

Shell (Switzerland)

 **Shell Bitumen**

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



Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen

Grundlagen zur Normierung

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Strassenbau
Forschungsauftrag 10/90

G. Rehmann, Technischer Berater Bitumen, Shell (Switzerland)
Dr. R. Gubler, wissenschaftlicher Adjunkt, EMPA

Shell Nr. 47'99 / EMPA Nr. 128'864
CH-6340 Baar / 8600 Dübendorf

Juni 1995

Forschungs-Bericht FA 10/90, Inhaltsverzeichnis

1.	<i>Einleitung</i>	8
1.1	Ausgangslage, Problemstellung	8
1.2	Zweck der Prüfung	10
1.3	Auftrag	10
1.4	Abänderung, Erweiterung	11
2.	<i>Evaluation des Prüfverfahrens</i>	12
2.1	Passive Umhüllung	12
2.2	Aktive Umhüllung	12
2.3	Mechanische Prüfungen	12
2.4	Entscheid der Forschungsstelle in Absprache mit der Subkommission	12
2.5	Programm für die Voruntersuchungen	13
3.	<i>Auswahl der untersuchten Materialien</i>	14
3.1	Mineralstoffe	14
3.2	Bindemittel	17
4.	<i>Evaluation des Auswerteverfahrens</i>	19
4.1	Visuelle Schätzung am Mischgut	19
4.2	Visuelle Schätzung am fotografischen Bild	19
4.3	Schall-Reflexion	20
4.4	Zwei-Kanal-Farbanalysator	20
4.5	Bild-Auswertegerät, Schwellenwerterkennung der Helligkeit	21
4.6	Video-Digital-Analysator	22

4.7	Helligkeitsmessung des reflektierten Lichts im Rotbereich	22
4.8	Nachweis durch chemische Reaktion	24
5.	<i>Voruntersuchungen</i>	26
5.1	Festlegen des Verfahrens	26
5.2	Einfluss der Mineralstoffe	31
5.3	Einfluss der Bitumensorte	34
5.4	Einfluss der Bitumenherkunft	35
5.5	Einfluss der Art und Konzentration des Haftmittels	36
5.6	Einfluss der Lagerungsdauer	38
6.	<i>Durchführen der Ringversuche</i>	42
6.1	Kleiner Ringversuch, 4 Laboratorien	42
6.2	Folgerungen für das Durchführen des grossen Ringversuches	42
6.3	Grosser Ringversuch mit 20 Laboratorien	42
6.4	Auswertung der Zusendungen	43
6.5	Tafel mit Testfeldern als Hilfsmittel	43
6.6	Zweite Auswertung durch die Laboratorien	47
6.7	Auswertung Methode Dr. Gubler durch die Laboratorien	47
6.8	Nachträgliche Wasserlagerung 1 Stunde bei 70 °C	47
6.9	Auswerteverfahren mittels Musterbildern	47
7.	<i>Ergebnisse der Untersuchungen</i>	51
7.1	Resultate des kleinen Ringversuches	51
7.2	Resultate des grossen Ringversuches ohne Unterstützung durch visuelle Hilfsmittel	54
7.3	Schätzen des Schwarzanteiles von Testfeldern	64

7.4	Resultate des grossen Ringversuches mit Unterstützung durch visuelle Hilfsmittel	70
7.5	Resultate des grossen Ringversuches mit Auswertung anhand von Kornbildern	73
7.6	Resultate nach einer zusätzlichen Wasserlagerung bei 70 °C	75
7.7	Bestimmen des Abkühlverhaltens nach dem Mischen	75
7.8	Beurteilung der Empfindlichkeit der Prüfungen auf Einflussfaktoren	75
7.9	Verfahrensvorschlag	77
8.	<i>Schlussfolgerungen</i>	82
8.1	Schlussfolgerungen der Verfahrensvergleiche	82
8.2	Abschätzen der Vergleichbarkeit	84
8.3	Aussagefähigkeit der Methode	85
8.4	Forschungsbedarf	85
9.	<i>Literaturverzeichnis</i>	87
10.	<i>Dank</i>	87

Anhang

Zusammenfassung

Das Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen ist ein bedeutender Einflussfaktor auf die Lebensdauer eines bituminösen Belages. Mangelhaftes Haften des Bindemittels an den Mineralstoffen bewirkt zuerst ein Verdrängen des Bindemittelfilms von der Gesteinsoberfläche. Durch den rollenden Verkehr wird der so geschwächte Belag einem Walkprozess unterworfen, bei dem dann der Bindemittelfilm völlig vom Mineralstoffkorn abgerissen wird; es entsteht ein sekundärer Schaden.

In der Schweiz existiert keine Norm, um mittels einer Laborprüfung eine Aussage über das Haftvermögen eines Bindemittels gegenüber einem Mineral machen zu können. Zielsetzung des Forschungsauftrages war deshalb, bisher verwendete Verfahrensvorschriften zu verbessern, vereinheitlichen und Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit zu ermitteln.

Um auf Basis eines fundierten Vergleichs eine Methode vorschlagen zu können, wurden die Prüfprinzipien *Passive Umhüllung* (verbleibende Umhüllung nach Wasserlagerung), *aktive Umhüllung* (erreichbare Umhüllung in Gegenwart von Wasser) und *mechanische Prüfverfahren* (verbleibende Festigkeit nach Wasserlagerung) miteinander verglichen. Für die Bestimmung der passiven Umhüllung wurden verschiedene Auswerteverfahren einander gegenübergestellt.

Die im Forschungsauftrag erreichte Methodenverbesserung umfasst:

- eine besser definierte Zusammensetzung der Mineralstoffe
- ein genau definiertes und durch Untersuchung der Methodenempfindlichkeit sachlich begründetes Verfahren
- das Verringern des subjektiven Einflusses auf das Ergebnis durch visuelle Unterstützung

Die erreichte und nachgewiesene Vergleichbarkeit besagt, dass bei einem Umhüllungsgrad von

- 65 Flächen-% die Werte meist zwischen 55 und 75 Flächen-% liegen
- 85 Flächen-% die Werte meist zwischen 78 und 92 Flächen-% liegen
- 94 Flächen-% die Werte meist zwischen 91 und 97 Flächen-% liegen

Die für den Praktiker wichtige Charakterisierung des Systems Bindemittel/Mineralstoffe ist:

- Umhüllungsgrad 95 Flächen-% oder mehr: Ein gutes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein ist gewährleistet.
- Umhüllungsgrad 80 bis 95 Flächen-%: Ein für die meisten Zwecke noch ausreichendes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein ist gewährleistet.
- Umhüllungsgrad 50 bis 80 Flächen-%: Ein für die Kombination von Bitumen ohne Haftmittel und schweizerischen Mineralstoffen übliches Haftvermögen.
- Umhüllungsgrad weniger als 60 Flächen-%: Unzureichendes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein. Die Verwendung von Haftmitteln zur Haftverbesserung ist angezeigt.

Solche Aussagen können aufgrund der vorgeschlagenen Methode mit ausreichender Sicherheit gemacht werden.

Résumé

L'adhérence des liants bitumineux sur les granulats est un facteur qui influence grandement la durée de vie d'un revêtement bitumineux. Un défaut d'adhérence du liant sur les granulats entraîne tout d'abord un rejet du liant de la surface des granulats. Par le roulement du trafic, un revêtement ainsi affaibli subit un processus de foulage lors duquel le film de liant est entièrement arraché des grains de granulats, ce qui conduit ensuite à l'apparition de dégâts secondaires.

Il n'existe en Suisse aucune norme qui permette d'obtenir une information sur l'adhérence d'un liant sur un granulat à l'aide d'un essai de laboratoire. Le but de ce projet de recherche était donc d'améliorer et d'unifier les méthodes existantes et de déterminer leur reproductibilité et leur répétabilité.

Afin de pouvoir proposer une méthode sur la base d'une comparaison fondée, on a comparé entre eux les principes d'essai de l'*enrobage passif* (enrobage persistant après entreposage dans l'eau), de l'enrobage actif (enrobage qui peut être atteint en présence d'eau) et des méthodes d'essai mécaniques (résistance résiduelle après entreposage dans l'eau). Pour la détermination de l'enrobage passif on a comparé entre elles différentes méthodes d'évaluation.

L'amélioration de la méthode réalisée dans le cadre de ce projet concerne les points suivants:

- une meilleure définition de la composition des granulats
- une méthode d'essai exactement définie et expérimentalement fondée grâce à une étude de la sensibilité de la méthode.
- diminution de l'influence subjective sur les résultats par le recours à des moyens optiques.

La répétabilité atteinte et vérifiée permet de dire que pour un degré d'enrobage de

- 65 % en surface, la majorité des valeurs se situent entre 55 et 75 % en surface
- 85 % en surface, la majorité des valeurs se situent entre 78 et 92 % en surface
- 94 % en surface, la majorité des valeurs se situent entre 91 et 97 % en surface

La caractérisation du système liant/granulats importante pour le praticien est la suivante:

- Degré d'enrobage 95 % en surface ou davantage: une bonne adhérence du liant sur le granulat est assurée.
- Degré d'enrobage 80 à 95 % en surface: une adhérence suffisante du liant sur le granulat est encore assurée pour la majorité des utilisations.
- Degré d'enrobage 50 à 80 % en surface: adhérence courante pour la combinaison de bitumes non dopés et des agrégats de provenance Suisse.
- Degré d'enrobage inférieur à 60 % en surface: adhérence insuffisante du liant sur les granulats, l'utilisation de dopes d'adhérence est indiquée.

La méthode proposée permet d'obtenir de telles informations avec une sûreté suffisante.

Abstract

The adhesion of bituminous binders to mineral materials significantly influences the life of asphalt concrete. Insufficient adhesion of the binder to the mineral aggregates first causes the film of binder to separate from the aggregate surface. The traffic then has a rolling effect on the weakened coating so that the binder film is completely removed from the mineral grain structure. This subsequently results in secondary damage.

In Switzerland no standard exists at the present time for assessing the adhesion properties of a binder to a mineral by means of laboratory testing. The object of this research order was therefore to improve and standardize the processing regulations used so far, and to determine their comparability and repeatability.

To propose a suitable method based on well-founded comparison of procedures, the testing principles *passive coating* (residual coating following water infiltration) and *active coating* (attainable coating in the presence of water) were compared with each other. For assessing passive coating, various evaluation methods were compared.

The procedural improvements achieved by the course of this research comprise the following:

- Better definition of mineral material composition
- A precisely defined and solidly founded procedure based on investigation of method sensitivity
- Reduction of the subjective influence on results by visual support

According to the proven comparability attained:

- At a coating degree 65% area, values will lie mainly between 55 and 75% area
- At a coating degree 85% area, values will lie mainly between 78 and 92% area
- At a coating degree 94% area, values will lie mainly between 91 and 97% area

The most important characteristics of the binder/mineral system from the practical point of view are:

- Coating degree 95% area or more: good adhesion of binder to stone is guaranteed
- Coating degree 80 to 95% area: binder/stone adhesion is still adequate for most purposes
- Coating degree 50 to 80% area: normal adhesion for the combination of bitumen without adhesion agents to Swiss mineral aggregates
- Coating degree less than 60% area: inadequate adhesion of binder to stone. Improvement is required by using an adhesion agent.

With the proposed method, such conclusions can be drawn with sufficient reliability.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage, Problemstellung

Bedeutung des Haftvermögens im bituminösen Strassenbau

Das Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen ist ein bedeutender Einflussfaktor auf die Lebensdauer eines bituminösen Belages. Mangelhaftes Haften des Bindemittels an den Mineralstoffen bewirkt zuerst ein Verdrängen des Bindemittelfilms von der Gesteinsoberfläche. Zwischen Bindemittel und Mineralstoffen bildet sich dabei ein Wasserfilm, wie es schematisch in Abbildung 1. dargestellt ist. Durch den rollenden Verkehr wird der so geschwächte Belag einem Walkprozess unterworfen, bei dem dann der Bindemittelfilm völlig vom Mineralstoffkorn abgerissen wird; es entsteht dann ein sekundärer Schaden.

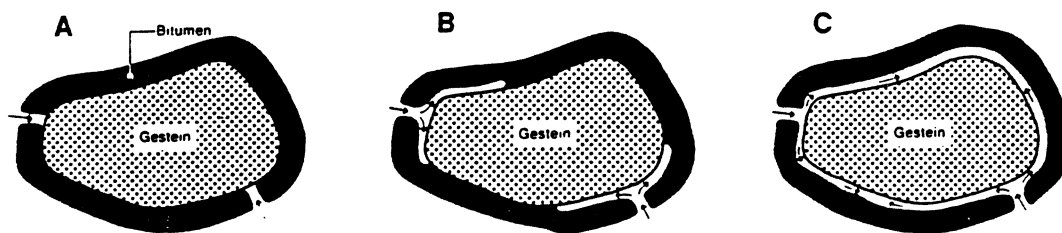


Abbildung 1, Beginnende Ablösung des umhüllenden Bindemittelfilms von einem Splittkorn

So wird der Belag zunehmend geschwächt, erkenntlich an typischen Schadensbildern wie Ablösen, Ausmagern und Absanden. Treten solche Schäden gehäuft auf, so wird schliesslich eine grössere Sanierung nötig.

Neben Asphaltbetonbelägen können auch OB's, Dünnschichtbeläge, Splittmastixbeläge und Drainaspalte durch mangelhaftes Haftvermögen betroffen werden.

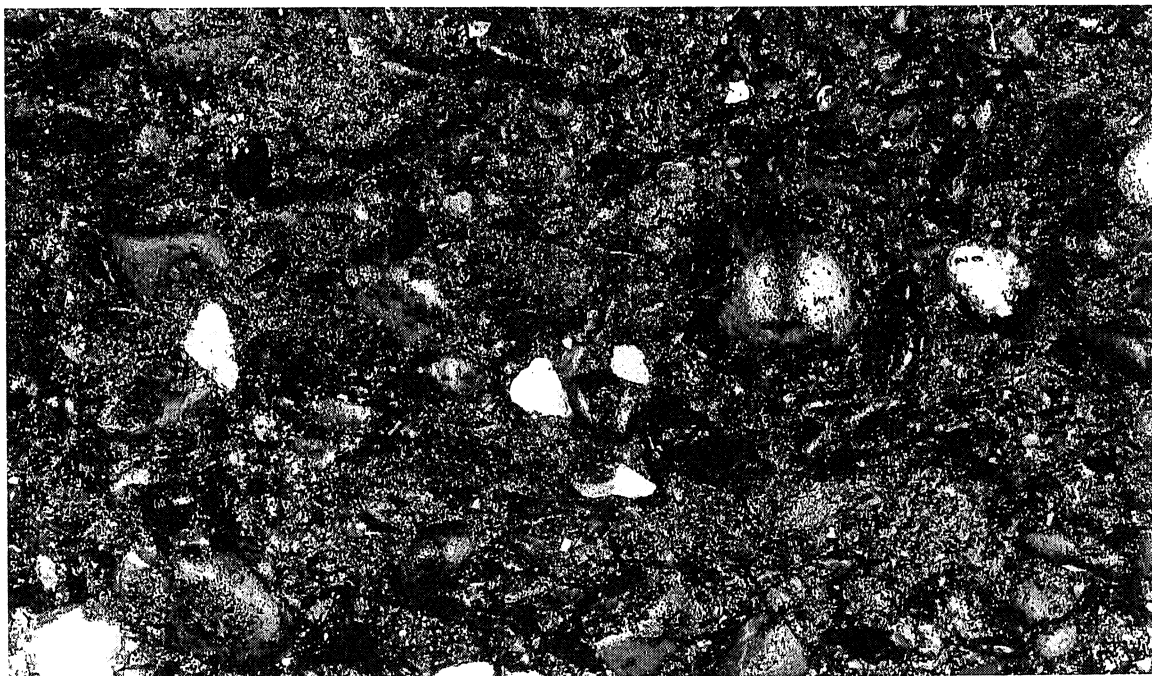


Abbildung 2, Beispiel eines durch mangelnde Haftung verursachten Schadenfalls

Aktuelle Lage

Es existiert in der Schweiz keine Norm, um mittels einer Laborprüfung eine Aussage über das Haftvermögen eines Bindemittels gegenüber einem Mineral machen zu können. Verschiedene Prüfstellen arbeiten deshalb mit hausinternen Methoden, welche sich dann oft in wichtigen Einzelheiten unterscheiden. Die Vergleichbarkeit der Resultate verschiedener Labors ist deshalb nicht gegeben, auch wenn die Prüfmethoden auf gleichen Prinzipien beruhen.

Prinzipien der Bestimmung des Haftvermögens

Passive Umhüllung

Ein völlig von Bindemittel umhüllter Splitt wird unter Wasser bei vorgeschriebener Temperatur und Zeitdauer gelagert.

Aktive Umhüllung

Bindemittel und Mineralstoffe werden in Gegenwart von Wasser umhüllt, das Bindemittel steht in Konkurrenz zum Wasser und muss den Wasserfilm von der Gesteinsoberfläche verdrängen. Die Unterschiede in den Verfahren sind bei der aktiven Umhüllung grösser als bei der passiven. Die Methode ist für Penetrationsbitumen nicht anwendbar.

Mechanische Prüfverfahren

Bei mechanischen Prüfverfahren werden die mechanischen Eigenschaften von verdichtetem Mischgut vor und nach Wasserlagerung miteinander verglichen. Diese Prüfverfahren sind nicht nur aufwendiger, sie weisen auch wesentliche Fehlerquellen auf, die den Vorteil der Objektivität der Messgrösse wieder zunichte machen.

Ist-Zustand: Vorzüge und Mängel der Prüfmethode "Passive Umhüllung"

Die passive Umhüllung erwies sich als in der Schweiz weit verbreitetes Verfahren. Es wird bei der passiven Umhüllung zudem ein Vorgang erfasst, der als Schadensentwicklung im Belag stattfindet. Die verschiedenen gebräuchlichen Verfahren unterscheiden sich in vielen Einzelheiten. Eine Vergleichbarkeit der Resultate ist nicht gegeben. Die Methode beinhaltet ein visuelles Schätzen des Umhüllungsgrades. Das erlaubt wohl ein verlässliches Bestimmen der Reihenfolge in einer Serie von Bindemitteln mit einem Mineralstoff oder einer Serie von Mineralstoffen mit einem Testbindemittel, genügt aber für das Bestimmen eines massgebenden Wertes nicht.

Zielsetzung für eine neu erarbeitete Methode

Die verwendeten Verfahrensvorschriften leiten sich zum Teil von einer an der EMPA erarbeiteten Vorschrift ab. Da verschiedene Labors mit dieser Methode Erfahrung haben, sollte die aus dieser Forschungsarbeit entstehende Methode vergleichbare Resultate liefern. Die Vergleichbarkeit mit diesem **EMPA-Test-Verfahren** ist deshalb zu bestimmen und zu dokumentieren.

1.2 Zweck der Prüfung

Das Bestimmen des Haftvermögens wird in der Praxis zu verschiedenen Zwecken verwendet. Je nachdem sind das Prüfverfahren, oder die Prüfplanung entsprechend anzupassen. Für die Praxis wichtig sind das Charakterisieren eines Bindemittels, das Charakterisieren eines mineralischen Baustoffes und das Prüfen einer bestimmten Kombination Bindemittel/mineralischer Baustoff.

Charakterisieren eines Bindemittels

Die Eignung eines Bindemittels wird durch Bestimmen des Umhüllungsgrades in Kombination mit einem Referenzsplitt bestimmt. Der Referenzsplitt muss in diesem Fall:

- langfristig verfügbar sein
- in seinem Verhalten den praktisch verwendeten Splitten entsprechen
- für das Durchführen der Prüfung geeignet sein.

Charakterisieren eines Mineralstoffes

Die Eignung eines Mineralstoffes wird durch Bestimmen des Umhüllungsgrades in Kombination mit einem Referenzbitumen bestimmt. Das Referenzbitumen muss in diesem Fall:

- hinreichend genau definiert sein
- ein typisches Strassenbaubitumen sein

Prüfen einer Kombination von Bindemittel und Mineralstoff

In diesem Fall interessiert, ob das für ein Bauwerk vorgesehene Mineral und das vorgesehene Bindemittel als Kombination eine ausreichende Haftfestigkeit aufweisen. Es werden keine Referenzmaterialien gebraucht.

1.3 Auftrag

Die beantragte Forschung soll es erlauben, das Bestimmen des Haftvermögens aufgrund der passiven Umhüllung zu normieren und die Anwendbarkeit der vorhandenen Methode dafür zu verbessern. Die Prüfvorschrift ist deshalb weiter zu entwickeln und zu präzisieren

um Einflüsse unterschiedlicher Durchführung auszuschliessen. Solche Einflüsse umfassen den Mischvorgang, die Lagerungsart und die Beurteilung des Umhüllungsgrades. Ein geeigneter Referenzsplitt oder eine Mischung geeigneter Splitte in genau festgelegten Anteilen ist zu definieren.

Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Methode ist in einem Ringversuch zu ermitteln.

Die Anwendbarkeit der Methode ist für weitere Bindemittel wie Cutback und Emulsionen abzuklären.

1.4 Abänderung, Erweiterung des Auftrages

Neben dem visuellen Schätzen wurden eine ganze Reihe von technischen Messverfahren der freiliegenden Gesteinsoberfläche geprüft. Damit konnte sichergestellt werden, dass nicht ein besseres Verfahren als Schätzen übersehen wurde.

Auf ausgedehnte Untersuchungen anderer Bindemittel als Strassenbaubitumen wurde verzichtet, weil Cutbacks und Teerbitumen inzwischen nicht mehr normiert sind. Von Emulsionen kann der Rückstand als normales Strassenbaubitumen geprüft werden.

Die während der Durchführung der Forschungsarbeit gesammelten Erfahrungen wurden verwendet, um die Prüfmethode und vor allem das Schätzverfahren weiter zu entwickeln. Der Vorschlag der Forschungsstelle zur Normierung der Methode beruht somit auf dem in Vorversuchen und im Ringversuch weiterentwickelten Verfahren. Die im Ringversuch ermittelten statistischen Kenngrößen können wegen dieser Weiterentwicklung der Methode nur für eine grobe Abschätzung von Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit verwendet werden.

2. Evaluation des Prüfverfahrens

2.1 Passive Umhüllung

Die Umhüllung wird an einem getrockneten Mineral vorgenommen. Das Bindemittel wird einer auf über 100 °C aufgewärmten Mineralkomponente zugegeben und von Hand gut durchmischt, bis das Bindemittel die Mineralstoffoberfläche völlig umhüllt. Der Umhüllungsgrad bei der passiven Umhüllung ist die nach der Verdrängung des Bindemittels durch das Wassers verbleibende Kontaktfläche zwischen Mineral und Bindemittel.

Ein völlig von Bindemittel umhüllter Splitt wird unter Wasser bei vorgeschriebener Temperatur gelagert, wobei die Ablösung des Bindemittels von der Mineralstoffoberfläche sich über die Zeit entwickelt. Anschliessend wird das Ausmass der verbleibenden Umhüllung bestimmt.

2.2 Aktive Umhüllung

Darunter ist die Umhüllung einer feuchten Mineralkomponente mit Bindemittel zu verstehen. Dabei kann die Feuchtigkeit aus dem ungetrockneten Mineral stammen, oder als Zugabe von Wasser zu einem getrockneten Mineral dosiert werden. Das Bindemittel, respektive das Haftmittel im Bindemittel muss also zuerst das Wasser von der Gesteinsoberfläche verdrängen um an das Mineral heranzukommen und dieses ganzheitlich zu umhüllen.

Bindemittel und Mineralstoffe werden in Gegenwart von Wasser umhüllt, das Bindemittel steht in Konkurrenz zum Wasser und muss den Wasserfilm von der Gesteinsoberfläche verdrängen. Die Unterschiede in den Verfahren sind bei der aktiven Umhüllung grösser als bei der passiven. Der Anwendungsbereich dieser Methode ist im Vergleich zur passiven Umhüllung deutlich eingeschränkt.

2.3 Mechanische Prüfverfahren

Bei mechanischen Prüfverfahren werden die mechanischen Eigenschaften von verdichteten Mischguten vor und nach Wasserlagerung miteinander verglichen. Diese Prüfverfahren sind nicht nur aufwendiger, sie weisen auch wesentliche Fehlerquellen auf, die den Vorteil der Objektivität der Messgrösse zumindest teilweise wieder zunichte machen. Marshallstabilitäten an den notwendigerweise sehr grobkörnigen und hohlraumreichen Prüfkörpern können durchaus Fehler von 20% oder mehr des Messwertes aufweisen. Als massgebender Wert bestimmt, wird dann das Verhältnis zweier derart mit Fehlern behafteter Grössen. Die Auswirkung der Wasserlagerung ist ebenfalls nicht konstant und stellt eine weitere Quelle der Streuung des massgebenden Wertes dar.

2.4 Entscheid der Forschungsstelle in Absprache mit der Subkommission

In Absprache mit der Subkommission SK271.16 der VSS, "Haftvermögen bituminöser Bindemittel" fasste die Forschungsstelle deshalb den Entschluss, sich auf die Forschung und künftige Normierung der passiven Umhüllung zu konzentrieren.

2.5 Programm für die Voruntersuchungen

In einer Voruntersuchung galt es, die Parameter der Prüfmethode für das Durchführen des Ringversuches abzuklären. Die so gefundenen Parameter wurden mittels eines kleinen Ringversuches überprüft. Für diese Vorabklärung wurde folgendes Programm aufgestellt:

- Organisieren, Waschen und Sieben von 5 definierten Mineralkomponenten
- Durchführung von Umhüllungsversuchen nach der von den Forschungsstellen in Zusammenarbeit mit der Subkommission erarbeiteten Methode
- Kontrollen und Studie über die Bad- und Mediumtemperaturen
- Aufstellen der Arbeitsvorschrift
- Umhüllungsversuche mit allen 5 Einzelmineralen
- Vergleich mit Stamm-Splitt
- Umhüllungsversuche mit dem Mineralgemisch. (5 Komponenten)
- Umhüllungsversuch ohne Haftmittel und mit 3 verschiedenen Konzentrationen von Haftmittel
- Vergleich zweier Haftmittel
- Umhüllungsversuche mit Bitumen verschiedener Penetrationen:
40/50, 60/70, 80/100, 180/220 mit Bitumen ex Cressier
- Umhüllungsversuche mit Bitumen verschiedener Provenienzen:
Cressier, Feyzin, Karlsruhe, RHO, Trecate, Venezuela, Wörth
- Abklärungen über Messverfahren des Umhüllungsgrades

Bereitstellen und Versand der Materialien für den kleinen Ringversuch mit 4 Labors

3. Auswahl der untersuchten Materialien

Die im Rahmen des Forschungsauftrages eingesetzten Materialien müssen den Ansprüchen eines Ringversuches genügen. Zugleich sollen die Resultate des Forschungsauftrages einen Beitrag zur Normierung liefern. Dafür sind geeignete Referenzmaterialien vorzuschlagen. Somit ist es von Vorteil, wenn die in dieser Arbeit ausgewählten Materialien später auch als Referenzmaterialien verwendet werden können, da sie durch die Untersuchungen gut charakterisiert sind. Diese Gesichtspunkte wurden bei der Auswahl der verschiedenen Materialien berücksichtigt.

3.1 Mineralstoffe

Für die Auswahl der im FA 10/90 zu verwendenden Mineralstoffe wurden aus den oben aufgeführten allgemeinen Anforderungen folgende Kriterien festgelegt:

- a) Die in der einzelnen Prüfung eingesetzte Mischung von Mineralstoffkomponenten sollte möglichst reproduzierbare Eigenschaften in der Umhüllungsprüfung haben.
- b) Die für den Test verwendeten Mineralstoffkomponenten sollten für die schweizerischen Verhältnisse repräsentativ sein.
- c) Die Mineralstoffkörnung soll einen weiten Bereich des Verhaltens von den im Strassenbau verwendeten Mineralstoffen abdecken.
- d) Die Vergleichbarkeit mit dem in der Schweiz von vielen Laboratorien angewendeten EMPA-Prüfverfahren sollte, wie in der Problemstellung aufgeführt, gegeben sein.
- e) Die Eignung für die Prüfung soll gegeben, das Schätzen des Umhüllungsgrades aufgrund der farblichen Eigenschaften soll also gut möglich sein.
- f) Die langfristige Lieferbarkeit soll gewährleistet sein.

Der im EMPA-Prüfverfahren verwendete Splitt genügte dabei bereits den Forderungen b), e) und f) sowie teilweise der Forderungen c). Es wurde in diesem Verfahren ein Splitt sehr heterogener mineralogischer Zusammensetzung verwendet (Stamm-Splitt), bei dem die einzelnen Bestandteile für die schweizerischen Verhältnisse typisch sind. Damit konnte dieser Splitt bezüglich des Umhüllungsverhaltens als repräsentativ bezeichnet werden. Da sich einzelne Körner unterschiedlich verhalten, deckt er das Verhalten der Mehrzahl der eingesetzten Mineralstoffe ab. In Bezug auf Quarzite und andere als optische Aufheller verwendete Mineralstoffe gilt diese Aussage jedoch nicht. Auch sind die Mineralarten nicht immer im gleichen Verhältnis vorhanden.

