

Bituminöse Beläge Optimierung mit Marshall-Versuch

Schlussbericht

**Eidgenössisches Departement des Innern, Bern
Forschungsauftrag 9/75**

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

SEITE

Z U S A M M E N F A S S U N G	7
1. A B K U E R Z U N G E N U N D B E R E C H N U N G S F O R M E L N	9
1.1 A B K U E R Z U N G E N	9
1.2 B E R E C H N U N G S F O R M E L N	10
2. E I N L E I T U N G	11
3. T H E M A U N D Z W E C K	13
3.1 A L L G E M E I N E F O R M U L I E R U N G	13
3.2 U M F A N G	14
3.3 W A H L D E R M I S C H G U T S O R T E N U N D R O H S T O F F E	14
1. M i s c h g u t s o r t e n	14
2. R o h s t o f f e	14
4. F O R S C H U N G S P R O G R A M M	17
4.1 D U R C H G E F U E H R T E V E R S U C H E	17
1. R o h s t o f f e	17
2. M i s c h g u t	17
4.2 P A R A M E T E R	18
4.3 M A R S H A L L - V E R S U C H	19
5. R O H S T O F F E	21
5.1 B E S C H A F F U N G	21
1. M i n e r a l s t o f f e	21
2. F i l l e r	21
3. B i n d e m i t t e l	22
5.2 E I G E N S C H A F T E N	22
1. M i n e r a l s t o f f e	22
2. F i l l e r	25
3. B i n d e m i t t e l	28

	SEITE
6. M I S C H G U T U N T E R S U C H U N G E N	31
6.1 WALO BERTSCHINGER AG - EMPA	31
6.2 VORVERSUCHE	31
1. Mischgut	31
2. Filler	33
6.3 SOLLKURVEN	35
6.4 MISCHGUTHERSTELLUNG	44
6.5 ZULAESSIGE ABWEICHUNGEN, WIEDERHOLUNGEN	44
1. Zulässige Abweichungen	44
2. Wiederholungen	45
6.6 RESULTATE DER MARSHALL-VERSUCHE	45
7. A U S W E R T U N G D E R M A R S H A L L - V E R S U C H E	47
7.1 MOEGLICHKEITEN	47
1. Herkömmliche Art der Auswertung	47
2. Weitere Arten der Auswertung	48
3. 'Tangentenmodul' S_T	49
7.2 ABWEICHUNG DER EINZELWERTE VOM MITTELWERT	52
1. Stabilität SM, Fliesen FM	52
2. Raumgewicht RM	53
7.3 AUSGLEICH MIT COMPUTER	54
7.4 AUSWIRKUNGEN DES AUSGLEICHS	55
7.5 SAMMELDIAGRAMME	62
8. E I N F L U S S D E R B I N D E M I T T E L - U N D F I L L E R G E H A L T E	75
8.1 ALLGEMEINES	75
8.2 VARIABLER BINDEMittelGEHALT	76
8.3 VARIABLER FILLERGEHALT	80
8.4 VERFORMUNGSFESTE BEREICHE IM MARSHALL-VERSUCH	84
1. Grenzen der Bereiche	84
2. Vergleich der Bereiche bestimmt über Filler- und Bindemittelgehalt an Hand des Hohlraum- gehaltes HM	85
3. Darstellung in einer Bindemittel-Fillerebene	90
4. Beurteilung der Grenzen bestimmt über variab- len Bindemittelgehalt	91
5. Beurteilung der Grenzen bestimmt über variab- len Füllergehalt	92

	SEITE
8.5 EINFUEHRUNG VON PRAXISNAHEN GRENZWERTEN	93
8.6 'EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE'	96
8.7 VERFORMUNGSFESTE BEREICHE GEMAESS SCHWEIZER NORM 640 431	105
8.8 VERGLEICH NORMBEREICHE MIT 'EMPFOHLENEN VERFORMUNGSFESTEN BEREICHEN'	116
9. E I N F L U S S E I N Z E L N E R P A R A M E T E R A U F D I E M I S C H G U T E I G E N S C H A F T E N	119
9.1 EINFLUSS DER SIEBKURVE	119
1. Einleitung	119
2. Einfluss des Sand/Splittgehaltes (Siebkurve I-IV) bei jeweils konstantem Filler- und Bindemittelgehalt	119
3. Einfluss des Sand/Splittgehaltes bei variablen Bindemittel- und Fillergehalt	123
4. Zusammenwirken der einzelnen Einflüsse an Hand von Norm- und 'empfohlenen verformungs- festen Bereichen'	124
5. Beurteilung	127
9.2 EINFLUSS VON FILLER A UND FILLER B	131
1. Filleranteile	131
2. Grundlage für die Beurteilung	133
3. Vergleich bei gleichem Gesamtfillergehalt	138
4. Einfluss des Anteils Fremdfiller am Gesamt- filler	139
5. Vergleich im Bindemittel-Fillerdiagramm	140
6. Beurteilung	140
9.3 EINFLUSS DER MISCHGUTSORTE	141
10. F O L G E R U N G E N	143
10.1 GEEIGNETE BELAEGE	143
1. Aussagekraft des Marshall-Versuchs	143
2. Verformungsfeste Beläge für hohe Beanspru- chungen	143
3. Verformungsfeste Beläge für normale Bean- spruchungen	145
10.2 DER MARSHALL-VERSUCH	146
10.3 BEURTEILUNG DER SCHWEIZER NORM 640 431	148
10.4 EMPFEHLUNGEN	149

Z U S A M M E N F A S S U N G

AUFTRAG

Durchführung systematischer Untersuchungen an Heissmischbelägen mit dem Ziel, die in der Schweizer Norm 640 431 beschriebenen Anforderungen an Beläge den heutigen Anforderungen und Erkenntnissen entsprechend zu überprüfen.
Als Grundlage der Untersuchungen dient der Marshall-Versuch.

DER MARSHALL-VERSUCH

Erfahrungsgemäss interessieren vor allem die Aussagen auf Grund volumetrischer Kennwerte. Die mechanischen Werte lassen eine Aussage im dichten und bindemittelreichen Bereich zu.

Abgrenzungen im hohlraumreicheren, bindemittelärmeren Bereich können durch den Einbezug von Erfahrungswerten vorgenommen werden.

UEBERBLICK KAPITEL 1 - 9

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile:

- Schlussbericht
- Anhang A-I zum Schlussbericht (Einzelwerte, detailliertes Zahlenmaterial, Diagramme)

Im Schlussbericht sind in den Kapiteln 1-7 die Grundlagen zusammengestellt, die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und teilweise kommentiert. Es handelt sich im Wesentlichen um die folgenden Punkte:

- Umfang und Aufbau des Forschungsprogrammes
- Durchführung der Versuche
- Bereitstellen und Ausgleichen der Resultate für die Auswertung

Die Auswertung erfolgt in den Kapiteln 8 und 9 :

- Erfassen und Interpretieren der Mischguteigenschaften mittels Marshall-Kenngrößen an Hand theoretischer Überlegungen.
- Eingrenzen eines 'empfohlenen verformungsfesten Gebrauchsbereiches' in Filler-Bindemittel-Diagrammen.
- Projektion der die Normanforderungen erfüllenden Werte in diese Filler-Bindemittel-Diagramme und Überlagern mit dem 'empfohlenen verformungsfesten Bereich'.
- Erkennen des Einflusses verschiedener Parameter auf die Mischguteigenschaften.
- Vergleich generell und bezüglich Norm für;
Filler A und B, Siebkurven I ÷ IV
und Mischgut AB 10 und AB 16.

FOLGERUNGEN

Diese sind am Schluss des Berichtes in Kapitel 10 auf Grund einer eingehenden Beurteilung gezogen und diskutiert.

1. A B K U E R Z U N G E N U N D B E R E C H N U N G S - F O R M E L N

1.1 A B K U E R Z U N G E N

			Einheit
SM	Stabilität	Marshall	kN
FM	Fliesswert	Marshall	mm
SM/FM	Steifigkeit (Verhältnis)	Marshall	kN/mm
RM	Raumgewicht	Marshall	g/cm ³
HM	Hohlraumgehalt	Marshall	Vol. %
RMM	Raumgewicht der Mineralstoffe im Marshall-Prüfkörper		g/cm ³
HMM	Hohlraumgehalt der Mineralstoffe im Marshall-Prüfkörper		Vol. %
HFB	Hohlraumfüllungsgrad mit Bindemittel		%
VF	Volumen Filler		Vol. %
VB	Volumen Bindemittel		Vol. %
F	Fillergehalt		Gew. %
B	Bindemittelgehalt		Gew. %
SG	Spez. Gewicht des Mischgutes		g/cm ³
SG _B	Spez. Gewicht des Bindemittels		g/cm ³
SG _F	Spez. Gewicht des Fillers		g/cm ³
SG _M	Spez. Gewicht der Mineralstoffe		g/cm ³
C	Konzentration (Volumenverhältnis Filler/Mastix)		
VMa	Volumen Mastix		Vol. %
HFMa	Hohlraumfüllungsgrad des Mastix		%
Filler A	Kieselkalk-Filler		
Filler B	Rückgewinnungsfiller aus Entstaubungsanlage		
S _T	Tangentenmodul		kN/mm

Verwendete Kurzbezeichnung des Mischguts:

Beispiel: AB 10 / I / A : Mischgut AB 10, Siebkurve I,
Filler A

1.2 BERECHNUNGSFORMELN

$$VB = \frac{B \cdot RM}{SG_B}$$

$$VF = \frac{F \cdot RMM}{SG_F} = \frac{F \cdot RM \left(1 - \frac{B}{100}\right)}{SG_F}$$

$$HM = \left(1 - \frac{RM}{SG}\right) \cdot 100$$

$$HFB = \frac{VB \cdot 100}{VB + HM} = \left(\frac{VB}{HMM}\right) \cdot 100$$

$$\begin{aligned} HMM &= VB + HM = \left(\frac{B \cdot RM}{SG_B} + \left(1 - \frac{RM}{SG}\right) \cdot 100\right) \\ &= \left(1 - \frac{RMM}{SG_M}\right) \cdot 100 \end{aligned}$$

$$RMM = RM \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right)$$

$$C = \frac{VF}{VF + VB}$$

$$VMa = VF + VB$$

$$HFMa = \frac{VMa}{VMa + HM}$$

2. EINLEITUNG

Im Schreiben vom 2. April 1975 erteilte das Eidg. Departement des Innern den Forschungsauftrag 9/75:

'Die Firma Walo Bertschinger AG, Zürich, in Zusammenarbeit mit der EMPA, Dübendorf, wird beauftragt, systematische Marshall-Versuche durchzuführen mit dem Ziel, die Anforderungen an Heissmischbeläge neu zu umschreiben und die bestehenden Normen anzupassen'.

Der Beginn der Untersuchung wurde auf 1976 festgelegt.

Die bewusst allgemein gehaltene Formulierung des Auftrages bedingte eine Anzahl Parameter mit genügender Bandbreite. Das dadurch gewonnene umfangreiche Datenmaterial ergab einen entsprechenden zeitlichen Aufwand hinsichtlich Sichtung, Bewertung und Interpretation.

Die Arbeit gliedert sich aus praktischen Gründen in zwei Teile:

Schlussbericht: Beschrieb, Auswertung und Kommentar, ergänzt durch die wichtigsten Darstellungen zur Texterläuterung, Folgerungen.

Anhang A bis I zum
Schlussbericht : Sammlung des umfangreichen Datenmaterials (Tabellen und graphische Darstellungen)

3. T H E M A U N D Z W E C K

3.1 ALLGEMEINE FORMULIERUNG

Die heutigen Beanspruchungen von bituminösen Heissmischbelägen haben teilweise ein Ausmass erreicht, denen nur im Hinblick auf die Verwendungsart optimale Zusammensetzungen genügen.

Da die geltende Schweizer Norm 640 431 überprüft werden muss, ist es unerlässlich, zuerst durch gezielte Untersuchungen an verschiedenen Mischgutsorten vermehrt Einblick in die Wirkungsweise, Zusammenhänge und Gesetzmässigkeiten der wichtigsten Einflussgrössen zu gewinnen.

Die inhaltliche Formulierung des Auftrages 9/75 lautet deshalb:

- Durchführung systematischer Untersuchungen an Heissmischbelägen mit dem Ziel, die in der Schweizer Norm 640 431 beschriebenen Anforderungen an Beläge den heutigen Erkenntnissen anzupassen.
- Eine Auswertung nach folgenden Kriterien soll möglich sein:
 - optimale Zusammensetzung
 - zugehörige mechanische Eigenschaften (Marshall-Versuch)
 - volumetrische Kenndaten
 - Materialeinfluss (Filler)
- Variation von verschiedenen Mischgutsorten, des Fillers, der Siebkurve (Sand/Splittgehalt), der Filler- und Bindemittelgehalte.

Auf eine zusätzliche Variation der Provenienz der Mineralstoffe wurde aus Gründen des Umfangs verzichtet.

Die Untersuchung wird auf der Basis des Marshall-Versuchs durchgeführt. Dieser weltweit angewandte und genormte Versuch ist allgemein bekannt und erlaubt Vergleiche mit bisherigen Resultaten.

Anzufügen ist, dass die vorliegende Untersuchung Teilbereiche der ganzen Mischguttechnologie erfasst, die, ob schon von grundlegender Wichtigkeit, erst im Zusammenhang mit anderen Forschungsprojekten (Filler, Festigkeit, Bindemittel) ihre volle Aussagekraft erbringen kann. Eine Auslegung zur Ueberprüfung unserer Normen kann deshalb nur unter diesem Aspekt gesehen werden. Zusätzlich wird die Praxis zeigen müssen, inwieweit sich die Berücksichtigung gewisser Folgerungen der Laboruntersuchungen auswirken werden.

3.2 UMFANG

Das Erfassen eines grossen Spektrums bedingt diverse Parameter. Der Auftrag umfasst:

- 2 Mischgutsorten
- pro Mischgutsorte 4 Siebkurven
- pro Siebkurve 2 Fillerarten
- 6 Bindemittelgehalte
- 4 Füllergehalte

Die Kombination der vorgesehenen Parameter ergibt 384 verschiedene Zusammensetzungen.

3.3 WAHL DER MISCHGUTSORTEN UND ROHSTOFFE

1. Mischgutsorten

Die Untersuchungen werden an den beiden normierten und in der Schweiz häufig verwendeten Mischgutsorten AB 10 und AB 16 vorgenommen.

Durch Variation von Fillerart, Siebkurve und Bindemittelgehalt wird sowohl der Bereich Ausgleichsschicht (AB 16u und AB 16us), Deckschicht (AB 10 und AB 16) wie auch Spezialbelag (AB 10s und AB 16s) erfasst.

2. Rohstoffe

Bei den Rohstoffen werden - ausser beim Filler, wo Rückgewinnungsfüller und industrieller Fremdfüller gegenübergestellt werden - keine Variationen vorgenommen. Bei der Auswahl der Mineralstoffe wurde darauf geachtet, bekannte und zumindest für eine Landesgegend (Ostschweiz) verbreitete und repräsentative Rohstoffe zu verwenden.

Mineralstoffe

Provenienz:	Rafzerfeld
Körnungen :	Brechsand gewaschen 0.2/3
	Splitte 3/6, 6/10, 10/16

Filler

Gemäss Definition werden die Kornfraktionen unter 0.08mm eines Steinmehles mit Filler bezeichnet.

Industrieller Filler: Kieselkalk-Filler

Rückgewinnungsfiller: Filler aus Tuchfilterentstaubung einer Aufbereitungsanlage

- Grober Filler aus Grobabscheider
- Feiner Filler aus Filtertuch

Bindemittel : Bitumen, Sorte B 80/100

4. F O R S C H U N G S P R O G R A M M

4.1 DURCHGEFUEHRTE VERSUCHE

1. Rohstoffe

- Mineralstoffe: - Petrographie
 - Korngrößenverteilung
- Filler : - Petrographie
 - Korngrößenverteilung
 - Hohlraumgehalt nach Rigden
 - Erweichungspunkt R.u.K.
 von Filler-Bitumen-Gemischen
 - Volumenänderung nach Wasserlagerung
 - Spezifisches Gewicht
- Bindemittel : - Vollprüfung und Spezialprüfung

2. Mischgut

- Herstellen der Mischungen.
 Zur Kontrolle werden bestimmt:
 - Bindemittelgehalt
 - Korngrößenverteilung
 - Spezifisches Gewicht
- Herstellen der Marshall-Prüfkörper mit Bestimmen von:
 - Raumgewicht
 - Stabilität
 - Fliessen
- Bestimmen der Folgewerte:
 - Hohlraumgehalt
 - Hohlraumgehalt der Mineralstoffe
 - Bindemittelvolumen
 - Hohlraumfüllungsgrad
 - Verhältnis Stabilität/Fliessen

4.2 PARAMETER

Mischgutsorten

AB 10

AB 16

Bindemittelgehalt

AB 10 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 Gew.%

AB 16 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 Gew.%

Fillergehalt

AB 10 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 Gew.%

AB 16 4.0, 6.5, 9.0, 11.5 Gew.%

Fillerart

A Industrieller Filler	}	verwendet sowohl für AB 10 als auch für AB 16
B Rückgewinnungs-Filler		

Siebkurven

Stützwerte für Siebkurven		I	II	III	IV
AB 10, Durchgang in Gew.% bei Prüfsieb	:				
	1.6 mm	22	30	38	46
	6.3 mm	56	66	76	86
AB 16, Durchgang in Gew.% bei Prüfsieb	:				
	1.6 mm	16	24	32	40
	10 mm	55	65	75	85

4.3 MARSHALL-VERSUCH

Der Marshall-Versuch dient zum Optimieren von Mischgut-zusammensetzungen und zum Ueberprüfen von Mischungen.

Unter genormten Bedingungen sind Marshall-Prüfkörper herzustellen (SN 671 969).

Aus dem Raumgewicht dieser Prüfkörper und dem spezifischen Gewicht können die volumetrischen Kennwerte berechnet werden.

Die mechanische Prüfung (ein quasistatischer Versuch, bei dem der Körper einer kombinierten Druck- und Scherbeanspruchung unterworfen wird) gibt Aufschluss über Stabilität und Verformungsverhalten der Mischung.

5. ROHSTOFFE

5.1 BESCHAFFUNG

Um Materialschwankungen während der Versuchsdauer auszuschliessen wurde darauf geachtet, die gesamte jeweils benötigte Menge an Splitt, Sand, Filler und Bindemittel vor Beginn der Laborarbeiten zur Verfügung zu haben.

1. Mineralstoffe

Die benötigten Mineralstoffe - Splitte 10/16, 6/10, 3/6 und gewaschener Brechsand 0.2/3 - wurden direkt ab Produktion im Kieswerk bezogen. Das Material wurde in der erforderlichen Menge beschafft (ca. 10 t), mit Teilgeräten in gleiche Anteile geteilt und bei der EMPA Dübendorf resp. WALO vor Witterung geschützt gelagert. Vorgängig waren die Splittsorten 3/6, 6/10 und 10/16 gewaschen worden.

2. Filler

Folgende Fillertypen wurden verwendet:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| Industrieller Filler:
(Filler A) | Industriell aufbereiteter hochwertiger Kieselkalk. |
| Rückgewinnungsfiller:
(Filler B) | Dieser Filler stammt aus der Produktion eines Belagslieferwerks und wurde in zwei Komponenten entnommen: |
| | - Grober Filler aus Vorabscheider der Entstaubungsanlage (wird direkt über den Heisselevator zu den Mineralstoffen zurückgeführt). |
| | - Feiner Filler aus der Tuchfilterentstaubung (wird effektiv als 'Eigenfiller' bei der Belagsaufbereitung je nach Belagsart wieder dazudosiert). |

Mit dem groben und dem feinen Filler wurde durch Vorversuche (siehe Seite 33) ein geeignetes Mischverhältnis ermittelt.

Von den Fillern A und B wurden je ca. 300 kg bereitgestellt.

3. Bindemittel

Das Bitumen 80/100 (480 kg) stammt aus Schweizer Produktion und wurde einer normalen Lieferung entnommen.

5.2 EIGENSCHAFTEN

1. Mineralstoffe

Petrographie:

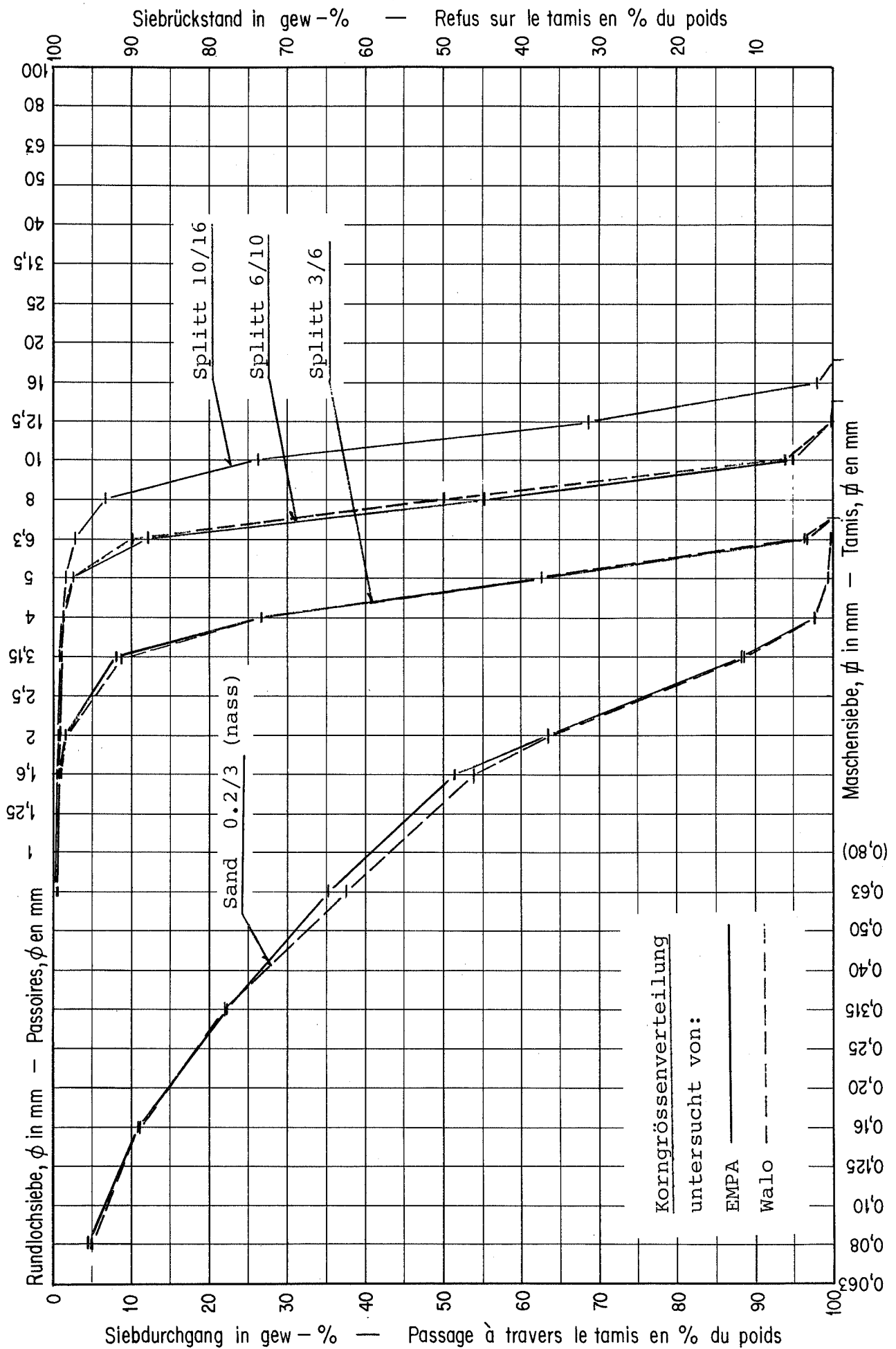
Gemäss Untersuchung der EMPA weisen die Körnungen 85-90 % harte, 10-15 % mittelharte und 1-2 % weiche Gesteine auf. Sie entsprechen den Anforderungen für die Herstellung bituminöser Beläge aller Kategorien.

