxid-Masse die Metallform überfüllen. Mit dem Spachtel überschüssigen Epoxidmörtel bis zu den Rändern der Form abstreifen. Nach vollständiger Erhärtung des Epoxidmörtels die Prüfkörper aus der Form nehmen und den losen Sand an der Prüfkörperoberseite und zwischen den Splittkörnern mit einer Bürste mit steifen Borsten unter fliessendem Wasser entfernen. Nach weiteren 30 Minuten Lagerdauer können die Prüfkörper einer Polierprüfung unterzogen werden.

Damit Epoxid-Masse und Metallform nicht zusammenkleben benutzt die EMPA das Formentrennmittel QZ 13 eines bekannten Herstellers.

Qualität der Prüfkörper

Alle Prüfkörper kritisch untersuchen. Prüfkörper, bei denen Epoxidmörtel oder Epoxid bis an die Splittoberseite gedrungen ist oder die Splittkörner verschoben worden sind, dürfen nicht zur Prüfung verwendet werden. Solche mangelhaften Prüfkörper müssen durch neu hergestellte, fehlerfreie Prüfkörper ersetzt werden.

Die Oberseite der Prüfkörper muss in der Querrichtung eben sein, in der Längsrichtung jedoch eine Krümmung von 406 mm Durchmesser aufweisen. Jeder fertige Prüfkörper weist die

natürliche Oberfläche der Körner ohne scharf herausragende Kanten zum Polierreifen hin auf. Er ist mindestens 12.5 mm dick und seine Unterseite hat die gleiche Krümmung wie die Aussenfläche des Prüfkörperperrades des Poliergerätes.

Vorbereiten der Prüfkörper für das Bestimmen der Messwerte

Nach dem Polieren das Prüfkörperperrad mit den Prüfkörpern vom Poliergerät nehmen und unter fliessendem Wasser gründlich waschen bis alle Spuren von Feinkorund entfernt sind. Korund, der sich zwischen den Splittkörnern festsetzt, ist mit einer Bürste mit steifen Borsten entfernen. Die geringste Spur von Korund auf oder zwischen den Splittkörnern verfälscht die Messwerte. Die Prüfkörper nach dem Waschen mit der Oberseite nach unten in einem Wasserbad mit einer Temperatur von $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ während mindestens einer halben Stunde lagern. Dann die Messungen durchführen. Die Prüfkörper dürfen vor den Messungen keinesfalls austrocknen.

Einspannen der Prüfkörper in die Halterung

Eine Halterung, um die gekrümmten Prüfkörper der Länge nach in der Mitte der Pendelspur zentrisch unter der Pendelachse festzuklemmen.

Prüfkörper mit der langen Seite in Pendelrichtung in der Halterung fest einspannen. Der Gummigleiter muss den Prüfkörper zentrisch und in der Richtung passieren, in der dieser vom Polierreifen befahren wurde. Dies ist entgegen der Drehrichtung des Prüfkörperperrades. Um dies sicherzustellen, sind die Prüfkörper vor der Prüfung an einer Längsseite mit einer Markierung zu versehen. Ist diese Markierung beim Polieren auf der Seite, von der aus gearbeitet wird, so muss sie beim Messen des Polished Stone Value, PSV, auf der gegenüberliegenden Seite sein.

2.7. Ermitteln des Polished Stone Value, PSV

Die Polierprüfung bei Temperatur $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durchführen.

Numerieren und Aufsetzen der Prüfkörper auf das Prüfkörperperrad.

Vierzehn Prüfkörper folgendermassen numerieren:

Prüfkörper 1 - 4	1. Splitt	* Müssen durch Reserve-Prüfkörper ergänzt werden, wenn weniger als drei Splitte zu untersuchen sind
Prüfkörper 5 - 8*	2. Splitt	
Prüfkörper 9 - 12*	3. Splitt	
Prüfkörper 13 und 14	Kontrollgestein englischer Splitt	

Die Prüfkörper sind an einer Längsseite mit einer Markierung zu versehen. Ist diese Markierung beim Polieren auf der Seite von der aus gearbeitet wird, so muss sie beim Messen des Polished Stone Value, PSV, auf der gegenüberliegenden Seite sein. Die Prüfkörper auf der Umfangsfläche in Drehrichtung des Prüfkörperperrades in der Reihenfolge der Nummern 13, 4, 5, 8, 7, 1, 10, 14, 3, 11, 12, 2, 6, 9 festklemmen. Zwischenräume mit einem geeigneten Passtück ausfüllen.