Die Auswahl der im Test eingesetzten Körner blieb in diesem Testverfahren dem Laboranten überlassen. Daraus konnten erhebliche Schwankungen in den Eigenschaften des Testgemisches entstehen. Diese Einflussgrösse muss in einem Ringversuch zwangsläufig zu einer zusätzlichen Streuung der Ergebnisse führen und dadurch werden Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit zu hoch eingeschätzt. Eine Evaluation eines neuen Testgemisches wurde deshalb als nötig erachtet.

Die für die Schweiz typischen Gesteinsarten wurden durch Auswerten der petrografischen Beschreibungen von 10 im Strassenbau verwendeten Mineralstoffkörnungen eines früheren Forschungsauftrages (FA 4/73 [7]) ermittelt. Es ergab sich ein Überwiegen von alpinen Kalksteinen, Kieselkalken und kristallinen Gesteinen. Daraus konnten 6 typische Kandidaten ausgewählt werden. Unter Berücksichtigung der oben genannten Gesichtspunkte, insbesondere der Eignung für die Prüfung, ergab sich eine Liste der folgenden 4 Mineralstoffe:

Ambrosini
Arvel
Balmholz
Massongex

Diese vier Mineralstoffe

- repräsentieren einen grossen geografischen Bereich der Schweiz,
- entstammen unterschiedlichen geologischen Regionen,
- repräsentieren mineralogisch unterschiedliche Gesteine
- erwiesen sich als prüftechnisch geeignet.

Als Ergänzung standen zwei Quarzsplitte zur Auswahl; einer französischen (1) und einer schweizerischen (2) Provenienz.

Die Untersuchung dieser Mineralstoffe in ihrem Verhalten gegenüber einem Bitumen B 80/100 ergab das aus der Tabelle 1 ersichtliche Bild (die Numerierung entspricht nicht der Reihenfolge der oben aufgeführten Angaben zur Herkunft). Die vollständigen Resultate sind im Kapitel 5.2 "Einfluss der Mineralstoffe" beschrieben.

Mineral 1	Umhüllungsgrad 82 %
Mineral 2	Umhüllungsgrad 40 %
Mineral 3	Umhüllungsgrad 78 %
Mineral 4	Umhüllungsgrad 84 %
Quarz 1	Umhüllungsgrad 50 %
Quarz 2	Umhüllungsgrad 10 %

Tabelle 1, Ermittelte Umhüllungsgrade der untersuchten Mineralstoffe

Es resultiert:

- beim schweizerischen Quarz ein ausserordentlich tiefer Umhüllungsgrad, der sich zudem bereits bei der Zugabe einer minimalen Menge von Haftmittel schlagartig verbesserte,
- beim französischen Quarz ein tiefer Umhüllungsgrad, der sich beim Zudosieren von Haftmittel allmählich verbesserte.

Für den französischen Quarz sprachen damit zwei Argumente:

- eine mit vielen schweizerischen Mineralstoffen vergleichbares Verhalten gegenüber Haftmittلزudosierung.
- ein resultierendes Mineralstoffgemisch, das gegenüber dem bisher gebräuchlichen Testgemisch ähnliche Eigenschaften aufweist.

Tabelle 2 fasst die visuelle Beurteilung der Mineralkomponenten durch die vier am kleinen Ringversuch beteiligten Labors zusammen. Die Differenzen zwischen den Labors sind gering. Kein Mineral wurde als zu dunkel für das visuelle Schätzen anlässlich der Umhüllungsprüfung bezeichnet. Zwischen den beiden Quarzen besteht in der visuellen Beurteilung kein relevanter Unterschied.

Tabelle 2, Beurteilung der visuellen Eigenschaften der Mineralstoffkomponenten durch vier Laboratorien

Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen	
Visuelle Beurteilung der Splitt-Komponenten	
Splitt 1	ARVEL
Labor 1	80 % dunkelgrau 20 % hell grau
Labor 2	Meist hell-mittelgrau mit Stich ins bräunliche, vereinzelt bis dunkelgrau
Labor 3	Dunkelgrauer Splitt, homogene Farbe, Scharfkantig, z.T. plattige und längliche K-Form
Labor 4	93 % dunkelgrau 7 % hellgrau
Splitt 2	AMBROSINI
Labor 1	50 % hell 50 % dunkelgrau gespriggelt
Labor 2	Hellgrau-weiss gesprenkelt, vereinzelt rostfarbige Flecken
Labor 3	Hellgrauer Splitt, kleine schwarze Flecken weisse Einschlüsse z.T. glänzende Ob (Glimmer).
Labor 4	Hauptanteil grau weiss

Splitt 3 MASSONGEX	
Labor 1	90 % dunkelgrau 10 % weiss und hellgrau
Labor 2	Hell-bis mittelgrau, vereinzelt weissliche Adern, vereinzelt rostbraune Körner
Labor 3	Hellgrauer Splitt, vereinzelt weisse Adern Scharfkantig, teilweise plattige + längl.Körner
Labor 4	94 % hellgrau 6 % Rost
Splitt 4 BALMHOLZ	
Labor 1	80 % dunkelgrau 20 % hellgrau
Labor 2 Flecken	Vorwiegend dunkelgraue Körner, oft mit helleren gespriggelt, daneben hellgraue Körner
Labor 3	dunkelgrauer Splitt. Vereinzelt weisse Adern Scharfkantig, rel.schlechte Kornform. (Plattig)
Labor 4	90 % dunkelgrau 10 % hellgrau bis weiss
Splitt 5 Quarz	
Labor 1	100 % beige - weiss
Labor 2	Vorwiegend weissliche Körner, z.T. mit gelblichen o. bräunlichen Flecken. Teilweise ins rötlich-spielende Färbungen.
Labor 3	Hauptsächlich weiss, einzelne dunklere Körner (Rot-braun/gelb-braun/grau-schwarz)
Labor 4	90 % weiss 10 % rosé,- hellgrau,- gelb

Für den schweizerischen Quarz spricht nur die Provenienz, für den französischen dagegen seine Materialtechnischen Eigenschaften. Es wurde deshalb aufgrund der Eigenschaften als Material der **französische Quarz** als Komponente der Mineralstoffmischung ausgewählt.

Die Testmischung der Mineralstoffe wurde definiert als:
Mischung von je 30 g der fünf Fraktionen (8/11) Ambrosini, Arvel, Balmholz, Massongex und französischer Quarz.

Die einzelnen Komponenten sind in Abbildung 3 fotografisch dargestellt.

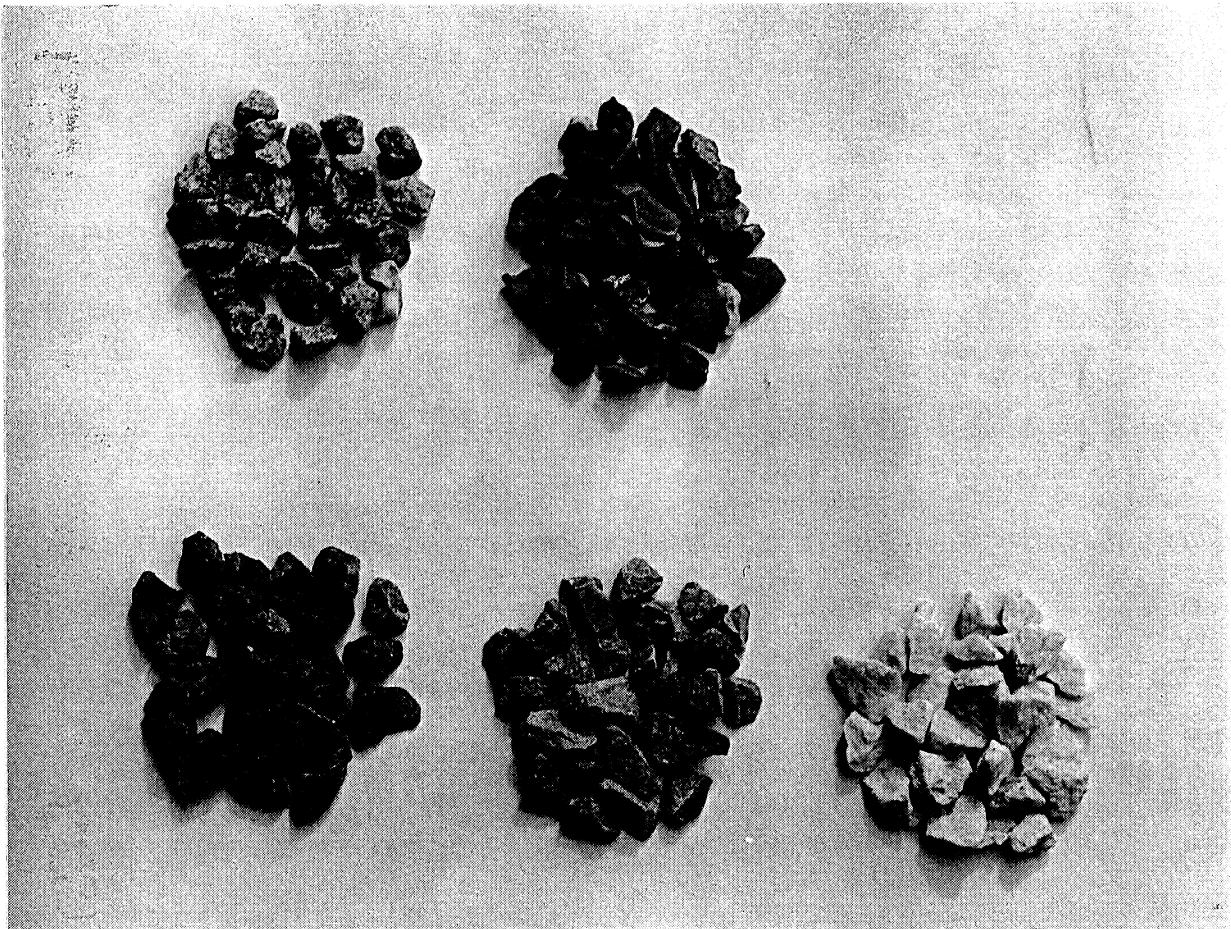


Abbildung 3, Die fünf ausgewählten Splittkomponenten

3.2 Bindemittel

Für das Durchführen des Ringversuches waren
- Provenienz
- und Sorte
des zu verwendenden Bindemittels festzulegen.

Auswahl der Provenienz

Das Bindemittel musste für schweizerische Verhältnisse repräsentativ sein. Zudem sollte die Möglichkeit bestehen, das Bindemittel später als Referenzmaterial durch die Normierung vorzuschreiben. Dies ist gegeben, wenn:

- Provenienz, Herstellungsverfahren und Sorte gleich bleiben
- oder wenn bei einer geringfügigen Änderung dieser Eigenschaften die prüfungstechnische Gleichwertigkeit des neuen Bindemittels mit dem alten nachgewiesen wird.

Die Untersuchung von Bindemitteln aus sieben verschiedenen Raffinerien aus Zentraleuropa ergaben für sechs Lieferungen praktisch identisches Verhalten in der Umhüllungsprüfung (siehe Abbildung 10 in Kapitel 5.4). Ein Bitumen aus einer ausländischen Raffinerie wies einen deutlich schlechteren Umhüllungsgrad auf und kann deshalb nicht verwendet werden. Aus Gründen der praktischen Durchführung (zum Beispiel Nachlieferungen des gleichen Bindemittels) wurde deshalb das Bindemittel Cressier gewählt. Es ist auch zugleich das in der Schweiz am meisten verwendete Bindemittel.

Auswahl der Sorte

Kriterien für die Auswahl der Sorte waren die Häufigkeit der Verwendung und die Anfälligkeit für Schäden. Weichere Bitumen neigen eher zur Ablösung als harte, das spricht für mittlere oder weichere Sorten. Am meisten wird in der Schweiz im Strassenbau die mittelharte Sorte B 80/100 eingesetzt, die deshalb für den Ringversuch ausgewählt wurde.

4. Evaluation des Auswerteverfahrens

In den Vorstudien zum Ringversuch wurden verschiedene moderne technische Auswerteverfahren zum Bestimmen des Umhüllungsgrades an hergestelltem Mischgut untersucht. Es wurde damit abgeklärt, ob nicht einfach anzuwendende Messverfahren dem bekannten visuellen Schätzen überlegen waren. Es wurden auch technische Möglichkeiten untersucht, mit denen sich das Schätzverfahren verbessern liess. All diese Verfahren wurden auf ihre Eignung zur Normierung beurteilt. Kriterien einer solchen Beurteilung sind:

- Einfachheit der Methode
- Auswertung von vielen Laboratorien durchführbar
- Verfügbarkeit und Anwendbarkeit der Methode
- Genauigkeit der Ergebnisse
- Aussagefähigkeit der Ergebnisse
- Kosten der Prüfgeräte.

4.1 Visuelles Schätzen am Mischgut

Methode

Der Anteil der umhüllten Fläche wird an Mischgut unter Wasser visuell geschätzt. In diesem Forschungsauftrag wurden Hilfsmittel entwickelt, um diese Schätzung mit besserer Vergleichbarkeit durchführen zu können. Die Schätzung muss durch mehrere Personen unabhängig voneinander vorgenommen werden, als massgebender Wert gilt der Mittelwert dieser Schätzungen. Die Details werden im Folgenden erklärt.

Die visuelle Schätzung ist eine subjektive Beurteilungsmethode. Die Schätzwerte hängen vom Betrachter ab, von seiner momentanen Verfassung und von der farblichen Differenzierung der mineralischen Anteile. Die "Erfahrung" hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schätzwerte. Ein Betrachter trainiert sich eine gewisse Sichtweise an, die seine Ergebnisse systematisch beeinflusst.

Bewertung

Die Auswertemethode

- kommt mit einfachsten Geräten aus und ist leicht zu begreifen; eine Schulung und etwas Erfahrung seitens der Betrachter sind aber nötig
- ist in jedem Laboratorium durchführbar
- hat als einzige, allerdings bedeutende Einflussgrösse auf das Ergebnis die Subjektivität
- liefert definierte Ergebnisse einer physikalisch relevanten Eigenschaft an praxisgerechten Materialien und verfügt damit über eine ausreichende Aussagefähigkeit.

4.2 Visuelles Schätzen am fotografischen Bild

Methode

Fotografien von glatten, glänzenden Flächen zeigen als helle Flecke die Reflexe des Lichtes, welches zum Beleuchten des Objektes benötigt wird. Das reflektierte Licht erscheint optisch in jedem Fall als "heller Fleck". Das menschliche Auge vermag normalerweise eine Reflektion von einer hellen Mineralstoffoberfläche unterscheiden, das Objektiv der Kamera kennt diese Unterscheidung jedoch nicht. Mit Sorgfalt und geeigneten Hilfsmitteln wie Polarisationsfilter u.s.w. kann ein beurteilbares Bild erstellt werden. Die Auswertung des Bildes für die Umhüllung muss danach aber auch wieder

über die Schätzung erfolgen. Einem Teil der Betrachter erleichtert das fotografische Bild die Schätzung, weil nur ein zweidimensionales Bild zu beurteilen ist. Die Schätzung wird jedoch ungenauer, weil verdeckte Kanten nicht abgebildet sind und damit auch nicht erfasst werden.

Bewertung

Der zusätzliche Aufwand resultiert nicht in einer entsprechenden Verbesserung des Resultates.

4.3 Schall-Reflexion

Methode

Ein definierter Schallstrahl wird auf das getrocknete Mischgut über dessen ganze Oberfläche abgegeben. Die Reflektion der Schallwellen wird durch einen Detektor gemessen und mit den Emmissionswerten verglichen. Die Anwesenheit von Wasser zeigte einen störenden Einfluss, deshalb mussten die Messungen an trockenen Proben durchgeführt werden.

Die Reflektion ist auf einer mit Bitumen bedeckten Fläche nicht gleich wie auf einer bindemittelfreien Gesteinsoberfläche. Ein grosser Teil der Schallwellen wird vom Bitumen der bedeckten Flächen absorbiert, von den nicht umhüllten, blanken Mineralteilen jedoch reflektiert.

Bewertung

Die praktischen Messungen an vollständig mit Bitumen umhülltem Mineral und an reinen Mineralkörnern liefern Resultate in Übereinstimmung mit dieser Theorie.

Eine präzise Eichung für die Messung von Abstufungen der verschiedenen Umhüllungsgrade war aber nicht möglich, weil die Reflektionsverluste durch seitliche Abstrahlung von der unebenen, dreidimensionalen Oberfläche des Mischgutes auf die Messwerte einen ähnlich grossen Einfluss hatte wie ein unterschiedlich grosser Umhüllungsgrad des Minerals. Das Messverfahren wäre möglicherweise erfolgreich, wenn die seitlich abgelenkten Schallwellen ebenfalls gemessen und in der Auswertung richtig berücksichtigt werden könnten.

Nach ersten Messungen wurde die Methode wegen zu hohen Streuungen in den Resultaten aufgegeben.

4.4 Farbbild-Analysator

Methode

Das Gerät zerlegt das vom Mischgut reflektierte Licht in drei Farbkomponenten. Die Intensität jeder Farbkomponente kann für sich anteilmässig gemessen und ausgewertet werden. Somit werden auch dunkle, nicht umhüllte Mineralkomponenten durch unterschiedliche Intensitäten von Farbkomponenten charakterisiert und nicht einfach als dunkle Flächen erfasst. Bitumen dagegen wird als einheitlicher Stoff erkannt und kann mittels Eichverfahren grundsätzlich anteilmässig ausgewertet werden.

Bewertung

Ansätze für eine objektive Bestimmung des Umhüllungsgrades sind somit vorhanden. Variation der Farbkomponenten von Mineralstoffen im Testgemisch oder der angelieferten Mineralstoffen machen jedoch für jede Bestimmung ein Eichverfahren nötig. Das Verfahren ist damit für den routinemässigen Einsatz zu aufwendig und zu teuer.

4.5 Bildanalysator, Schwellwerterkennung der Helligkeit

Als Gerät wurde zur praktischen Erprobung dieses Prinzips der Bildanalysator der EMPA verwendet. Die Schlussfolgerungen gelten grundsätzlich für alle Geräte dieses Typs.

Methode

Das Gerät misst Grauwerte für jeden Bildpunkt. Mit einem Test gegen einen Schwellenwert können den Bildpunkten die Werte Hell und Dunkel zugeordnet werden. Der Schwellenwert wird so eingestellt, dass die Hellanteile möglichst genau der Mineralstoffoberfläche entspricht. Der Anteil heller Punkte wird als Prozentwert ermittelt.

Erfahrungen im praktischen Arbeiten

Der Aufbau der Prüfanordnung erfordert einigen Aufwand. Das Gefäss mit dem Mischgut darf nicht direkt auf den Prüftisch gestellt werden, dieser liefert, obwohl schwarz, zuviel Streulicht. Abhilfe brachte das Aufstellen auf einen innen schwarzen Hohlzylinder mit einem Durchmesser, der nur wenig kleiner als der der Petrischale war. Die Lichtquellen mussten sorgfältig angeordnet werden, um Reflexionen durch Bindemittel und Wasser soweit wie möglich zu verringern.

Das Gerät zeigt jeden Einfluss einer Änderung der Anordnung sofort an. Bereits kleine Änderungen haben einen wesentlichen Einfluss auf das insgesamt von der Probe reflektierte Licht. Das dokumentiert die Schwierigkeit aller fotometrischen Bestimmungen des Umhüllungsgrades.

Mit dem Gerät kann eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der als "Hell" gekennzeichneten Fläche und der vom Bindemittel unbedeckten Mineralstoffoberfläche erreicht werden. Das Gerät bietet dem Bediener die Möglichkeit an, diese Übereinstimmung zu überprüfen, indem jederzeit zwischen Echtbild mit Grauabstufungen und der Hell-Dunkel-Darstellung gewechselt werden kann. Ebenso kann der Einfluss jeder Manipulation an der Aufstellung des Mischgutes gesehen und Fehler in der Anordnung können so interaktiv korrigiert werden.

Bewertung

Die Auswertemethode

- benötigt ein spezielles und teures Gerät, dessen Anwendung Schulung und Erfahrung in fotometrischen Messungen und optischer Bildauswertung voraussetzt,
- ist nur in wenigen Laboratorien durchführbar,
- hat als wesentliche Einflussgrösse auf das Ergebnis Lichtreflexe auf der Bindemitteloberfläche, die ein geübter Bediener im interaktiven Betrieb allerdings weitgehend eliminieren kann,
- liefert genau definierte Ergebnisse einer physikalisch relevanten Eigenschaft an praxisgerechten Materialien und verfügt damit über eine ausgezeichnete Aussagefähigkeit.

Für die Normierung muss die Methode als zu aufwendig und zu teuer beurteilt werden.

4.6 Video-Digital-Analysator

Methode

Durch eine Videokamera wird das Bild des Mischgutes aufgenommen und nachher mittels einer Bildverarbeitungssoftware auf einem PC ausgewertet. Wie beim Bildanalysator können störende Lichtreflexe während der Aufnahme anhand des sichtbaren Bildes minimiert werden, die Auswertung mittels der Bildverarbeitungssoftware erlaubt ein Bestimmen des nichtumhüllten Anteils wie oben beschrieben.

Bewertung

Das Verfahren stellt das moderne Äquivalent des Bildauswertegerätes dar. Was fehlt ist die Möglichkeit während dem Optimieren der Prüfanordnung zwischen dem Echtbild mit Graustufen und der reinen Hell-Dunkel hin und her zu schalten. Im gesteckten Kostenrahmen dieses FA war eine Erprobung in Praxis nicht möglich.

4.7 Helligkeitsmessung des reflektierten Lichts im Infrarotbereich

Methode

Die Infrarotrückstrahlung eines Mischgutes wird mit einem Lichtdetektor, Messverstärker und Anzeigeeinheit gemessen [4]. In einem Zylinder, der inwendig analog einer Dunkelkammer ausgebildet ist, sind an der oberen Abdeckung drei Lichtquellen konstanter Sendeleistung symmetrisch angebracht. Das Gerät ist in Abbildung 4 dargestellt. Ein Lichtdetektor, welcher ebenfalls im inneren Deckelteil in der Mitte der drei Lichtquellen zentriert ist, misst das reflektierte Licht und überträgt den Wert digital auf ein aussen angebrachtes Display. Die Einstellung des Nullpunktes für die Eichung erfolgt durch Messung der Mineralkomponente ohne Bindemittel. Zur Eichung wie zur Bestimmung des Umhüllungsgrades werden stets drei Messungen durchgeführt indem für jede Messung das Gerät um 120 Grad gedreht wird. Dieses Verfahren wird im weiteren als Drei-Punkt-Messung bezeichnet. Durch Mitteln der drei Messungen wird der Einfluss der räumlichen Inhomogenitäten auf den massgebenden Wert ausgeglichen.



Abbildung 4, Gerät zur Helligkeitsmessung des im infraroten Bereiches reflektierten Lichtes

Ergebnisse der Voruntersuchung

Von der Forschungsstelle wurde ein Prototyp des Gerätes zur "Messung" des Umhüllungsgrades beschafft und damit umfangreiche Messungen durchgeführt. Die Methode ist in [4] beschrieben.

Zum Zeitpunkt der Vorversuche stand lediglich ein Prototyp zur Verfügung. Der Erfolg der umfangreichen Messungen war unterschiedlich.

Die Abbildung 5 zeigt die Messwerte einer Position und massgebende Werte der Dreipunkt-Messung im Vergleich mit der visuellen Schätzung durch Personen welche in der "Schätzung geübt" sind.

FA 10/90 "Umhüllung" Infrarot-Reflektions-Gerät

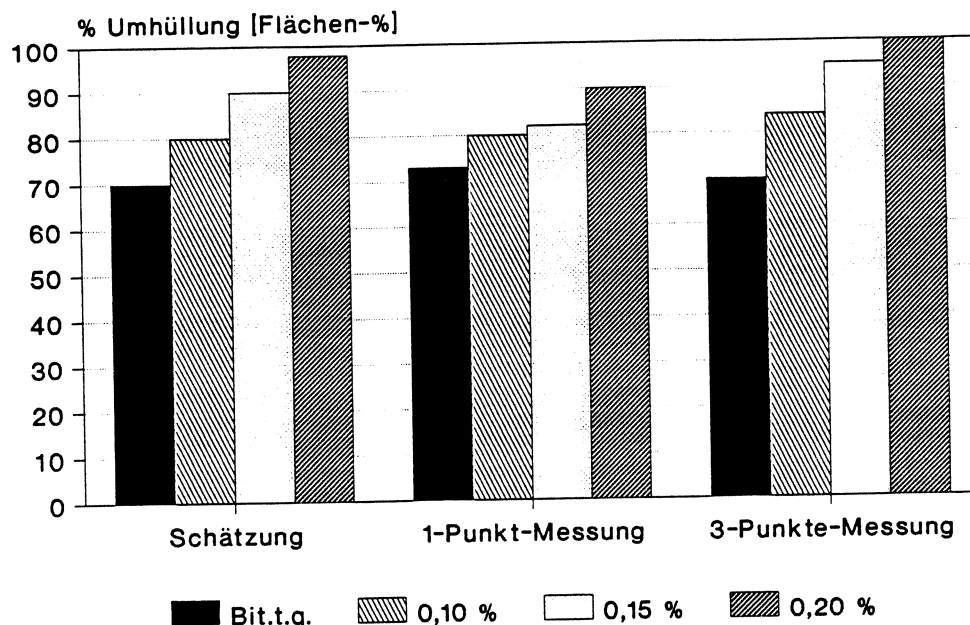


Abbildung 5, Vergleich der Messwerte des reflektierten Infrarotlichtes (Einzelmessung, Drei-Punkt-Messung) und der Schätzung.

Bewertung

Der Weissanteil zweidimensionaler Testbilder lässt sich einfach, hinreichend genau und mit sehr guter Reproduzierbarkeit bestimmen. Bei dreidimensionalen Proben, wie sie bei der Bestimmung des Umhüllungsgrades anfallen, wurden beim Ausführen einer Messung immer wieder Ausreisserwerte beobachtet. Nur Drei-Punkt-Messungen lieferten brauchbare Werte, das Verfahren (inklusive der nötigen Eichungen) war aber aufwendig. Angesichts dieser Umstände und weil den Teilnehmern des Ringversuches das Gerät ohnehin nicht zur Verfügung stand und ihnen somit der Prototyp der Reihe nach hätte zugeschickt werden müssen, wurde die Methode nicht weiter verfolgt.

4.8 Nachweis durch chemische Reaktion

Vom Centre de Recherche Routiere, Belgien stammt ein Vorschlag, die freie Mineralstoffoberfläche durch chemische Reaktion zu bestimmen. Für Kalkgesteine wird dabei Salzsäure, für kalkarme Gesteine verdünnte Flusssäure eingesetzt. Die Methode lieferte für die am CRR untersuchten belgischen Gesteine gute Ergebnisse. Von der EMPA wurde die Anwendbarkeit im Rahmen des Ringversuches abgeklärt.

Bewertung

Das Arbeiten mit Flusssäure ist arbeitshygienisch bedenklich und erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen. Im Ringversuch wären dabei die Teilnehmer auf Strassenbaulaboratorien mit entsprechender Erfahrung eingeschränkt worden.

Die Methode arbeitet mit dem Erstellen von Eichkurven an Gemischen aus völlig umhüllten und völlig bindemittelfreien Mineralstoffen. Das Erstellen dieser Eichkurven ist

sehr arbeitsaufwendig.

Die Methode geht von der Annahme aus, dass die nicht umhüllte Mineralstoffoberfläche des gelagerten Mischgutes ein identisches Reaktionsverhalten der Säure gegenüber aufweist wie die gesamte Oberfläche der nicht umhüllten Mineralstoffe. Für heterogene Gesteine, bei denen insbesondere hydrophobe und hydrophile Mineralstoffanteile vorkommen, ist diese Annahme nicht erfüllt, da unterschiedlich reaktive Mineralstoffanteile meist auch eine unterschiedliche Affinität zum Bindemittel aufweisen und damit unterschiedlich dem Angriff der Säure ausgesetzt sind. Bei der Eichung sind dagegen alle Anteile diesem Angriff gleich ausgesetzt. Gesteine mit solchem Verhalten sind in der Schweiz nicht selten.

5. Voruntersuchung

In Voruntersuchungen wurde das Umhüllungsverhalten untersucht, um die verschiedenen Einflussgrössen auf den resultierenden Umhüllungsgrad abschätzen zu können. Dazu dienten die folgenden Überlegungen:

Der Umhüllungsgrad eines Bindemittels an Mineralstoffen ist in erster Linie abhängig von den Oberflächeneigenschaften des Minerals, weniger ausgeprägt von der Provenienz des Rohöls und deren Verarbeitung zu Bitumen. Es besteht zudem eine Wechselbeziehung zwischen den beiden zu prüfenden Baustoffen. Das heisst, dass wenn mit einem bestimmten Mineral mit Bitumen verschiedener Provenienzen identische Umhüllungsgrade gefunden werden; sich mit einem anderen Mineral leicht unterschiedliche Umhüllungsgrade mit der gleichen Serie von Bindemitteln ergeben können.

Die physikalischen und chemischen wichtigsten Einflussgrössen sind Oberflächenspannung und die Polarität der beiden zu verbindenden Produkte. Durch Zugabe von Haftmitteln kann der Umhüllungsgrad stark angehoben werden.

Das Programm für die Voruntersuchungen wurden von den beiden Forschungsstellen gemeinsam erarbeitet.

Die Voruntersuchungen wurden ausschliesslich in den Laboratorien der Shell (Switzerland) durchgeführt.