Korngrössenverteilung:

In der folgenden Zusammenstellung sind die Mittelwerte der Siebanalysen zusammengestellt. Sie dienen als Grundlage zur Berechnung der einzelnen Siebkurven. Ein Vergleich von Nass- und Trockensiebung beim Sand ergab keine wesentlichen Unterschiede.

Siebdurchgang in Gew. %

Körnungen	10/16		6/10		3/6		0.2/3 nass		0.2/3 trocken	
	EMPA	WALO	EMPA	WALO	EMPA	WALO	EMPA	WALO	EMPA	WALO
Anzahl Siebungen	4	-	4	4	4	2	5	3	4	-
Prüfsieb										
mm										
16	98.1									
12.5	68.7		99.9	100						
10	26.3		95.0	93.8						
8	6.8		55.1	50.0	100	100				
6.3	2.9		12.1	10.1	96.7	96.4	99.9	100	99.7	
3.15	1.1		0.9	0.7	8.1	8.9	88.3	88.7	89.0	
1.6	0.8		0.6	0.4	0.9	1.1	51.4	54.0	54.6	
0.63	0.7		0.5	0.3	0.4	0.5	35.2	37.6	35.9	
0.315	0.6		0.4	0.2	0.3	0.4	22.2	22.0	22.7	
0.16	0.5		0.3	0.2	0.2	0.3	10.8	11.2	11.0	
0.08	0.4		0.2	0.1	0.1	0.2	4.5	5.0	4.3	



2. Filler

Petrographie:

Gemäss EMPA-Untersuchung sind im groben Rückgewinnungs-filler 37 % und im feinen 48 % Karbonatanteile enthalten. Im übrigen enthalten diese beiden Rückgewinnungs-filler hauptsächlich Quarz- und Hornsteinkörner.

Der Kalksteinfiller enthält 62 % Karbonatanteile. Der Rest besteht je zur Hälfte aus Quarz- und Silikatkörnern resp. Kieselpartikeln aus Kieselkalken.

Korngrößenverteilung:

Die drei Fillerarten sowie der Brechsand wurden durch Siebungen bis 0.08 mm und durch Sedimentationsanalysen mit Äthylalkohol (SN 670 818) im Fillerbereich (unter 0.08 mm) untersucht.

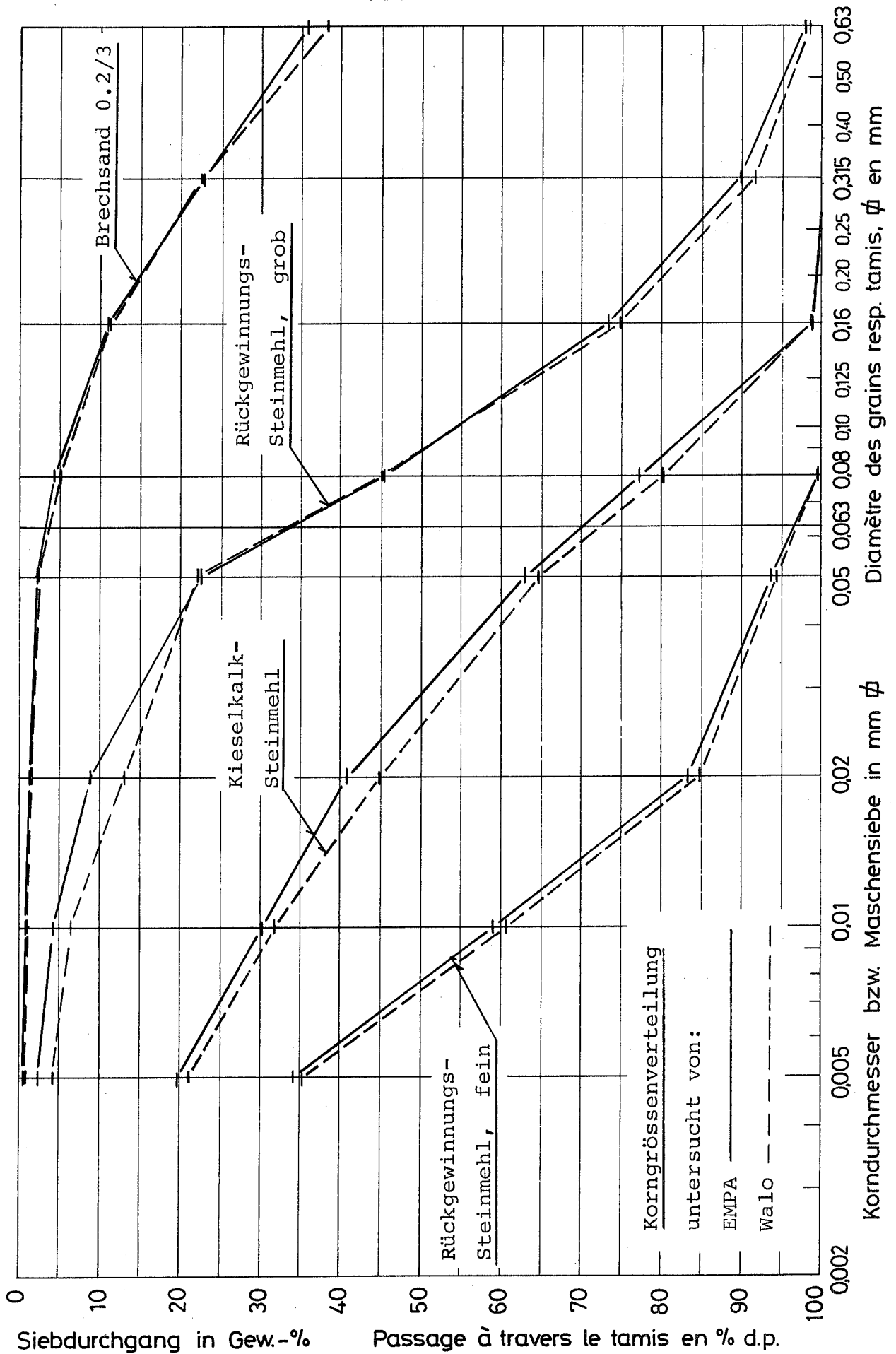
Durchgang in Gew. %

Körnung	Brechsand 0.2/3mm		Kieselkalk- Steinmehl		Rückgewinnungs- Steinmehl			
	EMPA	WALO	EMPA	WALO	grob		fein	
	EMPA	WALO	EMPA	WALO	EMPA	WALO	EMPA	WALO
Anzahl Analysen	3	1	4	1	4	1	4	1
Prüfsieb mm								
0.63	35.9	38.3			97.9	98.5		
0.315	22.7	22.5	100	100	89.9	91.7		
0.16	11.0	11.3	98.9	98.5	73.3	74.9		
0.08	4.3	5.1	77.2	80.2	45.3	45.0	99.7	99.6
0.05*	2.2	2.3	63.0	64.6	22.5	22.1	93.7	94.3
0.02*	1.3	1.6	40.9	44.9	8.9	13.1	83.3	84.8
0.01*	0.8	1.0	30.1	32.0	4.2	6.4	59.0	60.7
0.005*	0.4	0.7	19.8	21.1	2.3	4.3	34.2	35.3

* Korngrösse aus Sedimentationsanalyse

Siebandalyse - Analyse par tamisage

Sedimentationsanalyse - Analyse par sédimentation



Spezifisches Gewicht:

Bestimmt mit Wasser bzw. Alkohol bei 25°C. Im Folgenden sind die Mittelwerte aufgeführt. Bei dem später verwendeten Mischungsverhältnis von grobem und feinem Rückgewinnungsfiller wurde das spezifische Gewicht durch lineare Interpolation berechnet.

Industrieller Filler	2.717 g/cm ³
Rückgewinnungsfiller grob	2.725 g/cm ³
Rückgewinnungsfiller fein	2.740 g/cm ³

Hohlraumgehalt nach Rigden gemäss Norm SN 670 840 :

Bestimmt an den jeweiligen Fraktionen < 0.08 mm.

Filler	Hohlraumgehalt nach Rigden Vol. %
Kieselkalk-Filler	31.4
Rückgewinnungsfiller grob	35.3
Rückgewinnungsfiller fein	40.7
Rückgewinnungsfiller grob/fein 1 : 1	35.2
aus Brechsand 0.2/3	31.6
Anforderung gemäss SN 670 760	30-45

Volumenänderung nach Wasserlagerung
gemäss Norm SN 670 845 :

Mischen von Filler mit 10 Gew.% Bitumen. Pro Fillerart mindestens 3 Prüfkörper herstellen. Nach Norm darf die Volumenzunahme nach 28 Tagen Wasserlagerung 3 Vol.% nicht überschreiten. Wie nachstehende Tabelle zeigt wird diese Forderung vom Kieselkalkfiller und vom groben Rückgewinnungsfiller nicht erfüllt.

Filler	Volumenänderung Vol. %
Kieselkalkfiller	+ 4.0
Rückgewinnungsfiller grob	+ 4.3
Rückgewinnungsfiller fein	+ 2.0
Rückgewinnungsfiller grob/fein 1 : 1	+ 2.5
aus Sand 0.2/3	+ 2.0
Anforderungen nach SN 670 760	-3.0 .. +3.0

Sauberkeit:

Die Anforderungen sind erfüllt

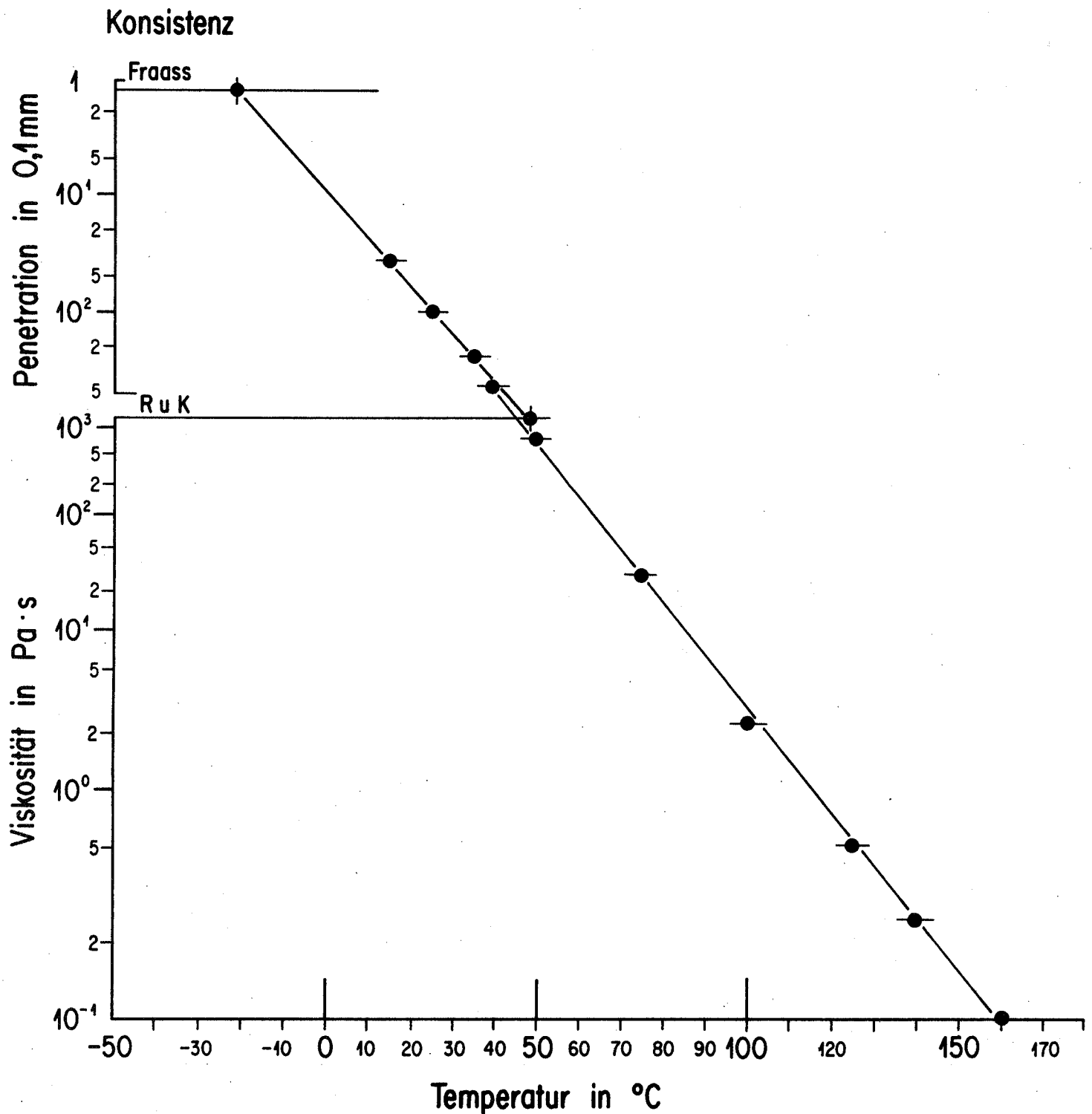
3. Bindemittel

Die Untersuchungsergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Ein Teil der Tests wurde nicht im Doppel ausgeführt. Die Anforderungen der SN 671 110c sind erfüllt worden.

Untersuchungen Bitumen 80/100		Resultate	
		EMPA	WALO
<u>Bitumen im Anlieferungszustand</u>			
Makroskopische Beurteilung		homogen	
Spezifisches Gewicht	g/cm ³	1.022	1.022
Penetration bei 15°C	10mm	-	36
25°C	10mm	97	96
35°C	10mm	-	227
Verhältnis Pen. 35°C/Pen. 25°C		-	2.36
Erweichungspunkt R.u.K.	°C	48.6	47.5
Penetrationsindex		+0.2	-0.2
Dynamische Viskosität			
40°C D = 0.1 ÷ 1 s ⁻¹	Pa·s	3.6 10 ³	
50°C D = 0.1 ÷ 1 s ⁻¹	Pa·s	7.5 10 ²	
75°C D = 0.1 ÷ 1 s ⁻¹	Pa·s	2.8 10 ¹	
100°C D = 0.5 ÷ 200 s ⁻¹	Pa·s	2.2 10 ⁰	
125°C D = 0.5 ÷ 200 s ⁻¹	Pa·s	5.1 10 ⁻¹	
140°C D = 7 ÷ 200 s ⁻¹	Pa·s	2.4 10 ⁻¹	
160°C D = 7 ÷ 200 s ⁻¹	Pa·s	1.0 10 ⁻¹	
(D= Schergefälle)			
Brechpunkt nach Fraass	°C	-21	-
Duktilität bei 25°C	mm	> 1000	-
Asche	Gew. %	0.028	0.03
Lösliches in CCl ₄	Gew. %	99.97	-
Unlösliches in Cyclohexan	Gew. %	-	0.01
Asphaltene mit n-Hexan	Gew. %	-	19.7
Bitumen nach Erhitzen auf 163°C, 5 Stunden, gemäss SN 671 752a			
Gewichtsverlust	Gew. %	0.08	0.06
Penetration bei 25°C	10mm	67	66
35°C	10mm	-	155
Verhältnis Pen. 35°C/Pen. 25°C		-	2.35
Penetration in % des ursprünglichen Wertes	%	69.1	68
Erweichungspunkt R.u.K.	°C	-	52.4
Penetrationsindex		-	+0.1

Konsistenz / Temperatur - Diagramm

Bitumen 80 / 100



6. MISCHGUTUNTERSUCHUNGEN

6.1 WALO BERTSCHINGER AG - EMPA

Die Mischgutuntersuchungen wurden aufgeteilt auf die Laboratorien Walo Bertschinger AG und EMPA. Dabei führte WALO die Arbeiten mit dem Mischgut AB 10, die EMPA diejenigen mit dem Mischgut AB 16 aus.

6.2 VORVERSUCHE

1. Mischgut

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung galt es, die Arbeitsweisen beider Labors zu überprüfen und allenfalls so zu korrigieren, dass die Resultate im Rahmen der prüfungsbedingten Schwankungen übereinstimmten. Zu diesem Zweck wurde an einer Mischanlage ein Testmischgut produziert und von den beiden Labors anschliessend an je 4 Mustern die Zusammensetzung und mit dem Marshall-Versuch Stabilität, Fliesen und Hohlraumgehalt bestimmt.

Während die Übereinstimmung bei der Zusammensetzung sehr gut war, ergaben sich relativ grosse Unterschiede beim Raumgewicht und folglich auch beim Hohlraumgehalt und bei der Stabilität. Nach Überprüfung von möglichen Fehlerquellen wurde ein weiterer Versuch gestartet, der die erforderliche Übereinstimmung erbrachte.

Resultate: erster Vorversuch (Proben 1 bis 4)

- Zusammensetzung

Mittelwerte aus vier Proben

Siebdurchgang Gew. %	EMPA	WALO
Prüfsieb		
mm		
16	98.4	96.4
10	73.6	73.4
6.3	62.1	62.3
3.15	46.0	46.4
1.6	29.4	29.1
0.63	20.8	20.9
0.315	14.7	14.4
0.16	10.4	9.9
0.08	7.2	6.8

lösliche Bindemittelanteile in Gew. %	4.85	4.80
---------------------------------------	------	------

- Marshall		Probe 1	2	3	4	Mittel
RM g/cm ³	EMPA	2.326	2.324	2.328	2.325	2.326
	WALO	2.373	2.365	2.351	2.347	2.359
SG g/cm ³	EMPA	2.487	2.488	2.494	2.493	2.491
	WALO	2.491	2.484	2.491	2.487	2.488
HM Vol. %	EMPA	6.5	6.6	6.7	6.7	6.6
	WALO	4.7	4.8	5.5	5.6	5.2
SM kN	EMPA	10.2	10.0	10.7	11.2	10.5
	WALO	12.7	13.2	11.5	12.1	12.4
FM mm	EMPA	2.5	2.5	2.6	2.7	2.6
	WALO	3.1	3.1	2.8	3.0	3.0

Resultate: zweiter Vorversuch (Proben 5 bis 10)

- Marshall		Probe 5	6	7	8	9	10	Mittel
RM g/cm ³	EMPA	2.352	2.355	2.361	2.339	2.353	2.348	2.351
	WALO	2.337	2.339	2.334	2.339	2.337	2.338	2.337
HM Vol. %	EMPA	5.4	5.3	5.1	6.0	5.4	5.6	5.5
	WALO	6.1	6.0	6.3	6.1	6.1	6.1	6.1
SM kN	EMPA	10.9	11.0	11.2	10.3	10.9	9.7	10.7
	WALO	10.5	10.8	10.6	10.5	11.3	10.4	10.7
FM mm	EMPA	2.85	2.3	2.4	2.4	2.35	2.25	2.4
	WALO	2.5	2.85	3.0	2.65	2.8	2.9	2.8

Die verbleibende Differenz beim Fließwert FM resultiert aus der Arbeitsweise und der Genauigkeit der Registriervorrichtung.

2. Filler

Die zwei bereits erwähnten Füllertypen A und B sollen als gleichwertige Parameter verwendet werden. Dazu musste für Filler B (Rückgewinnungsfiller) ein Verhältnis von grobem und feinem Filler gesucht werden, so dass die Korngrößenverteilung etwa dem Filler A entspricht.

Bei einem Verhältnis von feinem zu grobem Filler von 2 : 1 ergeben sich für Filler A und B folgende Korngrößenverteilungen:

Korngrößenverteilung Durchgang in Gew.%		Filler A		Filler B	
Prüfsieb					
0.16 mm		98.5		91.1	
0.08		78.5	100	81.6	100
Bestimmt aus Sedimentationsanalyse (Anteil Gew.%)					
0.05 mm		64.0	81.5	70.0	85.8
0.02 mm		42.9	54.6	58.5	72.1
0.01 mm		31.0	39.5	40.7	49.9
0.005mm		20.5	26.1	23.0	28.2

Damit liegen die Filleranteile (unter 0.08 mm) für beide Steinhöhlen bei ca. 80 Gew. %.

Als zusätzliche Ueberprüfung der einzelnen Fillerarten und der Kombination von feinem und grobem Rückgewinnungsfiller wurden Erweichungspunkte Ring und Kugel von Mastix mit jeweils verschiedener Konzentration untersucht.

Erweichungspunkt R. u. K. in °C					
Filler Gew.% Bitumen Gew.%	20 80	50 50	60 40	70 30	75 25
Mittlere Volumen- Konzentration C	0.09	0.27	0.36	0.47	0.53
Industrieller Filler (Filler A)	50.6	54.9	60.3	73.3	95.8
Rückgewinnungs- filler fein	50.8	58.4	68.9	118.0	> 165
Rückgewinnungs- filler grob	50.1	55.1	59.1	78.3	111.8
Filler aus Brech- sand 0.2/3	50.4	56.6	59.9	75.5	102.8
Rückgewinnungs- filler fein/grob 1 : 1	51.5	56.2	62.0	81.0	114.5
Rückgewinnungs- filler fein/grob 2 : 1	52.4	57.2	64.9	91.0	126
(Filler B)					

Graphische Darstellung der Erweichungspunkte R.u.K. von Mastix mit Filler A und B siehe Seite 95.

Der Filler B weist im Bereich höherer Konzentration ab ca. 0.4 stärker stabilisierende Eigenschaften auf.