Dosierung von Grobkorund und Wasser

Der dunkel gekennzeichnete Polierreifen und die dunkel gefärbte Dosiervorrichtung für den Grobkorund montieren.

Grobkorund und Wasser für die Dauer von 3 Stunden $\pm$ 1 Minute kontinuierlich und gleichmässig direkt auf das Prüfkörperrad in der Nähe der Berührungsstelle zwischen Polierreifen und Prüfkörpern verteilen.

Grobkorund	1.62 ± 0.42	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
Wasser	1.62 ± 0.42	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$

Nach drei Stunden Poliermaschine und Prüfkörper sorgfältig waschen, bis keine Spur des Grobkorundes mehr vorhanden ist.

Dosierung von Feinkorund und Wasser

Den hell gekennzeichneten Polierreifen und die hell gefärbte Dosiervorrichtung für den Feinkorund montieren.

Feinkorund und Wasser für die Dauer von 3 Stunden $\pm$ 1 Minute kontinuierlich und gleichmässig direkt auf das Prüfkörperrad in der Nähe der Berührungsstelle zwischen Polierreifen und Prüfkörpern verteilen, mit dem Unterschied, dass der Feinkorund direkt von oben auf den Polierreifen und das Wasser über einen Laufkanal auf die Prüfkörperoberseite auf dem Prüfkörperrad aufgegeben werden.

Feinkorund	0.18 ± 0.060	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
Wasser	0.36 ± 0.060	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$

Nach Total 6 Stunden Polierdauer ist die Prüfung beendet.

Der Polierreifen muss mit der Entlastungsvorrichtung vom Prüfkörperrad abgehoben werden, denn er darf nur belastet sein, wenn Prüfungen durchgeführt werden.

Bestimmen der einzelnen Messwerte

Messgerät inklusive Gummigleiter und Wasser müssen vor den Messungen mindestens zwei Stunden Zeit haben sich der Raumtemperatur von $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ anzupassen.

Prüfkörper und Gummigleiter unmittelbar vor der Messung mit einer Spritzflasche reichlich mit sauberem Wasser benetzen. Pendel und Schleppzeiger auslösen und die Zeigerablesung notieren. Diesen Vorgang fünfmal wiederholen, wobei jedesmal neu benetzt werden muss. Alle Ablesungen zusammen mit der Prüftemperatur und den Prüfkörpernummern protokollieren.

Die Prüfkörper in folgender Reihenfolge messen :

- Nummern 13, 1, 3, 5, 7, 9, 11 mit der einen Kante des Gummigleiters und
- Nummern 12, 10, 8, 6, 4, 2, 14 mit der anderen Kante desselben Gummigleiters.

Berechnen des massgebenden Polished Stone Value, PSV

Arithmetischen Mittelwert aus jeweils den drei letzten Messwerten der vier Prüfkörper eines untersuchten Splittes berechnen. Aus den drei letzten Messwerten dieser vier Prüfkörper die Differenzen zwischen dem grössten und dem kleinsten Messwert berechnen und auf eine Dezimale runden. Ist die Spannweite zwischen dem grössten und dem kleinsten Messwert grösser als 5 Einheiten, so ist das Ergebnis dieser Prüfung zu verwerfen und die Prüfung ist mit neuen Prüfkörpern zu wiederholen.

Messen des Kontrollgesteins, englischer Splitt, und Korrektur des Polished Stone Value, PSV. Den Mittelwert der drei letzten Messwerten der beiden Prüfkörper aus Kontrollgestein, englischer Splitt, auf 1 Dezimale runden.