5.1 Festlegen des Verfahrens

Prüfverfahren weisen Einflussgrössen auf das Prüfergebnis auf. Daraus resultieren selbst bei ordnungsgemässer Durchführung Unterschiede in den Ergebnissen, die durch die Kenngrössen Vergleichbarkeit und die Wiederholbarkeit charakterisiert werden. Die Wiederholbarkeit ist dabei ein Mass für die sich ergebenden Unterschiede von Ergebnissen, wenn eine Prüfung am selben Material mit den gleichen Geräten vom gleichen Personen wiederholt wird. Die Vergleichbarkeit ist ein Mass für die Unterschiede von Ergebnissen die an gleichem Material in verschiedenen Laboratorien erhalten werden.

Für das Durchführen eines Ringversuches ist es wesentlich, Einflussgrössen, die zu einer schlechten Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit führen zu eliminieren oder doch zu minimieren. Zu diesem Zweck ist es nötig, den Prüfvorgang zu analysieren, die Einflussgrössen aufzulisten und zu werten.

Der Prüfvorgang setzt sich zusammen aus:

a) Probenvorbereitung

- Sieben der Mineralstoffe
- Waschen der Mineralstoffe
- Trocknen der Mineralstoffe
- Auswählen der Mineralstoffe
- Einwiegen der Mineralstoffe
- Aufwärmen des Bindemittels
- Einwiegen des Bindemittels

b) Mischvorgang

- Mischintensität
- Spatelführung

- Art der Bewegung
(Hin-und Herbewegung, - Drehbewegungen, - kombinierte Bewegungen)

c) Abkühlen während dem Mischvorgang

- Mischzeit
- Umgebungstemperatur
- Starker Luftzug

d) Lagerung

- Gerätschaft zur Klimatisierung (Wasserbad, Trockenschrank)
- Luftfeuchtigkeit
- Luftbewegung
- Temperaturübertragung
- Genauigkeit der Temperierung

e) Schätzen

- Subjektivität
- Umgebungseinfluss (Hintergrundshelligkeit)
- Abhängigkeit von der Verfassung des Schätzenden
- Fehlen von, resp. Qualität der Referenz

Von diesen Einflussgrössen wurden die unter a) bis d) aufgeführten Faktoren bereits vor der Durchführung des Ringversuches in Betracht gezogen und intensiv diskutiert.

Wegen der Bedeutung der Temperatur wurde deren Verlauf in der Petrischale ermittelt. Bei einem Teil der Lagerproben wurde über eine längere Periode eine auf $\pm 0.2^\circ\text{C}$ konstante Temperatur entsprechend der Einstellung am Wasserbad festgestellt.

In andern Fällen konnte in den Glasgefässen jedoch ein kurzfristiger Temperaturabfall von 0.5 bis 2°C beobachtet werden. Innert wenigen Minuten stieg die Temperatur anschliessend wieder auf die des Bades an. Diese Veränderung der Temperatur geschah weder in einem zeitlichen Rhythmus noch in allen Proben gleichzeitig.

Nach unseren Beobachtungen liegt der Grund für den Temperaturabfall im Herunterfallen von Tropfen, die sich am unteren Teil des Uhrglases durch Kondenswasser bildeten.

Im Vergleich zu systematisch abweichenden Temperaturen haben diese kurzfristigen Temperaturschwankungen keinen wesentlichen Einfluss auf das Resultat der Bestimmung des Umhüllungsgrades, weil die Temperatur in der Probe sich rasch wieder der Temperatur im Wasserbad nähert.

An das Wasserbad wurden folgende Anforderungen gestellt:

1. Das Wasserbad ist mit einer Umwälzpumpe zu versehen.
2. Die Badtemperatur muss über die gesamte Länge, Breite und Tiefe des Bades auf $\pm 0.5^\circ\text{C}$ eingehalten werden.

Aus diesen Untersuchungen heraus entstand die Verfahrensvorschrift, wie sie allen beteiligten Laboratorien zugestellt wurde.

Sie definiert:

- Probenvorbereitung im Labor (a)
- Den Mischvorgang im Detail (b) und die Mischzeit (c)

- Die Lagerung (d)

Im weiteren wurde festgelegt, dass der Umhüllungsgrad von mindestens vier Personen zu schätzen ist, damit der subjektive Einfluss möglichst gering gehalten werden kann.

Die daraus resultierende Arbeitsanweisung wurde in den Vorversuchen, sowie im kleinen Ringversuch erfolgreich angewendet und nachher den am grossen Ringversuch teilnehmenden Laboratorien zugestellt. Die Arbeitsanweisung ist auf der folgenden Seite aufgeführt, die nächstfolgende Seite zeigt die Liste der beteiligten Labors.



Prüfung der Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen

Ringversuch für die Umhüllung und Wasserlagerung

I. Herstellung des Prüfmischgutes

2. Statische Wasserlagerung bei 60 °C

A: Geräte:

- Halbrunde Eischale $\varnothing$ ca. 125 mm
- Petrischale $\varnothing$ ca. 100 mm
- Spachtel Breite 20-30 mm (Ecken leicht abrunden).
- Stoppuhr, - Thermometer -
- Wasserbad thermostatisierbar, Genauigkeit $\pm 0,2$ °C mit Umwälzung.
- Wärmeschrank,

B: Mineralstoffe:

Die gelieferten, zu prüfenden 5 Mineralstoffe sind bereits gewaschen und getrocknet.

C: Bindemittel:

Drei Bindemittelproben gemäss Lieferung: Proben A, B, C.

D: Herstellung des Prüfmischgutes

Bitumenproben und Testsplitt werden in einem Wärmeschrank auf 145 °C erwärmt.

150 g des zu prüfenden Splitt-Gemisches, d.h. je 30 g der Testsplitt 1 bis 5 werden in die Eischale eingewogen.

8,0 g Bitumen werden zugegeben und sofort mit einem Spatel während 2 Minuten (Stoppuhr) unter intensiven Drehbewegungen gemischt. (Min. 200 Drehbewegungen)
Das Mineral soll 100 %ig mit Bitumen umhüllt sein. Es dürfen keine hellen Stellen oder Kanten mehr sichtbar sein.

Das Mischgut wird sofort in eine Glasschale eingefüllt so dass der ganze Boden mit Mischgut möglichst einschichtig bedeckt ist.

Das Mischgut wird während 15 Minuten in der Glasschale abgekühlt, dann mit 150 ml frisch ausgekochtem entsalztem Wasser von 60, $\pm 0,5$ °C überschichtet, mit einem Uhrglas abgedeckt und sofort in einem Wasserbad von 60 °C während 60 Minuten gelagert.

Die Wasseroberfläche im Thermostatbad muss minimum 10 mm oberhalb dem Wasserspiegel in den Probegläsern sein.

Nach 60 Minuten wird die Probe aus dem Wasserbad genommen und unmittelbar anschliessend in hellem Licht durch visuelle Schätzung die Umhüllung mit Bindemittel in Prozent ermittelt.

Der Grad der Umhüllung ist von mindestens vier Personen zu schätzen, wobei anzugeben ist, ob die Person im Schätzen geübt oder ungeübt ist.

Massgebender Wert ist der Mittelwert aus allen Schätzungen.

Die einzelnen Schätzwerte sind der Forschungsstelle ebenfalls mitzuteilen.

Umhüllungsversuch: FA 10/90

Teilnahme am kleinen Ringversuch

EMPA
ERTEC
IMP
SHELL

Dübendorf
Lausanne
Gunzgen
Birsfelden

Teilnehmer - Labors am Ringversuch.

Institute und kantonale Laboratorien:

- | | |
|---------------------------------|------------|
| 1. EMPA | Dübendorf |
| 2. LAVOC | Lausanne |
| 3. Institut für Verkehrsplanung | Zürich |
| 4. Sezione Strade Tecnologia | Bellinzona |
| 5. Baudirektion Kanton Uri | Flüelen |
| 6. Tiefbauamt Kanton Zürich | Zürich |

Private Labors:

- | | |
|--------------|----------------------|
| 7. IMP | Gunzgen |
| 8. INFRA-Lab | Romanel-sur-Lausanne |
| 9. LCBE | Bossonens |
| 10. S.A.C.R. | Ecublens |

Firmen - Unternehmer-Labors:

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 11. Baulabor AG | Winterthur |
| 12. Baulabor BODAN | Müllheim-Wigoltingen |
| 13. Baulabor Ostschweiz | Bürglen |
| 14. Comibit Sigirino | Lugano |
| 15. CTW | Muttenz |
| 16. ERTEC | |
| 17. FRUTIGER | Thun |
| 18. Prüflabor AG | Mörschwil |
| 19. Shell (Switzerland) | Birsfelden |
| 20. STIA | Pratteln |
| 21. Tecnotest | Bern |
| 22. WALO Bertschinger | Zürich |

Oertliche Aufteilung:

5 Labors Westschweiz
2 Labors Tessin
15 Labors Deutsche Schweiz

5.2 Einfluss der Mineralstoffe

Methodik

An den ausgewählten Mineralstoffen wird mit einem Bindemittel ohne zudosiertem Haftmittel sowie mit Bindemittel mit steigender Dosierung eines Haftmittels der Umhüllungsgrad bestimmt.

Ergebnisse

Der grosse Einfluss der Mineralstoffe auf den Umhüllungsgrad durch Bitumen ohne zudosiertem Haftmittel wurde durch die Untersuchung an vier Mineralstoffen und eines Quarzgesteins schweizerischer Herkunft und eines Quarzgesteins französischer Herkunft bestätigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt und werden in Abbildung 6 gezeigt. Zwei Beobachtungen sind hervorzuheben:

- Die beiden Quarzgesteine weisen stark unterschiedliche Umhüllungsgrade auf. Die Angabe Quarzgestein in einer Norm ist somit nicht ausreichend.
- Das kristalline Mineral 2 weist einen tiefen Umhüllungsgrad auf und fällt in die Kategorie der Quarzgesteine.

Mineral-Bezeichnung	Umhüllungsgrad %
Mineral 1	82
Mineral 2	40
Mineral 3	78
Mineral 4	87
Quarz 1	50
Quarz 2	10

Tabelle 3, Umhüllungsgrad verschiedener Mineralstoffe mit Bitumen B 80/100

FA 10/90 - Mineralkomponenten Bitumen 80/100 ohne Haftmittel

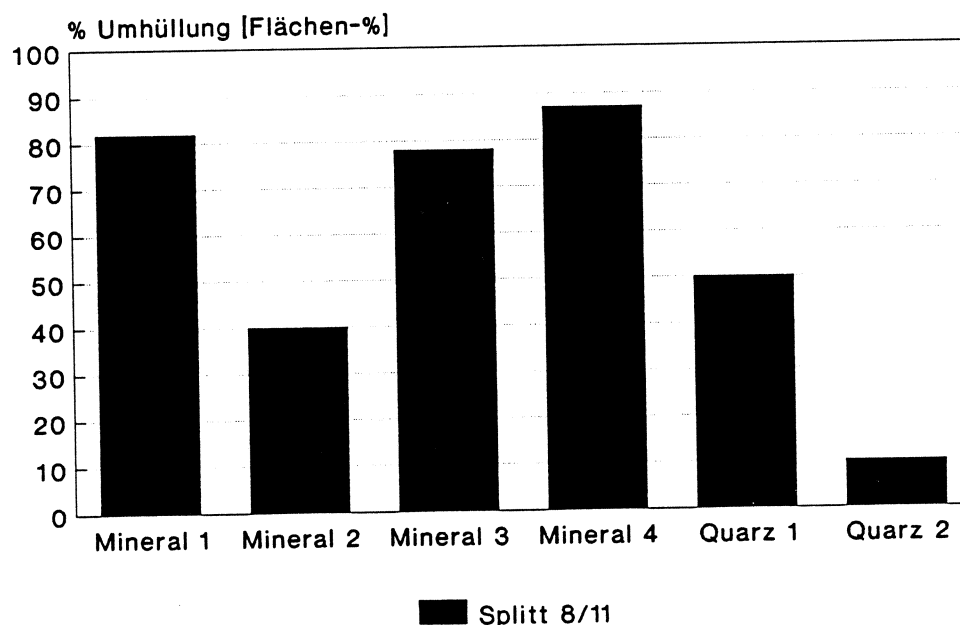


Abbildung 6, Umhüllungsgrad verschiedener Mineralstoffe mit Bitumen B 80/100

Die Unterschiede in den Umhüllungsgraden zwischen den verschiedenen Mineralstoffen nehmen mit zudosiertem Haftmittel rasch ab. Bereits eine Zugabe von 0.1% Haftmittel bewirkt bei allen Mineralstoffen eine Erhöhung des Umhüllungsgrades und zugleich eine Angleichung auf höherem Niveau. Mit einer Dosierung von 0,15 % Haftmittel zum Bitumen wird mit den Mineralkomponenten 1,3,4 und 5 bereits eine 90 %ige Umhüllung erreicht. Das kristalline Gestein Nummer 2 weist allerdings immer noch einen tiefen Umhüllungsgrad auf. Bei der hohen Dosierung von 0.2% Haftmittel zeigen sich praktisch keine Unterschiede mehr zwischen den verschiedenen Splitten.

Mineral-Bezeichnung	Umhüllungsgrad % in Abhängigkeit der Dotierung		
	0.10% Haftmittel	0.15% Haftmittel	0.20% Haftmittel
Mineral 1	85	90	98
Mineral 2	70	72	90
Mineral 3	85	93	98
Mineral 4	88	93	98
Quarz 1	87	85	98
Quarz 2	87	90	95

Tabelle 4, Umhüllungsgrad verschiedener Mineralstoffe mit dotiertem Bitumen

Folgerungen

Der Quarz 2 weist im Vergleich mit im schweizerischen Strassenbau normalerweise verwendeten Gesteinen ein sehr unübliches Verhalten auf und ist zudem weniger handelsüblich. Es wurde entschieden, für die Ringversuche als 5. Mineralkomponente den Quarz 1 einzusetzen. Somit ergibt sich als bereinigte Referenz ein mengengleiches Gemisch der in Tabelle 5 aufgeführten Komponenten.

Mineral-Bezeichnung	Umhüllungsgrad % mit B 80/100
Mineral 1	82
Mineral 2	40
Mineral 3	78
Mineral 4	87
Quarz 1	50

Tabelle 5, Umhüllungsgrad der Mineralstoffkomponenten des Referenzgemisches mit Bitumen B 80/100

Der Mittelwert des Umhüllungsgrades der Mineralkomponenten 1-5 beträgt ca. 67% und entspricht einem heterogenen Mineral wie es in der Schweiz häufig anzutreffen ist. Ein Mineral mit einem solchen Umhüllungsgrad ist als "schlecht umhüllbar" zu bezeichnen.

Durch Zugabe einer geringen Menge eines Haftmittels kann die Umhüllung wesentlich verbessert werden, wie es auch für Mineralstoffe schweizerischer Provenienz üblich ist.

Dies entspricht der notwendigen Voraussetzung, um diese Mineralstoffmischung für den Ringversuch als Referenz einzusetzen. Sie wird im folgenden mit **Referenz 10/90** bezeichnet.

FA 10/90 Mineralkomponenten

Haftfestigkeit nach Provenienz

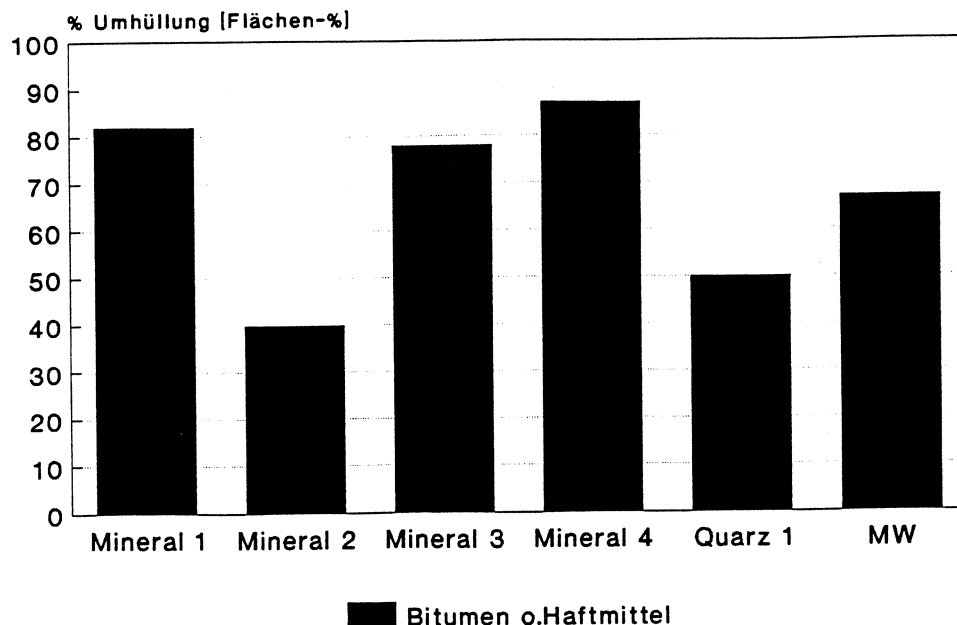


Abbildung 7, Umhüllungsgrad der Mineralstoffkomponenten mit Bitumen B 80/100 und Mittelwert als Schätzwert für die Referenz 10/90

Verifikation durch Vergleich mit Stammsplitt

Die Bestimmung des Umhüllungsgrades an der Referenz 10/90 und an Stammsplitt mit Bindemittel ohne und mit Haftmittelzugaben von 0.10 und 0.15 Masse-% zeigt eine weitgehende Übereinstimmung im Verhalten zwischen Stammsplitt und der Referenz, wie Abbildung 8 beweist.

FA 10/90 "Umhüllung" Mineral-Mischung + Stamm-Splitt

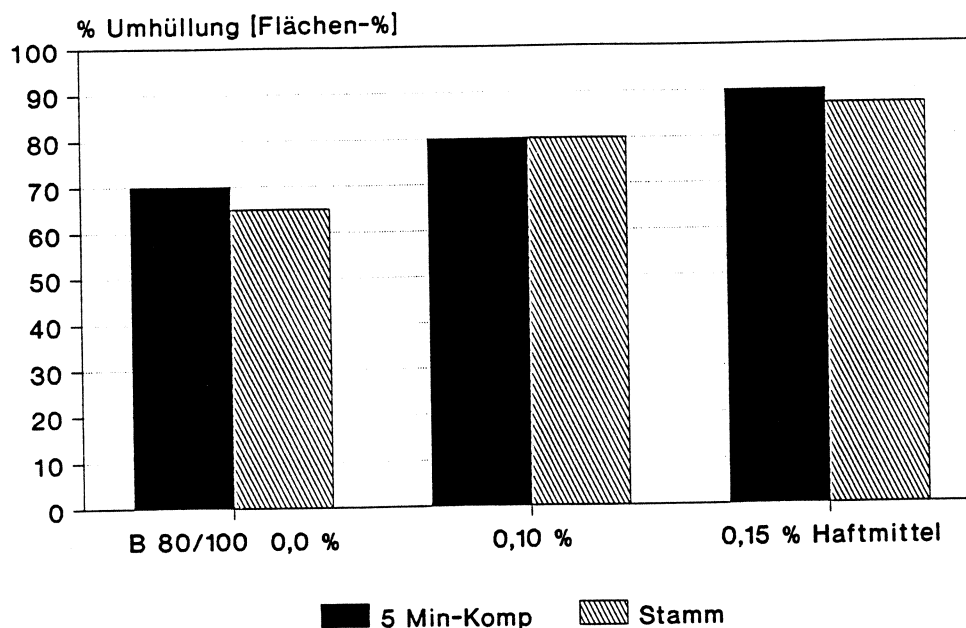


Abbildung 8, Umhüllungsgrad der Referenz 10/90 und des Stammsplittes ohne und mit Haftmittelzugabe von 0.10 und 0.15 Masse-%

5.3 Einfluss der Bitumensorte

Methodik

Prüfung von Bitumen verschiedener Penetrationen auf die Umhüllung.

Physikalische Grundlage

Mischvorgang: Je höher die Viskosität eines Bindemittels ist, desto grösser sind die Kräfte, welche für das Umhüllen des Gestein mit Bindemittel aufgewendet werden müssen. Diese Kräfte für das Umhüllung beeinflussen das Resultat nicht, solange ohnehin ein Kräfteüberschuss aufgewendet wird. Durch entsprechende Erhöhung der Mischtemperatur wird die höhere Bindemittelviskosität kompensiert.

Lagerung: Bei härteren Bindemitteln braucht es höhere Zugkräfte, um das Bindemittel wieder vom Mineral zu lösen. Grundsätzlich kann das dazu führen, dass bei harten Bindemitteln der Ablösevorgang unter den gegebenen Lagerungsbedingungen nicht beendet ist.

Folgende Bindemittel gleicher Provenienz wurden ohne Zugabe von Haftmitteln auf den Umhüllungsgrad nach der Wasserlagerung untersucht:

B 40/50, B 60/70, B 80/100, B 180/220

Die Viskositäten der vier geprüften Bindemittel unterscheiden sich etwa um den Faktor 16, (siehe SN 671110). Die Resultate sind aus Abbildung 9 zu ersehen. Für das Bindemittel B 80/100 konnte im Kapitel 5.6 gezeigt werden, dass nach einer Stunde der Gleichgewichtszustand innerhalb der Bestimmungsgenauigkeit erreicht ist. Der etwas tiefere Umhüllungsgrad des B 180/220 ist somit dem etwas schlechteren Haftvermögen dieses Bindemittels zuzuschreiben. Das Bindemittel B 60/70 reagierte wie das B 80/100. Somit kann auch hier das Erreichen des Gleichgewichtes angenommen werden.

FA 10/90 "Umhüllung" Einfluss der Penetration

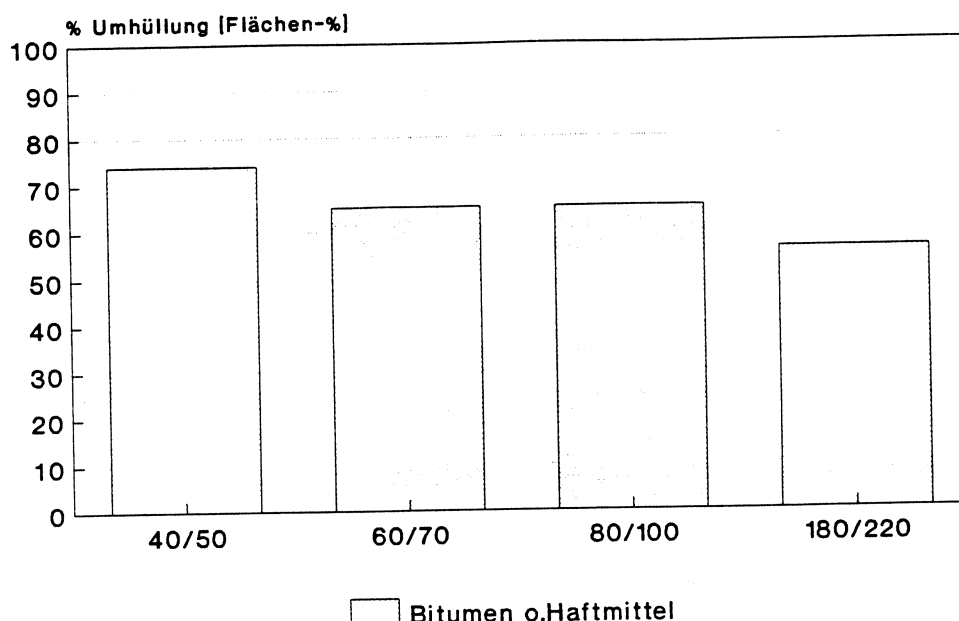


Abbildung 9, Umhüllungsgrad in Abhängigkeit der Bitumensorte

Für die Durchführung des Ringversuches wurde das B 80/100 als geeignetes Bindemittel ausgewählt, weil bei diesem Bitumen eine Lagerungsdauer von einer Stunde als ausreichend bezeichnet werden kann und es die meistgebrauchte Bitumensorte in der Schweiz ist.

5.4 Einfluss unterschiedlicher Provenienzen bezüglich ihres Umhüllungsgrades

Eine der Auflagen des Auftraggebers des Forschungsauftrages war es, nicht nur Bindemittel von einer Provenienz zu prüfen. In den Voruntersuchungen wurden 7 Bindemittel mit und ohne Haftmittel geprüft. An diesen Proben wurde auch der Einfluss einer verlängerten Wasserlagerung geprüft.

Folgende Provenienzen von Bitumen wurden auf die Umhüllung geprüft (alphabetische Reihenfolge, entspricht nicht der Reihenfolge in der Abbildung):

- Cressier
- Feyzin
- Karlsruhe
- Nynas
- RHO
- Trecate
- Wörth

Abbildung 10 zeigt, dass mit einer Ausnahme alle Bitumen den gleichen Umhüllungsgrad aufweisen, es konnte deshalb für den Ringversuch das zu dieser Kategorie gehörende Bitumen ex Cressier ausgewählt werden.

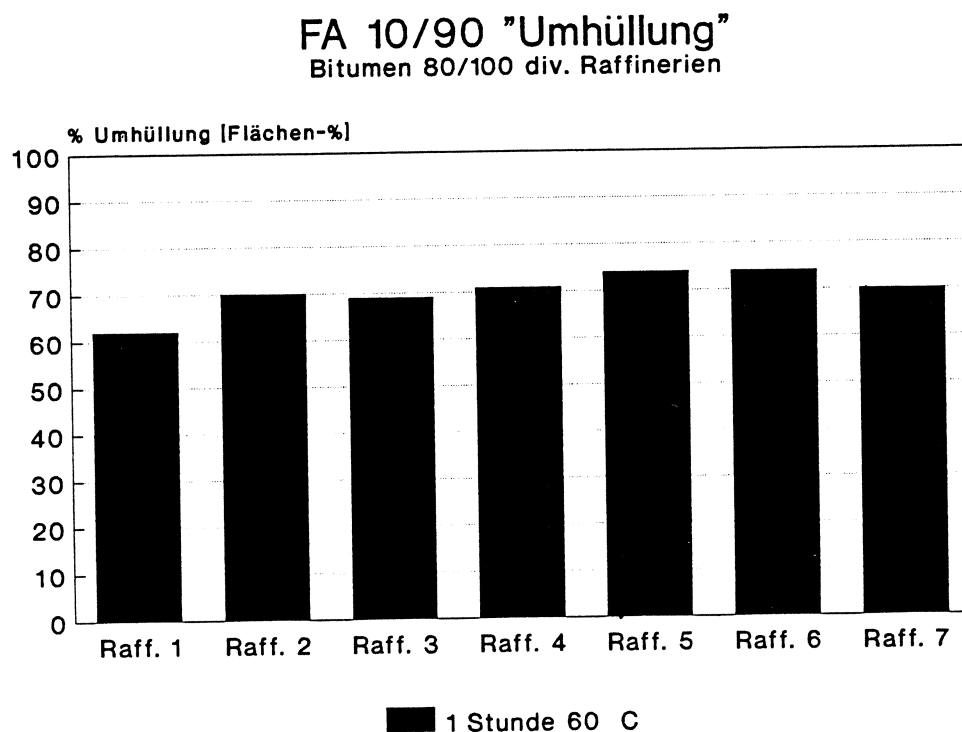


Abbildung 10, Umhüllungsgrad in Abhängigkeit der Bitumenherkunft

5.5 Einfluss des Haftmittels

Einfluss der Art des Haftmittels auf die Umhüllung:

Auf dem Markt werden Haftmittel mit unterschiedlicher chemischen Zusammensetzung für diverse Anwendungsgebiete angeboten. Die Auswahl des Haftmittels erfolgte nach den Kriterien

- gute Verträglichkeit mit Bitumen
- hohe Wirksamkeit bei kleiner Dosierung
- gute Temperaturstabilität

- vielerorts eingesetztes Produkt

Es wurden zwei, in der Schweiz häufig verwendete, temperaturbeständige Haftmittel näher untersucht. Sie werden im weiteren bezeichnet als Haftmittel A und Haftmittel B. Sie verhielten sich in der Förderung des Haftvermögens gleich, wie aus Tabelle 6 zu ersehen ist.

Einfluss der Konzentration des Haftmittels

Gute Haftmittel zeigen bereits bei sehr kleinen Dosierungen im Bitumen eine deutliche Verbesserung der Haftfestigkeit. Zu hohe Dosierungen sind preislich nicht interessant und haben eher negative Auswirkungen auf das Belags-Mischgut. Das Finden der optimalen Dosierung an Haftmittel im Bitumen, bezogen auf das Gesteinsmaterial ist ein wichtiger Faktor.

Der Einfluss der Konzentration des Haftmittels ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen Gegenstand der Forschungsarbeit.

Von den Haftmitteln A und B wurden Mischungen mit den Dosierungen 0,10; 0,15 und 0,20 Masse-% hergestellt. Nach der erforderlichen Aktivierungszeit wurden die Umhüllungsversuche an der Referenzmischung aus den 5 Mineralkomponenten mit und ohne Haftmittel durchgeführt.

Wie aus Tabelle 6 und Abbildung 11 ersichtlich ist, bewirken die beiden Haftmittel eine vergleichbare Erhöhung des Umhüllungsgrades gegenüber einem Bindemittel ohne Haftmittel. Auch die Zunahme der Haftung durch Erhöhung der Haftmittelkonzentration ist praktisch identisch.