6.3 SOLLKURVEN

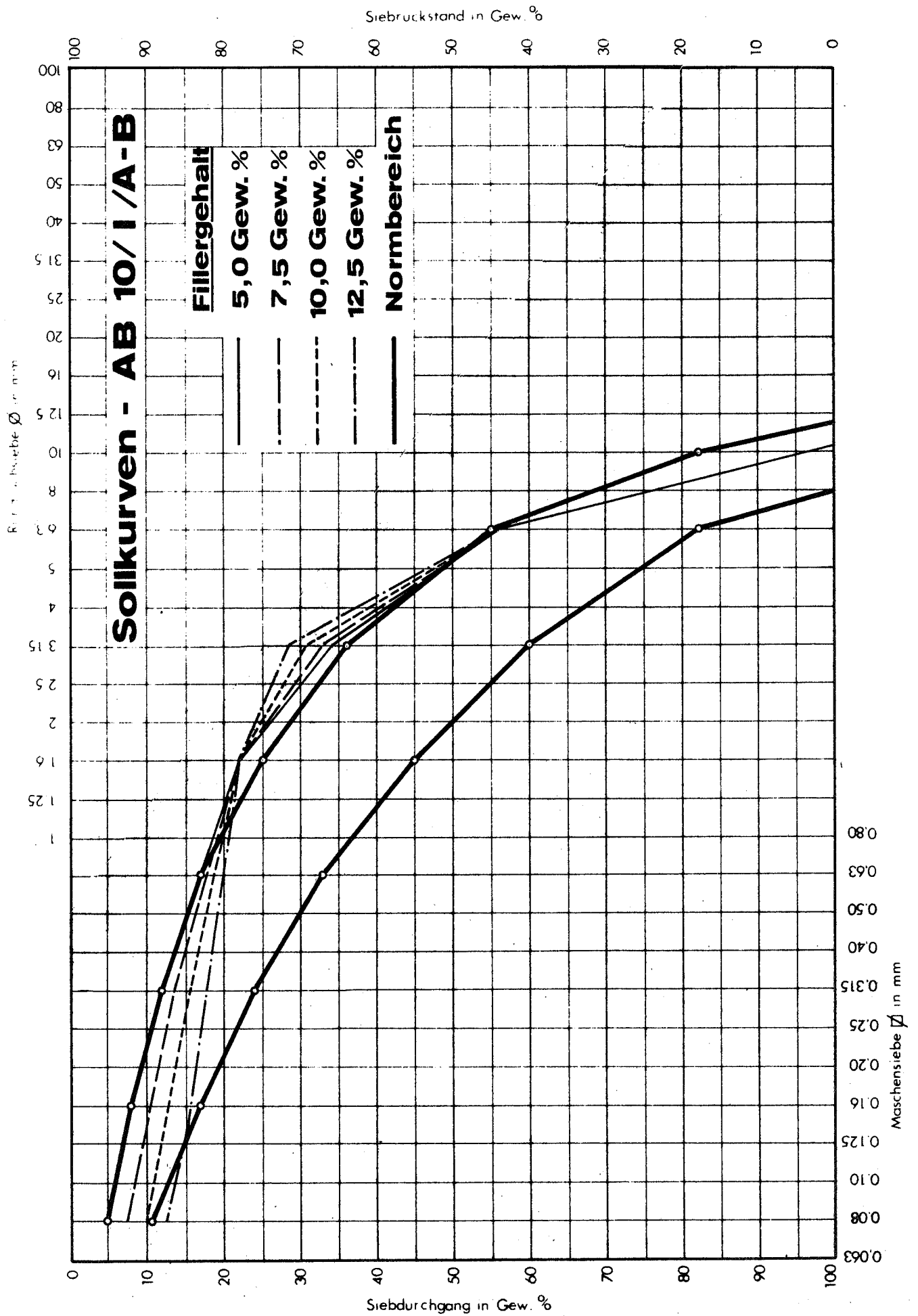
Bereits aus Kapitel 3.2 geht hervor, dass bei den 4 Siebkurven für den AB 10 und für den AB 16 bei den Prüfsieben 1.6mm und 6.3mm bzw. 10mm Sollwerte festgelegt wurden.

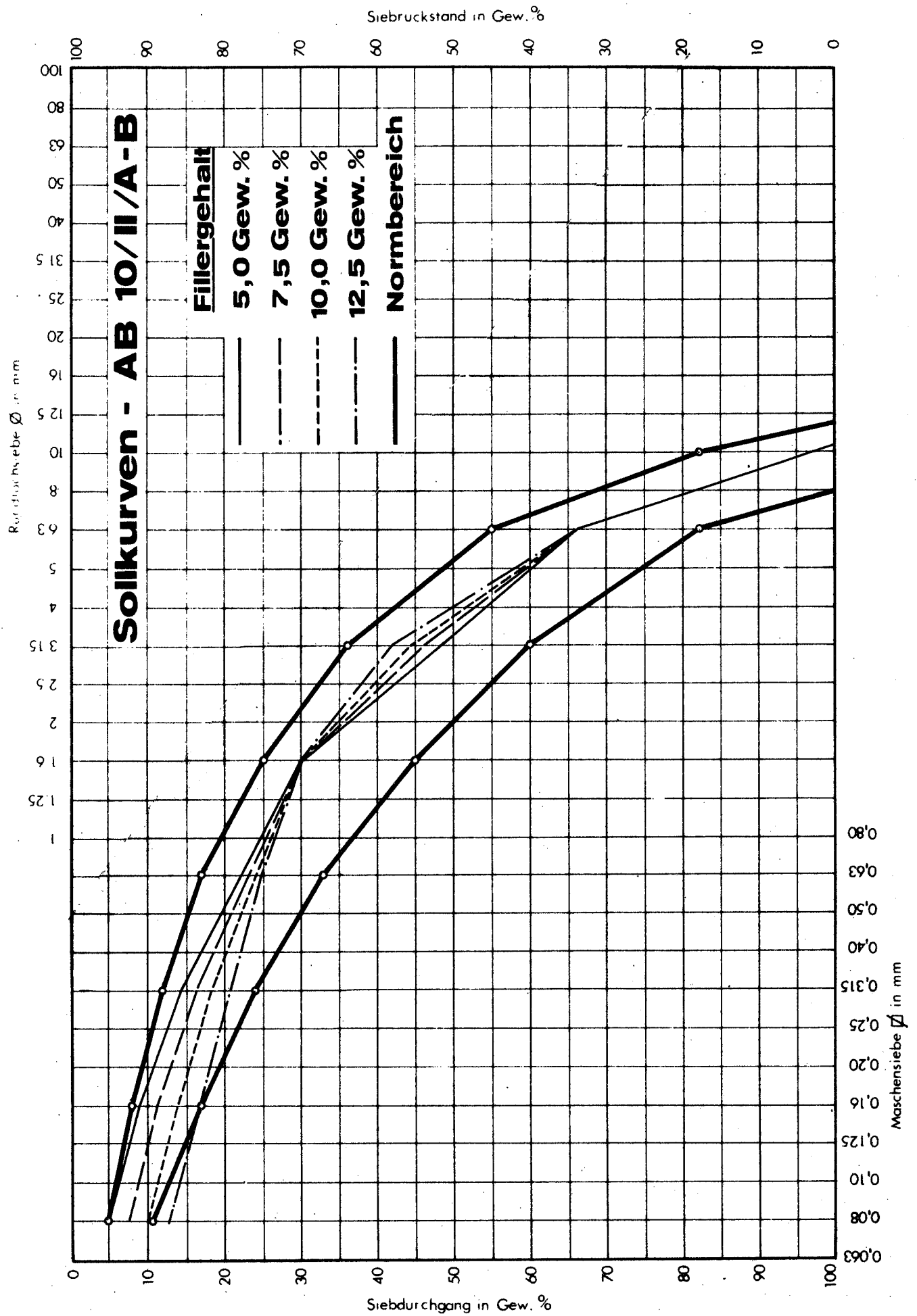
Sollwerte: Durchgang in Gew.%

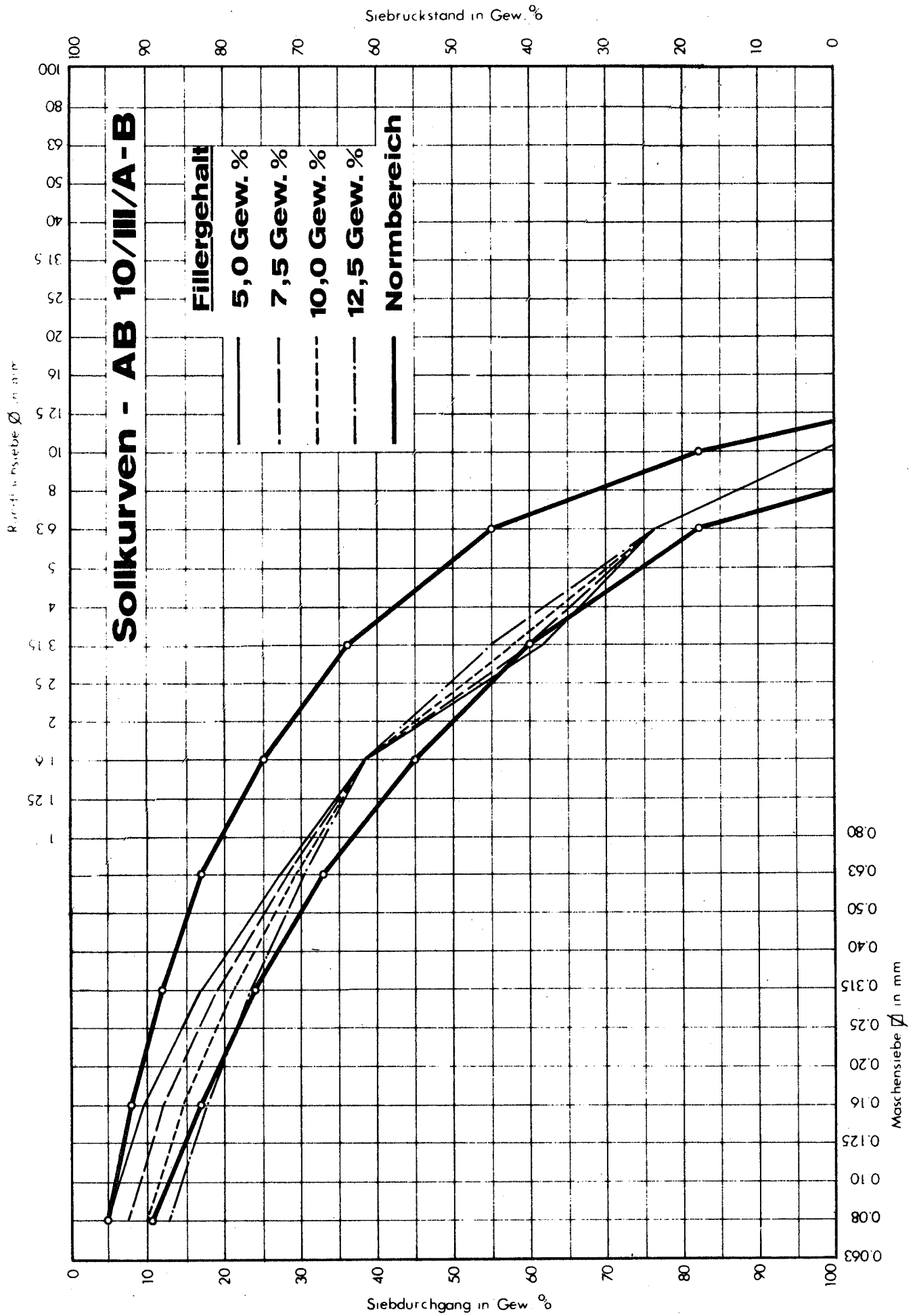
		AB 10		AB 16	
Prüfsieb		1.6mm	6.3mm	1.6mm	10mm
Siebkurve	I	22	56	16	55
	II	30	66	24	65
	III	38	76	32	75
	IV	46	86	40	85

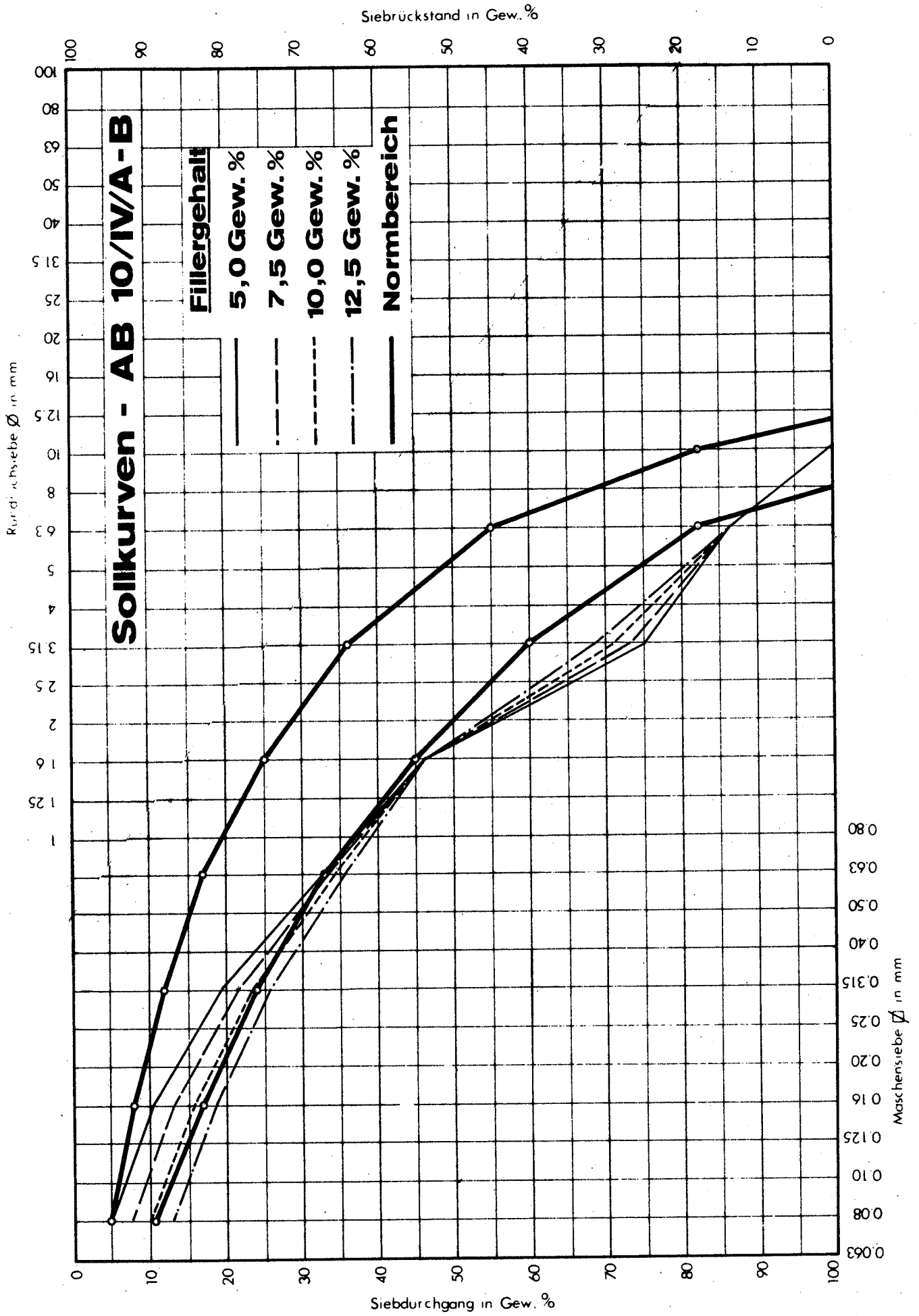
Diese Stützwerte stellen zusammen mit den festgelegten Füllergehalten die Grundlage zur Berechnung der Siebkurven dar. Die gerechneten Sollkurven sind auf den folgenden Seiten dargestellt. Die Spreizung der Kurven bei 3.15mm (AB 10) resp. 3.15 und 6.3mm (AB 16) sind Folgen der einzuhaltenden Stützwerte.

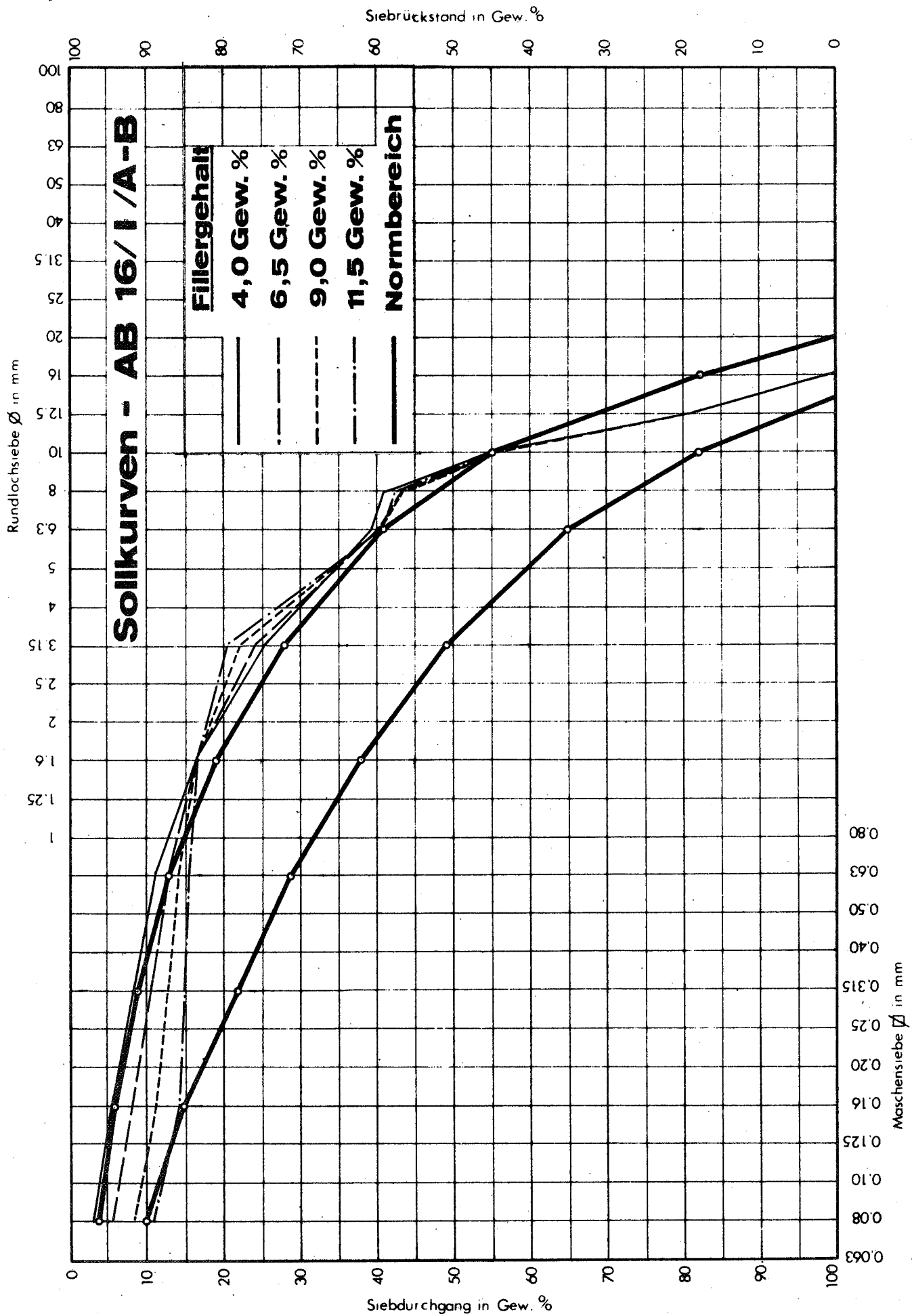
Wie die Darstellungen zeigen, deckt die Schar der Siebkurven den gesamten Normbereich. Mit den Kurven I und IV werden auch die angrenzenden Randbereiche erfasst.