Liegt der Polished Stone Value, PSV, des Kontrollgesteins, englischer Splitt, nicht im Bereich von 51 bis 59, so sind alle Ergebnisse dieser Prüfung zu verwerfen, und die gesamte Durchführung der Prüfung ist zu kontrollieren. Es sind alle nötigen Veränderungen vorzunehmen, um sicherzustellen, dass der Polished Stone Value, PSV, von zwei neuen Prüfkörpern mit Kontrollgestein, englischer Splitt, nach der Polierprüfung im Bereich zwischen 51 und 59 liegt.

Der Polished Stone Value, PSV, errechnet sich aus dem Mittelwert der drei letzten Messwerte der vier Prüfkörper und dem Mittelwert der beiden Prüfkörper aus Kontrollgestein, englischer Splitt, unter Verwendung folgender Formel:

$$\text{Polished Stone Value, PSV} = \frac{52)^1 \cdot \text{Mittelwert aus Messungen der Prüfkörper}}{\text{Mittelwert aus Messungen des Kontrollgesteins, englischer Splitt}}$$

Die Mittelwerte auf 1 Dezimale gerundet in die Formel einsetzen. Das Ergebnis als ganze Zahl angeben, dabei 0.5 und höher aufrunden.

)¹ Mittelwert des Kontrollgesteins, englischer Splitt, aus Ringuntersuchung 1982 in England.

2. Petrographische Untersuchungen von 12 Mineralstoffen aus FA 10/86

Für die Untersuchungen sind den 12 Mineralstoffen Buchstaben zugeordnet in alphabetischer Reihenfolge von A bis N ohne den Buchstaben J. Vom Steinbruch mit der Bezeichnung L sind keine Mineralstoffe für diese Abklärungen geschickt worden.

Splitt, Provenienz A

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Mittelgraue bis rotbräunliche, fein- bis mittelgrobkörnige, quarzreiche alpine Sandsteine aus Flysch-Formationen; teilweise schwach mit Phyllitschiefern durchsetzt; sehr fest und kompakt; hart	97
Dunkelgraue bis schwarze, stark mit Phyllitschiefern durchsetzt; wenig fest und gut spaltbar; frostgefährdet; mittelhart bis weich	3

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	97
Anteil an mittelharten Körnern	2
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	27
Anteil an kubischen Körnern	73
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 20 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz B

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Hell- bis dunkelgraue, sehr feinkörnige ("dichte") alpine Kalksteine; teilweise leicht bis stark dolomitisch; fest und kompakt; mittelhart	64
Hellgraue bis violettrote oder rosafarbige, feinkörnige Dolomitgesteine; z.T. marmorartig vermengt; fest und kompakt; mittelhart	36

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	0
Anteil an mittelharten Körnern	100
Anteil an weichen Körnern	0

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	20
Anteil an kubischen Körnern	80
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 21 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz C

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Hellbraune bis braungraue, meist volithische Kalksteine von Jura-Typen; teilweise mit weissen Kalkspatadern, mit Nähten und Suturen durchsetzt; sehr feinkörnige Gesteine; mittelhart	93
Hell- bis dunkelgraue Jurakalksteine von der gleichen Art beschrieben; meist volithische Kalksteine von Jura-Typen; teilweise mit weissen Kalkspatadern, mit Nähten und Suturen durchsetzt; sehr feinkörnige Gesteine; mittelhart	7
Weisse, grobkristalline und daher brüchige Kalkspatanteile aus Adern weich	0

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	0
Anteil an mittelharten Körnern	100
Anteil an weichen Körnern	0

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	19
Anteil an kubischen Körnern	81
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 22 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz D

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Dunkelgraue bis schwarze, sehr feinkörnige Kieselkalke; meist massig; untergeordnet leicht geschiefert; vereinzelt in Hornstein und in Sandkalke übergehend; sehr fest und kompakt; hart	92
Dunkelgraue bis braune, sehr feinkörnige alpine Kalksteine; zum Teil leicht spätig und sandig; fest und kompakt; mittelhart	7
Weisse grobkristalline Kalkspatanteile aus Adern sowie vereinzelte Schieferpartikel; weich	1