	Haftmittelkonzentration	tel quel	0,10 %	0,15 %	0,20 %
	Haftmittel A	70	80	90	97
	Haftmittel B	70	78	92	96

Tabelle 6, Einfluss der Konzentration der Haftmittel A und B auf den Umhüllungsgrad
Für alle Prüfungen in den Ringversuchen wurde deshalb nur noch das Haftmittel A eingesetzt.

FA 10/90 "Umhüllung" Einfluss der Art des Haftmittels

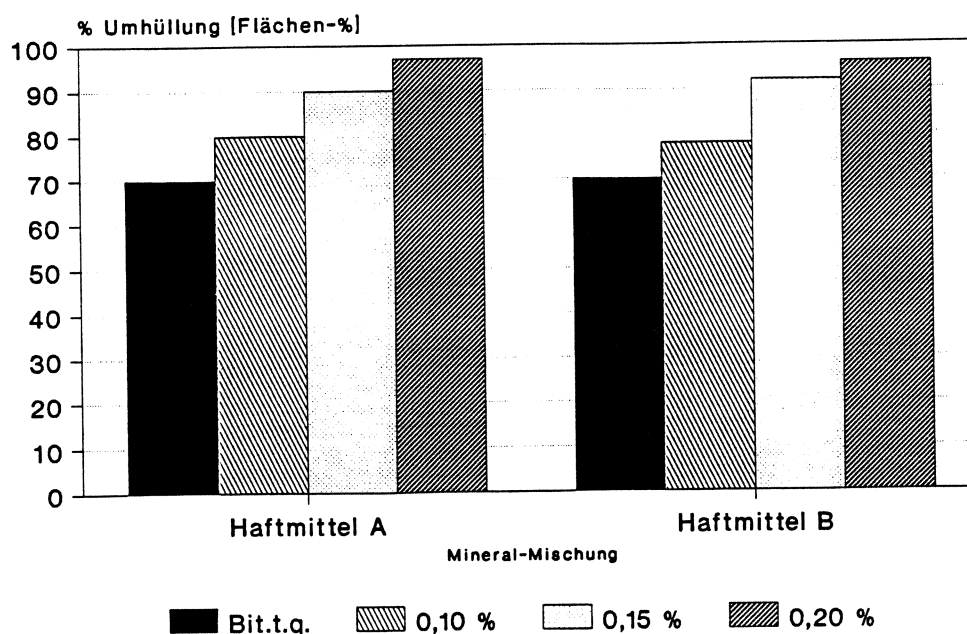


Abbildung 11, Umhüllungsgrad in Abhängigkeit des zudosierten Haftmittels

5.6 Einfluss der Lagerungsdauer

Der Einfluss der Lagerungsdauer wurde mit folgenden drei Untersuchungen erfasst:

- Fotografisches Festhalten der Ablösung vom Beginn der Wasserlagerung bis zur endgültigen Stabilisierung des Ablöseprozesses.
- Ausdehnung der Wasserlagerung von einer Stunde auf zwei und fünf Stunden
- Grosser Ringversuch, Bewertung nach einer weiteren Stunde Lagerzeit

Die fotografische Bildfolge zeigt die teilweise Ablösung eines B 80/100 ohne Haftmittel am Mineralstoffgemisch (Referenz 10/90). In den Abbildungen 12 bis 23 ist deutlich sichtbar, dass der Ablöseprozess in der ersten Viertelstunde am ausgeprägtesten, und nach einer Stunde innerhalb der Bestimmungsgenauigkeit abgeschlossen ist.

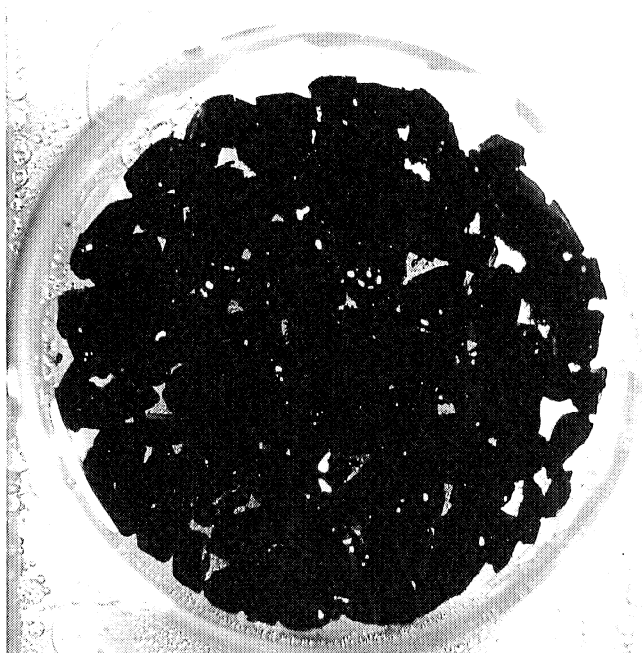


Abbildung 12, Umhüllungsgrad zu Beginn der Lagerung

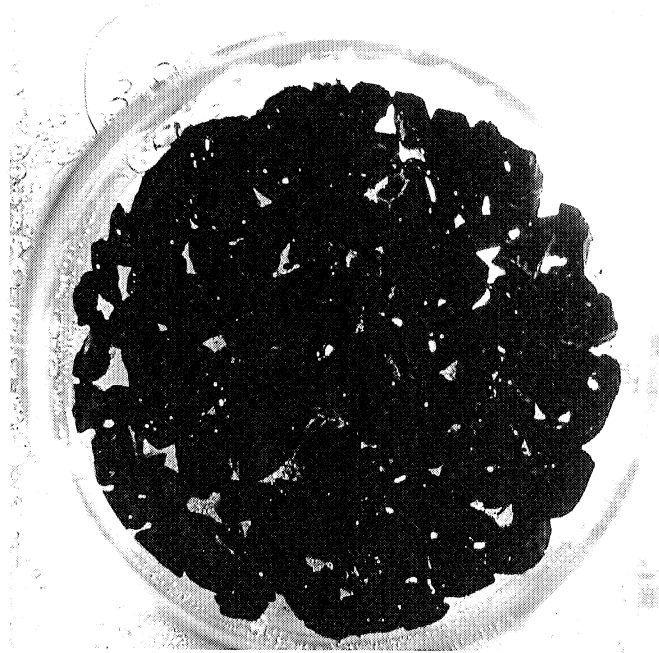


Abbildung 13, Umhüllungsgrad nach 2 Minuten Lagerungsdauer

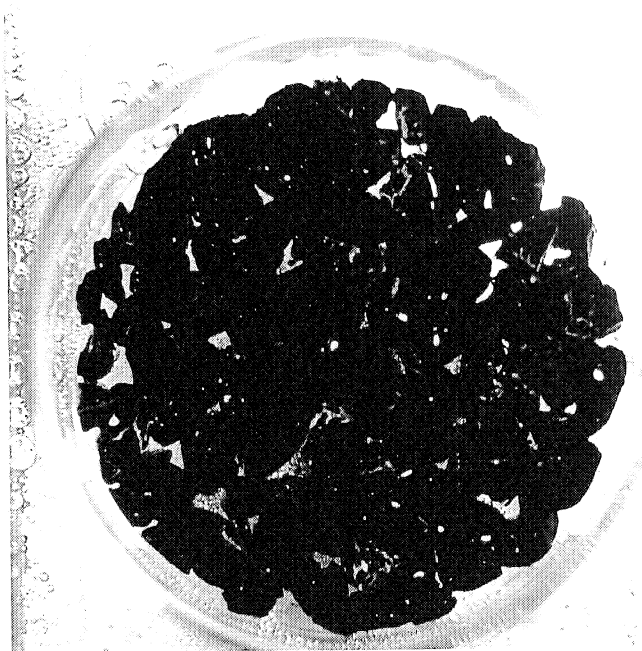


Abbildung 14, Umhüllungsgrad nach 4 Minuten Lagerungsdauer

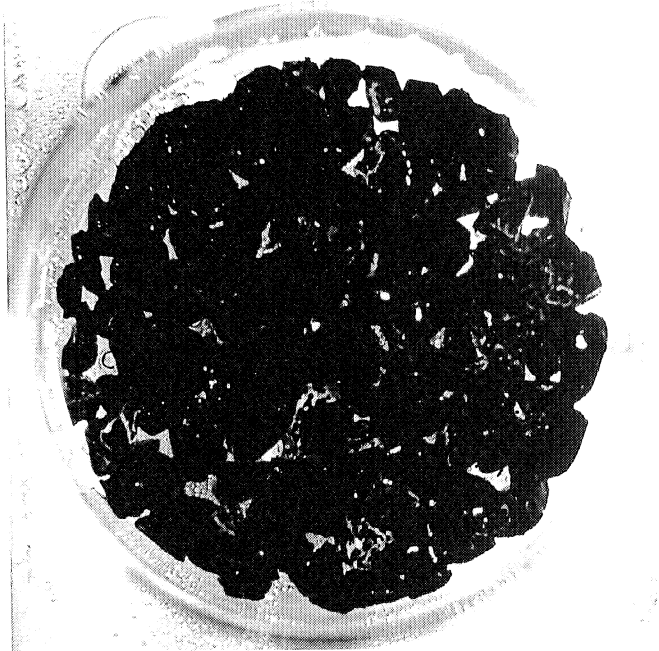


Abbildung 15, Umhüllungsgrad nach 6 Minuten Lagerungsdauer

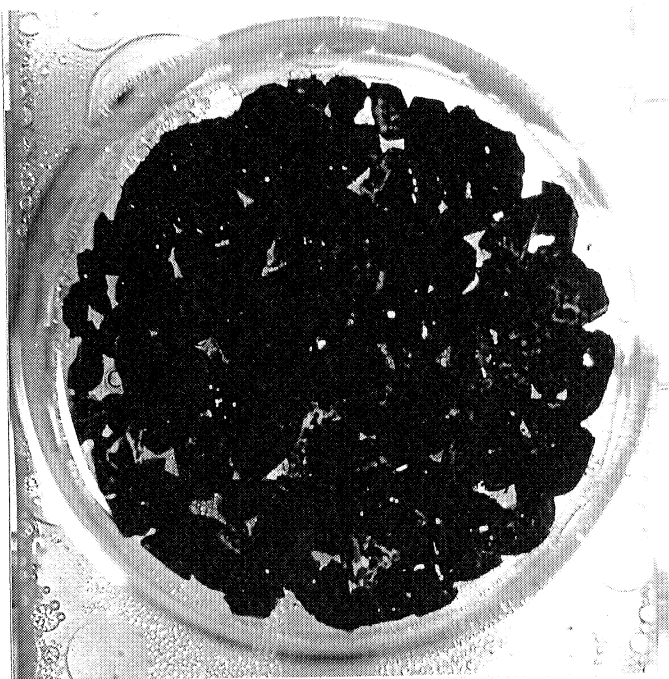


Abbildung 16, Umhüllungsgrad nach 8 Minuten
Lagerungsdauer

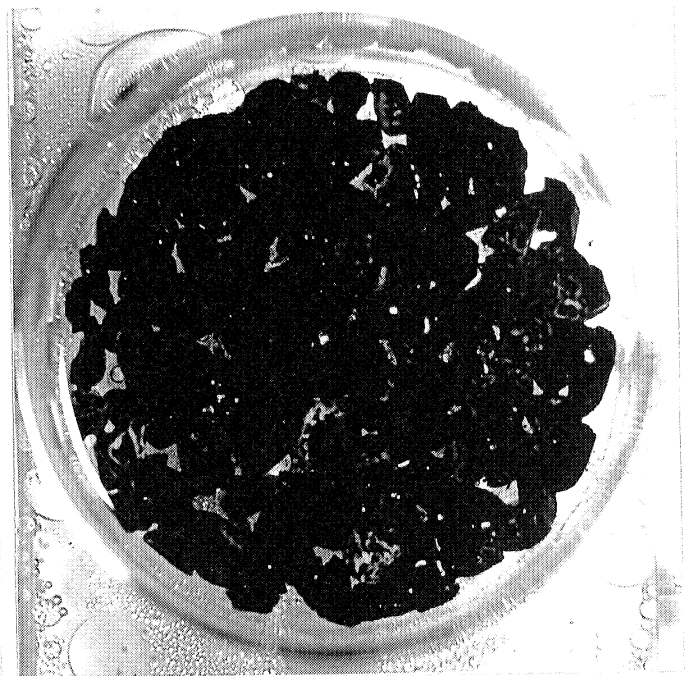


Abbildung 17, Umhüllungsgrad nach 10 Minuten
Lagerungsdauer

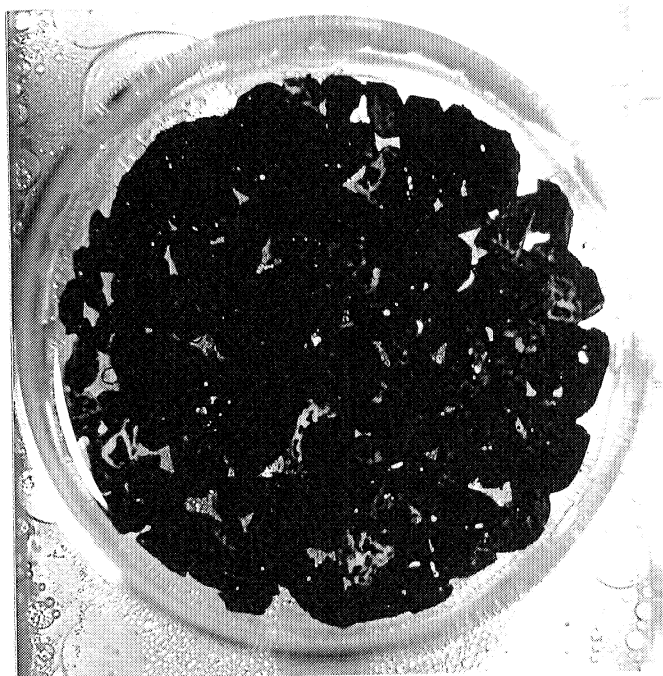


Abbildung 18, Umhüllungsgrad nach 20 Minuten
Lagerungsdauer

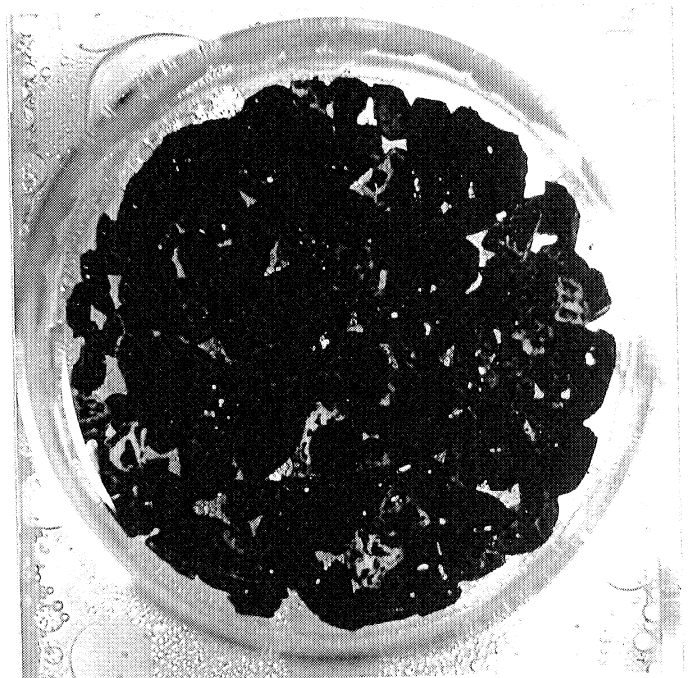


Abbildung 19, Umhüllungsgrad nach 30 Minuten
Lagerungsdauer

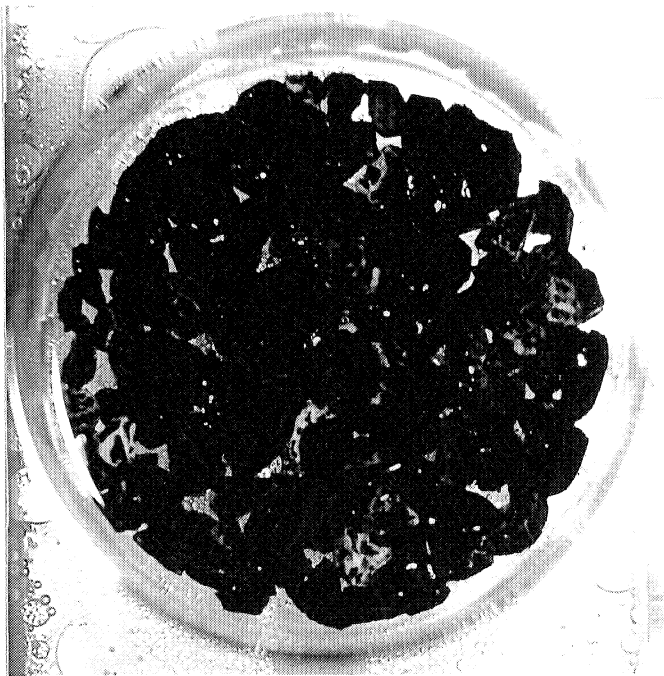


Abbildung 20, Umhüllungsgrad nach 40 Minuten Lagerungsdauer

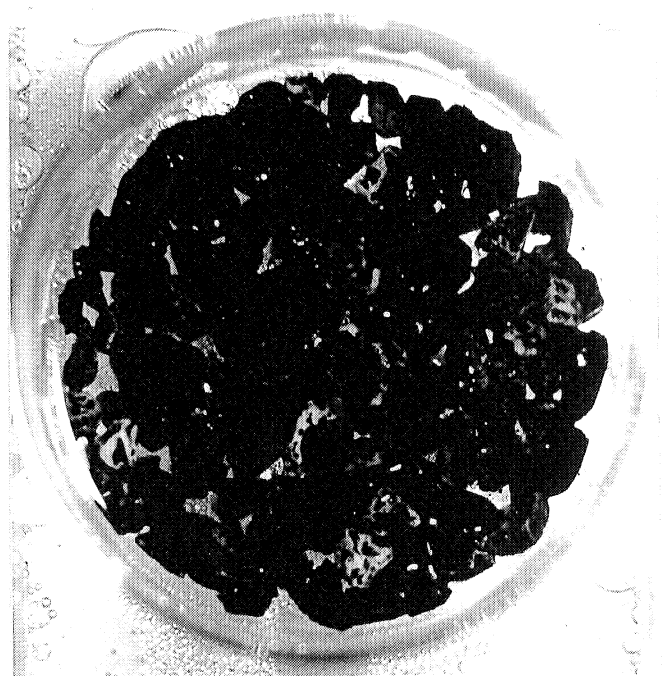


Abbildung 21, Umhüllungsgrad nach 50 Minuten Lagerungsdauer

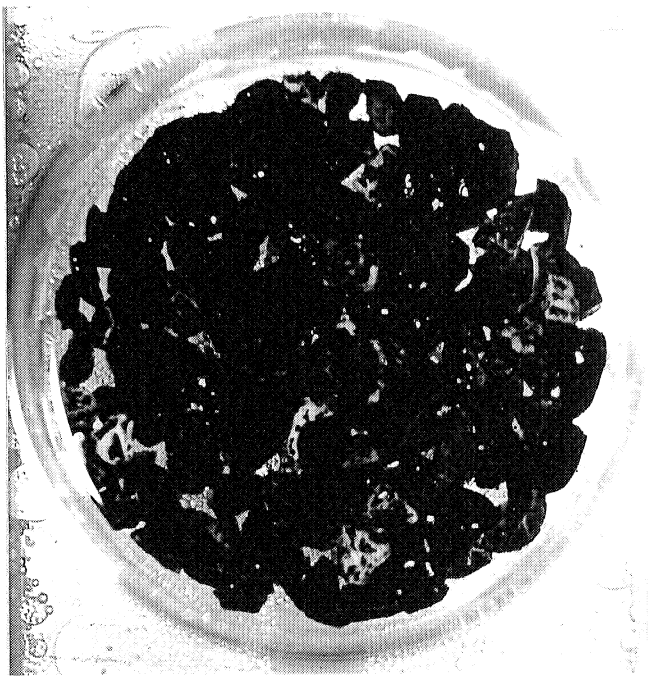


Abbildung 22, Umhüllungsgrad nach 60 Minuten Lagerungsdauer

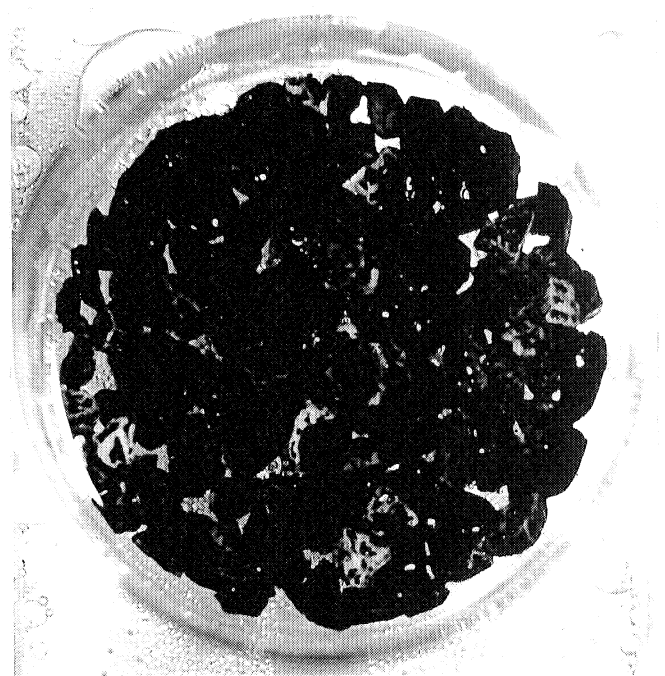


Abbildung 23, Umhüllungsgrad nach 70 Minuten Lagerungsdauer

6. Durchführen der Ringversuche

Die Forschungsstellen nahmen auch am kleinen und grossen Ringversuch teil. An alle Teilnehmer wurde erneut, einheitliches Probenmaterial verschickt.

6.1 Kleiner Ringversuch, 4 Laboratorien

Um Verfahrensfehler mit der gewählten Prüfmethode bei der Durchführung des grossen Ringversuches mit der Beteiligung von über 20 Labor auszuschliessen, wurde ein kleiner Ringversuch mit vier Labors durchgeführt. Dieses Vorgehen soll es ermöglichen:

- eventuell auftretende methodische Probleme frühzeitig zu erkennen
- die Eignung der eingesetzten Materialien (Bindemittel, Haftmittel, Mineralstoffe) zu verifizieren.

Das erlaubte es, die Vorschriften für den grossen Ringversuch nötigenfalls frühzeitig zu ändern.

6.2 Folgerungen für das Durchführen des grossen Ringversuches

Die Auswertung der Resultate zeigte, dass ein Labor viel höhere Umhüllungsgrade fand. Beim Besuch des betreffenden Labors sowie bei der Auswertung der Proben durch die Forschungsstelle wurde dieser hohe Umhüllungsgrad bestätigt.

Das angewandte Prüfverfahren wurde mit der entsprechenden Prüfstelle besprochen. Dabei wurde festgestellt, dass die Wasserlagerung nicht im Wasserbad, sondern im Trockenschrank bei 60 °C durchgeführt worden war. Das Labor wiederholte die Prüfung auf die vorgeschriebene Weise.

Als Folgerung wurde für den grossen Ringversuch speziell darauf hingewiesen, dass für die Wasserlagerung ein Wasserbad (und nicht wie vielleicht gewohnheitsmässig), ein Trockenschrank eingesetzt werden muss.

6.3 Grosser Ringversuch mit 23 Laboratorien

Es wurden 24 Labors angeschrieben, ob sie an einem Ringversuch mit dem Thema "Umhüllung bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen" teilnehmen wollen.

Die vier am kleinen Ringversuch beteiligten Labors, nahmen ebenfalls am grossen Ringversuch teil.

Das Schreiben enthielt:

- eine Arbeitsanweisung für die Durchführung des Umhüllungsversuches.
Mit der Anmeldung mussten folgende Fragen beantwortet werden:
 - Führt das Labor bereits routinemässig Umhüllungsversuche durch?
 - Sind die entsprechenden Einrichtungen vorhanden?

Den beiden Forschungsstellen wurden 21 Anmeldungen zur Teilnahme eingereicht.

Versand der Proben

An alle Teilnehmerlabors wurde das Probenmaterial entsprechend B; und C; der Prüfanweisung zugesandt.

Alle Prüfungen wurden mit einer neuen Serie von Proben durchgeführt. Somit arbeiten alle 23 Laboratorien, welche am grossen Ringversuch teilnehmen, mit den identischen Materialien.

Jedes Prüflabor erhielt:
fünf Plastic-Säckchen mit je fünf Mineralkomponenten der Referenz 10/90, gewaschen und getrocknet,
drei Büchsen mit der Bezeichnung A, B, C welche Bitumen ohne Haftmittel und je eines mit unterschiedlicher Haftmitteldosierung enthielten.
Arbeitsanweisung für die Durchführung des Umhüllungsversuches
Formular für das Eintragen der Schätzwerte

Die Prüfstellen wurden gebeten, die Proben nach der Wasserlagerung und Auswertung des Umhüllungsversuches nicht wegzuwerfen. Die Proben sollen bei Raumtemperatur mit dem Wasser im Glas und mit einem Uhrglas gedeckt im Dunkeln (Schrank) aufbewahrt werden.

Termin für die Durchführung des Umhüllungstests:	5 Wochen
--	----------

6.4 Auswertung der Zusendungen

Ein Labor musste wegen inkorrekt durchgeführter Versuchsdurchführung von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden.

Die erhaltenen Resultate zeigten Ausreisser. Ein Labor hatte nach Beurteilung der Forschungsstelle die Ablösung und nicht die Umhüllung angegeben. Nach Rücksprache mit dem entsprechenden Labor und dessen Bestätigung wurden die Resultate vor der Auswertung umgerechnet. Die statistische Auswertung ist in Kapitel 7.2 beschrieben.

6.5 Tafel mit Testfeldern als Hilfe zur Auswertung

Beim Durchsehen der Schätzergebnisse wurde festgestellt, dass die meisten Labors den Anstieg des Umhüllungsgrades mit zunehmender Haftmitteldosierung richtig erfassten. Hingegen wurden die drei Umhüllungsgrade von einzelnen Labors viel tiefer, von andern viel höher als vom Durchschnitt angesetzt. Mittels einer Tafel mit Testfeldern mit definierten Schwarz- und Weiss-Anteilen wurde überprüft, wie die einzelnen Labors eine Fläche mit exakt definiertem Schwarzanteil einschätzten.

Demzufolge wurde jedem Labor zugesandt:
eine Tafel mit 4 Testfeldern zur Beurteilung der Schwarzanteile
ein Formular zum Eintragen der geschätzten Schwarzanteile

Nachdem alle Prüfstellen diese Schätzungen durchgeführt und ihre Schätzwerte abgegeben hatten, wurde ihnen die Tafel mit den Testfeldern nochmals zugesandt. Diesmal waren die effektiven Anteile von Schwarz und Weiss auf dem Blatt aufgeführt. Die Prüfstellen wurden gebeten, die Schätzung der im Dunkeln aufbewahrten Proben nochmals durch alle Testpersonen schätzen zu lassen. Dabei mussten die Schätzenden die Testfelder mit bekannten Anteilen von Weiss und Schwarz als Orientierungshilfe verwenden.

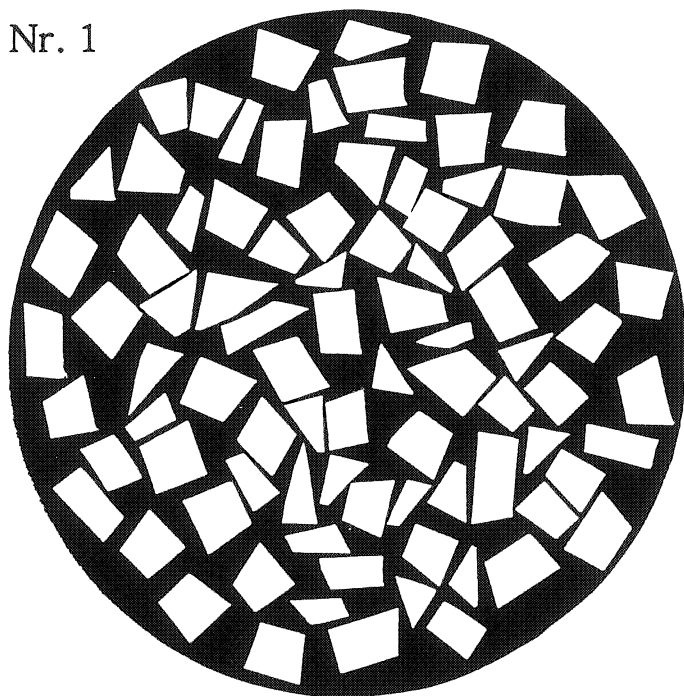
Die neue Bewertung soll der Forschungsstelle zugesandt werden, egal ob die Werte der Beurteilung sich geändert haben oder gleich geblieben sind.