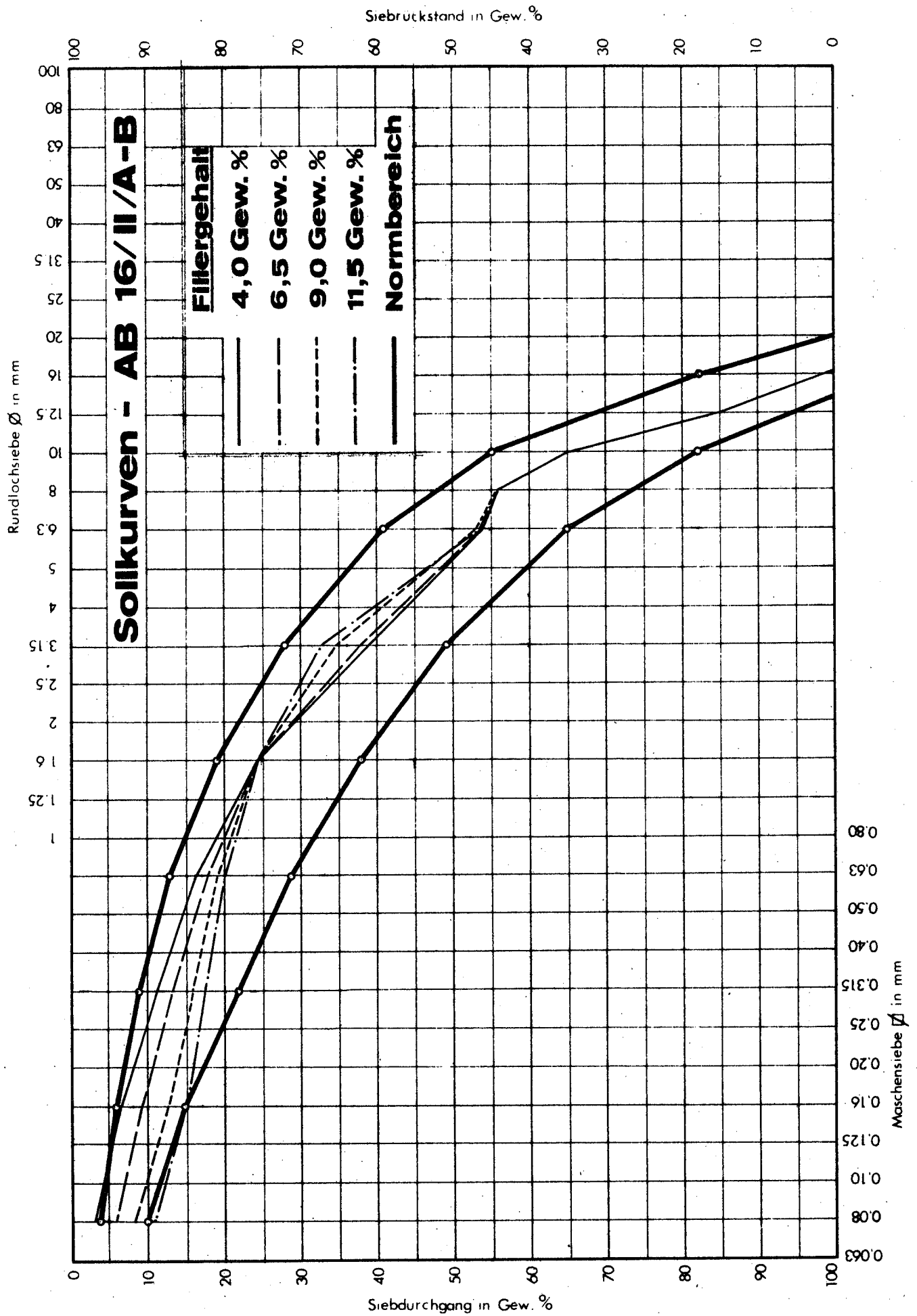


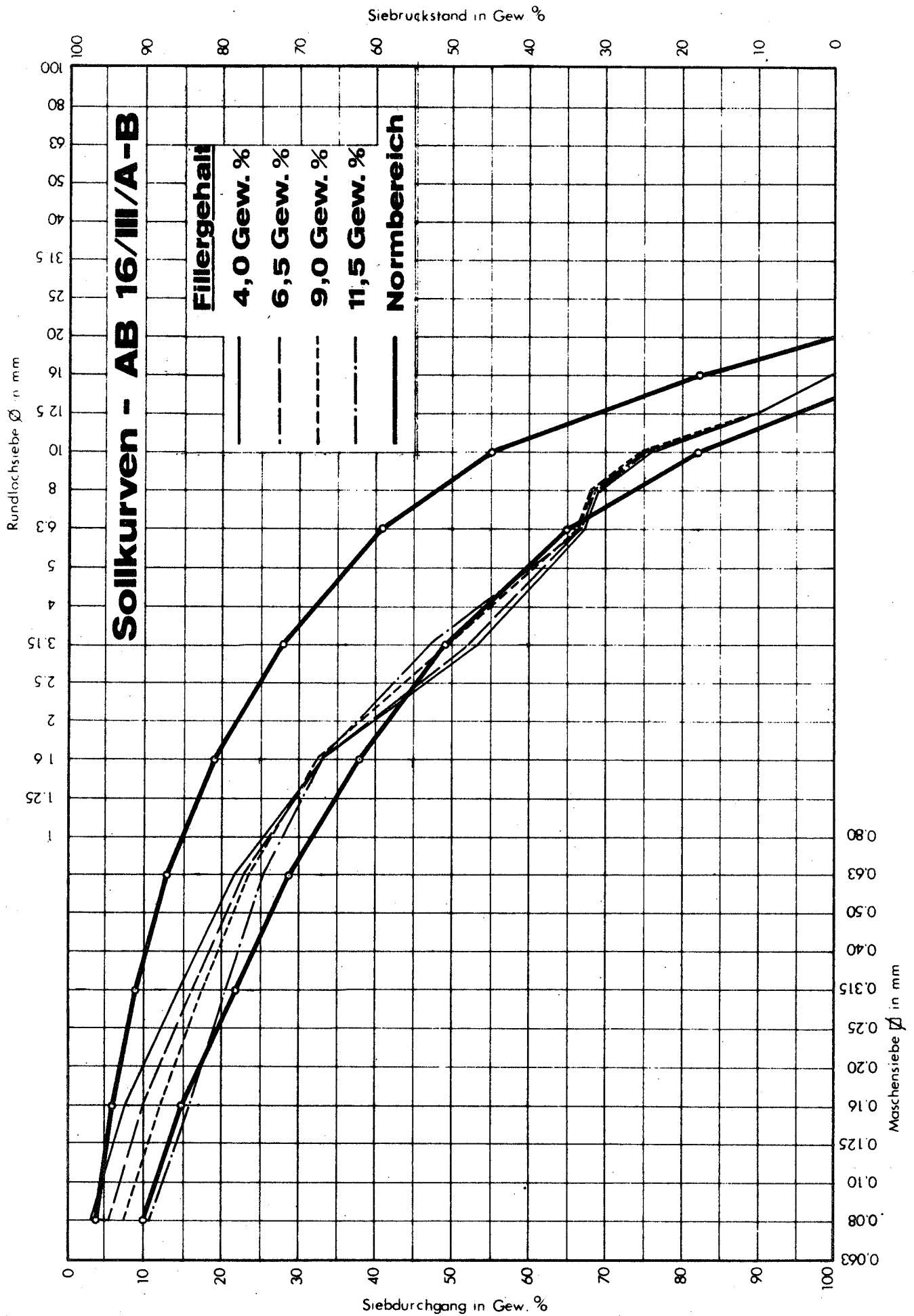


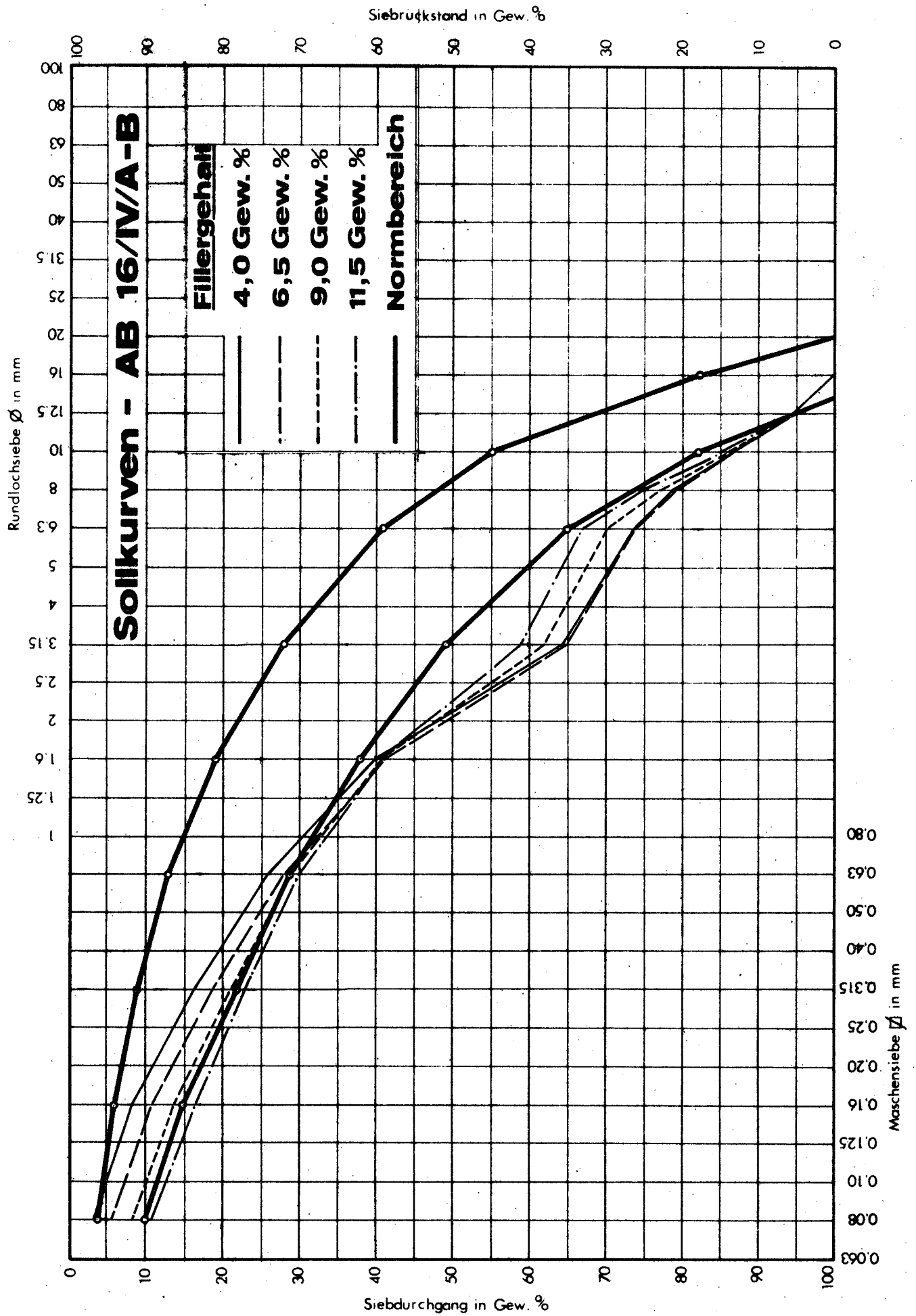












6.4 MISCHGUTHERSTELLUNG

Das Mischgut wurde in den beiden Labors unterschiedlich aufbereitet.

Während die EMPA das ganze benötigte Mischgut einer Serie mit dem niedrigsten und teilweise mittleren Bindemittelgehalt mischte und nur noch jeweils das Bindemittel zudosierte, wurde bei WALO jede Mischung separat zubereitet. Das unterschiedliche Vorgehen hatte auf die Ergebnisse keinen Einfluss.

Für jede Mischung wurden die Komponenten separat abgewogen und im Trockenschrank auf 160° erhitzt. Nach ca. 1 Stunde erfolgte beim Mischen das Zudosieren des Bitumen. Der vorgewärmte Filler wurde erst nach einer Vormischdauer von 10-15 Sekunden zugegeben. Bei den sandreichen Mischungen musste die Mischdauer erhöht werden.

Nach Kontrolle der Temperatur erfolgte das Einfüllen in die Marshall-Form und die Verdichtung. Die Kontrolle der Zusammensetzung erfolgt bei der EMPA beim niedrigsten und mittleren Bindemittelgehalt, bei WALO bei jeder Zusammensetzung.

Das Bestimmen des spezifischen Gewichtes bot eine zusätzliche Ueberprüfungsmöglichkeit, insbesondere bei den Bindemittelgehalten der EMPA-Mischungen, die nicht extrahiert wurden.

Die tabellarische Zusammenstellung der Werte für Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung und spezifisches Gewicht befindet sich im Anhang A.

6.5 ZULAESSIGE ABWEICHUNGEN, WIEDERHOLUNGEN

1. Zulässige Abweichungen

In Anlehnung an die Schweizer Norm 671 969 wurden die zulässigen Abweichungen der Einzelwerte von den Mittelwerten im Marshall-Versuch wie folgt festgelegt:

Stabilität	SM ± 15 %
Fließen	FM ± 15 %
Raumgewicht	RM ± 0.015 g/cm ³

2. Wiederholungen

Bei Ueberschreiten der zulässigen Abweichungen wurde die entsprechende 4er oder 3er Gruppe wiederholt.

Falls ein Wert durch die Beurteilung weiterer Kriterien wie Raumgewicht etc. als Ausreisser erklärt werden konnte, so erfolgte keine Wiederholung. In diesem Falle wurden für die Mittelwertbildung die restlichen Werte verwendet.

6.6 RESULTATE DER MARSHALL-VERSUCHE

Die Resultate der Marshall-Versuche (Einzel- und Mittelwerte) für Stabilität SM, Fliesen FM und Raumgewicht RM sind im Anhang B aufgeführt.

7. AUSWERTUNG DER MARSHALL - VERSUCHE

7.1 MOEGLICHKEITEN

1. Herkömmliche Art der Auswertung

Der Marshall-Versuch umfasst wie bereits ausgeführt zwei Teile:

- Die Prüfkörperherstellung (Marshall-Prüfkörper) unter genau definierten Bedingungen und Bestimmen des Raumgewichtes RM.
Zusammen mit dem sonst bestimmten spezifischen Gewicht des Mischgutes kann der volumetrische Kennwert der Marshall-Prüfkörper berechnet werden: Hohlraumgehalt HM.
- Die mechanische Prüfung (quasistatischer Druckversuch).
Bestimmt werden die mechanischen Kennwerte: Stabilität SM, Fließen FM und das Verhältnis SM/FM (berechnet).

Bei der Auswertung und insbesondere bei Eignungsprüfungen gemäss SN 640 431 zum Optimieren des Bindemittelgehaltes werden im allgemeinen folgende Werte zugezogen:

Raumgewicht	RM
Spezifisches Gewicht	SG
Hohlraumgehalt	HM
Stabilität	SM
Fließen	FM
Verhältnis	SM/FM

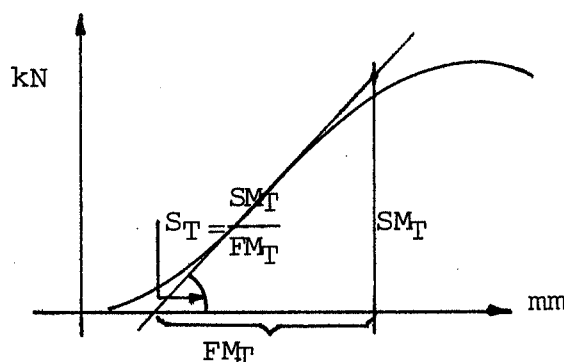
2. Weitere Arten der Auswertung

Als Basis dienen die gemäss SN 671 969 b durchgeführten Marshall-Versuche. Modifizierte Methoden wie z.B. Verdichtung mit einer veränderten Schlagzahl oder andere Prüfkörperabmessungen stehen nicht zur Diskussion. Es verbleiben damit folgende zusätzliche Möglichkeiten der Auswertung, mit denen eventuell weitere Aussagen gewonnen werden können:

- Volumetrische Beziehungen:
Es können zusätzliche volumetrische Kennwerte berechnet werden:
 - Hohlraumgehalt der Mineralstoffe HMM
 - Hohlraumfüllungsgrad HFB
 - Konzentration C
 - Volumen Filler VF
 - Volumen Bindemittel VB
 - Raumgewicht der Mineralstoffe RMM

Damit ergeben sich Möglichkeiten zu einer umfassenderen Berücksichtigung der diversen volumetrischen Kenngrössen. Speziell interessieren dabei die Zusammenhänge dieser Grössen (siehe Kap. 8.2 und 8.3: Variabler Bindemittelgehalt, Variabler Füllergehalt)

- Mechanische Interpretation:
Verschiedene Auswertungen der Kraft-Verformungs-Kurve sind möglich, die unter Umständen zusätzliche Informationen über die Eigenschaften des Mischgutes aufzuzeigen vermögen.



Die Folgen der Verwendung eines 'Tangentenmoduls' S_T anstelle des Verhältnisses SM/FM wird im folgenden Kapitel näher untersucht.

3. 'Tangentenmodul' S_T

Eine andere Auswertung des Kraft-Verformungsdiagrammes interessiert immer im Zusammenhang zum bisherigen Modus. Deshalb werden hier bei der Ueberprüfung des 'Tangentenmoduls' sowohl die Grössen der Abweichungen der Einzel- von Mittelwerten wie auch die Verhältnisse zu SM/FM bestimmt.

Der Tangentenmodul S_T entspricht dem Tangens der maximalen Steigung, wie sie gemäss SN 671 969 b zur Bestimmung des Hilfspunktes A an die Kraft-Verformungskurve gelegt wird. Dagegen entspricht SM/FM dem Tangens der Steigung einer Sekante allgemein bekannter Konstruktionsweise.

Als Beispiel werden hier die Tangentenmoduln S_T für die Mischungen AB 16/A, Siebkurve I-IV, bestimmt. Die im folgenden verwendeten Daten sind im Anhang C aufgeführt.

Die Einzelwerte von S_T weichen bis maximal 27.8%, diejenigen von SM/FM bis 23.9% vom Mittelwert ab.

Etwa 1/6 der S_T - gegenüber etwa 1/15 der SM/FM-Abweichungen sind grösser als 15%.

Als maximale Steigung der Kraft-Verformungskurve ist der Tangentenmodul S_T immer grösser als das Verhältnis SM/FM. Die Relation liegt für die betrachteten Kurven zwischen 1.11 und 2.19.

Die graphischen Darstellungen von S_T , SM/FM und $S_T : SM/FM$ für die Mischungen AB 16/II/A und AB 16/III/A zeigen die Relationen in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes deutlich auf (siehe folgende Seiten).

Die verschiedenen Füllergehalte differenzieren sowohl die S_T -Kurven als auch die SM/FM-Kurven in ähnlicher Weise.

Generell liegen die SM/FM-Kurven dichter zusammen und sinken mit zunehmendem Bindemittelgehalt weit weniger ab als die S_T -Kurven. Die letzteren variieren in einem grösseren Bereich und reagieren auch wesentlich empfindlicher bei Änderungen des Bindemittelgehaltes.

Mit gewissen Ausnahmen (Siebkurve IV) differenzieren die verschiedenen Füllergehalte die Reduktionsfaktor-Kurven ($S_T : SM/FM$) ebenfalls in ähnlicher Weise wie die Ausgangskurven S_T und SM/FM. Ein Vergleich der Neigung dieser Kurven mit den Werten SM/FM und S_T ist wegen der anderen Bezugsgrösse der Ordinate nicht möglich.

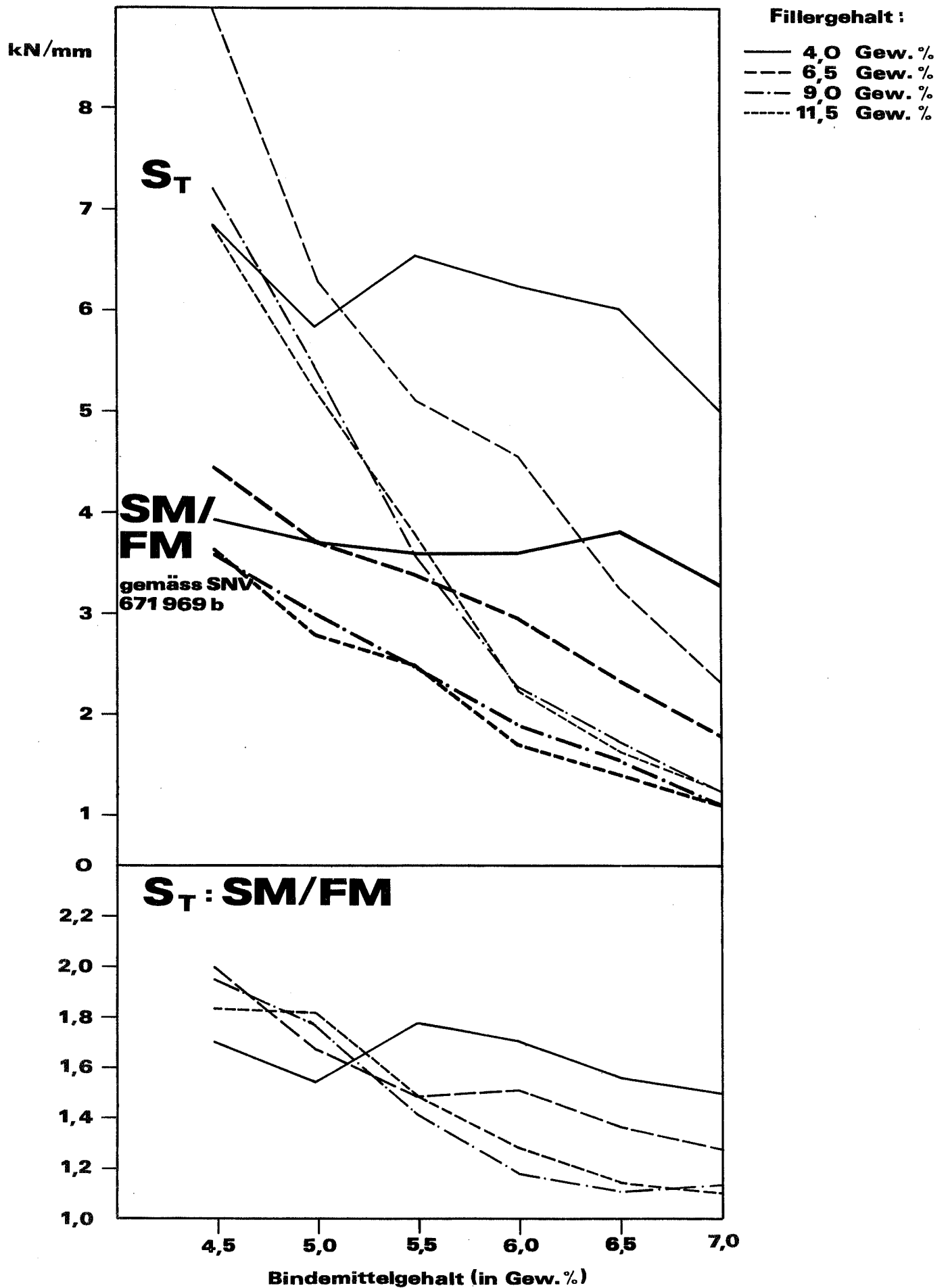
Folgerungen:

In der Art der Aussage sind, bestimmt am Beispiel des Mischgutes AB 16 A, die beiden Werte S_T und SM/FM vergleichbar. Die Tangentenmoduln S_T weisen in Funktion des Bindemittelgehaltes einen markanteren Verlauf auf, streuen aber stärker. Ein zusätzliches Einbeziehen von S_T in die Gesamtauswertung bietet somit keinen Gewinn.

S_T , SM/FM, S_T :SM/FM

AB 16/II/A

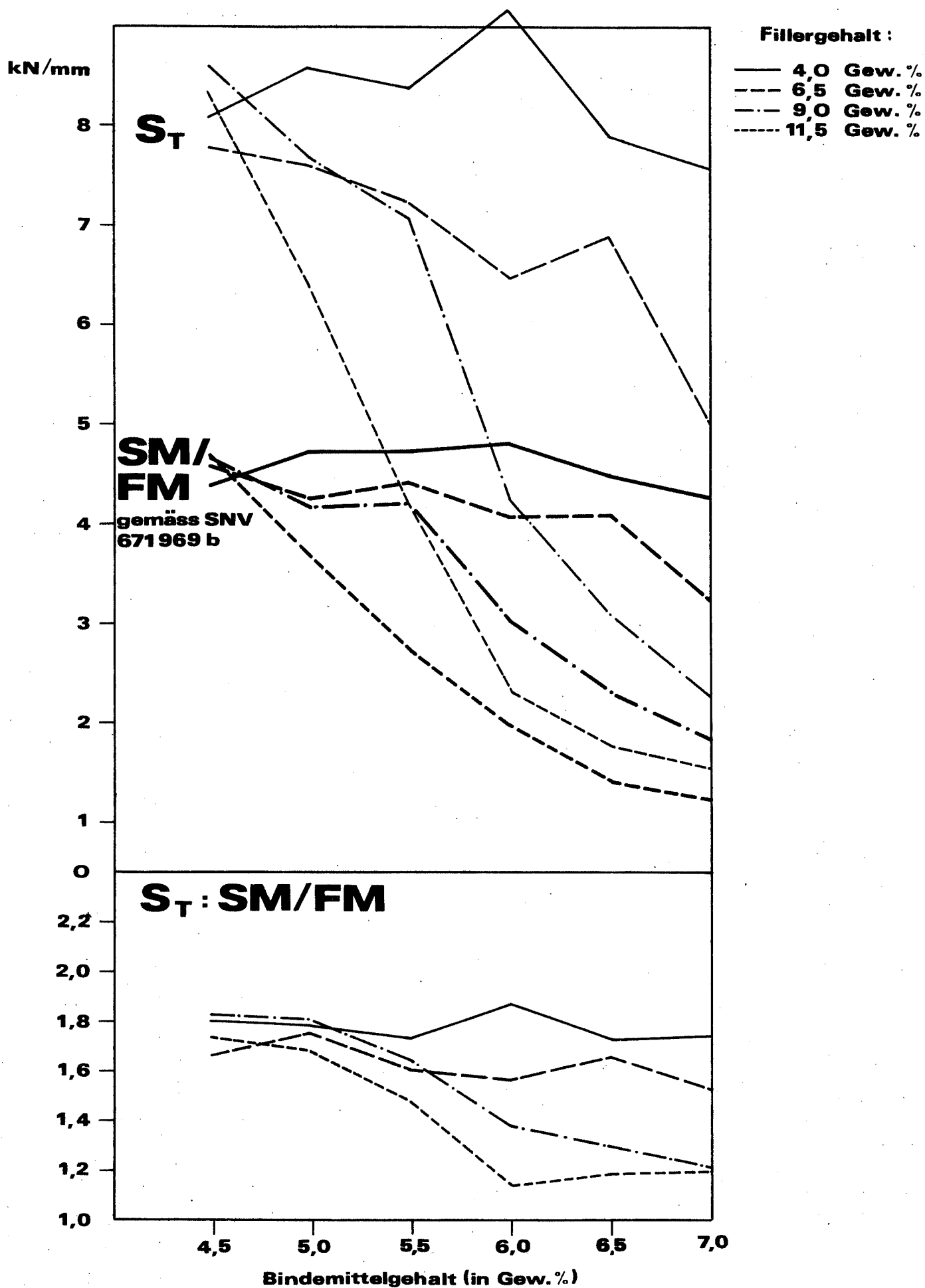
über Bindemittelgehalt



S_T , SM/FM, S_T :SM/FM

AB 16/III/A

über Bindemittelgehalt



7.2 ABWEICHUNGEN DER EINZELWERTE VOM MITTELWERT

1. Stabilität SM, Fliessen FM

Gemäss SN 671 969 b gelten als massgebende Werte für SM und FM die Mittel aus mindestens drei Prüfwerten. Dabei dürften die einzelnen Messungen höchstens $\pm 15\%$ vom Mittelwert abweichen (siehe Seite 44).