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	92
Anteil an mittelharten Körnern	7
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	47
Anteil an kubischen Körnern	53
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 23 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz E

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Dunkelgraue bis graugrünliche, aus fein- bis mittelgrobkörnigem Kalksilikatfels; teilweise in Silikatmarmore übergehend; meist deutlich biotithaltig; fest und kompakt; hart	36
Dunkelgraue bis braungraue, leicht spätige Kalksilikatmarmore; zum Teil in Silikatfels übergehend; meist reich an Biotit und deshalb ziemlich brüchig; hart bis mittelhart	54
Hellgraue, zum Teil grobkristalline Kalkmarmarmore; wenig Silikat führend; ziemlich brüchig; mittelhart	6
Quarz aus Adern; fest und kompakt; hart	2
Grobkristalline Kalkspatanteile aus Adern sowie leicht spaltbare Biotitschiefer; daneben vereinzelte, angewitterte Gesteine; brüchig und weich	2

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	65
Anteil an mittelharten Körnern	33
Anteil an weichen Körnern	2

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	27
Anteil an kubischen Körnern	73
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 24 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz F

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Mittelgraue meist feinkörnige quarzreiche alpine Sandsteine aus Flysch-Formationen; meist glimmerführend; teilweise mit Kalkspatadern durchsetzt; fest und kompakt; hart	87
Dunkelgraue sehr feinkörnige Kieselkalke; meist leicht geschiefert; fest und kompakt; hart	11
Dunkelgraue bis schwarze Phyllitschiefer; leicht spaltbar und frostgefährdet; weich	2

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	98
Anteil an mittelharten Körnern	0
Anteil an weichen Körnern	2

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	56
Anteil an kubischen Körnern	44
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 25 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 6/10 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz G

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Hellgraue, feinkörnige, quarz- und hornsteinreiche Sandsteine von Typus der Flyschsandsteine; z.T. leicht phyllitisch, sonst grösstenteils völlig massig, sehr fest und kompakt; hart	86
Deutlich mit Phyllitschiefern durchsetzte Anteile etwas leicht spaltbar, jedoch noch hart	5
Dunkelgraue, sehr feinkörnige Kieselkalke; fest und kompakt; hart	4
Quarzanteile aus Adern; hart	2
Kalksteine, meist etwas sandig; mittelhart	1
Dunkelgraue Phyllitschiefer; weich und frostgefährdet	2

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	97
Anteil an mittelharten Körnern	1
Anteil an weichen Körnern	2

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	54
Anteil an kubischen Körnern	46
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 26 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 8/11.2 mm, ausgesiebt mit Quadratlochsieb)

Splitt, Provenienz H

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Graue bis rostbräunliche, meist feinkörnige und quarzreiche Sandsteine von alpinen Typen; zum Teil in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	39
Dunkelgraue bis gelbbraunliche Kiesel- und Sandkalke; teilweise in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	24
Kristalline Gesteine (Granite, Quarzite, Grünsteine) sowie zahlreiche Hornsteine; untergeordnet Quarz aus Adern; druckfest und kompakt, jedoch etwas spröde; hart	22
Hell- bis dunkelgraue, sehr feinkörnige alpine Kalksteine sowie Dolomitgesteine (ca. 3:2); teilweise leicht sandig bis kieselig; fest und kompakt; mittelhart	14
Weiche und poröse angewitterte Gesteine sowie grobkristalline brüchige Kalkspatanteile aus Adern	1

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	85
Anteil an mittelharten Körnern	14
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	13
Anteil an kubischen Körnern	87
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	75
Anteil an teilweise runden Körnern	25