Die Forschungsstelle führte am Ort der Prüfstellen bei denen unrealistische Werte gefunden wurden eigene Auswertungen durch. Bei zwei Labors wurden die üblichen Umhüllungsbilder gefunden wie im Prüflabor der Forschungsstelle. Durch Fragen und Vergleichen der Beurteilung der Proben sowie der Beobachter untereinander stellte sich eine einheitlichere Betrachtungsweise ein in dem Sinne, dass danach, die vormals geschätzten Werte als nicht realistisch beurteilt wurden, (Trainingseffekt). Für die angegebene 1. Auswertung wurde aufgrund dieser Besprechung keine Aenderung der Resultate vorgenommen.

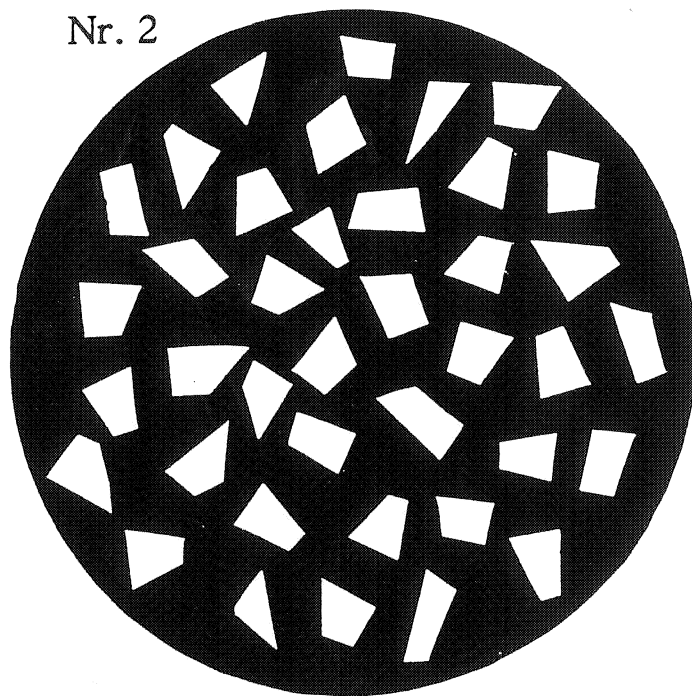
Ringversuch: FA 10/90

"Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen"

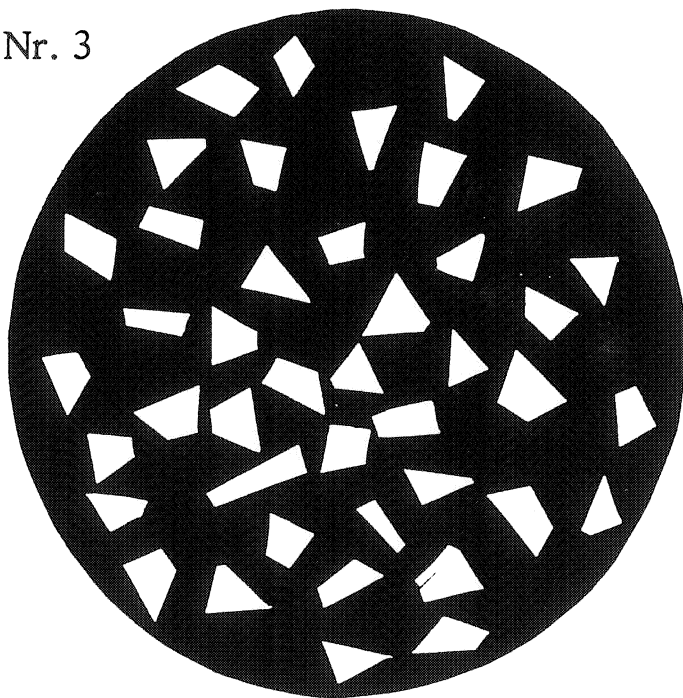
Nr. 1



Nr. 2



Nr. 3



Nr. 4

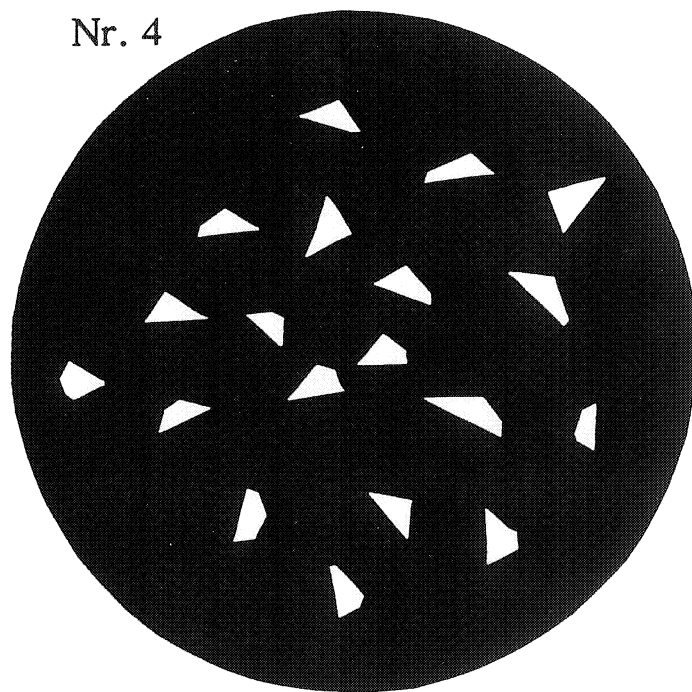


Abbildung 24, Tafel mit Testfeldern

Ringversuch: *A n m e l d u n g.* **"Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen"**

Als Beilage 4 finden Sie ein Blatt mit vier schwarz-weissen Kreisen. Die weissen Stellen sollen den Anteil an abgelöstem Bitumen, d.h. nichtumhülltes Mineral darstellen. Bitte **schätzen** Sie mit so vielen Personen wie möglich, geübten und ungeübten, den Anteil an schwarzen Flächen in % und setzen Sie Ihre Werte in die untenstehende Tabelle ein. (Bitte nur **geschätzte**, und keine bestimmten oder ausgemessene Werte angeben!)

Betrachter	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4
geübt/ungeübt	% schwarz	% schwarz	% schwarz	% schwarz
1)				
2)				
3)				
4)				
5)				
6)				
7)				

Erfahrung mit Umhüllungsversuchen:
 Wir nehmen am Ringversuch teil.

Ja
 Ja

Nein
 Nein

Labor:
 Adresse:
 Ort:
 Telefon:
 Telefax:

Formular zum Eintragen der geschätzten Umhüllungswerte

6.6 Zweite Beurteilung der Proben durch die Laboratorien

Nach Bekanntgabe des Anteils der schwarzen Fläche der Testbilder wurde von den beteiligten Laboratorien des grossen Ringversuches eine zweite Beurteilung der im dunklen gelagerten Proben verlangt. Sie wurde noch von 17 Prüflabors durchgeführt.

In den meisten Fällen wich das Resultat der erneuten Beurteilung etwas von der ersten ab. Es kann deshalb angenommen werden, dass eine zweite Beurteilung durch die Laboratorien stattfand.

Drei Labors, welchen die Proben nicht mehr zur Verfügung standen, wiederholten den Test als Ganzes. Dieses Vorgehen entspricht zwar nicht der Anweisung, die übermittelten Werte werden jedoch trotzdem für Auswertung mitberücksichtigt, weil auch in diesem Fall als einzig neues Element das Hilfsmittel "Testfelder" war. Die durch die Wiederholung der ganzen Prüfung mögliche zusätzliche Streuung der Werte wurde als tragbar erachtet, weil es nur um den Einfluss der Benutzung der Testfelder geht.

6.7 Auswertung nach Methode Dr. Gubler durch die Laboratorien

Zusammen mit der Aufforderung zur zweiten Beurteilung wird jedem Labor ein Blatt mit Musterbildern zur zusätzlichen Beurteilung nach Methode Dr. Gubler, beschrieben in Kapitel 6.9 zugesandt. Die Durchführung dieser Auswertung ist fakultativ. Der Forschungsstelle gingen sieben solche Auswertungen zu.

6.8 Nachträgliche Wasserlagerung 1 Stunde bei 70 °C

Die Prüfstellen wurden gebeten, nach der zweiten Auswertung der Muster, eine nochmalige Wasserlagerung der Proben von 1 Stunde bei 70 °C durchzuführen und die Auswertung ebenfalls der Forschungsstelle mitzuteilen. Diese Zusatzprüfung wurde von 15 Labors durchgeführt.

6.9 Auswerten mittels Musterbildern

Die Auswertung des ersten Durchlaufes des Ringversuches ergab, dass zumindest ein Teil der Unterschiede in den Resultaten auf Fehler im Schätzen zurückgeführt werden musste. G. Rehmann besuchte daraufhin verschiedene Labors und konnte verifizieren, dass tatsächlich Schätzfehler grober Art einen Teil der Abweichungen erklären konnte. Drei Kategorien von Fehlern konnten dabei identifiziert werden:

- genereller Trend zum Überschätzen der hellen Flächen.
- Unterschätzen der Unterschiede innerhalb einer Serie.
- krasses Verschätzen in einzelnen Fällen bei ungeübten Schätzenden.

Musterbilder einzelner Körner

Im direkten Gespräch mit den Mitarbeitern einzelner Prüflabors wurde offensichtlich, dass eine Art fixer Punkt, ein Massstab für die Schätzung fehlte. Um dem entgegen zu wirken wurden daraufhin von R. Gubler Musterkörner mit einem genau definierten Weissanteil entworfen. Sie stehen für verschiedene, in Realität recht oft zu beobachtende Umhüllungsgrade von einzelnen Körnern wohldefinierter mineralogischer Art.

A: Die Körner sind vollständig umhüllt, keine Mineraloberfläche ist von Bindemittel frei.
Umhüllungsgrad 100%

B: Kanten sind als feine Linien sichtbar. Die Linien werden als Linien und nicht als sehr schmale Flächen wahrgenommen. Umhüllungsgrad 95%.

C: Die Kanten sind als deutlich ausgeprägte Linien erkennbar. Umhüllungsgrad 90%

D: Neben Kanten sind am Mineralkorn wenige, kleine, freie Flächen oder flächenhafte, kleine Verbreiterungen von Linien zu erkennen. Umhüllungsgrad 80%

E: Bedeckte und unbedeckte Stellen erscheinen gleich gross. Umhüllungsgrad 60%

F: Das Bindemittel klebt als halbkugelige Tropfen an der Mineraloberfläche.
Umhüllungsgrad 20%

Mit Hilfe des Formulars in Abbildung 25 kann der Umhüllungsgrad verlässlicher geschätzt werden. Das Verfahren basiert darauf, dass die Körner den Kategorien A bis F zugeordnet werden. Die Kornanteile der einzelnen Kategorien werden dann geschätzt und diese Schätzungen (als Anzahl-%) in das Formular eingetragen. Die Summe der geschätzten prozentualen Anteile muss 100% betragen, eine Kontrollberechnung ist im Formular vorgesehen. Die Schätzwerte sind dann mit den angegebenen Faktoren zu multiplizieren und diese Produkte zu addieren gemäss:

$$A\% + 0.95 \cdot B\% + 0.9 \cdot C\% + 0.8 \cdot D\% + 0.6 \cdot E\% + 0.2 \cdot F\% = \text{Umhüllungsgrad}$$

Das Resultat ergibt den gesuchten Umhüllungsgrad.

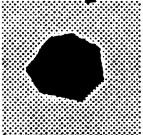
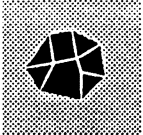
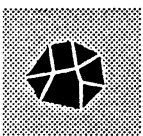
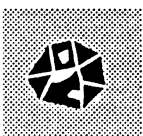
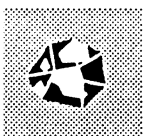
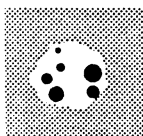
Kategorie	Faktor	Mischgut A	Mischgut B	Mischgut C
	A 1.00	% =%	% =%	% =%
	B 0.95	% =%	% =%	% =%
	C 0.90	% =%	% =%	% =%
	D 0.80	% =%	% =%	% =%
	E 0.60	% =%	% =%	% =%
	F 0.20	% =%	% =%	% =%
Summenwerte		%%	%%	%%
		=====	=====	=====
		1) 2)	1) 2)	1) 2)

Abbildung 25, Formular zur Ermittlung des Umhüllungsgrades aufgrund des Schätzens des Anteils von Körnern in der Probe entsprechend einer Serie von Musterbildern.

Reaktionen der beteiligten Schätzenden

Die Methode wurde von den Anwendern sehr unterschiedlich beurteilt, einige empfanden sie als eine echte Unterstützung im Schätzvorgang, andere beurteilten sie als kompliziert in der Anwendung und damit als nicht hilfreich. Tatsächlich ist die Methode recht aufwendig, zudem enthält die Anteilsschätzung eine subjektive Komponente. Das gab den Ansporn einen Schritt weiterzugehen.

Musterbilder von Korngruppen

Anstelle einzelner Körner wurde eine Gruppe der bereits entworfenen Körner zusammengestellt, die als Ganzes einem definierten Umhüllungsgrad entspricht. Die Willkür der Anteilsschätzung wird dabei ausgeschlossen, der Vergleich des Mischgutes mit den Musterbildern ist insofern sehr einfach, als es nur noch darum geht, das Mischgut in die Serie der Musterbilder einzuordnen. In Betracht zu ziehen sind dabei:

- Die Musterbilder sind sehr schematisch: das war nötig, um Bilder exakter Weissanteile produzieren zu können.
- Die Musterbilder weisen nur 30 Körner auf, das Mischgut viel mehr.
- Es kommen nur sieben Typen von Körner vor.

Im Vergleich wird deshalb vom Betrachtenden ein Abstraktionsprozess gefordert. Darin ist weiterhin eine subjektive Komponente enthalten.

Schätzverfahren mit Musterbildern von Korngruppen

Folgendes Schätzverfahren mit Musterbildern von Korngruppen bietet sich nach den Erfahrungen an:

- Der Schätzer hat sich mit dem Prinzip des Schätzverfahrens vertraut zu machen und muss sich im klaren sein, dass ein Abstraktionsvorgang vorliegt.
- Die Schale mit dem Mischgut muss gut beleuchtet zentral auf dem Arbeitsplatz aufgestellt werden.
- Die Beleuchtung ist so einzurichten, dass Reflexionen möglichst wenig stören.
- Es ist sicherzustellen, dass keine Gasblasen das Schätzen stören.
- Links und rechts von der Schale ist je ein Musterbild benachbarten Umhüllungsgrades zu positionieren. Das kann beispielsweise das Musterbild für 60 und das für 70 Flächen-% Umhüllung sein. Nun ist abzuschätzen, ob das Mischgut eine Umhüllung zwischen den beiden Musterbildern zeigt. Ist das der Fall, so liegt ein Umhüllungsgrad zwischen den beiden Werten vor (anzugeben ist in diesem Fall 65%).
- Ist der Umhüllungsgrad etwa gleich dem unteren Musterbild oder sogar kleiner, so ist der Schätzvorgang mit dem nächsttieferen Paar von Musterbildern zu wiederholen (hier 50 und 60 Flächen-%).
- Bestehen nun bei der Betrachtung Zweifel, ob nicht das vorherige Paar von Musterbildern besser war, so ist der Wert des in beiden Paaren verwendeten Musterbildern als Schätzwert anzunehmen (anzugeben ist in diesem Fall 60%).
- Normalerweise sollte nun der Umhüllungsgrad zwischen dem neuen Paar liegen, im Beispiel also 50 bis 60 Flächen-% betragen und es wäre damit der Wert 55 Flächen-% dem Mischgut zuzuordnen.
- Andernfalls ist zu prüfen, ob nicht eventuell ein noch tieferer Schätzwert anzunehmen ist.

Mindestens 3 Mitarbeiter haben diese Schätzung unabhängig für jedes der beiden Mischgute vorzunehmen. Der massgebende Wert ist das Mittel dieser 6 einzelnen Schätzungen.

7. Ergebnisse der Untersuchung

Die erhaltenen Rohdaten wurden statistisch ausgewertet. Daraus resultierten Aussagen über die Unterschiede der Prüfverfahren, und es konnten mögliche Wege zur Verbesserung des zu Beginn des Forschungsauftrages festgelegten Verfahrens aufgezeigt werden.

Ausgewertete Objekte

- Testfelder mit definierten Schwarzanteilen
- Mischgute des Umhüllungsversuchs

Auswertungsmethoden

- Schätzung nach eigenem Ermessen
- mit Testfeldern bekannten Schwarzanteils als Referenz
- mit Testbildern von einzelnen Körnern bekannten Weissanteils als Referenz

Lagerungstemperaturen

- 60 °C
- 70 °C

Die in einem Labor durchgeführten Schätzungen am gleichen Mischgut wurden gemittelt und das ergibt den **massgebenden Wert**.

Massgebende Werte geübter und ungeübter Schätzer konnten bei einigen Labors ermittelt werden. Berechnet wurde, soweit eine ausreichende Anzahl von Daten vorlagen:

Mittelwerte pro Labor als massgebender Wert
Standardabweichungen pro Labor als Kennwert für die Qualität der zugesandten Daten
Mittel aller Werte (der einzelnen Schätzungen)
Mittel der massgebenden Werte
Standardabweichungen aller Werte
Standardabweichungen der massgebenden Werte
Mittel der Standardabweichungen der Labors

Die Standardabweichungen der massgebenden Werte wurden als Hinweis auf die Vergleichbarkeit berechnet.

7.1 Resultate des kleinen Ringversuches

Übereinstimmung zwischen verschiedenen Labors

Die Laboratorien 1 bis 3 wiesen bei allen drei untersuchten Bindemitteln (Bitumen 80/100 ohne und mit 0,1 beziehungsweise 0.15 Masse-% Haftmittel) sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse auf. Für Bindemittel mit Haftmittel fand das Labor 4 eine Umhüllung von 100 Flächen-%, für das Bindemittel ohne Haftmittel eine Umhüllung von 90 Flächen-%.

Eine Abklärung vor Ort ergab, dass die Schätzung innerhalb der Fehlergenauigkeit nicht zu beanstanden war. Die Lagerung war jedoch entgegen der versandten Vorschrift im Trockenschrank und nicht im Wasserbad durchgeführt worden. Eine Wiederholung nach Vorschrift ergab deutlich tiefere Schätzwerte des Umhüllungsgrades; sie lagen bei nicht dotiertem Bitumen innerhalb der Schätzgenauigkeit im Bereich der Werte der andern drei

Labors. Die geschätzten Umhüllungsgrade mit dotiertem Bitumen lagen zwar nicht mehr bei 100 Flächen-%, aber doch deutlich höher, wie aus Abbildung 26 zu sehen ist. Eine Erklärung für diesen Unterschied konnte nicht gefunden werden.

FA 10/90 "Umhüllung" Kleiner Ringversuch 4 Labors

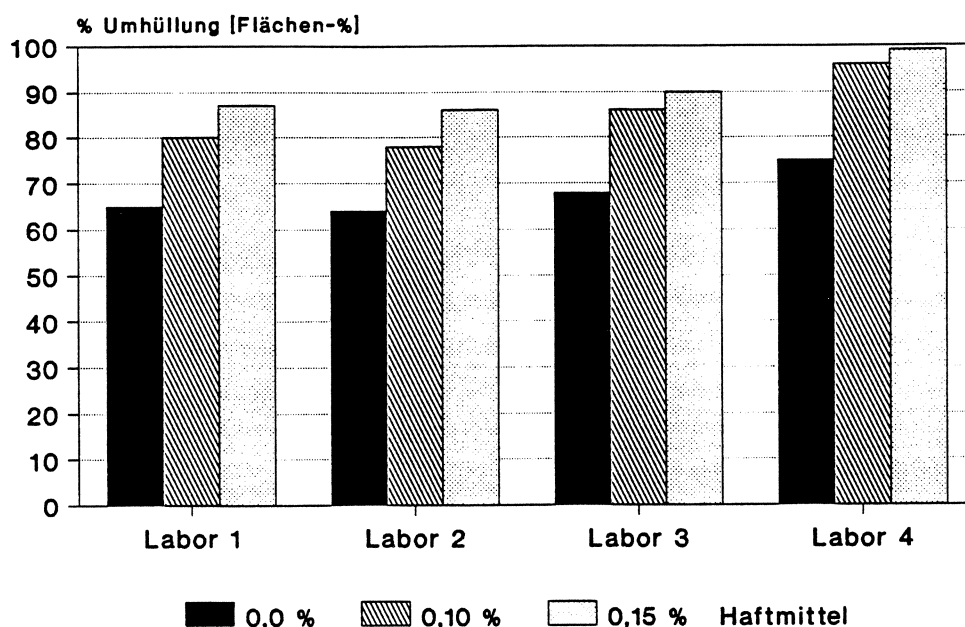


Abbildung 26, Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades im kleinen Ringversuch

Unterschiede zwischen geübten und ungeübten Schätzern

Zwischen geübten und ungeübten Schätzern innerhalb ein und desselben Laboratoriums konnten keine wesentliche Unterschiede gefunden werden. Tabelle 7 zeigt die gefundenen Differenzen, Abbildung 27 illustriert sie am Beispiel des Bitumens ohne Haftmittel.

Dosierung Haftmittel	Werte geübt, Labors 1, 2, 3, 4	Werte ungeübt, Labors 1, 2, 3, 4	Differenzen, Labors 1, 2, 3, 4	gemittelte Differenz
Masse-%				
0.0	69, 70, 62, 75	60, 65, 64, 75	9, 5, -2, 0	3
0.1	81, 85, 79, 96	79, 87, 77, 97	2, -2, 2, -1	0
0.15	88, 88, 86, 99	85, 92, 86, 99	3, -4, 0, 0	0

Tabelle 7, Unterschiede zwischen geübten und ungeübten Schätzern der Laboratorien 1 bis 4

Hingegen war die Spannweite der ungeübten Schätzer geringfügig höher, wie die Tabelle 8 zeigt.

	Spanne geübt	Spanne ungeübt	Differenz geübt/ungeübt
Masse-%			
0.0	13	15	2
0.1	17	20	3
0.15	13	14	1

Tabelle 8, Unterschiede in der Spanne der Werte zwischen geübten und ungeübten Schätzern

Die Inspektion der Einzelwerte zeigte dagegen deutliche Unterschiede sowohl innerhalb der Gruppe der geübten wie auch der ungeübten Beobachter in jedem Labor.

FA 10/90 Kleiner Ringversuch B 80/100 ohne Haftmittel

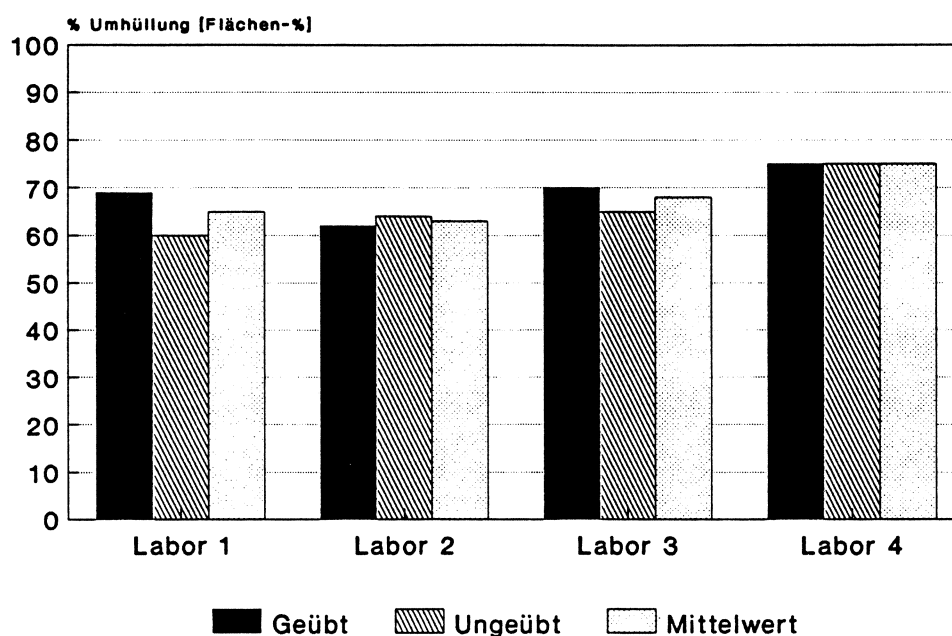


Abbildung 27, Schätzungen des Umhüllungsgrades mit Bitumen B 80/100 ohne Haftmittel durch geübte und ungeübte Schätzer

Konsequenzen des kleinen Ringversuches

Aufgrund der Resultate des kleinen Ringversuches wurde die Vorschrift überarbeitet. Insbesondere wurden die Teilnehmer des grossen Ringversuches darauf aufmerksam gemacht, dass die Temperierung unbedingt in einem Wasserbad vorzunehmen ist. Zugleich wurde darauf hingewiesen, dass die Teilnahme möglichst vieler geübter Beobachter am Schätzen wichtig ist.

7.2 Resultate des grossen Ringversuches ohne Unterstützung durch visuelle Hilfsmittel

Sichten der Resultate

Die den Labors zugestellten Bindemittel unterschieden sich lediglich im Haftmittelgehalt. Erwartungsgemäss fanden die Labors einen mit höherer Dosierung an Haftmittel einen zunehmenden Umhüllungsgrad. Von einem Labor wurden Resultate mitgeteilt, gemäss denen das Mischgut mit dem höchsten Haftmittel einen stark abfallenden Umhüllungsgrad aufwies. Die Forschungsstelle führt das auf eine Verwechslung zurück. Die Werte des Labors wurden deshalb von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Umrechnen der Resultate

Ein Labor schätzte die Ablösung anstelle der verbleibenden Umhüllung. Die Werte wurden umgerechnet.

Mehrere Labor gaben anstelle eines Schätzwertes in Flächen-% einen Bereich an, z.B. 60-70 %. In solchen Fällen wurde das Mittel der beiden Bereichsgrenzen als Schätzwert für die folgende statistische Auswertung verwendet. Einige Labors lieferten auch Angaben wie >90% und >95%. Da in den gelieferten Resultaten jeweils beide Werte auftraten und z.T. auch der Wert 100% wurde für >90% 92.5% und für >95% 97.5% als Schätzwert verwendet. Die so erhaltenen Daten sind in der Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9, Zusammenstellung der vorbereiteten Daten, inklusive Mittelwerten und Standardabweichungen für die Labors in Abhängigkeit des Gehaltes an Haftmittel

Einzelne Schätzungen			Mittelwerte pro Labor			Standardabweichungen pro Labor		
Haftmittelgehalt Masse-%								
0.00	0.10	0.15	0.00	0.10	0.15	0.00	0.10	0.15
94	97	97						
80	88	84						
95	99	100						
98	97	98						
65	81	83	86.4	92.4	92.4	13.83	7.668	8.204
70	75	80						
75	80	85						
75	80	80						
70	80	65	72.5	78.75	77.5	4.183	2.387	7.893
70	80	100						
60	80	100						
45	80	99						
70	80	100						
70	85	100						
50	80	100	60.83	80.83	99.83	11.14	2.041	0.408
75	92	90						
70	88	88						
76	92	85						

60	85	80							
60	75	85	68.2	86.4	85.6	7.823	7.021	3.782	
70	92	98							
55	85	95							
40	78	90							
65	90	90							
50	80	96	56	85	93.8	11.94	6.083	3.633	
20	60	90							
70	85	95							
40	75	89							
30	60	85							
35	94	99							
45	75	95	40	74.83	92.17	17.03	13.5	5.076	
70	95	100							
80	95	99							
70	95	95							
60	85	95							
65	90	95	69	92	96.8	7.416	4.472	2.49	
70	80	90							
80	85	90							
80	85	90							
70	80	90	75	82.5	90	5.774	2.887	0	
40	80	90							
50	85	95							
50	90	90							
50	90	90							
50	90	90	48	87	91	4.472	4.472	2.236	
65	75	85							
65	75	75							
65	75	85							
65	75	85							
75	65	85							
75	75	75							
70	75	80							
65	75	75							
80	75	80							
72.5	75	82.5	69.75	74	80.75	5.584	3.162	4.417	
70	100	100							
70	100	100							
65	100	100							
65	100	100							
70	100	100							
70	95	100	68.33	99.17	100	2.582	2.041	0	
65	90	85							
65	92.5	92.5							
55	95	92.5							
45	92.5	85							
60	95	95							

25	80	85							
55	80	85							
40	90	85							
65	90	90							
35	70	75	51	87.5	87	14.1	8.165	5.749	
65	80	95							
65	75	90							
55	70	90							
60	70	90							
70	80	97	63	75	92.4	5.701		5	3.362
92	95	98							
80	86	92							
94	97	100							
98	99	100							
75	80	85	87.8	91.4	95	9.808	8.081	6.481	
91	99	98							
93	98	97							
90	99	95							
95	99	98	92.25	98.75	97	7.95	8.396	5.505	
85	75	85							
85	78	82							
90	80	74							
80	90	85	85	80.75	81.5	4.082		6.5	5.196
90	100	100							
47	100	100							
95	100	100							
97	100	100							
55	100	100	76.8	100	100	23.86		0	0
70	85	90							
90	95	95							
90	95	95							
85	90	95							
92.5	96.5	96.5	85.5	92.3	94.3	9.083	4.764	2.49	
90	92.5	100							
90	92.5	97.5							
90	92.5	97.5							
92.5	92.5	97.5	90.63	92.5	98.13	1.25		0	1.25
87.5	92.5	96.5							
85	90	95							
85	95	97							
77.5	87.5	95	83.75	91.25	95.88	4.33	3.227	1.031	
50	90	95							
65	95	98							
50	80	90	55	88.33	94.33	8.66	7.638	4.041	

Die Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades im grossen Ringversuch an Mineralstoffgemisch Referenz 10/90 mit Bitumen ohne Haftmittel (*Bitumen t.q.*), Bitumen mit 0,10 % und 0,15 % zudosiertem Haftmittel sind zusammengefasst in Abbildung 28 dargestellt.