Für fast alle Mischungen des AB 10 sowie AB 16/B wurden je vier, für die übrigen je drei Prüfwerte bestimmt.

Die maximalen positiven und negativen Abweichungen sind für alle untersuchten Mischungen zusammengefasst im Anhang D aufgeführt. Die Auswertungen ergeben bei:

Fliessen FM :

Von den Ergebnissen der über 200 Marshall-Versuche des AB 10 überschreiten nur 2 Werte mit 15.7 und 16% geringfügig die zulässige Grenze.

Beim AB 16 wird mit 18 Ueberschreitungen bei Siebkurve I und 9 bei Siebkurve II der Toleranzbereich häufiger verlassen.

Stabilität SM :

Beim AB 10 ergeben sich keine, beim AB 16 drei Ueberschreitungen.

Die Mittelwerte der maximalen Abweichungen der Einzelwerte von den Mittelwerten betragen für SM und FM (ohne Wiederholungen) in % :

Mischgutsorte Siebkurve	AB 10				AB 16			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
SM Filler A	5.0	4.8	4.8	5.1	5.8	5.3	5.0	4.0
SM Filler B	5.5	5.0	3.2	5.4	6.0	6.0	4.8	5.4
FM Filler A	7.0	5.8	5.4	4.3	8.0	6.6	5.9	4.7
FM Filler B	6.1	5.4	4.0	4.4	10.9	9.4	5.6	4.8

Die Werte liegen für den AB 16 etwas höher als für den AB 10. Auch ist der Einfluss der Siebkurve eindeutig. Von der gröbsten (I) zur feinsten (IV) Siebkurve ist eine Abnahme der Mittelwerte der Abweichungen festzustellen.

Die in der Norm festgelegten zulässigen Abweichungen vom Mittelwert von $\pm 15\%$ für SM und FM werden als Gradmesser für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse des Marshall-Versuches recht gut bestätigt. Die weitaus häufigsten zu grossen Abweichungen treten bei der grobkörnigen Siebkurve I des AB 16 auf. Auch einige bindemittelarme Mischungen der Siebkurve II des AB 16 erfüllen die Anforderungen nicht.

2. Raumgewicht RM

Nach der SN 671 967 gilt als massgebender Wert des Raumgewichts der Marshall-Prüfkörper das Mittel der Bestimmungen an mindestens drei Prüfkörpern. Die zulässigen Abweichungen vom Mittelwert betragen dabei für:

Prüfkörper mit dichter Struktur: $\pm 0.015 \text{ g/cm}^3$
 Prüfkörper mit offener Struktur: $\pm 0.025 \text{ g/cm}^3$

Für alle Mischungen wurde RM an vier Prüfkörpern bestimmt. Die maximalen Abweichungen vom Mittelwert sind im Anhang D aufgeführt.

Obwohl verschiedene Prüfkörper eine offene Struktur aufweisen -Wasseraufnahme bei der Tauchwägung grösser als 0.5 Gew.% -, wurden alle Raumgewichte gemäss Methode für Körper mit dichter Struktur bestimmt. Aus Gründen der Einheitlichkeit und infolge Weiterverwendung der Körper im Marshall-Versuch kam ein Paraffinieren nicht in Frage.

Es wurde kein Unterschied zwischen AB 10 und AB 16 bezüglich der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert und der mittleren maximalen Abweichungen festgestellt.

Bei den Prüfkörpern aus Mischgut der Siebkurven II, III und IV weisen beim AB 10 und AB 16 weniger als 4% der Resultate zu grosse RM-Abweichungen auf. Rund die Hälfte davon bei Hohlraumgehalten von über 10 Vol.%, die übrigen bei Hohlraumgehalten von 5 bis 7 Vol.%.

Eine Häufung von zu grossen Abweichungen -besonders beim AB 16- zeigen die Raumgewichte der Prüfkörper aus Mischgut der Siebkurve I, die im groben Bereich ausserhalb der Norm liegt.

Somit wird auch hier die gemäss Norm tolerierte maximale Abweichung von $\pm 0.015 \text{ g/cm}^3$ für Einzelwerte bezüglich Mittelwert von Prüfkörpern mit dichter Struktur als Zuverlässigkeitsgrad der Herstellung bestätigt.

7.3 AUSGLEICH MIT COMPUTER

Verschiedene Marshall-Versuche wurden wiederholt, wenn Einzelwerte von RM, SM oder FM die zulässigen Abweichungen (SN 671 967 und 671 969 b) überschritten hatten (vgl. Seite 45).

In die Gesamtauswertung wurden sowohl die zu stark streuenden Werte wie auch deren Wiederholungen einbezogen. Gemäss Statistik ist es nicht erlaubt, Werte, die ohne ersichtlichen Grund stark streuen, wegzulassen. Im Rahmen so umfangreicher Versuchsreihen können Ausreisser vorkommen und fallen im Gesamten nicht ins Gewicht.

Grosse Anforderungen stellte die Gesamtauswertung der Marshall-Versuche dar. Die direkt bestimmten Marshall-Werte RM, SM und FM weisen bezüglich variablem Bindemittel- und Füllergehalt starke Unregelmässigkeiten auf (Anhang B zum Schlussbericht, Zusammenstellung der Laborwerte). Diese übertragen sich auf die berechneten Folgewerte wie HM, HMM, HFB, SM/FM usw. Zusätzlich liegen Niveauverschiebungen vor, wie z.B. bei SM von AB 16/III/A (vgl. Seite 56), wo die Mischungen mit 6.5 Gew.% Füllergehalt kleinere Stabilitäten aufweisen als bei 4.0 und 11.5 Gew.%. Durch die teilweise grossen Streuungen der Einzelwerte sind die Mittelwerte als Schätzwerte der gesuchten 'wahren Werte' ebenfalls einer recht starken Streuung unterworfen. Auf Grund der umfangreichen Untersuchungsreihen ist jedoch die Möglichkeit gegeben, Unregelmässigkeiten und Niveauverschiebungen auszugleichen.

Um die bestehenden Zusammenhänge zwischen verschiedenen Siebkurven, Bindemittel- und Füllergehalten zu berücksichtigen und Tendenzen in den Kurvenverläufen herauszuarbeiten, wurden für diese mathematische Ansätze formuliert und mit Hilfe eines Computers 'Ausgleiche' durchgeführt.

Beim Ausgleich sind sämtliche Ergebnisse wie auch die Wiederholungen und deren Erstwerte verwendet worden. Das Vorgehen und die mathematischen Ansätze sind im Anhang E erläutert.

7.4 AUSWIRKUNGEN DES AUSGLEICHS

Ausgeglichen wurden die Marshall-Kennwerte RM, SM und FM. Die Auswirkungen des Ausgleichs sind graphisch in der Gegenüberstellung der gemäss Norm bestimmten und der ausgeglichenen Werte im Anhang F ersichtlich. Als Beispiele werden auf den folgenden Seiten die Werte von AB 16/III/A aufgeführt.

Raumgewicht RM:

Durch den Ausgleich wurden die Kurven gleichmässiger. Niveauverschiebungen oder starke Korrekturen einzelner Werte kommen nicht vor.

Stabilität SM:

Die Stabilitäten sind diejenigen Marshallwerte die am stärksten streuen. Es sind hier sowohl starke Unregelmässigkeiten im Kurvenverlauf wie auch Niveauverschiebungen ganzer Kurven zu finden.

So brachte der Ausgleich hier nicht nur ein Ausmerzen von Unregelmässigkeiten, sondern verschiedentlich auch Korrekturen durch Niveauverschiebungen. Die Eingriffe erscheinen bei verschiedenen Werten recht stark, sind aber durch die Berücksichtigung von Zusammenhängen, die weitergespannt sind als üblich, gerechtfertigt.

Fliesswerte FM :

Die gemäss Norm SN 671 969 b bestimmten Werte weisen für die verschiedenen Serien, ähnlich der RM-Werte, differenzierte und gleichmässige Verläufe auf.

Der Ausgleich brachte lediglich ein Ausnivellieren der Unregelmässigkeiten.

Folgewerte :

Die Folgewerte, bestimmt aus RM, SM und FM, sind im Anhang G aufgeführt.

Stabilität - Marshall SM/Bindemittelgehalt

AB 16/III /A

Gemäss SNV 671 968 b

Ausgeglichene Werte

SM

kN

16

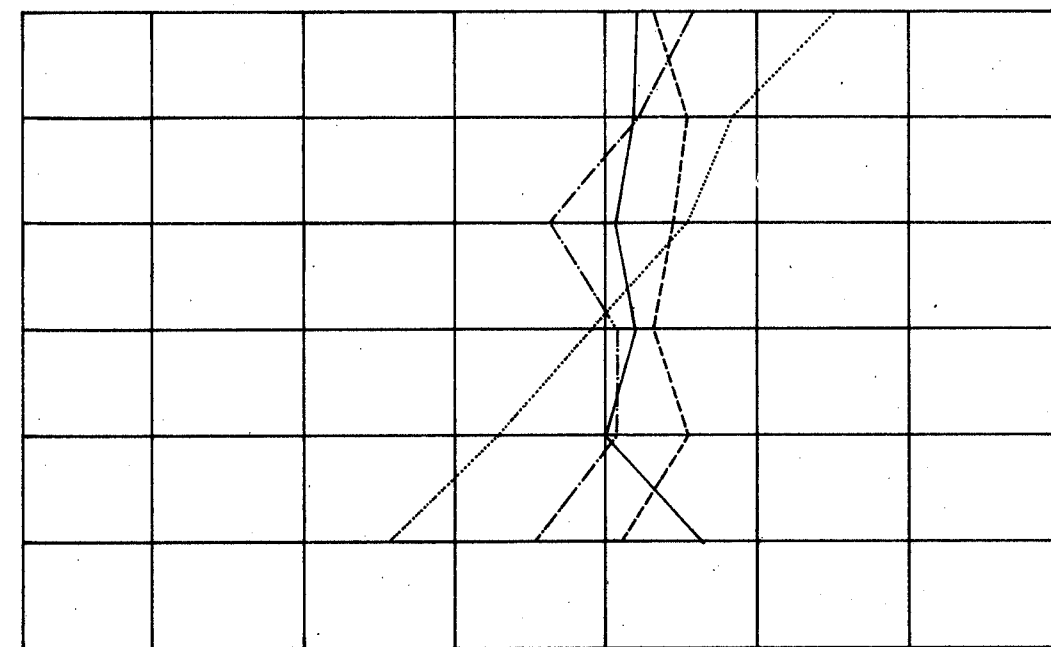
14

12

10

8

6



SM

kN

16

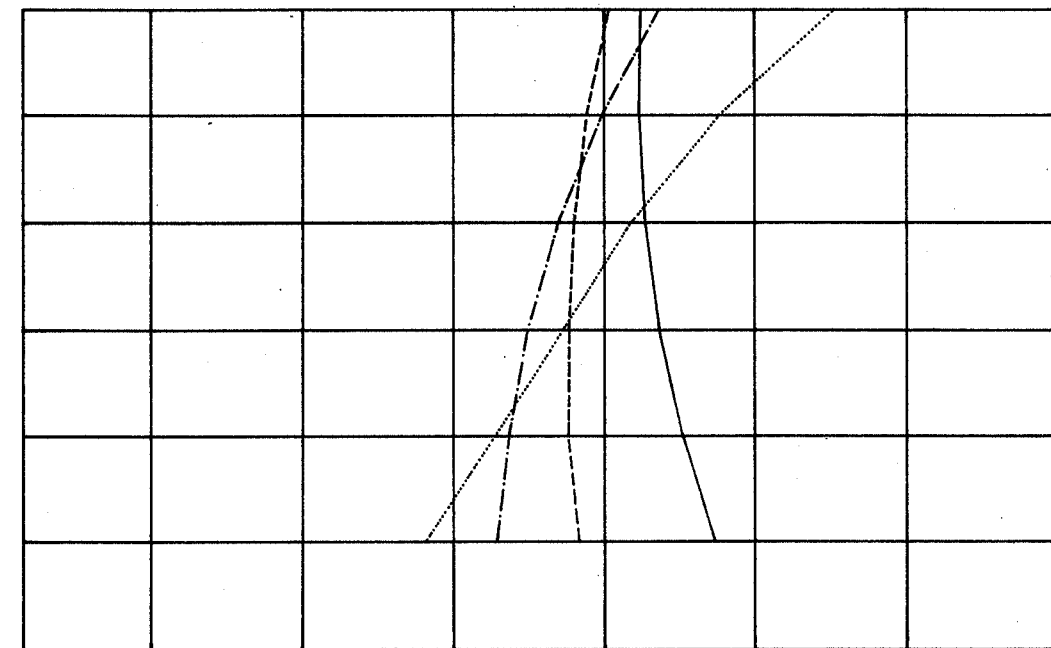
14

12

10

8

6



Fillergehalt:

— 4,0 Gew. %

- - - 6,5 Gew. %

- - - 9,0 Gew. %

..... 11,5 Gew. %

Bindemittelgehalt (Gew. %)

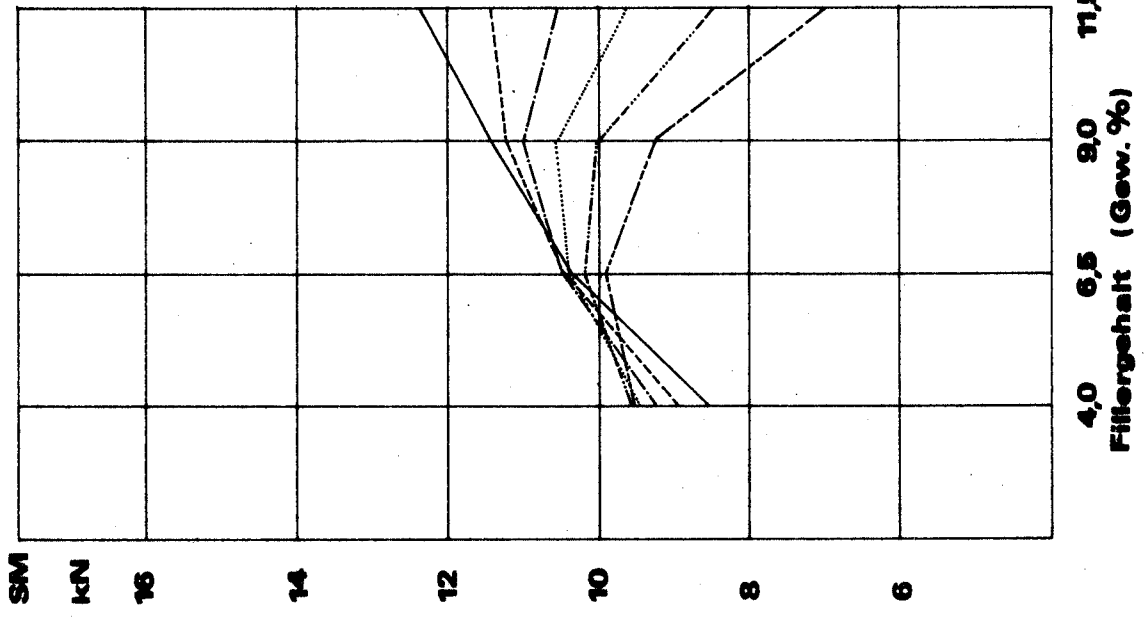
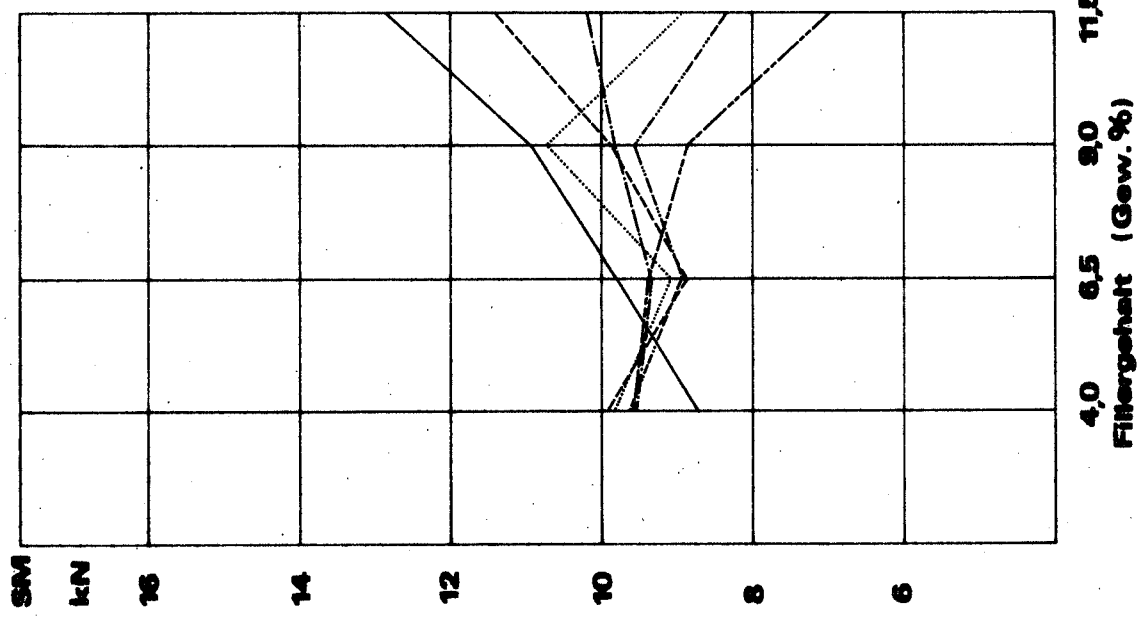
Bindemittelgehalt (Gew. %)

Stabilität - Marshall SM/Fillergehalt

AB 16/III /A

Gemäss SNV 671 969b

Ausgeglicheene Werte



Bindemittelgehalt:

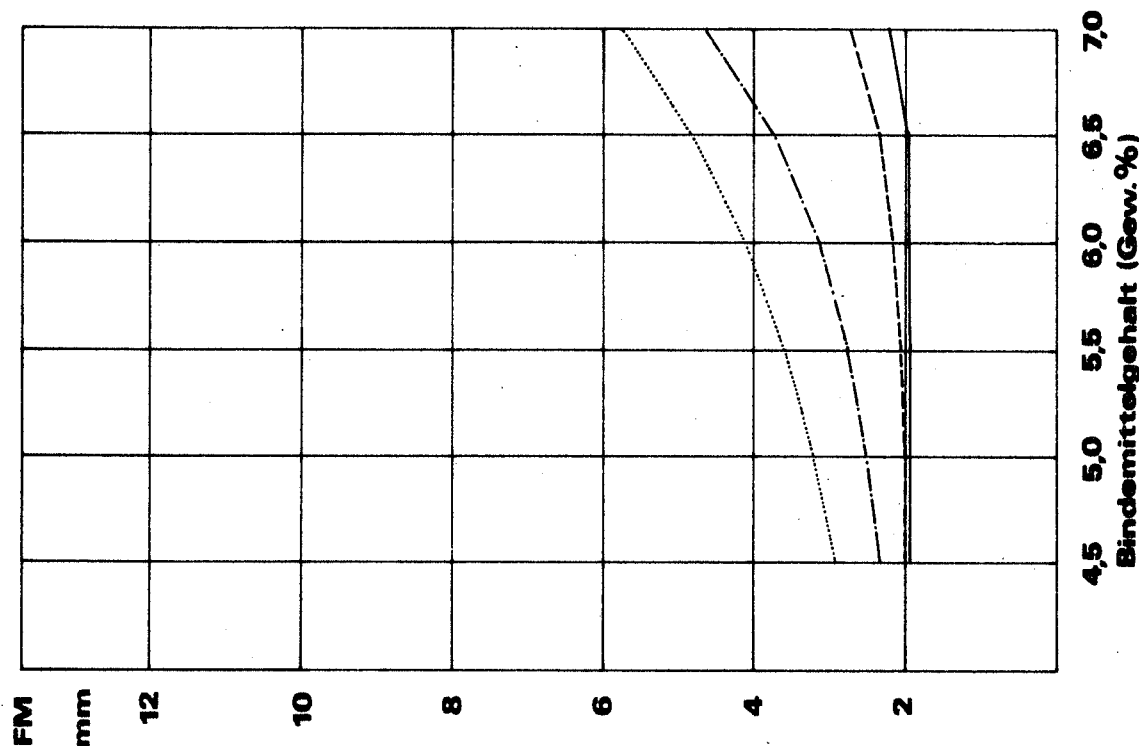
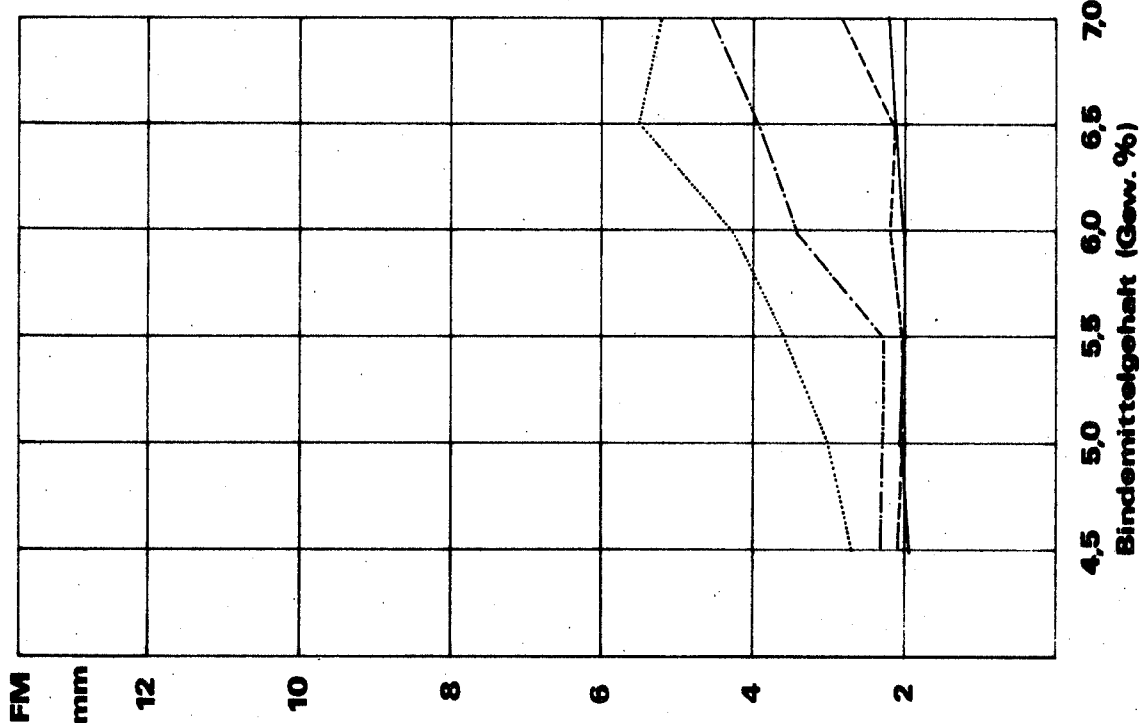
- 4,5 Gew. %
- - - 5,0 Gew. %
- . - 5,5 Gew. %
- ... 6,0 Gew. %
- - - 6,5 Gew. %
- 7,0 Gew. %