Tabelle 27 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz I

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Kristalline Gesteine (Granite, Quarzite, einzelne Grünsteine) sowie Quarz- und Hornsteinkörner aus Adern und aus Knauern; druckfest und kompakt, jedoch etwas spröde; hart	52
Graue bis rostbräunliche, meist feinkörnige und quarzreiche alpine Sandsteine; zum Teil in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	26
Dunkelgraue, feinkörnige Kiesel- und Kalke; zum Teil in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	13
Meist hellbräunliche, sehr feinkörnige Kalksteine von Jura-Typen; daneben vereinzelte alpine Kalksteine; teils leicht sandig bis kieselig; fest und kompakt; mittelhart	8
Weiche und poröse angewitterte Gesteine und grobkristalline Kalkspatanteile aus Adern	1

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	91
Anteil an mittelharten Körnern	8
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	27
Anteil an kubischen Körnern	73
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	84
Anteil an teilweise runden Körnern	16

Tabelle 28 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz K

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Graue bis rostbräunliche, meist feinkörnige und quarzreiche alpine Sandsteine; teilweise in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	41
Dunkelgraue, meist sehr feinkörnige Kiesel- und Sandkalke; zum Teil in Hornstein übergehend; fest und kompakt; hart	25
Kristalline Gesteine (Granite, Quarzite, einzelne Grünsteine) sowie zahlreiche Hornsteine aus Knauern; untergeordnet auch Quarz aus Adern; druckfest und kompakt, jedoch etwas spröde; hart	17
Dunkelgraue bis braungraue, sehr feinkörnige Kalksteine von alpinen Typen; vereinzelte Dolomitgesteine; mittelhart	16
Weiche und poröse angewitterte Gesteine sowie grobkristalline, brüchige Kalkspatanteile aus Adern	1

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	83
Anteil an mittelharten Körnern	16
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	18
Anteil an kubischen Körnern	82
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	77
Anteil an teilweise runden Körnern	23

Tabelle 29 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

Splitt, Provenienz M

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Hellgraue, meist feinkörnige kristalline Gesteine (Granite, Glimmergneise) sowie weisse alpitische Gesteine und Quarzite, beziehungsweise Quarz aus Adern; druckfest und kompakt, jedoch etwas spröde und brüchig; hart bis mittelhart	52
Dunkelgraue feinkörnige Sandkalke; zum Teil in Hornsteine und in Sandsteine übergehend; fest und kompakt; hart	18
Dunkelgraue, sehr feinkörnige Kieselkalke; fest und kompakt; hart	9
Hell- bis dunkelgraue, feinkörnige bis marmorisierte alpine Kalksteine; zum Teil sandig; fest und kompakt; mittelhart	19
Weiche und spröde, spaltbare Glimmerschiefer und vereinzelte angewitterte Gesteine	2

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	65
Anteil an mittelharten Körnern	33
Anteil an weichen Körnern	2

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahi-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	30
Anteil an kubischen Körnern	70
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	81
Anteil an teilweise runden Körnern	19

Tabelle 30 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 8/11.2 mm, ausgesiebt mit Quadratlochsieb)

Splitt, Provenienz N

petrographische Zusammensetzung	Anteile in Masse-%
Dunkelgraue, feinkörnige Kiesel- und Sandkalke; teilweise in alpine Sandsteine und in Hornsteine übergehend; fest und kompakt; hart	89
Graue bis rostbräunliche, feinkörnige alpine Sandsteine und vereinzelte Quarzanteile aus Adern; fest und kompakt; hart	8
Hell- bis dunkelgraue, sehr feinkörnige alpine Kalksteine; zum teil leicht sandig bis kieselig; fest und kompakt mittelhart	2
Stark phyllitisch durchsetzte schiefrige Partikel; leicht spaltbar und frostempfindlich	1

Härte	Anteile in Masse-%
Anteil an harten Körnern	97
Anteil an mittelharten Körnern	2
Anteil an weichen Körnern	1

Kornform und Kornrundung	Anteile in Zahl-%
Kornform	
Anteil an nichtkubischen Körnern	24
Anteil an kubischen Körnern	76
Kornrundung	
Anteil an Rundkorn	0
Anteil an Brechkorn	100
Anteil an teilweise runden Körnern	0

Tabelle 31 Petrographische Untersuchungen
(Splitt 10/16 mm, ausgesiebt mit Rundlochsieb)