FA 10/90 "Umhüllung" Mineralstoffgemisch 22 Labors

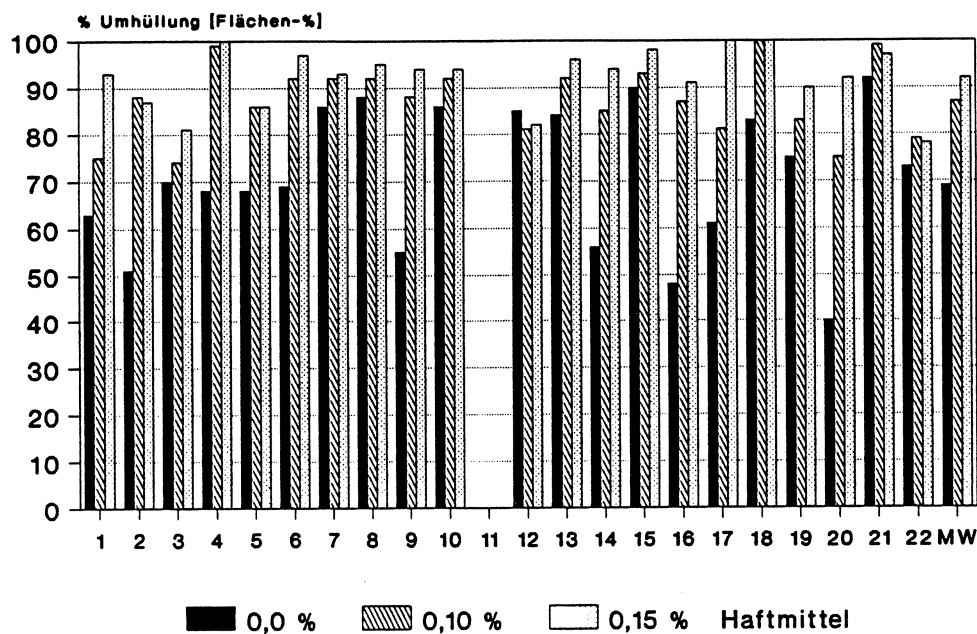


Abbildung 28, Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades an der Referenz 10/90 durch Bitumen ohne und mit Haftmittel

Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse des Umhüllungsgrades des Bitumens ohne Haftmittel.

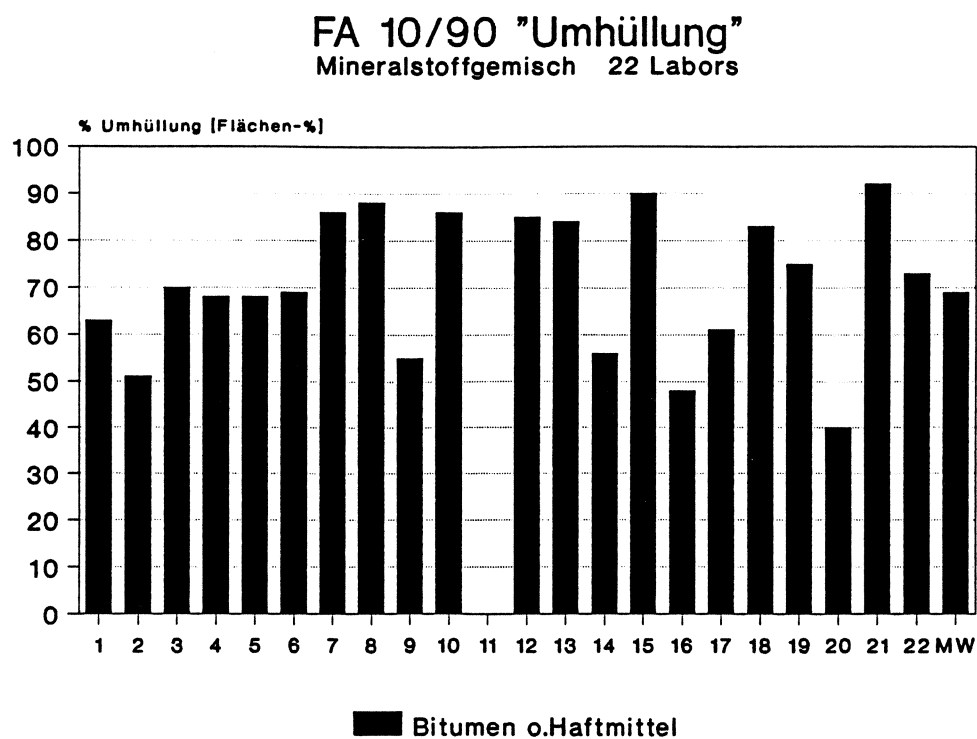


Abbildung 29, Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades an der Referenz 10/90 durch Bitumen ohne Haftmittel

Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse des Umhüllungsgrades des Bitumens mit 0,10 Masse-% zudosiertem Haftmittel.

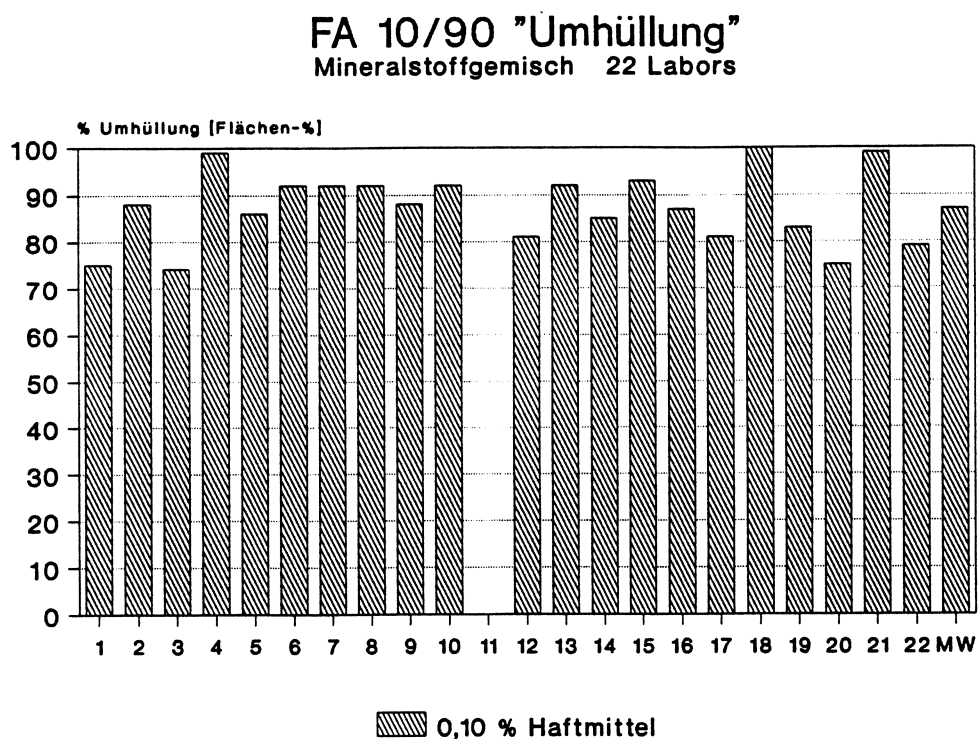


Abbildung 30, Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades an der Referenz 10/90 durch Bitumen mit 0,10 Masse-% zudosiertem Haftmittel

Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse des Umhüllungsgrades des Bitumens mit 0,15 Masse-% zudosiertem Haftmittel.

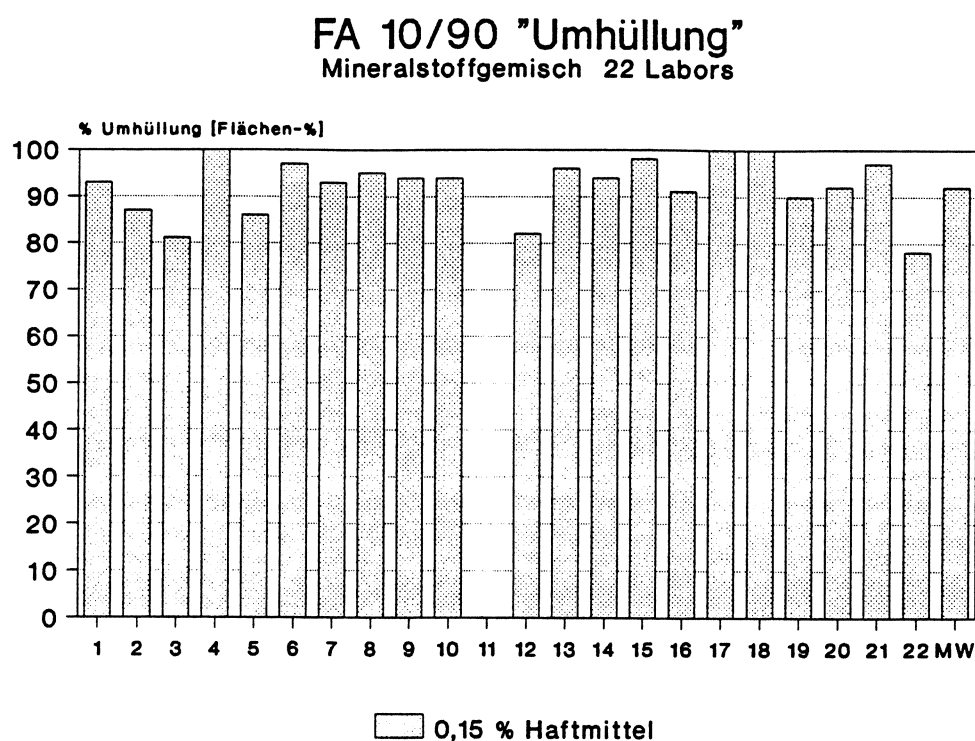


Abbildung 31, Ergebnisse der Bestimmung des Umhüllungsgrades an der Referenz 10/90 durch Bitumen mit 0,15 Masse-% zudosiertem Haftmittel

Statistische Bearbeitung der Resultate

An den so vorbereiteten Daten wurden die statistischen Kennwerte

- Mittelwert aller Einzelwerte, der massgebenden Werte und der Standardabweichungen der Einzelwerte der Labors und
- Standardabweichung aller Einzelwerte und der massgebenden Werte bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengetragen.

	aller Werte			massgebender Werte			Standardabweichungen der Labors		
Haftmittel-gehalt	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%
Mittel	69.0	86.5	91.6	70.7	87.2	92.2	8.6	5.2	3.4
Standard-abweichung	17.4	9.7	7.6	15.1	7.9	6.4			

Tabelle 10, Statistische Kennwerte aufgrund der vorbereiteten Daten

Beurteilen der Werte aufgrund der statistischen Auswertung

Während dieser Auswertung wurden besonders Daten mit grossen Streuungen und auffälliger Datenstruktur näher geprüft. Bei einem Labor zeigte sich dabei, dass die Vorschrift nicht richtig verstanden worden war, indem statt der Mineralmischung aus den fünf Komponenten diese einzeln geprüft und dann die Resultate der Forschungsstelle als Schätzungen von Beobachtern 1 bis 5 mitgeteilt wurden. Vor einer weitergehenden Auswertung wurden die Daten dieses Labors ausgeschlossen. Das ergibt folgende verbesserte statistische Kennwerte.

	aller Werte			massgebender Werte			Standardabweichungen der Labors		
Haftmittel- gehalt	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%
Mittel	66.9	85.8	91.4	68.6	86.6	92.2	7.6	4.7	3.1
Standard- abweichung	16.9	9.5	7.4	15.2	7.7	6.2			

Tabelle 11, Statistische Kennwerte der Daten nach Ausschluss von Ausführungsfehlern

Insgesamt ändern sich die Mittelwerte kaum. Das rührt daher, dass das fünffache Untersuchen der einzelnen Komponenten und die anschliessende Mittelwertbildung praktisch die gleiche Prüfung darstellt wie das Untersuchen des Mineralstoffgemisches. Aus dem gleichen Grund ändert sich die Standardabweichung der massgebenden Werte nicht.

Eine geringfügige Verbesserung kann bei der Standardabweichung aller Werte und bei der mittleren Standardabweichung der Labors festgestellt werden. Das erklärt sich daraus, dass das Prüfen der einzelnen Fraktionen weit extremere Werte liefert als das der Mischung.

Ausschluss von Ausreissern

Von den einzelnen Labors waren unterschiedlich viele Schätzungen mitgeteilt worden. In einigen Fällen lassen die Daten auf Kontaktnahme zwischen den Labors schliessen, die Daten sind somit nicht als unabhängig gewonnen zu betrachten. Angesichts dieser Einflüsse kann eine statistische Auswertung mittels einem Ausreissertest als sinnlos betrachtet werden, umsomehr als für verschiedene Werte keine gauß'sche Verteilung vorliegt. Statt dessen wurden folgende Regeln verwendet. Als Ausreisser wurden Werte betrachtet:

- die zwei oder mehr Standardabweichungen vom Mittelwert (beidemale der Gruppe von Werten, der der eventuell Auszuschliessende angehört) weg lagen
- die 1.5 Standardabweichungen vom Mittelwert (beidemale der Gruppe von Werten, der der eventuell Auszuschliessende angehört) weg lagen und deren Reihenfolge nicht stimmte (also abnehmende Umhüllung mit zunehmender Haftmitteldosierung zeigten).

Der Ausschluss von Ausreissern erfolgte schrittweise. Als erstes wurden extreme Einzelwerte eliminiert. Dann wurden die extremen massgebenden Werte mitsamt den dazugehörigen Einzelwerten eliminiert.

Ausschluss von Gruppen mit hohen Standardabweichungen

Es wurde ein gewichtetes Mittel der Standardabweichungen aller verbliebenen Gruppen

berechnet. Gewichtungsfaktor war dabei die Anzahl der in der Gruppe vorliegenden Schätzwerte. Eine Standardabweichung, die auf Schätzungen vieler beteiligter beruht, wurde somit vernünftigerweise höher bewertet als eine, die auf den Schätzungen von nur 3 Schätzern beruhte. Daten von Labors mit einer doppelten oder grösseren Standardabweichung wurden als zu stark streuend eliminiert.

Das ergibt folgende verbesserte statistische Kennwerte.

	aller Werte			massgebender Werte			Standardabweichungen der Labors		
Haftmittel- gehalt	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%	0%	0.1%	0.15%
Mittel	69.8	86.8	94.7	70.4	87.3	94.5	6.0	4.0	2.1
Standard- abweichung	13.5	8.6	4.3	13.2	7.2	3.8			

Tabelle 12, Statistische Kennwerte der Daten nach Ausschluss von Ausreissern

Einfluss der Übung der Beobachter

Die umfangreichen Daten des grossen Ringversuchs erlaubten es, den Einfluss der Übung der Beobachter auf die Resultate zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wurden die Verantwortlichen der teilnehmenden Labors gebeten, anzugeben, welche Beobachter jeweils geübt und welche ungeübt waren. Diese Selbstbewertung stellt natürlich nur einen ungenauen Massstab dar, da die Bewertung der Geübtheit in den verschiedenen Labors nicht gleichzeitig durch externe Beurteilung erfolgte. Trotzdem ist ein Hinweis auf diese wichtige Einflussgrösse zu erwarten.

Aus der Gesamtheit der angelieferten Daten wurden die Werte mit Auswertefehlern eliminiert, nicht aber die Ausreisser. Die Hypothese, dass Ausreisser von ungeübten Beobachtern verursacht wurde, ist naheliegend, das Sichten der Resultate des kleinen Ringversuches unterstützt sie. Ein Streichen der Ausreisser würde deshalb den Einfluss mangelnder Übung verdecken. Diese Werte wurden deshalb für den Vergleich absichtlich beibehalten.

Nicht alle Labors teilten der Forschungsstelle mit, welche Werte von geübten, respektive ungeübten Beobachtern stammten. Somit sind in der Auswertung drei Kategorien zu beurteilen:

- geübte Beobachter
- ungeübte Beobachter
- Beobachter, deren Vertrautheit mit der Methode der Forschungsstelle unbekannt ist.

Von Interesse ist der Vergleich der Werte von geübten und ungeübten Beobachtern sowie der Kennwerte dieser Gruppen mit den Kennwerten der Gesamtheit aller Beobachter.

Kenngrösse	0% Haftmittel	0.1% Haftmittel	0.15% Haftmittel	Mittelwert
Mittel	69.5	86.3	91.6	
Mittel der Standardabweichungen	7.4	4.8	3.3	5.2
Standardabweichungen der massgebenden Werte	15.2	7.6	6.5	9.8

Tabelle 13, Schätzungen aller Beobachter

Kenngrösse	0% Haftmittel	0.1% Haftmittel	0.15% Haftmittel	Mittelwert
Mittel	70.4	85.4	91.2	
Mittel der Standardabweichungen	8.1	4.4	2.6	5.0
Standardabweichungen der massgebenden Werte	15.8	8.9	5.7	10.2

Tabelle 14, Schätzungen der geübten Beobachter

Kenngrösse	0% Haftmittel	0.1% Haftmittel	0.15% Haftmittel	Mittelwert
Mittel der masgebenden Werte	62.9	81.4	87.4	
Mittel der Standardabweichungen	6.9	4.9	4.9	5.5
Standardabweichungen der massgebenden Werte	17.7	8.2	7.2	11.0

Tabelle 15, Schätzungen der ungeübten Beobachter

Um den Einfluss der Übung sichtbar zu machen, sind die Ergebnisse des Vergleiches in Tabelle 16 zusammengestellt. Die Mittel der massgebenden Werte der geübten und ungeübten Beobachter werden dabei mit den Mitteln der massgebenden Werte aller Beobachter als Referenz verglichen. Besser ist jene Gruppe, deren Mittel näher bei der Referenz liegt. Bei den Standardabweichungen wird immer jene Gruppe als besser beurteilt, die die kleinere Standardabweichung aufweist.

Kenngrösse	0% Haftmittel	0.1% Haftmittel	0.15% Haftmittel	Mittelwert
Mittel	geübt	geübt	geübt	
Mittel der Standardabweichungen	ungeübt	geübt	geübt	geübt
Standardabweichungen der massgebenden Werte	geübt	ungeübt	geübt	geübt

Tabelle 16, Vergleich der geübten und ungeübten Beobachter

Die ungeübten Beobachter lieferten beim Schätzen des Umhüllungsgrades erkennbar niedrigere Werte als die Gesamtheit. Der Unterschied ist aber jeweils kleiner als eine Standardabweichung. Die Schätzungen sind somit nicht als falsch zu bewerten.

Die Standardabweichungen liegen bei den ungeübten Beobachtern mehrheitlich höher, die Unterschiede sind jedoch nicht so ausgeprägt, dass sie als statistisch gesichert

betrachtet werden können. Sie bestätigen aber den Befund aus dem Vergleich der Schätzwerte selber: Ungeübte Beobachter bekunden mehr Mühe, den Umhüllungsgrad richtig zu beurteilen.

Folgerungen

Die gesammelten Daten wiesen Fehler verschiedener Herkunft aus. Plausibel gemacht werden konnten:

- Ausführungsfehler
- Probenverwechslung
- Lagerungsfehler oder Fehler beim Herstellen von Mischgut
- Fehler im Schätzen

Einige dieser Fehler führten zu krass abweichenden Resultaten, die entsprechenden Werte konnten vor der Berechnung der statistischen Kenngrössen ausgeschlossen werden.

Ungeübte und geübte Beobachter lieferten Schätzwerte der gleichen Grössenordnung, die ungeübten Beobachter zeigten eine etwas höhere Streuung der Schätzungen. Das bedeutet:

- Durch Training kann die Verlässlichkeit des Schätzvorganges erhöht werden.
- Beobachter können nach einem kurzen Training als Schätzende zugelassen werden.

Die Methode ist verlässlich genug, um die ausreichende Haftung eines Bindemittels an Mineralstoffen nachzuweisen. Die ermittelten Standardabweichungen beweisen das.

Wie schon im kleinen Ringversuch bleiben auch nach Elimination der eruierbaren Fehler einige hohe Umhüllungsgrade, die als Werte akzeptiert und in die Statistik eingeflossen sind. Das weist auf eine nicht eruierte Einflussgrösse hin.

7.3 Schätzen des Schwarzanteils von Testfeldern

Alle 22 beteiligten Labors sandten der Forschungsstelle Schätzungen des Schwarzanteils zu. Sie können als grobes Indiz für die aus dem Schätzvorgang herrührenden Fehler aufgefasst werden. Die Abbildung 32 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils.

FA 10/90 "Umhüllung"

Auswertung der Testfelder

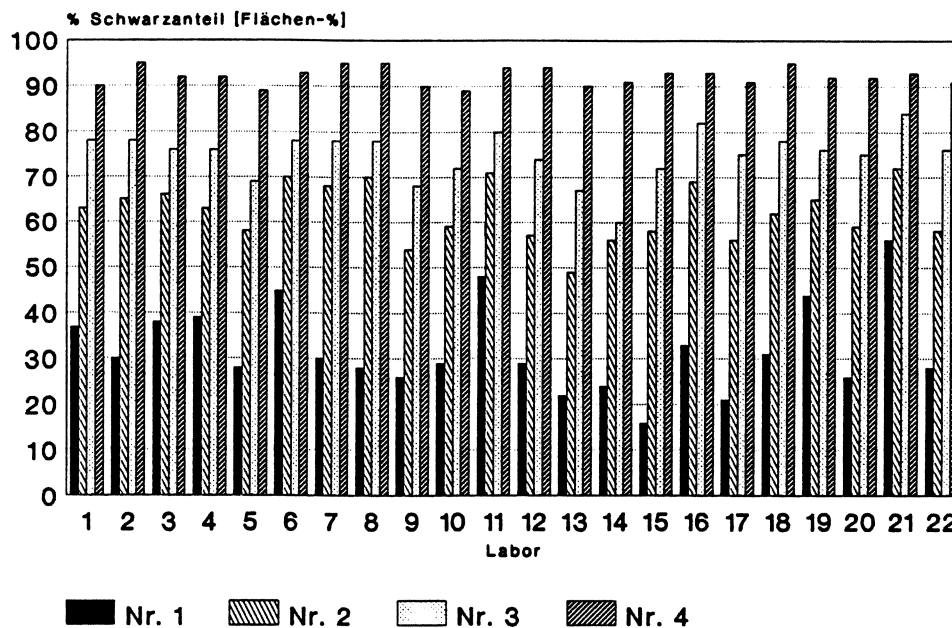


Abbildung 32, Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils durch die am grossen Ringversuch beteiligten Labors

"Haftvermögen bituminöser Bindemittel an Mineralstoffen"

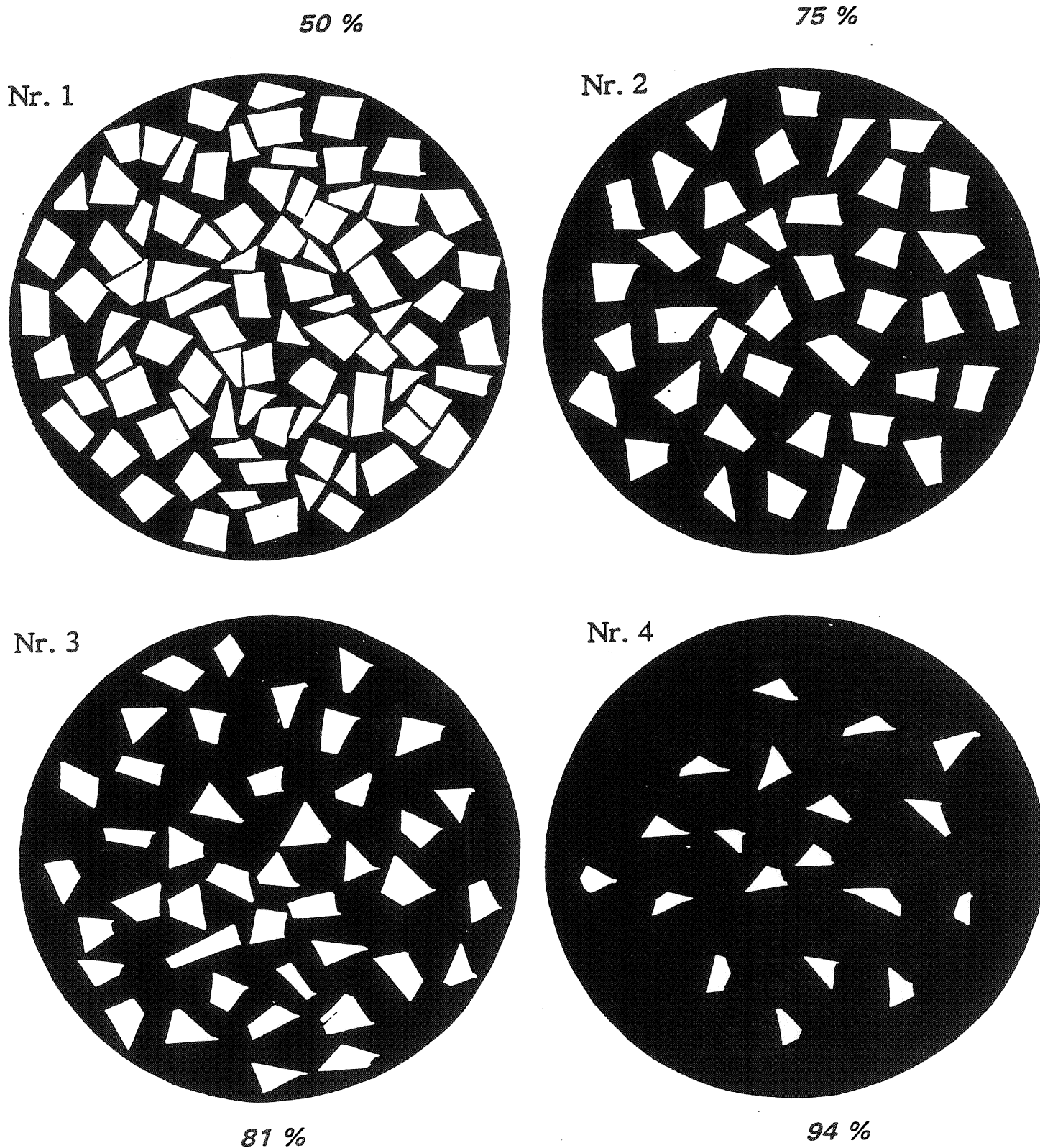


Abbildung 33, Testfelder mit Schwarzanteilen von 50, 75, 81 und 94 Flächen-%

Aus den der Forschungsstelle zugestellten Resultaten wurden für jedes Labor ein massgebender Wert als Mittelwert der Schätzungen der Mitarbeiter dieses Labors berechnet. Alle weiteren Auswertungen erfolgten auf diesen massgebenden Werten.

Berechnet wurde daraus:

- der Mittelwert der massgebenden Werte
- die Standardabweichung
- die Spanne als Wertebereich und Spannweite

Die entsprechenden Resultate sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Schwarzanteil	50	75	81	94
Mittel der massgebenden Werte	32.2	62.1	75.0	92.2
Standardabweichung der massgebenden Werte	9.65	6.30	5.44	1.89
Spanne der Werte	16 .. 56	49 .. 72	60 .. 84	89 .. 95
Spannweite	40	23	24	6
Abweichung der Schätzung vom Anteil	-17.8	-12.9	-6.0	-1.8

Tabelle 16, Statistische Kennwerte der Schätzungen der Schwarzanteile der Testfelder.

Physiologisches Modell des Schätzvorganges

Die geschätzten Werte liegen systematisch zu tief, der Schwarzanteil wird somit beim Schätzen unterbewertet. Das lässt sich ausdrücken durch die Beziehung:

Schätzwert (Modell) =	100*	$\frac{k \cdot \text{Schwarz}}{k \cdot \text{Schwarz} + \text{Weiss}}$
-----------------------	------	--

Dabei drückt k die Unterschätzung der schwarzen Flächenanteile aus. k=1.0 stünde für eine korrekte Einschätzung, k=0.5 für eine um den Faktor 2 kleinere Fläche. Tabelle 17 fasst diese Befunde zum physiologischen Modell des Schätzens von Anteilen weisser und schwarzer Flächen zusammen. Der Anteil schwarzer Flächen wird umso dramatischer unterschätzt, je kleiner er ist. Somit wurde ein Modell aufgestellt, indem der die Unterschätzung ausdrückende Faktor k als linear abhängig vom Schwarzanteil angenommen wird. Die Tabelle 17 zeigt die gefundenen massgebenden Werte und den verwendeten Faktor k des Modells und den Vergleich des Modells mit den gefundenen Daten. Das Modell vermag tatsächlich das Schätzverhalten der am Ringversuch beteiligten recht gut beschreiben.