Fliesen - Marshall FM/Bindemittelgehalt

AB 16 / III / A

Gemäss SNV 671 969 b

Ausgeglichene Werte

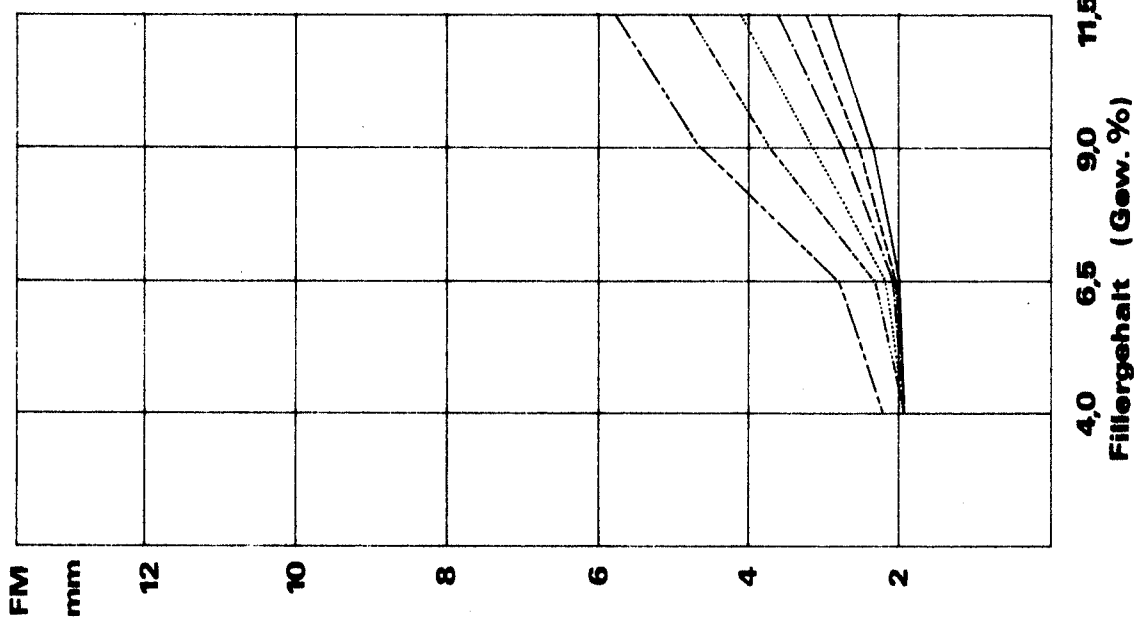
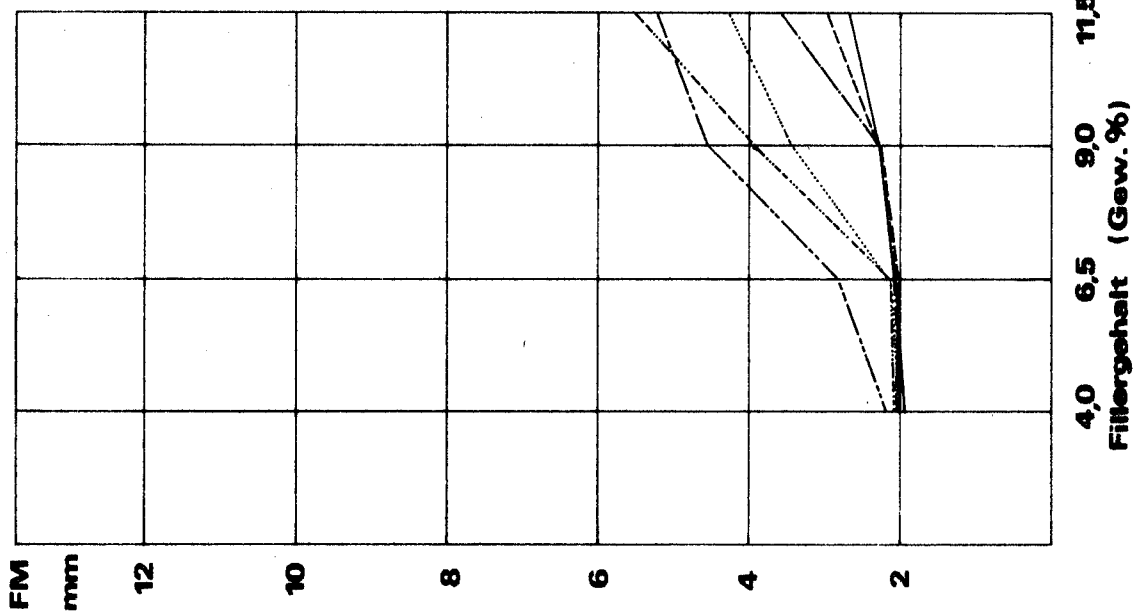


Fliesen-Marshall FM/Fillergehalt

AB 16/III /A

Gemäss SNV 671 969 b

Ausgeglichene Werte



Bindemittelgehalt:

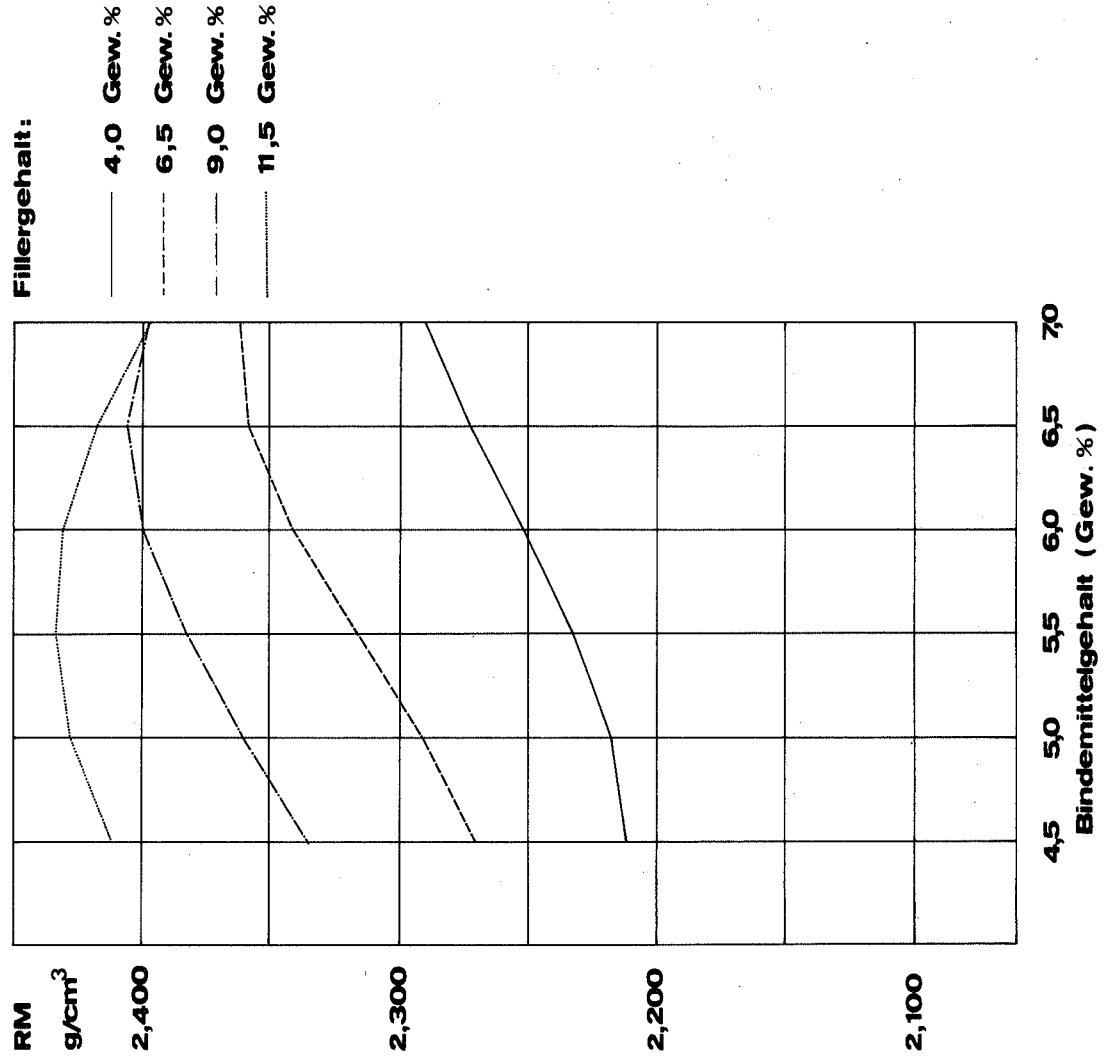
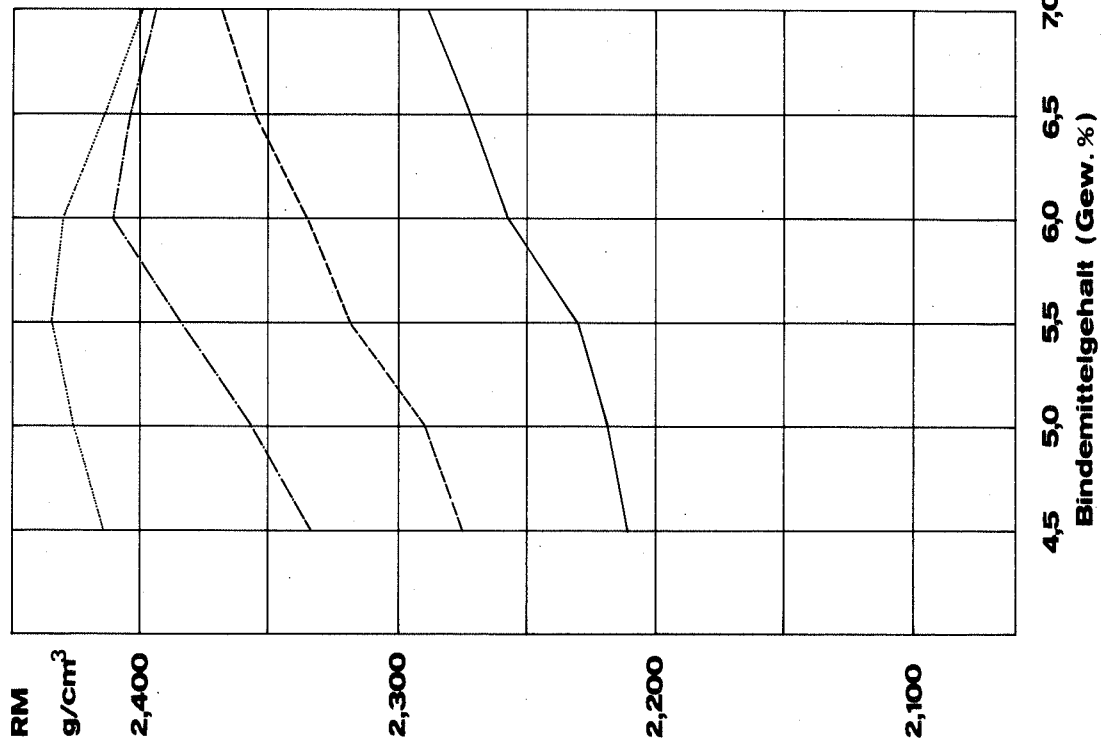
- 4,5 Gew. %
- - - 5,0 Gew. %
- - - 5,5 Gew. %
- · · 6,0 Gew. %
- - - 6,5 Gew. %
- - - 7,0 Gew. %

Raumgewicht-Marshall RM/Bindemittelgehalt

AB16/III/A

Gemäss SNV 671967

Ausgeglichene Werte

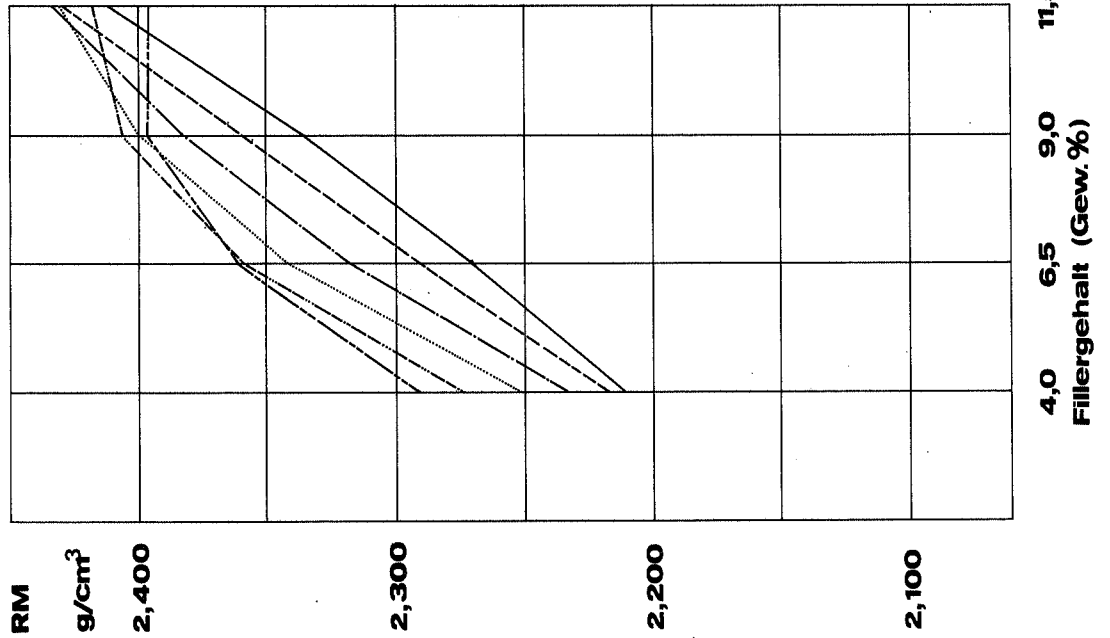
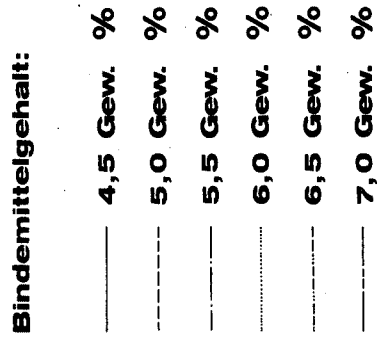
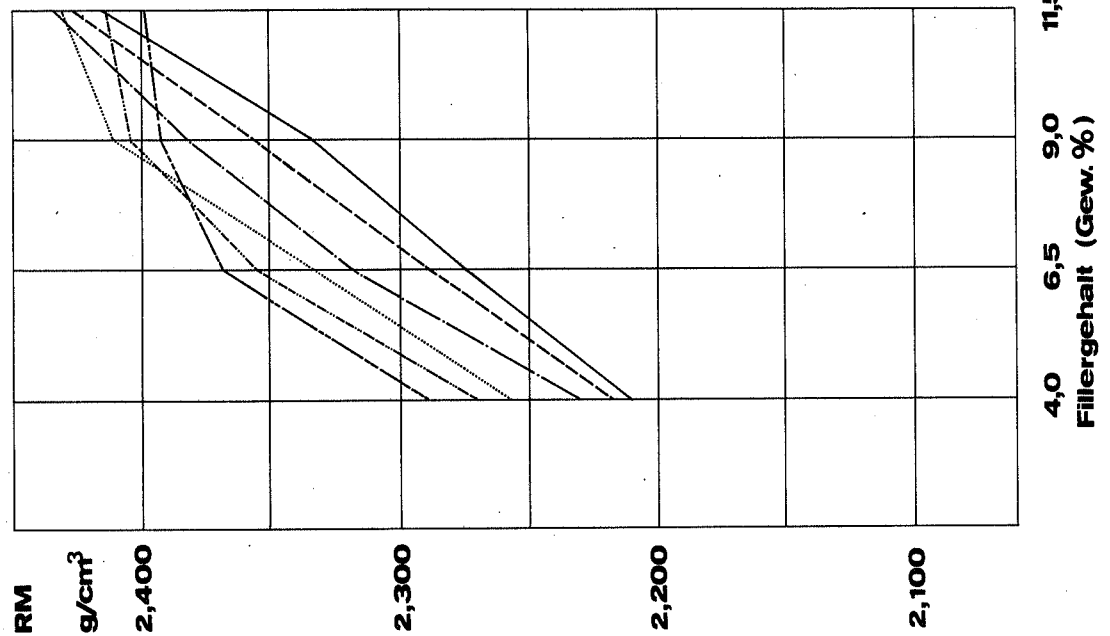


AB16/III /A

Raumgewicht - Marshall RM/Fillergehalt

Gemäss SNV 671967

Ausgeglichene Werte



7.5 SAMMELDIAGRAMME

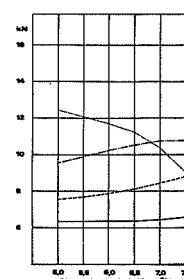
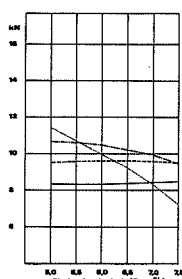
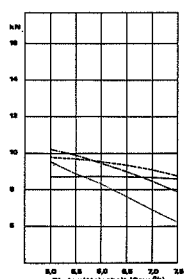
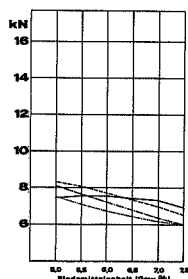
Für die graphische Darstellung der gesamten Untersuchungsergebnisse bieten sich verschiedene Möglichkeiten an.

Aus Gründen der Uebersichtlichkeit und der Möglichkeit des direkten Vergleichs sind die ausgeglichenen Werte in Sammeldiagrammen zusammengefasst. Für die 4 Siebkurven sind die einzelnen mechanischen und volumetrischen Werte jeweils getrennt über Bindemittel- und Füllergehalt und für Füllersorte A und B untereinander angeordnet (vgl.folgende Seiten).

Zur Untersuchung weiterer Zusammenhänge wurden als Beispiel für die Siebkurven AB 16/II und AB 16/III die mechanischen Marshall-Kennwerte über verschiedenen volumetrischen Werten getrennt nach variablem Füller- und Bindemittelgehalt aufgetragen (Seite 71ff). Selbstverständlich wurde bei diesen Darstellungen dasselbe Zahlenmaterial wie in den Sammeldiagrammen verwendet.

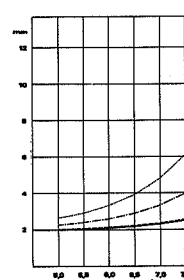
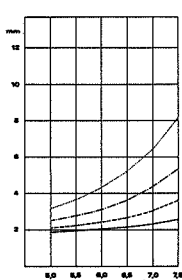
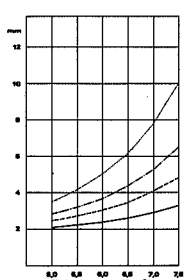
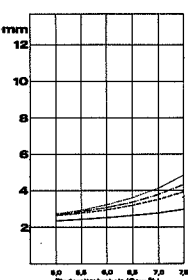
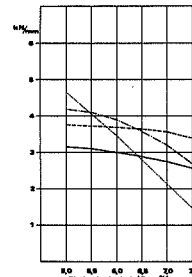
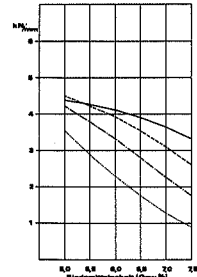
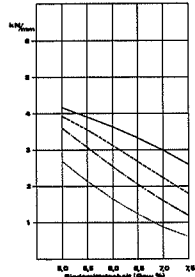
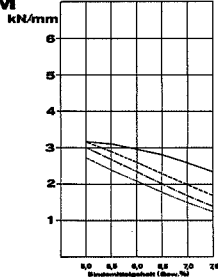
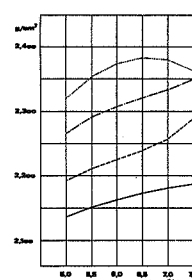
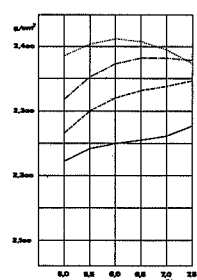
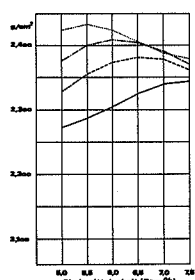
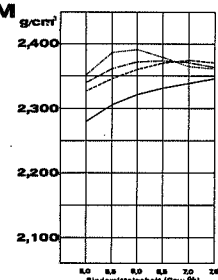
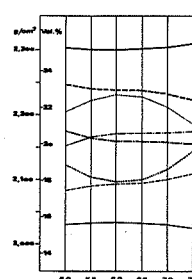
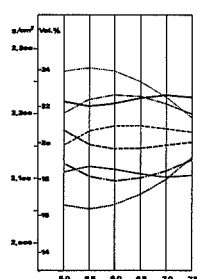
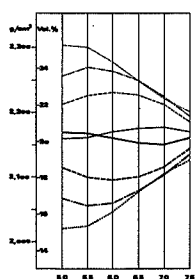
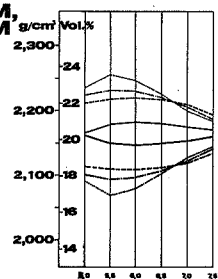
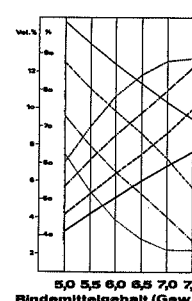
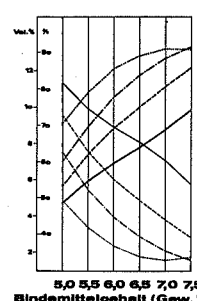
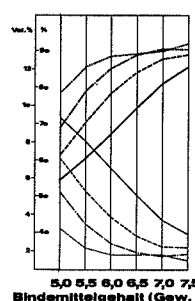
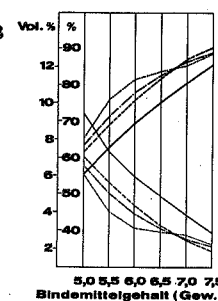
Als weitere Möglichkeit bietet sich eine Darstellung in einem Dreieckskoordinatensystem an. Diese Darstellung ist sehr informativ, benötigt aber ein gewisses Mass an Uebung im Umgang mit Dreiphasensystemen. Auch müsste, um Zusammenhänge zu verdeutlichen, ein Mehrfarbendruck ausgeführt werden. Deshalb wurde auf diese Darstellungsart verzichtet.

Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Bindemittelgehalt für AB 10/I-IV/A

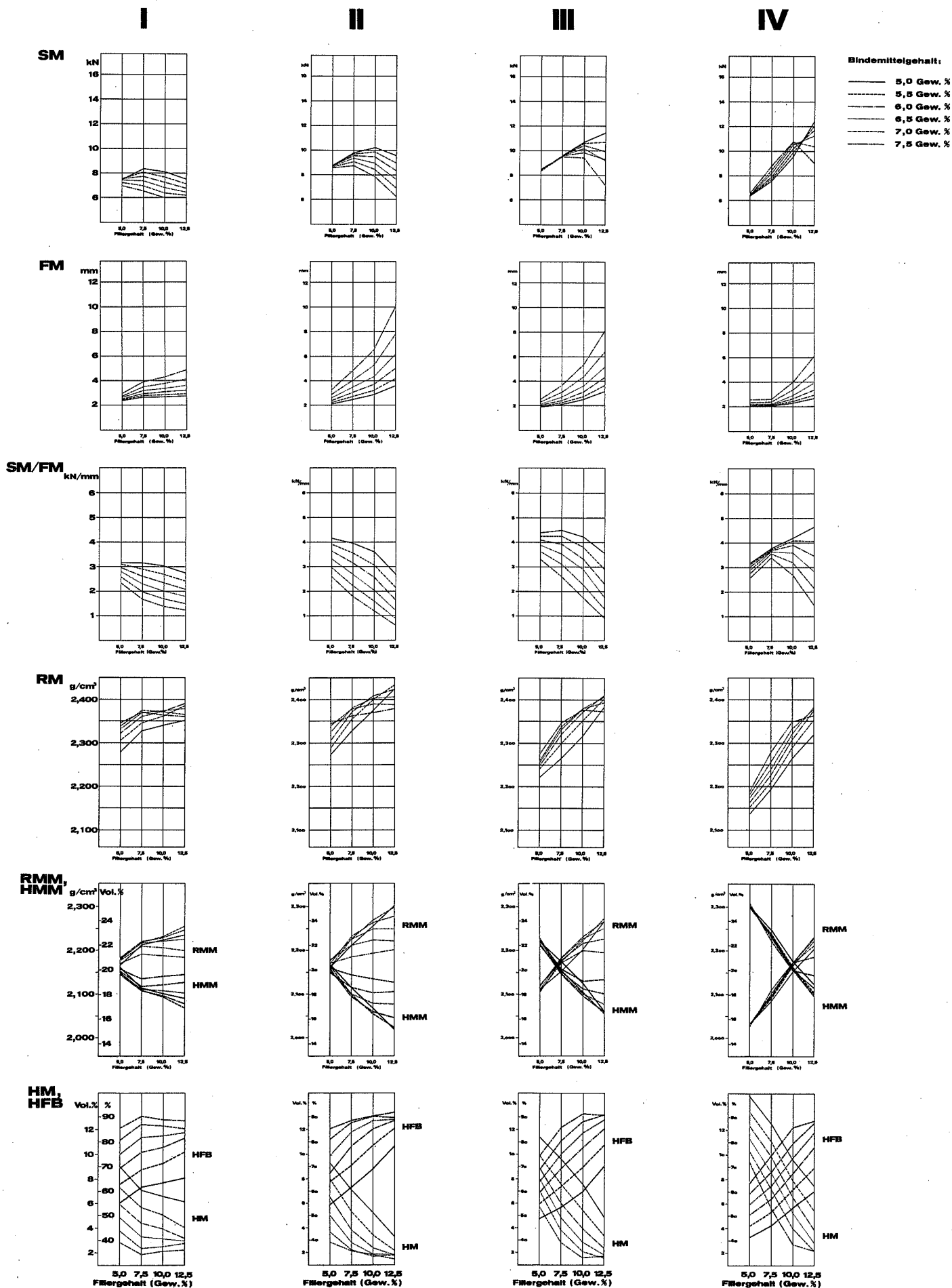
I**II****III****IV****SM**

Fillergehalt:

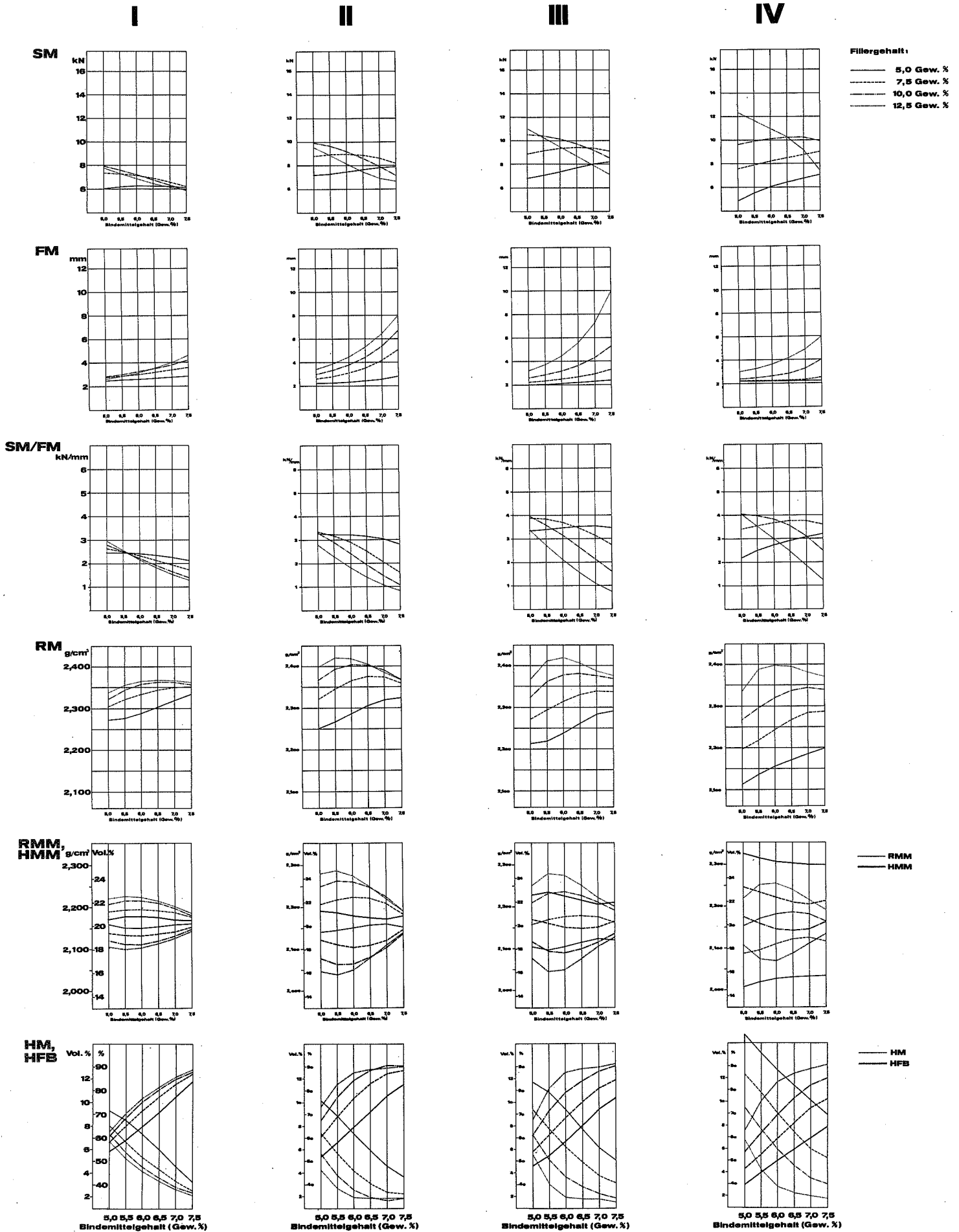
- 5,0 Gew. %
- - - 7,5 Gew. %
- ... 10,0 Gew. %
- · - 12,5 Gew. %

FM**SM/FM****RM****RMM,
HMM**— RMM
— HMM**HM,
HFB**— HM
— HFB

Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Füllergehalt für AB 10/I-IV/A

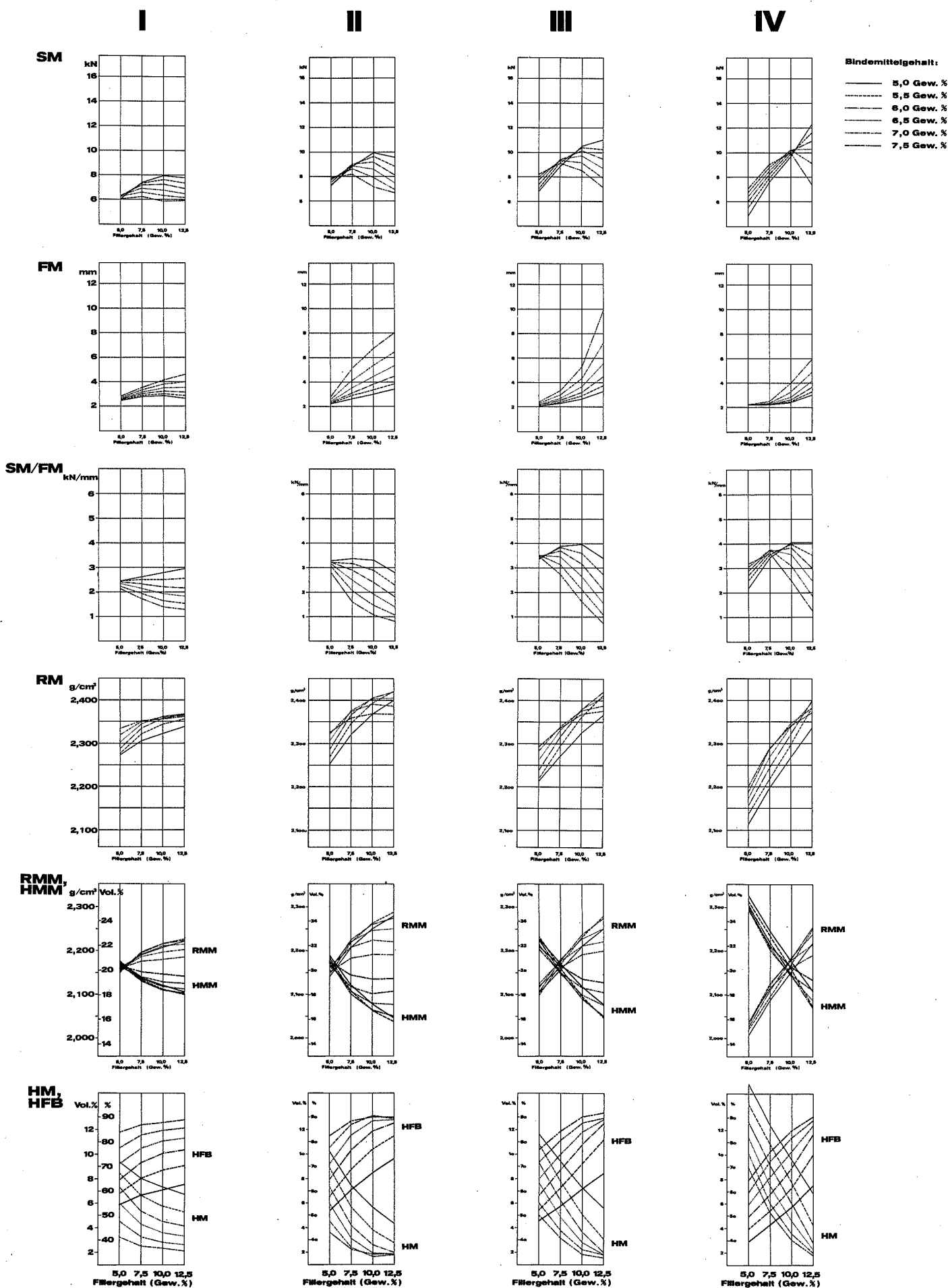


Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Bindemittelgehalt für AB 10/I-IV/B



Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB

über Füllergehalt für AB 10/I-IV/B



Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Bindemittelgehalt für AB 16/I-IV/A

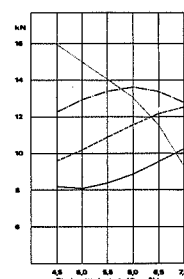
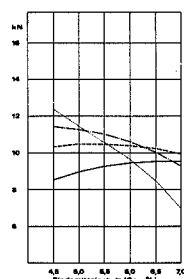
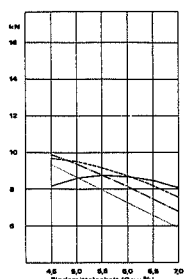
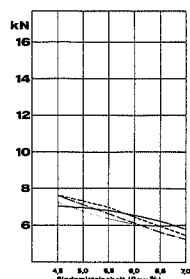
I

II

III

IV

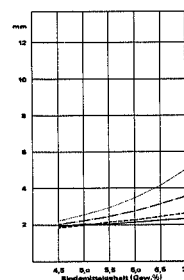
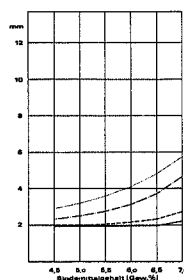
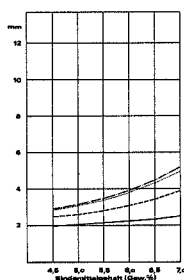
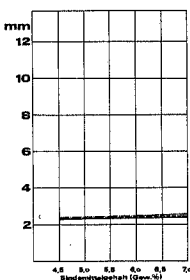
SM



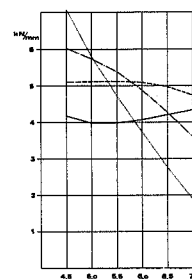
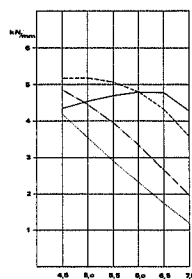
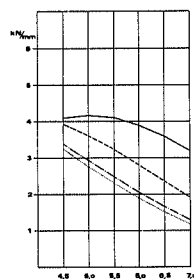
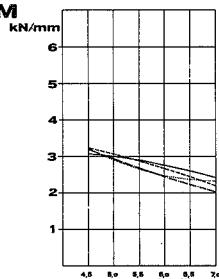
Fillergehalt:

- 4,0 Gew. %
- - - 6,5 Gew. %
- 9,0 Gew. %
- 11,5 Gew. %

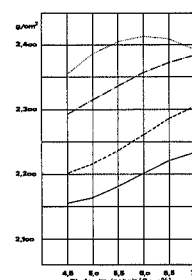
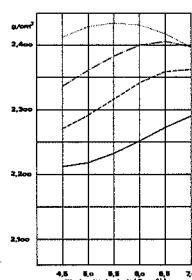
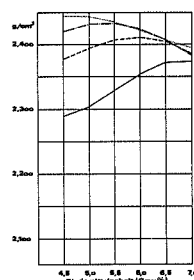
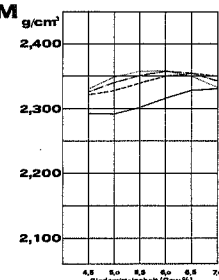
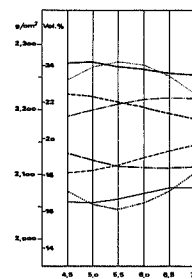
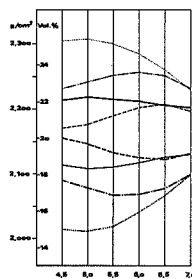
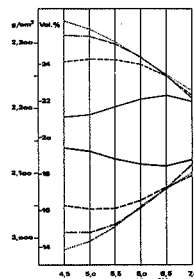
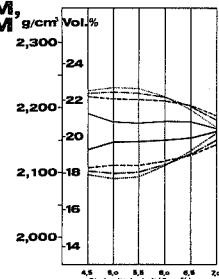
FM



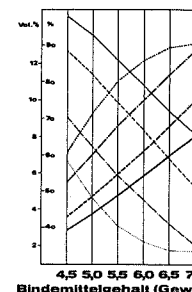
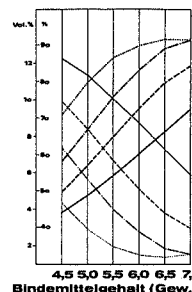
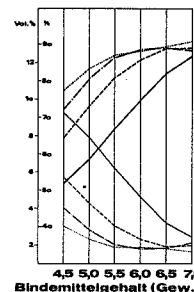
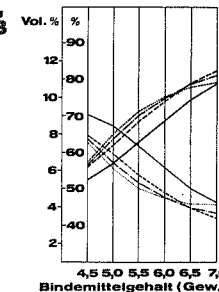
SM/FM



RM

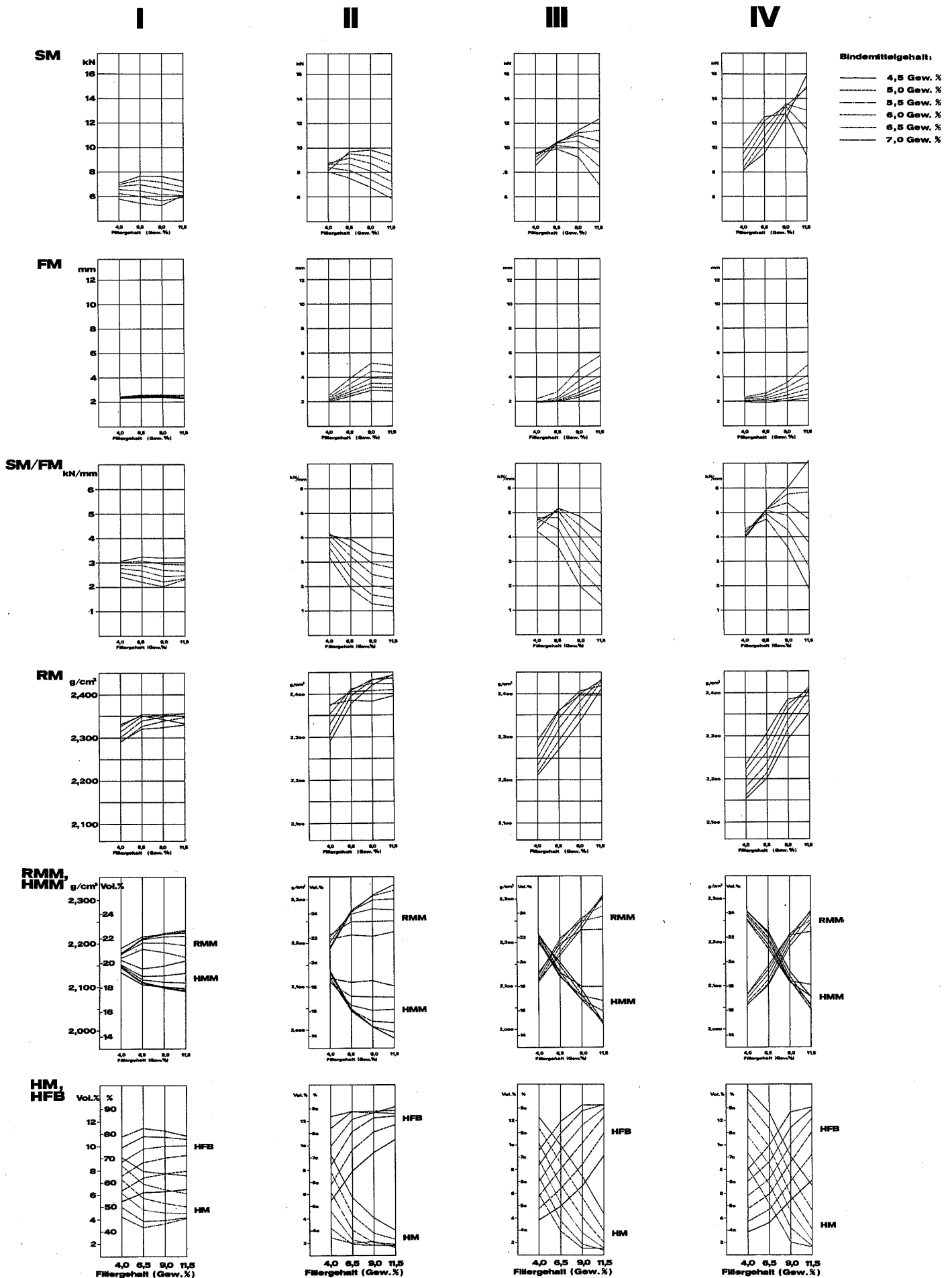
RMM,
HMM

— RMM
— HMM

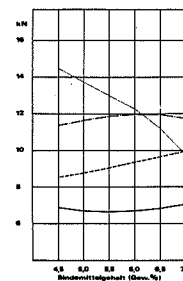
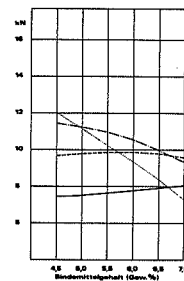
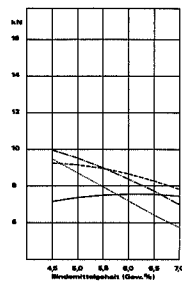
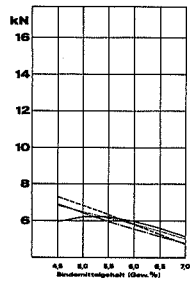
HM,
HFB

— HM
— HFB

Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Füllergehalt für AB 16/I-IV/A