Schwarzanteil	50	75	81	94
Mittel der massgebenden Werte	32.2	62.1	75.0	92.2
Unterschätzung (Faktor k)	0.47	0.6	0.63	0.71
Schätzung nach Modell	31.8	64.4	73.0	91.7
Abweichung des Modells vom Schätzen	-0.4	2.3	-2.0	-0.5

Tabelle 17, Vergleich des physiologischen Modells mit den mittleren Schätzungen

Die Abbildungen 34 bis 37 zeigen die Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils für die vier einzelnen Testbilder. Deutlich ist auch an der grafischen Darstellung zu erkennen:

- die Zunahme der Streuung mit zunehmendem Weissanteil
- die Tendenz zum Unterschätzen des Schwarzanteils bei höheren Weissanteilen.

FA 10/90 "Umhüllung"

Testfeld 1

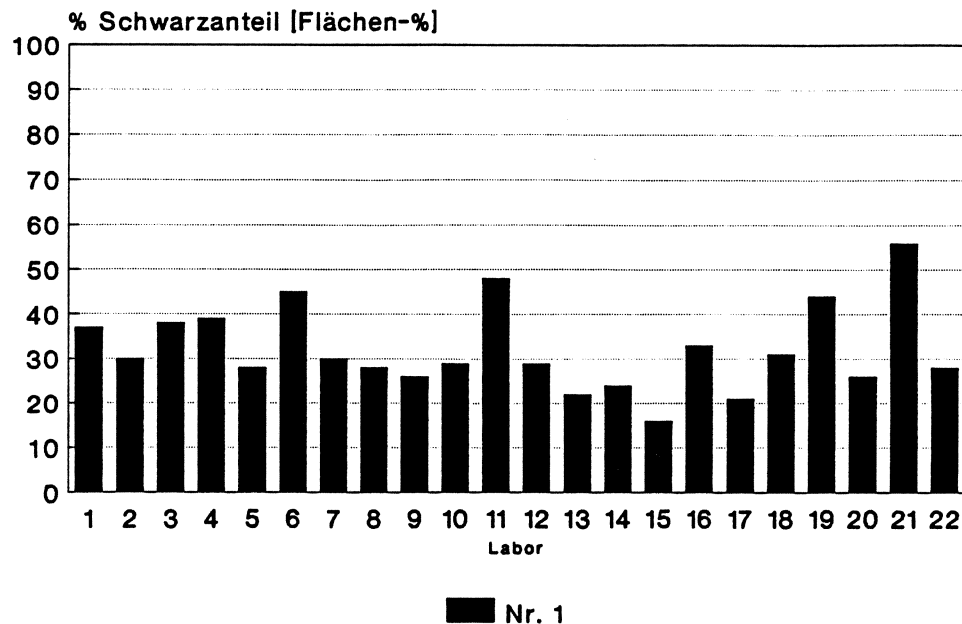


Abbildung 34, Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils des Testfeldes mit 50 Flächen-% Schwarzanteil

Lediglich ein Labor hat den Schwarzanteil dieses Testbildes grösser als der effektive Wert eingeschätzt. Drei weitere Labors haben den Schwarzanteil zwischen 40 und 50 % geschätzt. Die meisten Labors liegen jedoch deutlich unter 30 %

Die Schätzungen des Testbildes mit 50 % Schwarzanteil wurden Tabelle 18 klassiert.

1 Labor überschätzt den Schwarzanteil
3 Labors schätzen zwischen 40 und 50 % Schwarzanteil
7 Labors schätzen zwischen 30 und 40 % Schwarzanteil
10 Labors schätzen zwischen 20 und 30 % Schwarzanteil
1 Labor schätzt zwischen 10 und 20 % Schwarzanteil

Tabelle 18, Klassierung der Schätzwerte des Schwarzanteils für das Testbild mit 50% Schwarzanteil

FA 10/90 "Umhüllung" Testfeld 2

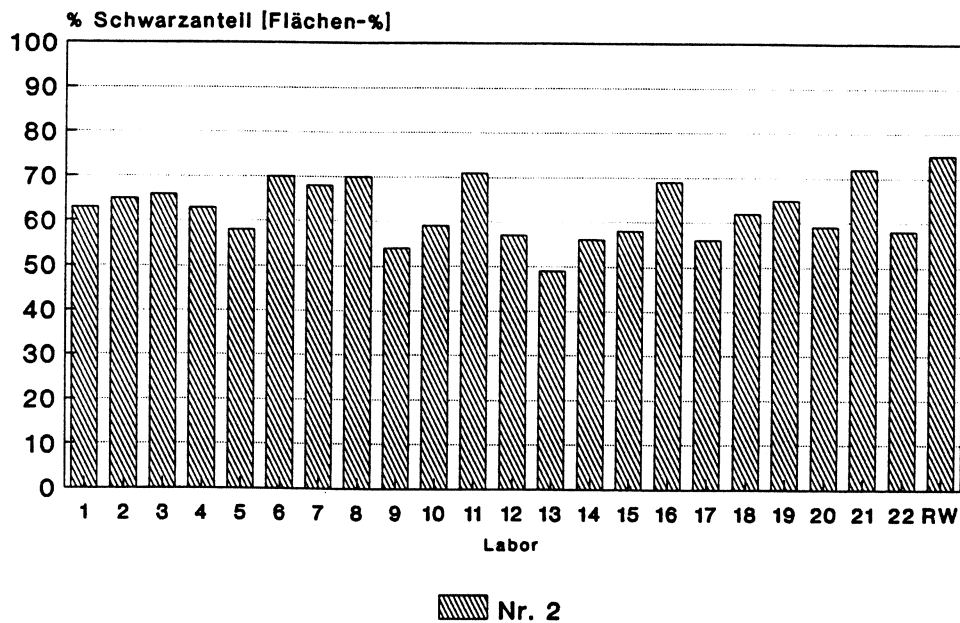


Abbildung 35, Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils des Testfeldes mit 75 Flächen-% Schwarzanteil

FA 10/90 "Umhüllung" Testfeld 3

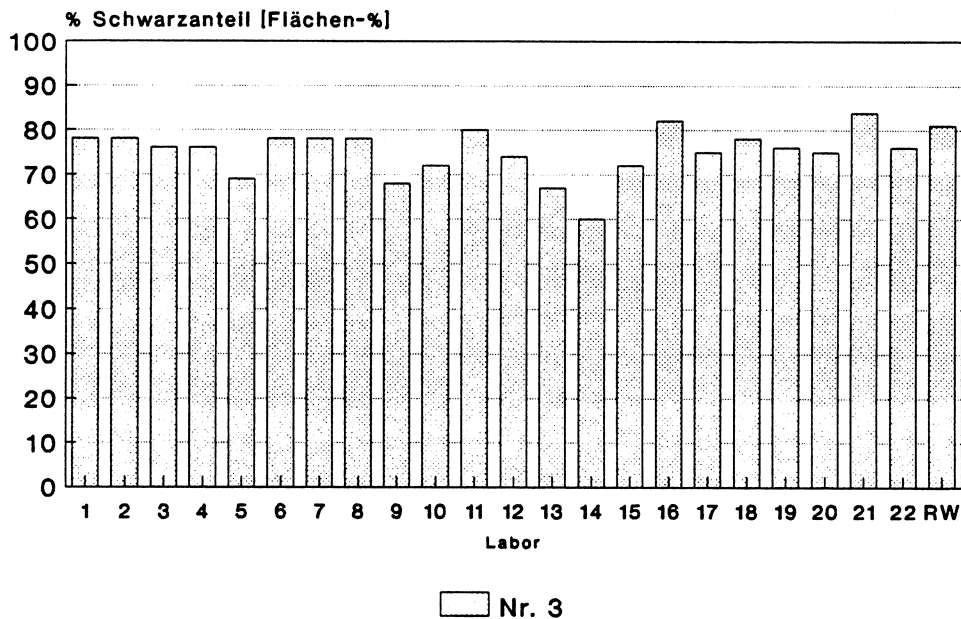


Abbildung 36, Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils des Testfeldes mit 81 Flächen-% Schwarzanteil

FA 10/90 "Umhüllung" Testfeld 4

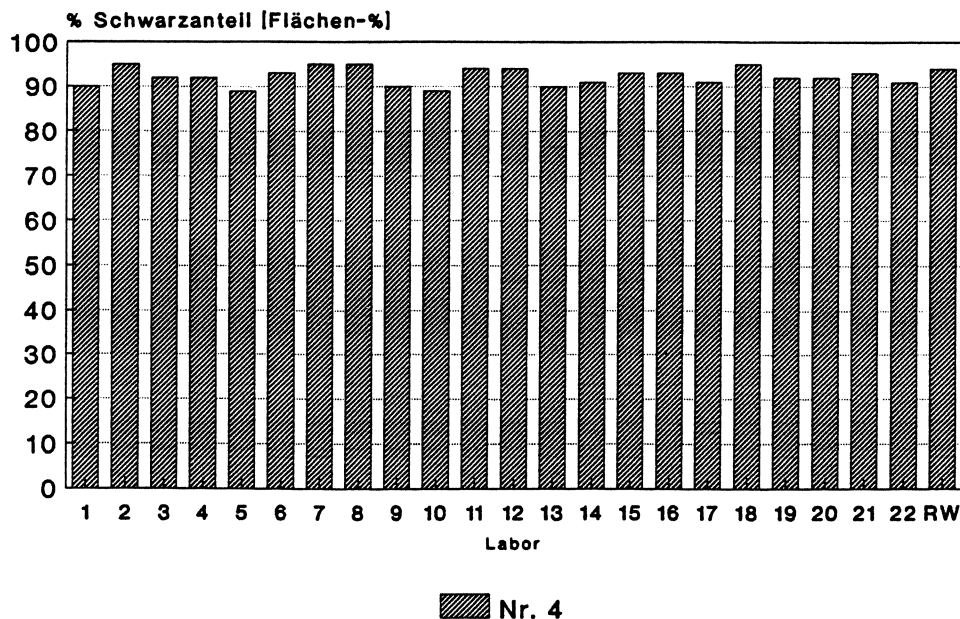


Abbildung 37, Ergebnisse der Schätzung des Schwarzanteils des Testfeldes mit 94 Flächen-% Schwarzanteil

Folgerung

Die meisten sich am Ringversuch beteiligenden Personen (insgesamt über 100) schätzen die Schwarzanteile systematisch zu tief. Hingegen gab es in verschiedenen Laboratorien einzelne Mitarbeiter, die keine systematischen Schätzfehler begingen. Auch zeigen Abbildungen 34 bis 37 dass in einigen Laboratorien die Mitarbeiter auch als Kollektiv ohne systematische Verfälschung schätzten. Das beweist, dass es möglich ist, den systematischen Fehler beim Schätzen durch Training und durch Hilfestellung zu verbessern.

Die Strategie der Forschungsstelle, solche Hilfsmittel zu finden, kann somit als gerechtfertigt bezeichnet werden.

7.4 Resultate des grossen Ringversuches mit Unterstützung durch visuelle Hilfsmittel

Nur noch 16 Labors nahmen an dieser Auswerterunde teil. Das verringert die Aussagekraft eines Vergleiches, indem die berechneten statistischen Kennwerte etwas weniger gut abgesichert sind. Zudem führten 4 Laboratorien die Prüfung als ganzes nochmals durch, anstatt das vorhandene Mischgut ein weiteres Mal zu bewerten. Es wurde deshalb ein vereinfachtes Auswerteverfahren, das nur noch auf den massgebenden Werten beruht, angewendet.

Sichten der Resultate

Wiederum wurden vom gleichen Labor wie zuvor Resultate mitgeteilt, gemäss denen das Mischgut mit dem höchsten Haftmittel einen stark abfallenden Umhüllungsgrad aufwies. Die Forschungsstelle führt das auf eine Verwechslung zurück. Die Werte des Labors wurden deshalb wiederum von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Umrechnen der Resultate

Das Umrechnen wurde analog wie in 7.2 vorgenommen.

Statistische Bearbeitung der Resultate

An den so vorbereiteten Daten wurden die statistischen Kennwerte:

- Mittelwert der massgebenden Werte
- Standardabweichung der massgebenden Werte bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengetragen.

	Standardabweichungen der Labors		
Haftmittelgehalt	0%	0.1%	0.15%
Mittelwert	65.6	86.2	94.1
Standardabweichung	12.7	7.4	3.1

Tabelle 19, Statistische Kennwerte aufgrund der vorbereiteten Daten

Ausschluss von Ausreissern

Wie beim Auswerten der ersten Resultatesammlung des grossen Ringversuches wurden klare, aber einfache Regeln verwendet. Als Ausreisser wurden Werte betrachtet, die 2 oder mehr Standardabweichungen vom Mittelwert aller massgebenden Werte weg lagen. Ebenfalls als Ausreisser wurden Werte betrachtet, die 1.5 oder mehr Standardabweichungen vom Mittelwert aller massgebenden Werte weg lagen und mit der Änderung der Haftmittelkonzentration nicht im Einklang standen. Das waren

- die Werte 94 und 92 in der Serie 58, 94, 92
- der Wert 99 in der Serie 68, 99, 100
- der Wert 90 in der Serie 90, 92 und 97

Das ergibt folgende verbesserte statistische Kennwerte.

	Standardabweichungen der Labors		
Haftmittelgehalt	0%	0.1%	0.15%
Mittelwert	65.7	85.9	94.1
Standardabweichung	9.2	6.9	3.1

Tabelle 20, Statistische Kennwerte des Umhüllungsgrades nach Ausschluss von Ausreissern

Die Verwendung visueller Hilfsmittel brachte erheblich verringerte Standardabweichungen der geschätzten massgebenden Werte mit sich, wie aus Tabelle 21 zu ersehen ist. Die Verbesserung der Schätzgenauigkeit wirkt sich am stärksten aus beim Schätzen des Umhüllungsgrades am Bindemittel ohne zudosiertem Haftmittel.

Haftmittelgehalt	0%	0.1%	0.15%
Ohne visuelle Hilfsmittel	13.2	7.2	3.8
Mit visuellen Hilfsmitteln	9.2	6.9	3.1

Tabelle 21, Vergleich der Standardabweichungen des Umhüllungsgrades ohne und mit Verwendung visueller Hilfsmittel beim Schätzen

Eine andere, besonders anschauliche Darstellung der Verbesserung ergibt sich, wenn ausgerechnet wird, wieviel Prozent der ermittelten massgebenden Werte mehr als 10% vom mittleren Schätzwert aller beteiligten Laboratorien abweichen. Es wurde hier mit allen Zusendungen gerechnet, um die Verbesserung auf Basis der zugesandten Werte zu zeigen.

Beurteilung:	Abweichung weniger als $\pm 10\%$ vom Mittelwert		
Dosierung mit Haftmittel	Anzahl erfüllender Labors	von total Labors	Prozentsatz erfüllender Labors
0.0	8	21	38 %
0.10	15	21	71 %
0.15	18	21	86 %

Tabelle 22, Alle Labors vor Beurteilung der Testfelder:

Beurteilung:	Abweichung weniger als $\pm 10\%$ vom Mittelwert		
Dosierung mit Haftmittel	Anzahl erfüllender Labors	von total Labors	Prozentsatz erfüllender Labors
0.0	11	16	69 %
0.10	14	16	87 %
0.15	15	16	94 %

Tabelle 23, Beurteilung nach Bekanntgabe der Resultate der Testfelder

FA 10/90 Grosser Ringversuch 2. Auswertung nach Lagerung im Dunkeln

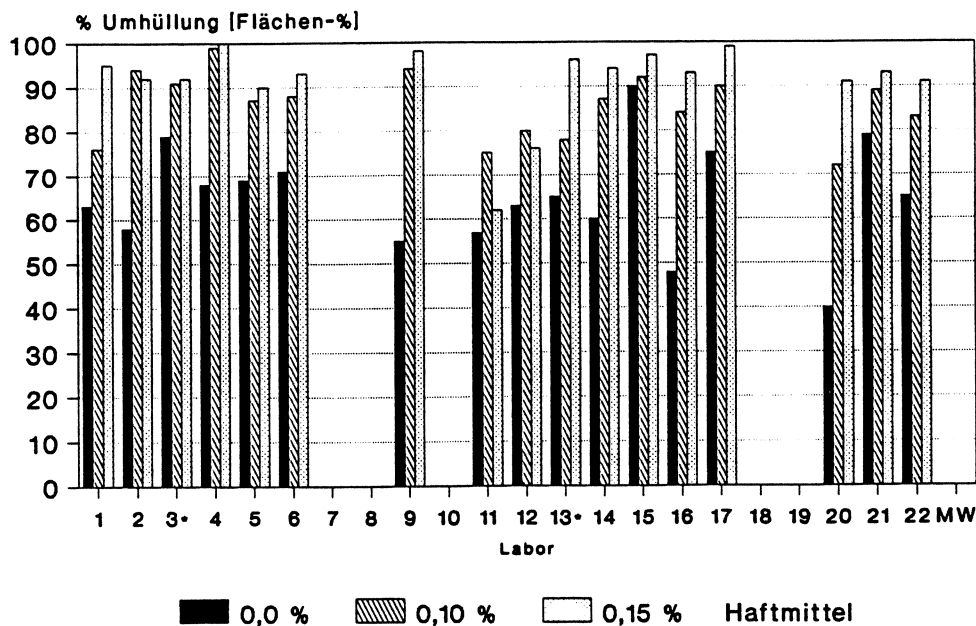


Abbildung 38, Ergebnisse der Bewertung des Umhüllungsgrades unter Verwendung der Testbilder als visuelle Unterstützung

Abbildung 38 zeigt die zweite Beurteilung nach Lagerung im Dunkeln. Die Beurteilung wurde durchgeführt nach Bekanntgabe der Schwarzanteile der Testbilder in Flächen-%. Sie wurde noch von 16 Prüflabors durchgeführt.

Folgerungen

Durch den Einsatz von visuellen Hilfsmitteln lässt sich die Schätzgenauigkeit des Umhüllungsgrades erheblich verbessern. Besonders ausgeprägt ist die Verbesserung bei der als schwierig geltenden Schätzung im Bereich von unter 80 Flächen-%. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten sind nun erheblich grösser als die verbleibende Standardabweichung, sodass tiefe und hohe Umhüllungsgrade verlässlich unterschieden werden können.

7.5 Resultate des grossen Ringversuches mit Auswertung anhand von Kornbildern

Diese Schätzung wurde nur noch von wenigen Labors durchgeführt und sind in Abbildung 39 dargestellt. Eine statistische Analyse ist angesichts der geringen Zahl der Werte nicht möglich. Hingegen lassen sich die Resultate der Labors mit visueller Unterstützung durch Testfelder und durch Kornbilder vergleichen.

FA 10/90 Grosser Ringveruch

Auswertung Methode Gubler

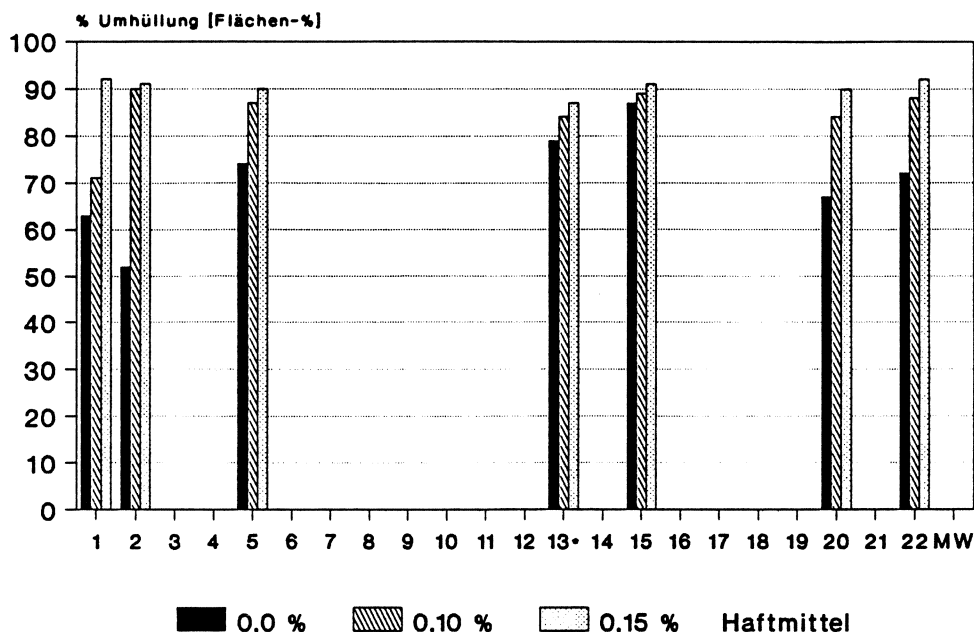


Abbildung 39, Resultate der Auswertung anhand von Kornbildern

Labor 1: Die Schätzwerte bleiben ähnlich und in der Nähe des Mittelwertes aller Laboratorien.

Labor 2: Die Schätzwerte bleiben ähnlich, die Reihenfolge der Schätzung für mit 0.1 Masse-% und 0.15 Masse-% dotiertem Haftmittel wird nun richtig.

Labor 5: Die Schätzwerte bleiben ähnlich und in der Nähe des Mittelwertes aller Laboratorien.

Labor 13: Die Schätzwerte fallen höher aus und differenzieren schlechter.

Labor 15: Die immer noch zu hohen Schätzwerte sind geringfügig besser.

Labor 20: Die vorher krass tiefen Schätzwerte für das Bitumen ohne Haftmittel werden nun korrigiert.

Labor 22: Die Schätzwerte bleiben ähnlich und in der Nähe des Mittelwertes aller Laboratorien. Die Differenzierung ist geringfügig schlechter.

Folgerung

Die Verwendung von Kornbildern kann der Verwendung von Testfeldern als visuelle Unterstützung für das Schätzen als mindestens gleichwertig bewertet werden. Sie hat den Vorteil besserer Anschaulichkeit. Für den Methodenvorschlag wurden Bilder einer Körnergruppe erarbeitet, um ein noch realitätsgerechteres Bild zu erhalten.

7.6 Resultate nach einer zusätzlichen Wasserlagerung bei 70 °C

Die Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse des Umhüllungsgrades nach einer zusätzlichen Lagerung der Proben mit Bitumen B 80/100 ohne Haftmittel bei 70 °C. Die Grafik zeigt, dass der Schätzfehler die minime Veränderung im Umhüllungsgrad deutlich übersteigt.

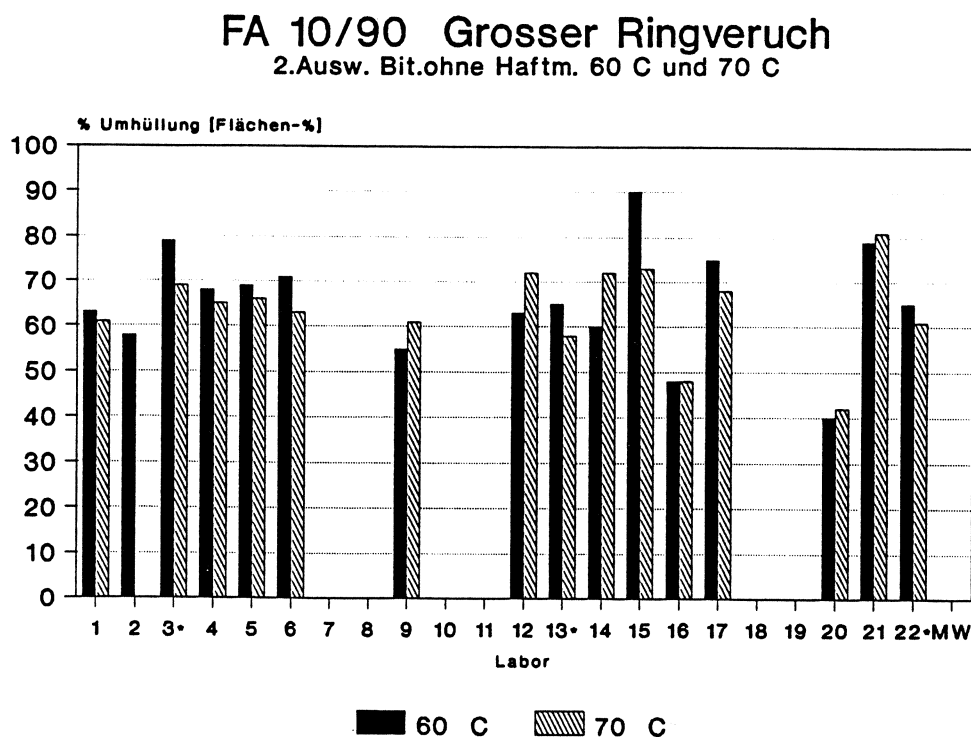


Abbildung 40, Umhüllungsgrad nach einer zusätzlichen Wasserlagerung bei 70 °C

7.7 Bestimmen des Abkühlverhaltens nach dem Mischen

Im Rahmen ihrer QS-Massnahmen bestimmte die EMPA das Abkühlverhalten von Mischgut zwischen Mischen und Lagern. Fünf Minuten nach dem Mischen wurde dabei eine Temperatur von 55 bis 65 °C festgestellt, 15 Minuten nach dem Mischen betrug die Temperatur zwischen 35 und 40 °C.

7.8 Analyse der Methode in Bezug auf Empfindlichkeit gegenüber Einflussfaktoren

Für die Beurteilung einer Methode ist die Empfindlichkeit, mit der die erhaltenen massgebenden Werte auf störende Einflüsse reagieren (z.B. kleine Ungenauigkeiten bei der Durchführung), von Bedeutung. Zwei extreme Fälle seien aufgeführt:

- Die Methode ist unempfindlich gegen Störungen, wenn die erhaltenen massgebenden Werte wenig von kleinen Fehlern abhängig sind. Da ein solches Verhalten erwünscht ist kann die Methode dann als geeignet für den praktischen Gebrauch betrachtet werden.
- Die Methode ist empfindlich gegen Störungen, wenn die erhaltenen massgebenden Werte stark von kleinen Fehlern abhängig sind. Ein solches Verhalten macht es in der Praxis schwierig, reproduzierbare Resultate zu erhalten.

Einfluss der verlängerten Wasserlagerung

Die Fotoserie der Ablösung zeigt, dass der grössere Teil der Ablösung sich innerhalb von 20 Minuten entwickelt. Für das verwendete Bindemittel B 80/100 ist also eine Stunde völlig ausreichend. Eine verlängerte Wasserlagerung auf fünf Stunden an einer Serie von Mischguten brachte innerhalb der Schätzgenauigkeit keine Veränderung des Umhüllungsgrades. Die Methode ist somit unempfindlich gegenüber kleinen Abweichungen von weniger als 5 Minuten in der Temperierzeit.

Zeitdauer zwischen Mischen und Lagerung bei 60 °C

Das Mischgut kühlt nach dem Mischen rasch ab und weist bereits etwa 5 Minuten nach Ende des Mischens eine Temperatur von 60 °C auf. Längeres Warten vor Beginn der Temperierung führt zu Mischguttemperaturen von 40 °C oder weniger. Je nach Wärmeübertragung durch die Uhrschale kann deshalb eine kürzere oder längere Zeit vergehen, bis die vorgeschriebene Lagerungstemperatur erreicht ist. Eine Kombination von langer Wartezeit zwischen Mischen und Beginn des Lagerns und dem Verwenden dickwandiger Glasschalen kann das Aufwärmen nach Beginn der Lagerung deutlich verzögern und damit die Lagerzeit bei den vorgeschriebenen 60 °C zu stark verringern. Eine Empfindlichkeit der Methode auf die Kombination dieser Einflüsse ist wahrscheinlich.

Einfluss der Temperierung

Die eine Forschungsstelle verwendet ausserhalb dieser Ringanalyse für die Temperierung einen Trockenschrank, die andere ein Wasserbad. Diese Forschungsstelle konnte keine Unterschiede zwischen den beiden Temperierverfahren feststellen. Deutliche Unterschiede konnten aber bei einem teilnehmenden Labor des kleinen Ringversuches festgestellt werden, das die Temperierung zuerst mit einem Trockenschrank und dann mit einem Wasserbad durchführte. Beim Temperieren im Ofen kann ein geringfügiger Luftzutritt zwischen Glasschale und Uhrglas zum gelagerten Mischgut bereits ein erhebliches Abkühlen durch Verdunstungskälte bewirken. Beim Lagern im Trockenschrank ist die Methode also empfindlich auf geringfügige Änderungen der Abdeckung.

Vergleich der mittleren massgebenden Werte bei unterschiedlicher Auswertung

Der Einfluss des Auswerteverfahrens lässt sich anhand der gesammelten Daten daran verfolgen, wie die Mittelwerte der massgebenden Werte ändern. Immerhin wurden zwei Auswerteverfahren und dabei je eine statistische Elimination von extrem liegenden Werten vorgenommen. Es hat dabei keinen Sinn, Datensätze mit offensichtlichen Fehlern einzuschliessen. Deshalb werden einmal die gesichteten Datenwerte und einmal die Datensätze nach Elimination von Ausreissern für beide Schätzmethoden einander gegenübergestellt.

	Mittelwerte der massgebenden Werte		
	A	B	C
Visuell nicht unterstützt			
gesichtete Werte	66.9	85.8	91.0
nach Elimination	69.8	86.8	94.7
Visuell unterstützt			
gesichtete Werte	67	88	93.5
nach Elimination	66	88	95

Tabelle 24, Empfindlichkeit der Werte auf Änderung des Auswerteverfahrens

Die Werte verändern sich für keines der drei Bindemittel in grösserem Ausmasse. Das Verwenden visueller Unterstützung bringt somit keine wesentlich veränderte Werte mit sich, sondern verringert vor allem die auftretende Streuung.

Die Zunahme der Werte des gut umhüllenden Bindemittels C ist leicht verständlich, weil jeweils nahezu alle Laboratorien hohe Werte für die Umhüllung und nur eines oder zwei jeweils extrem tiefe Werte lieferte, die dann elimiert wurden. Somit kann sich für dieses Bindemittel nur eine Vergrösserung des Mittelwertes ergeben. Die Methode ist somit nicht empfindlich auf die genaue Art der visuellen Unterstützung.

Folgerungen

Die visuelle Unterstützung scheint für gute Umhüllung zu einer Erhöhung der Schätzwerte, für eine mittlere Umhüllung zu einer Abnahme der Schätzwerte zu führen. Damit verbessert sich die Unterscheidungsfähigkeit und somit die Aussagekraft der Methode.

Die im Ringversuch gesammelten Daten und gemachten Erfahrungen wurden systematisch auf Hinweise zur Empfindlichkeit der vorgeschlagenen Methode untersucht. Es bestehen Hinweise darauf, dass die Methode bezüglich Temperierung empfindlich ist. Stören können insbesondere:

- Verdunstungskälte
- starkes Auskühlen vor Beginn der Lagerung bei 60 °C
- schlechte Wärmeübertragung infolge zu dickwandiger Glaswaren.

Im Methodenvorschlag wird deshalb im Gegensatz zur Durchführung während des Ringversuches vorgeschrieben:

- Lagerungsbeginn 5 Minuten nach Mischende
- Verwendung dünnwandiger Petrischalen

In Übereinstimmung mit der Vorschrift des Ringversuches wird verlangt:

- Lagerung im Wasserbad empfohlen.

Ausserhalb der Möglichkeiten der Forschungsstellen lag das Abklären weiterer Einflussgrössen wie Wasserqualität und andere Umgebungseinflüsse. Solche Einflussgrössen können die Tendenz bei zwei der Laboratorien erklären deutlich höhere Umhüllungsgrade bei mit Haftmittel dotiertem Bindemittel zu finden.

7.9 Verfahrensvorschlag

Zweck/Aussage:

Der Umhüllungsgrad, ausgedrückt in Flächen-%, gibt Auskunft über das Vermögen eines Bindemittels am Gestein in Konkurrenz zum Wasser während einer definierten Wasserlagerung haften zu bleiben.

Prüf- und Hilfsmittel:

- Waage, Ablesegenauigkeit 0,01 g
- Trockenschrank
- halbkugelige Eisenschalen Ø 125 mm
- Petrischalen 300 ml, Ø 90 bis 105 mm,
- Rühr-Eisenspatel, Breite 20-30 mm, Ecken leicht abgerundet
- Wasserbad mit Thermostat, Regelgenauigkeit $\leq 0,5$ °C und Umwälzung
- Uhrgläser zum Abdecken der Glasschalen
- Thermometer, Metall 200 °C, Genauigkeit ± 1 °C
- Thermometer, 80 °C Genauigkeit $\pm 0,2$ °C
- Stoppuhr
- Bunsenbrenner
- Becherglas 1000 ml
- Lampe

Vorbereiten der zugesandten Mineralstoffe

- Mineralstoffe aussieben, Sieb 8/11.2 mm, gemäss SN 670'810
- Waschen, Spülen mit entsalztem Wasser
- Trocknen im Trockenschrank bei 130 °C
- in zwei Eisenschalen je 150g einwiegen
- im Trockenschrank bei Mischtemperatur gemäss SN 640'431 lagern

Vorbereiten von Referenzmaterial

- Mineralstoffe aussieben, Sieb 8/11.2 mm
- Waschen, Spülen mit entsalztem Wasser
- Trocknen im Trockenschrank bei 130 °C
- Abkühlen und in Plastiksäcken verpacken

Vorbereiten der Referenz 10/90

- in zwei Eisenschalen je 30g von jeder der fünf Splitte einwiegen
- im Trockenschrank bei Mischtemperatur gemäss SN 640'431 lagern

Vorbereiten des Bindemittels

- Angeliefertes Bindemittel oder Referenzbindemittel gemäss SN 671'700 aufwärmen

Einzuhaltende Temperaturen für den Mischprozess

Verdichtungstemperatur für Marshallversuch gemäss SN 671'969

Durchführen

- Wasserbad auf 60 °C einstellen
- in im Trockenschrank erwärmte Eisenschalen mit Splitt 8.0g Bitumen zuwiegen
- während 2 Minuten ± 5 s unter intensiven Drehbewegungen (200 Mischbewegungen) mischen. Es dürfen keine hellen Stellen oder Kanten mehr sichtbar bleiben.
- Mischgut sofort in eine Glasschale füllen, sodass Boden möglichst einschichtig bedeckt ist.
- Mischgut 5 Minuten auf dem Tisch abkühlen lassen
- mit 150 ml frisch ausgekochtem, entsalztem Wasser von 60 ± 0.5 °C überschichten, mit

Uhrglas abdecken und in gedecktem Wasserbad wahren 60 ± 1 Minuten lagern.

Schätzen des Umhüllungsgrades

Die Schätzung wird unter heller Beleuchtung durch Vergleich mit den Korngruppenbildern durchgeführt. Der Umhüllungsgrad wird für jede der beiden Schalen von mindestens drei Schätzern geschätzt. Das Mittel aller dieser Schätzwerte bildet den massgebenden Wert.

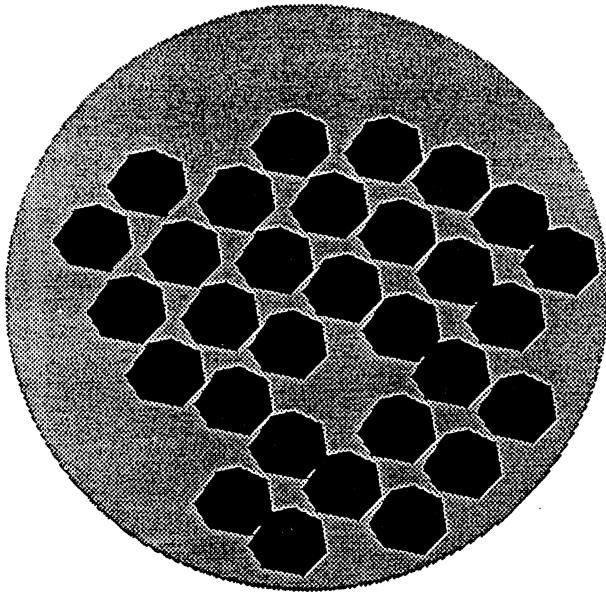


Abbildung 41, Korngruppe mit 100% Umhüllungsgrad

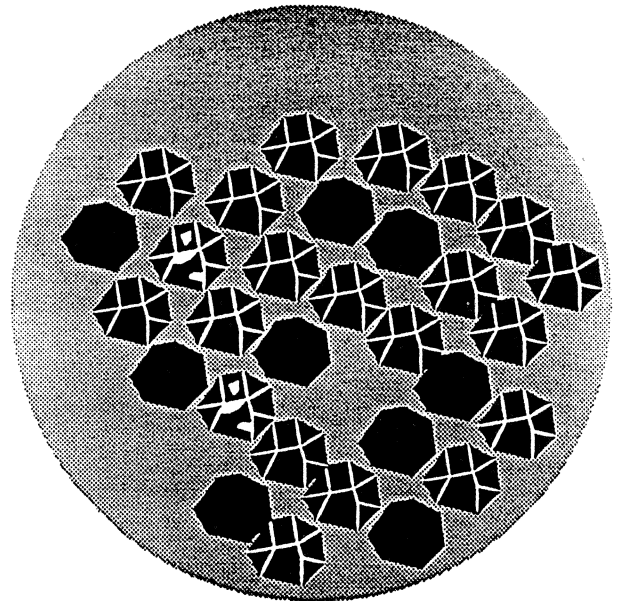


Abbildung 42, Korngruppe mit 95% Umhüllungsgrad

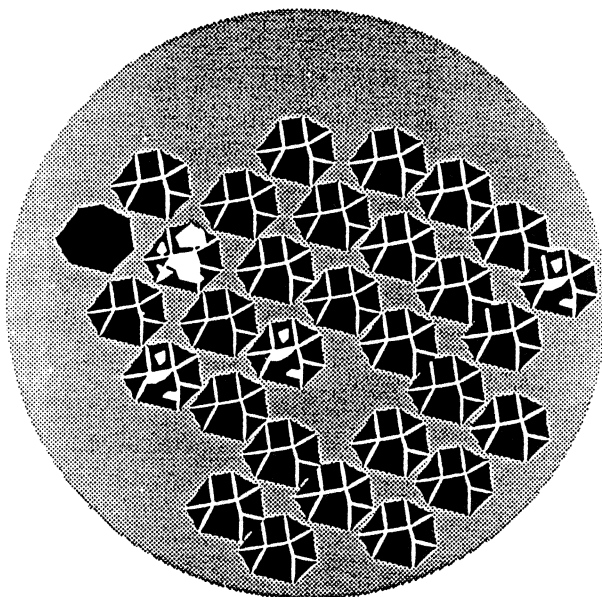


Abbildung 43, Korngruppe mit 90% Umhüllungsgrad

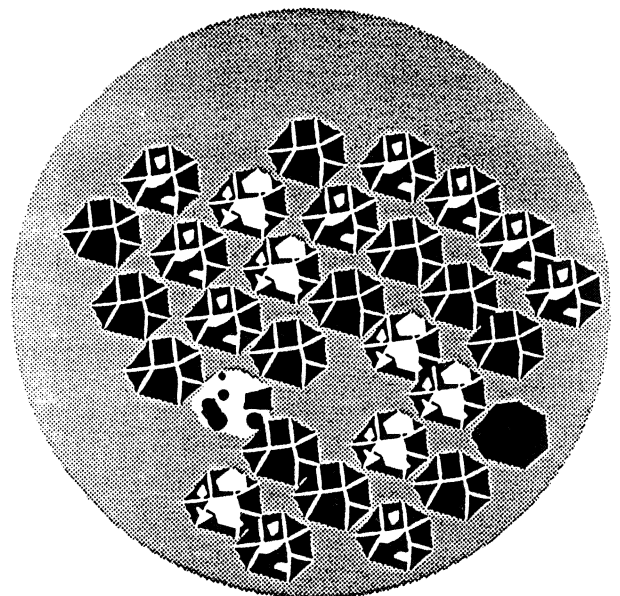


Abbildung .44, Korngruppe mit 80% Umhüllungsgrad

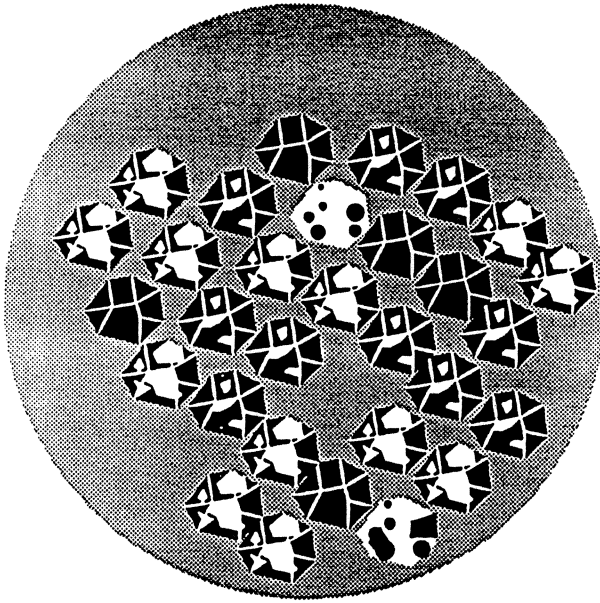


Abbildung 45, Korngruppe mit 70%
Umhüllungsgrad

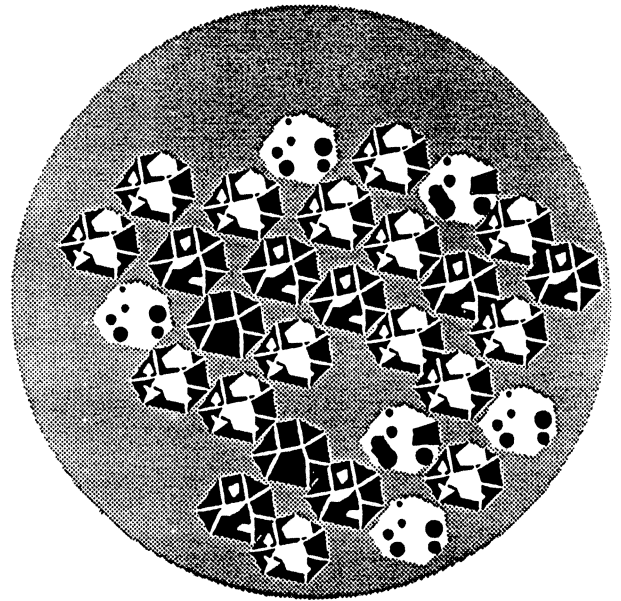


Abbildung 46, Korngruppe mit 60%
Umhüllungsgrad

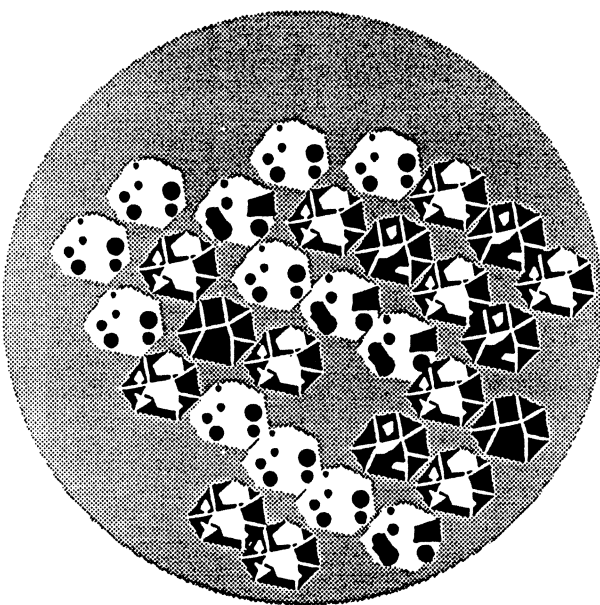


Abbildung 47, Korngruppe mit 50%
Umhüllungsgrad

8. Schlussfolgerungen

8.1 Schlussfolgerungen zum Verfahrensvergleich

Vergleich der Prüfprinzipien

Folgende Prüfprinzipien wurden miteinander verglichen:

Passive Umhüllung: Ein getrockneter Splitt wird heiss völlig mit Bindemittel umhüllt und anschliessend unter Wasser bei vorgeschriebener Temperatur gelagert. Das Ausmass der verbleibenden Umhüllung wird bestimmt.

Aktive Umhüllung: Bindemittel und Mineralstoffe werden in Gegenwart von Wasser umhüllt, das Bindemittel steht in Konkurrenz zum Wasser und muss den Wasserfilm von der Gesteinsoberfläche verdrängen.

Mechanische Prüfverfahren: Bei mechanischen Prüfverfahren werden die mechanischen Eigenschaften von verdichteten Mischguten vor und nach Wasserlagerung miteinander verglichen.

Die aktive Umhüllung ist für Bitumen und polymermodifizierte Bitumen nicht anwendbar. Der Anwendungsbereich ist darum im Vergleich zur passiven Umhüllung deutlich eingeschränkt.

Die mechanischen Prüfverfahren sind nicht nur aufwendiger, sie weisen auch wesentliche Fehlerquellen auf, die den Vorteil der Objektivität der Messgrösse wieder zunichte machen. Marshallstabilitäten an den notwendigerweise sehr grobkörnigen und hohlraumreichen Prüfkörpern können durchaus Fehler von 20% oder mehr des Messwertes aufweisen. Als Kennwert bestimmt wird dann das Verhältnis zweier derart mit Fehlern behafteter Grössen, wobei die Wasserlagerung eine weitere Quelle der Streuung der Resultate darstellt.

Entscheid der Forschungstelle in Absprache mit der Subkommission SK271.16
"Haftvermögen bituminöser Bindemittel: Die passive Umhüllung ist zu normieren. Die Forschungsarbeit wurde deshalb auf das Verfahren "passive Umhüllung" beschränkt.

Vergleich der Auswertemethoden

Um das optimale Auswerteverfahren zu ermitteln wurden die in Tabelle 25 zusammengestellten Methoden untersucht. Die Bewertung der Methode basierte dabei auf folgenden Forderungen:

- Einfachheit
- Auswertung von vielen Laboratorien durchführbar
- Verfügbarkeit und Anwendbarkeit der Methode
- Genauigkeit der Ergebnisse
- Aussagefähigkeit der Ergebnisse
- Kosten der Prüfgeräte.

1	<i>Visuelles Schätzen</i>	durch mehrere Schätzende
2	<i>Schall-Reflexion</i>	am getrockneten Mischgut mitte Ultraschall
3	<i>Zwei-Kanal-Farbanalyse</i>	Messen zweier Farbkomponent
4	<i>Schwellenwerterkennung der Helligkeit</i>	durch digitale Bildanalyse
5	<i>Video-Digital-Analysator</i>	Schwellenwerterkennung
6	<i>Helligkeitsmessung des reflektierten Lichts im Infrarotbereich</i>	
7	<i>Chemisches Analyseverfahren</i>	.

Tabelle 25, Untersuchte Auswertemethoden

Gemäss den Vergleichsuntersuchungen der verschiedenen Verfahren (Kapitel 4), können diese zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden.

Visuelles Schätzen **(1)** erfüllte alle Forderungen bis auf die Genauigkeit der Auswertung, die durch einen subjektiven Einfluss beim Schätzen stark gemindert wird.

Die Schallreflexion **(2)** konnte nur von der Forschungsstelle durchgeführt werden, erwies sich als ungenau und ist mit erheblichen Gerätekosten verbunden.

Die Auswertung mittels Zwei-Kanal-Farbanalyse **(3)** konnte nur bei der Forschungsstelle durchgeführt werden, das Verfahren war aufwendig und umfasst ein Eichen mit entsprechenden Fehlerquellen, das Gerät ist teuer.

Durch Zuordnen von Grauwerten zu den Mineralstoffoberflächen anhand eines Schwellwertes **(4,5)** konnte der Umhüllungsgrad objektiv und mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. Die Methode setzt grosse Erfahrung in fotometrischer Messung und Bildauswertung voraus. Das Umsetzen des Verfahrens in eine Norm ist nicht gesichert. Das eingesetzte Gerät ist teuer, seine Verfügbarkeit war für den Ringversuch nicht gegeben.

Die Helligkeitsmessung des reflektierten Lichtes im Infrarotbereich **(6)** musste mittels einem Prototyp durchgeführt werden. Bei sorgfältiger Durchführung lieferte die Methode brauchbare Werte. Wegen mangelnder Verfügbarkeit des Gerätes zur Zeit des Ringversuches musste die Methode aber ausgeschlossen werden.

Das chemische Analysenverfahren **(7)** arbeitet mit der arbeitshygienisch gefährlichen Flusssäure. Die Methode basiert auf Annahmen, die für heterogene Mineralstoffe höchsten eingeschränkte Gültigkeit haben. Die Durchführung ist zeitraubend.

Die Forschungsstellen entschieden aufgrund dieser Sachlage die Methode des visuellen Schätzens für die Durchführung des Ringversuches zu wählen und sie soweit wie möglich zu verbessern.

Untersuchung der Prüfparameter

Die entsprechenden Voruntersuchungen betrafen schwergewichtig das für den Strassenbau wichtigste Bindemittel B 80/100. Sie lieferten folgende Aussagen zum Verfahren:

- Die Mischtemperaturen gemäss Verfahrensvorschrift bot für die Bitumen B 40/50, B 60/70, B 80/100, B 120/150 und B180/220 keine Probleme
- Die Prüftemperatur ist für B 80/100 von 60 °C ist ausreichend, eine Lagerung bei 70 °C lieferte keine andere Ergebnisse

- Die Lagerungstemperatur von einer Stunde ist ausreichend.

Erreichte Methodenverbesserung

Die Bestimmung des Haftvermögens von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen durch Schätzen des Umhüllungsgrades konnte in folgenden Punkten verbessert werden:

- Besser definierte Zusammensetzung der Mineralstoffe
- Genau definierte und durch Untersuchung der Empfindlichkeit der Methoden sachlich begründete Gerätschaften
- Genau definiertes und durch Untersuchung der Empfindlichkeit der Methoden sachlich begründetes Verfahren
- Verringern des subjektiven Einflusses auf das Ergebnis durch visuelle Unterstützung des Schätzens

8.2 Abschätzen der Vergleichbarkeit

Die Vergleichbarkeit ist definiert als die Grenze für den Unterschied zwischen zwei massgebenden Werten, bestimmt in zwei verschiedenen Labors, die in 95% aller Fälle nicht überschritten wird. Wie bereits erläutert, kann wegen der Methodenentwicklung während dem Forschungsauftrag und der ungenügenden Bekanntheit der teilnehmenden Laboratorien mit der neuen Methode die Vergleichbarkeit nicht verlässlich bestimmt werden. Gründe sind:

- Neuheit der Methode, Einfluss nicht quantifizierbar
- Ungenügende Übung, vor allem im Bereich tieferer Umhüllung nach den Ergebnissen des FA eine um 10% erhöhte Streuung, also eine Vergleichbarkeit von 20 statt 18%
- Verfahrensfehler einzelner Labors, Einfluss vermutlich gering
- Einfluss von der Forschung nicht entdeckter Fehler

Der Einfluss nicht entdeckter Fehler wurde in dem Sinne berücksichtigt, als dass für die Berechnung der Vergleichbarkeit jeweils der am stärksten abweichende Wert nach dem im Kapitel 7.4 beschriebenen Auswerteverfahren gestrichen wurde. Eine in Zukunft erreichbare Methodenverbesserung durch wachsende Vertrautheit mit der neuen Methode wird durch Angabe einer entsprechend verbesserten Schätzung der Vergleichbarkeit erfasst.

Mittlerer massgebender Wert Flächen-%	Vergleichbarkeit	Vergleichbarkeit unter Annahme 10% Verbesserung
65.7	20	18
85.9	15	14
94.1	7	6

Tabelle 26, Schätzung der Vergleichbarkeit

Grob gesagt heisst das, dass bei einem Umhüllungsgrad von

- 65 Flächen-% die Werte meist zwischen 55 und 75 Flächen-% liegen
- 85 Flächen-% die Werte meist zwischen 78 und 92 Flächen-% liegen
- 94 Flächen-% die Werte meist zwischen 91 und 97 Flächen-% liegen

8.3 Aussagefähigkeit der Methode

Die im Forschungsauftrag ermittelten massgebenden Werte, Standardabweichungen und geschätzten Vergleichbarkeiten zeigen, dass es möglich ist, Bindemittel und Mineralstoffe zwar groben, aber für den Praktiker bedeutsamen Kategorien zuzuordnen. Abgesehen von Grenzfällen können mittels dem Umhüllungsgrad in Bezug auf Bindemittel folgende Aussagen gemacht werden:

- Umhüllungsgrad 95 Flächen-% oder mehr: Eine gutes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein ist gewährleistet.
- Umhüllungsgrad 80 bis 95 Flächen-%: Eine für verschiedene Zwecke noch ausreichendes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein ist gewährleistet.
- Umhüllungsgrad 60 bis 80 Flächen-%: Ein für die Kombination von Bitumen ohne Haftmittel und schweizerische Mineralstoffe übliches Haftvermögen.
- Umhüllungsgrad weniger als 60 Flächen-%: Ein unzureichendes Haftvermögen des Bindemittels am Gestein, die Verwendung von Haftmitteln zur Haftverbesserung ist angezeigt.

Die Methode vermag zwischen diesen Bindemittelkategorien zu unterscheiden.

In Bezug auf Mineralstoffe können durch Auswertung der Tabelle ... in Kapitel 5.2 folgende Aussagen gemacht werden:

- Umhüllungsgrade 78, 82, 87 Flächen-%: Gestein mit einem guten Haftvermögen gegenüber einem Bitumen ohne Haftmittel. Die Anwendung von Haftmittelzusätzen ist bei besonderen Anforderungen nötig.
- Umhüllungsgrad 40 bis 70 Fläche-%: Gestein mit einem schlechten Haftvermögen gegenüber einem Bitumen ohne Haftmittel. Die Anwendung von Haftmittelzusätzen ist je nach Einsatzart zu empfehlen oder unerlässlich.
- Umhüllungsgrad unter 40 Flächen-%: Gestein mit einem völlig unzureichenden Haftvermögen gegenüber einem Bitumen ohne Haftmittel. Die Anwendung von Haftmittelzusätzen ist unerlässlich.

Die Methode vermag, abgesehen von Grenzfällen, zwischen diesen Gesteinskategorien zu unterscheiden.

8.4 Forschungsbedarf

Die Auswertung der gesammelten Daten lässt auf einen oder mehrere Einflussfaktoren schliessen, die im zeitlichen und finanziellen Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages nicht untersucht werden konnten. Die Ursache einiger Differenzen in den Ergebnissen liegt gemäss Nachprüfung nicht beim Schätzen, sondern in Unterschieden der verbleibenden Umhüllung. Da auch Fehler in der Versuchsdurchführung mindestens bei einem Labor durch Nachkontrolle ausgeschlossen werden konnten, bleiben nicht abgeklärte Einflüsse als mögliche Ursachen bestehen. Nach Auffassung der Forschungsstellen kommen dafür in Frage:

- die Wasserqualität
- Unterschiede in der Wärmeübertragung von Bad zu Mischgut
- Umgebungseinflüsse

Kleinere Werte für die Vergleichbarkeit können nur erreicht werden, wenn solche Faktoren erfasst werden können, und in der Folge das Prüfverfahren so geändert wird, dass der Einfluss dieser Faktoren verringert werden kann.

9. Literaturverzeichnis

9.1 Schweizer Normen

- [1] SN 670'810, Mineralische Baustoffe und Lockergesteine, Siebanalyse
- [2] SN 671'700, Bituminöse Bindemittel, Allgemeine Prüfvorschriften
- [3] SN 671'969, Bituminöse Bindemittel, Marshall-Versuch

9.2 Andere Literatur

- [4] Oesterreichische Strassenforschung, "Objektive Messung der Bitumenbedeckung", J. Bleier, 1994.
- [5] Persönliche Mitteilung, Dr. J. Bleier, Idee für die Darstellung der Testfelder, 1991
- [6] R. Gubler, Statistische Qualitätskontrolle von Asphaltbelägen, FA 9/77 des Eidgenössischen Departementes des Innern, Mai 1992
- [7] J.P. Junker, Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel am Gestein, FA 4/73 des Eidgenössischen Departementes des Innern, Mai 1981

10. Dank

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die engagierte Mitarbeit der am Ringversuch beteiligten Laboratorien nicht durchführbar gewesen. Insbesondere war das mehrfache Durchführen zusätzlicher Bewertungen für das Fortschreiten der Forschungsarbeit und die Weiterentwicklung der Prüfmethode von Bedeutung. Allen beteiligten Strassenbaulaboratorien sei deshalb hier herzlich gedankt.

Anhang

Auf Anregung der Subkommission Forschung SK 271/19 wurden die unten aufgeführten Informationen aus dem Forschungsbericht zusammengestellt und um die Lieferantenadresse für den Quarz ergänzt. Zusätzlich anbietet sich die Forschungsstelle EMPA ein Lager der Referenzmaterialien zu unterhalten.

A Definition der Referenzmaterialien

Bezugsquelle für Referenzmaterialien

Mineralstoffe

Gewaschene und abgesiebte Splittfraktionen 8/11.2 mm aus den vier schweizerischen Steinbrüchen:

Ambrosini Mose SA
Sig. Tomasetti
Via San Gottardo
6532 Castione
Tel. 091-829 39 39

Arvel
Carrières d'Arvel SA
route Arvel
1844 Villeneuve
Tel. 021-960 40 62
Fax 021-960 16 79

Balmholz
Steinbrüche + Baustoffe
3800 Sundlauenen
Tel. 033-51 12 21
Fax 033-51 27 21

Losinger Sion SA
1891 Massongex
Tel. 025-71 67 77
Fax 025-71 98 14

Gewaschene und abgesiebte Fraktion 8/11.2 mm des **französischen Quarzsplittes KW 8/12**

Berger & Co
Mineralische Rohstoffe
Postfach
4002 Basel
Tel. 061 811 14 85
Fax. 061 811 14 11

Bitumen

Strassenbaubitumen B 80/100, ex Cressier

Shell Switzerland
MST/2 Bitumen
Baarermatte
6340 Baar

Mineralstoffe und Bitumen können portioniert bezogen werden bei:

EMPA
Überlangstrasse 129
8600 Dübendorf
Tel. 01 823 55 11
Fax 01 821 62 44

B Verwendung der Referenzmaterialien gemäss Prüfziel

Prüfen eines Bitumens

Es werden je 30 g der oben aufgeführten 5 Referenzkomponenten zur Herstellung der Mineralstoffmischung gemäss Vorschrift Seite 78 vorbereitet und die Prüfung beginnend mit Titel "Vorbereiten des Bindemittels" durchgeführt.

Prüfen eines Splittes

Es wird das oben aufgeführte Referenzbindemittel verwendet. Der zu untersuchende Splitt wird gemäss Vorschrift Seite 78 vorbereitet und die Prüfung beginnend mit Titel "Vorbereiten des Bindemittels" durchgeführt.