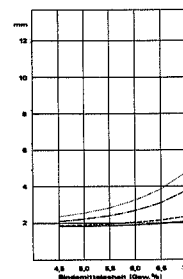
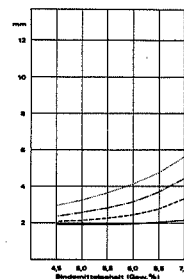
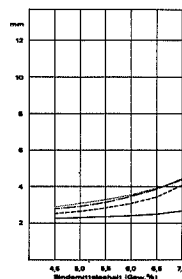
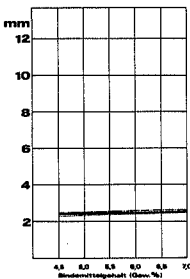
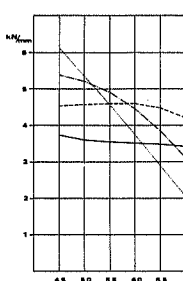
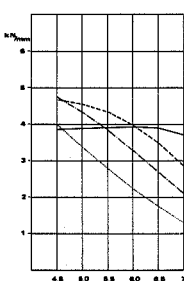
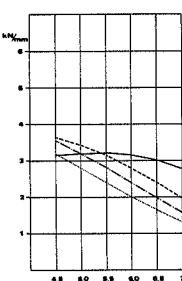
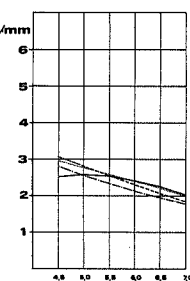
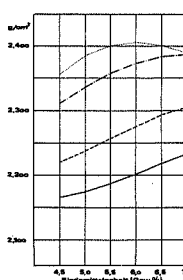
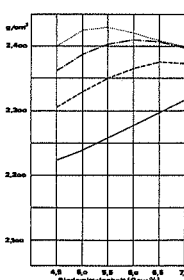
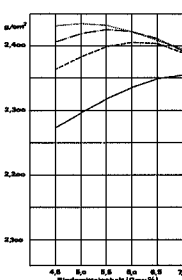
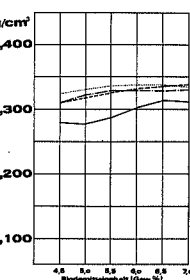
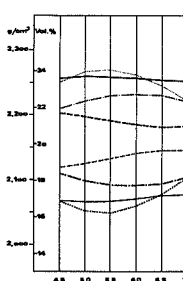
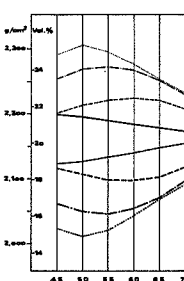
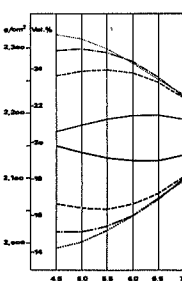
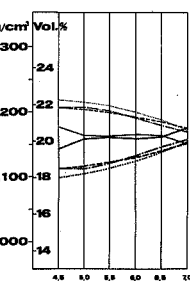


Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Bindemittelgehalt für AB 16/I-IV/B

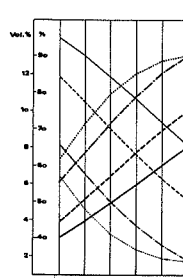
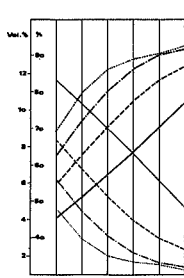
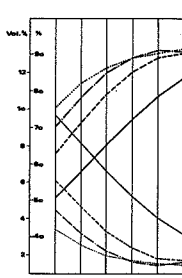
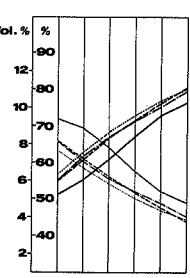
I**II****III****IV****SM**

Füllergehalt:

- 4,0 Gew. %
- - - 6,5 Gew. %
- 9,0 Gew. %
- 11,5 Gew. %

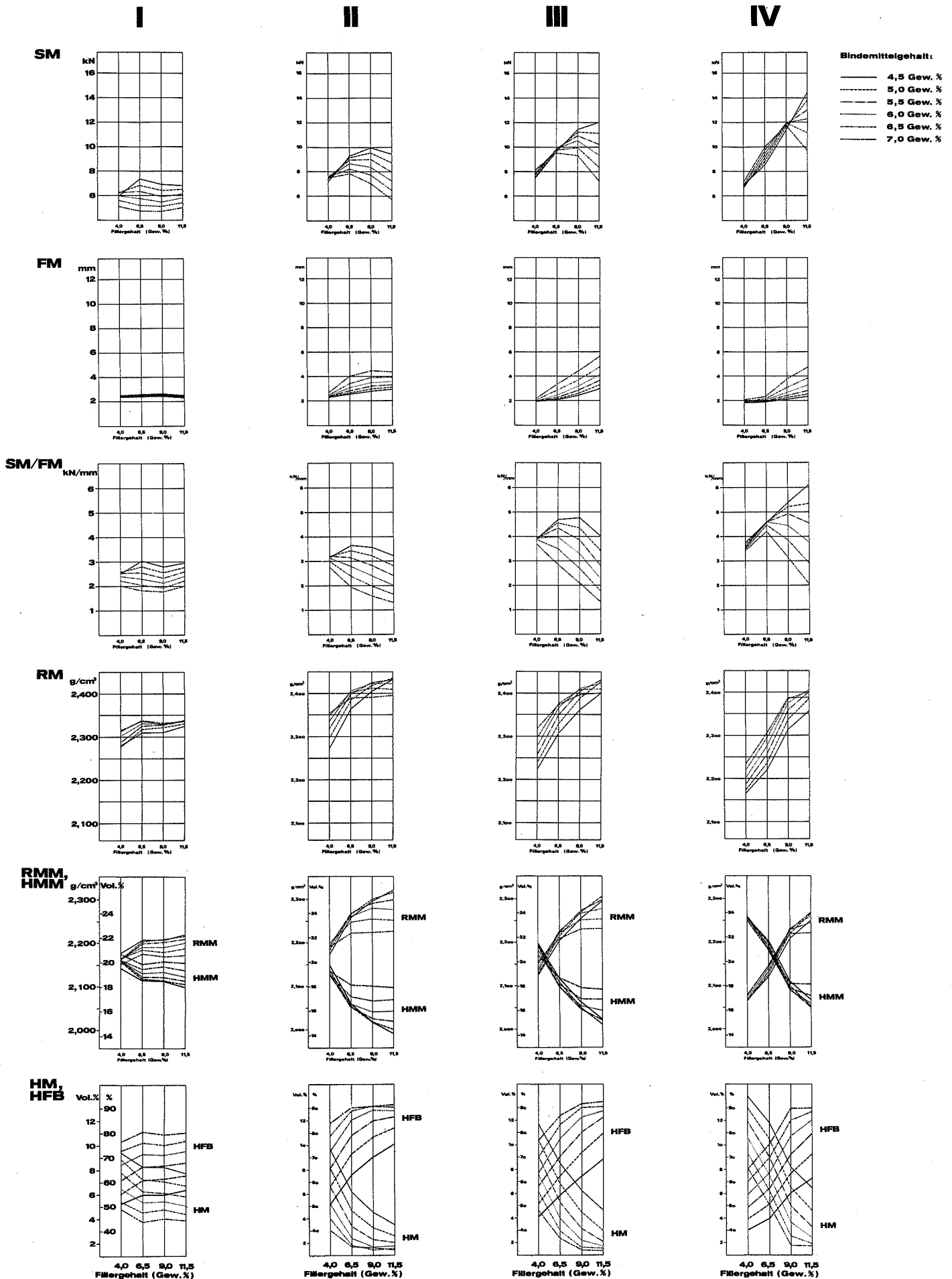
FM**SM/FM****RM****RMM, HMM**

— RMM
— HMM

HM, HFB

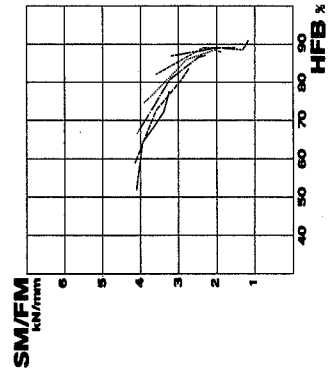
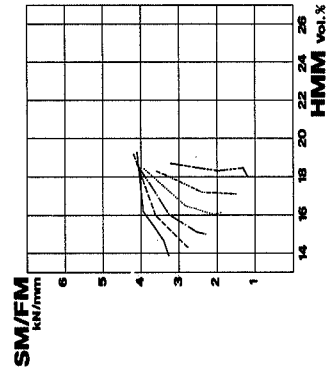
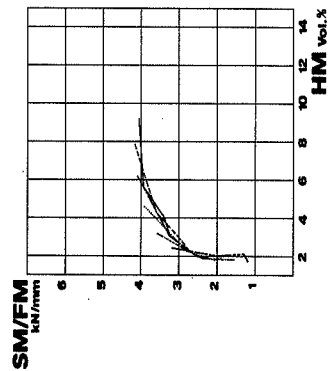
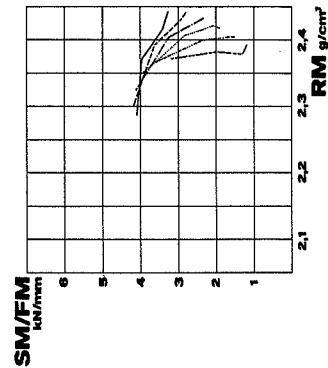
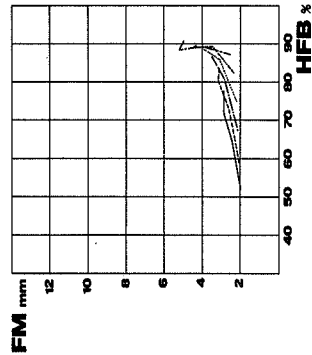
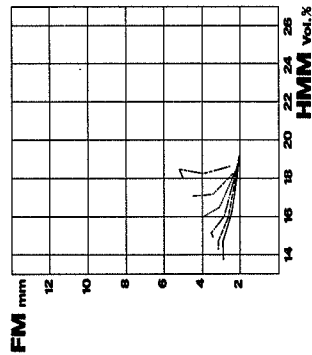
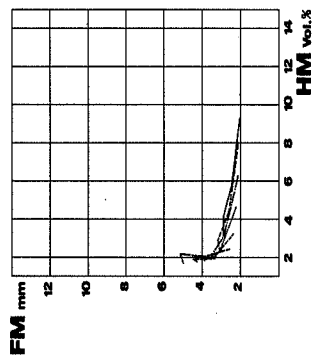
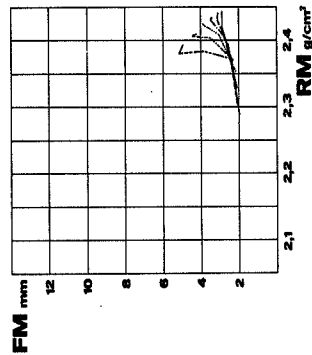
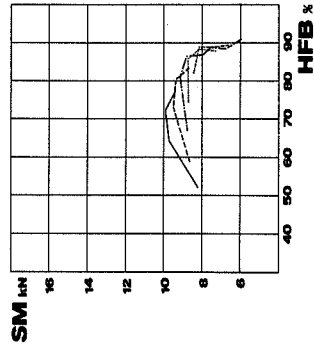
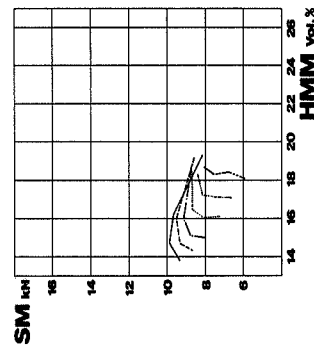
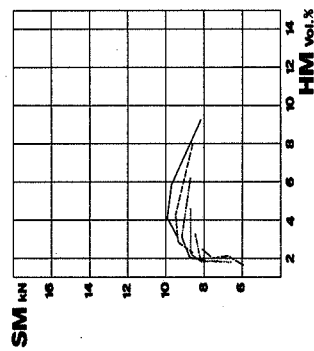
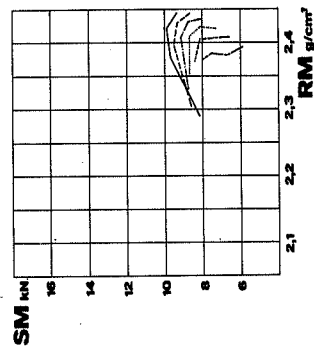
— HM
— HFB

Sammeldiagramme SM, FM, SM/FM, RM, RMM-HMM und HM-HFB über Füllergehalt für AB 16/I-IV/B



SM, FM, SM/FM über RM, HM, HMM, HFB

AB 16/ II /A



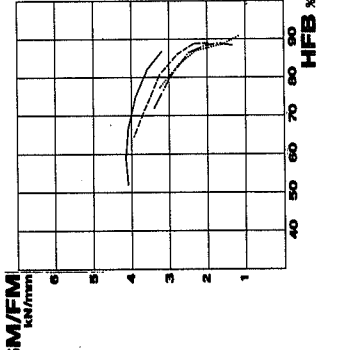
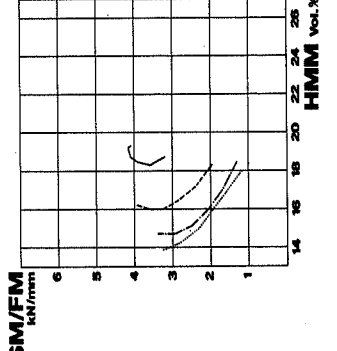
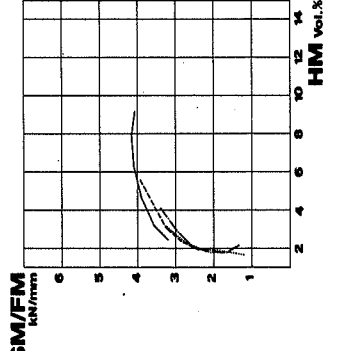
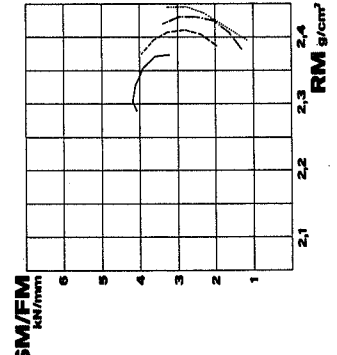
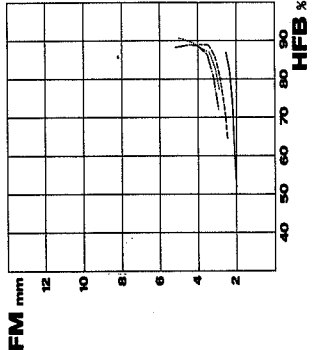
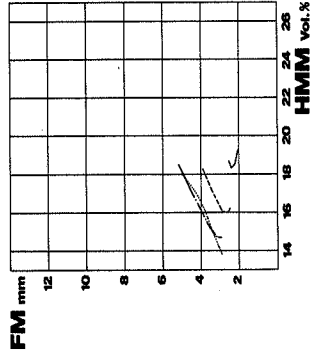
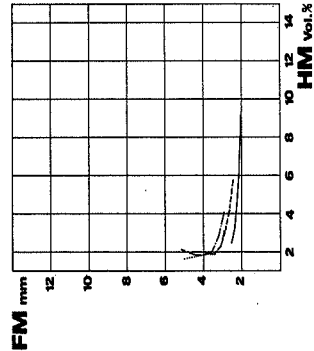
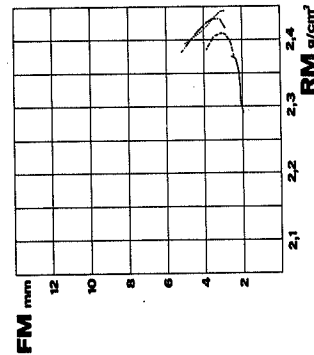
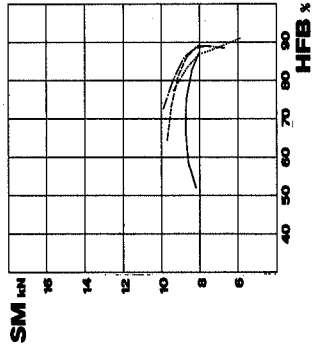
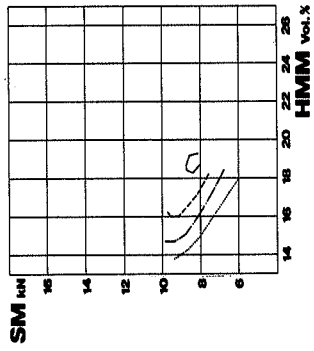
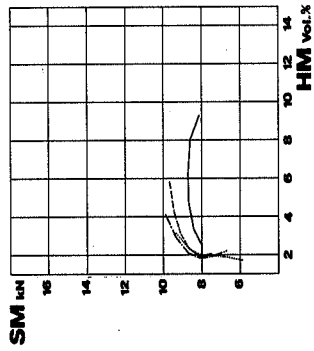
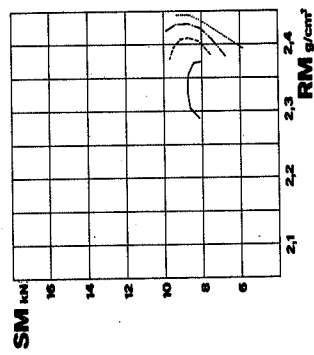
Bindemittelgehalt:

- 4,5 Gew. %
- 5,0 Gew. %
- 5,5 Gew. %
- 6,0 Gew. %
- 6,5 Gew. %
- 7,0 Gew. %

SM, FM, SM/FM über RM, HM, HMM, HFB

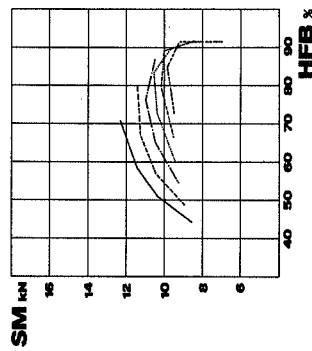
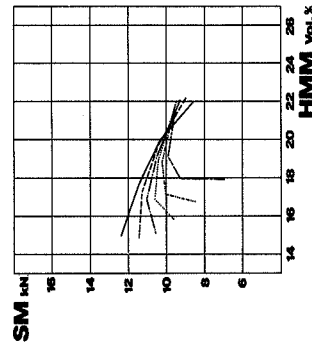
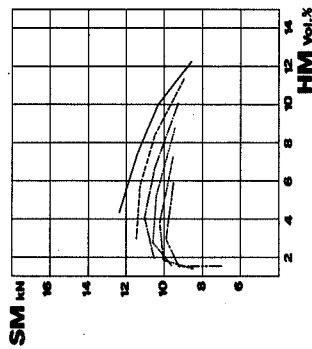
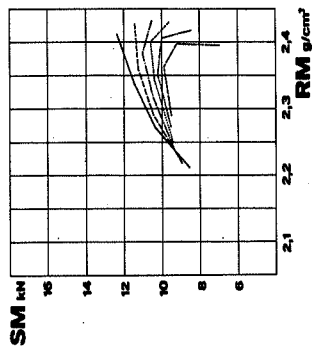
AB 16/ II /A

Füllergehalt:
 — 4,0 Gew. %
 — 6,5 Gew. %
 — 9,0 Gew. %
 — 11,5 Gew. %

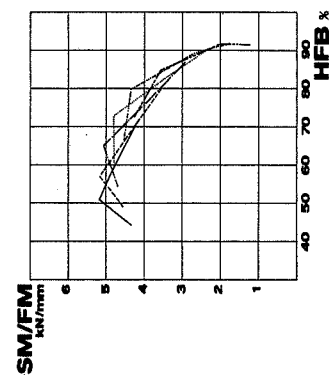
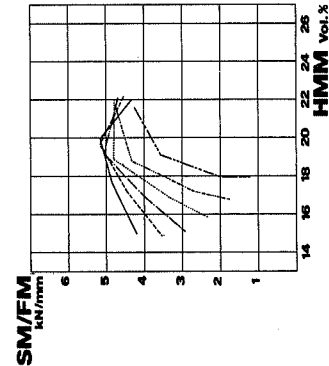
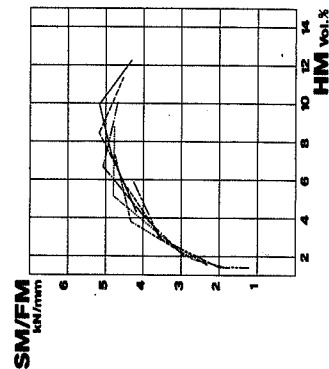
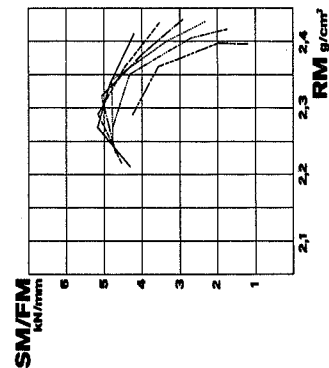
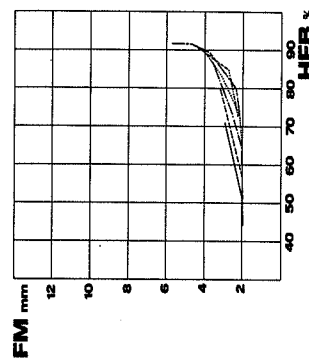
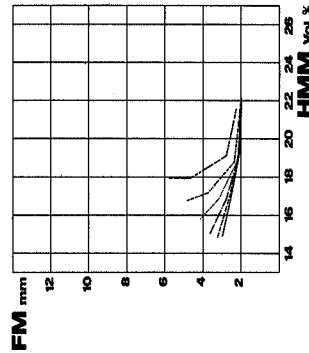
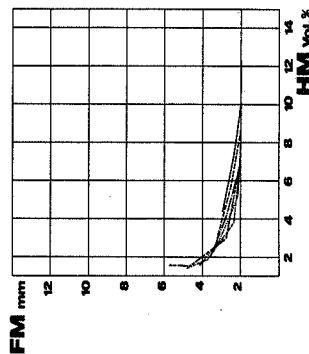
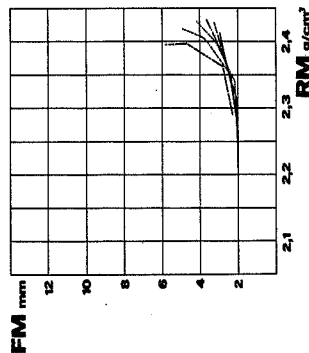


SM, FM, SM/FM über RM, HM, HMM, HFB

AB 16/III/A

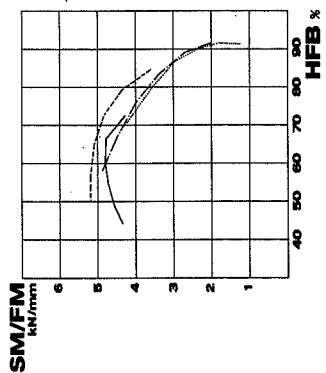
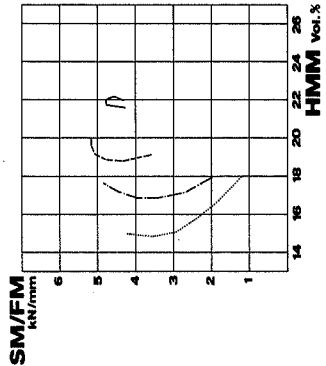
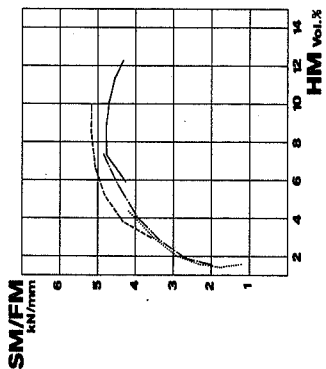
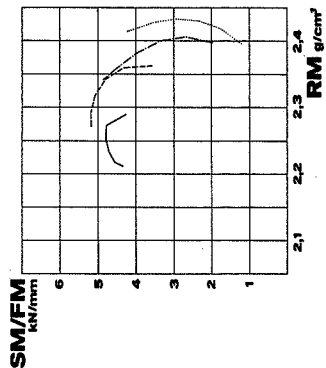
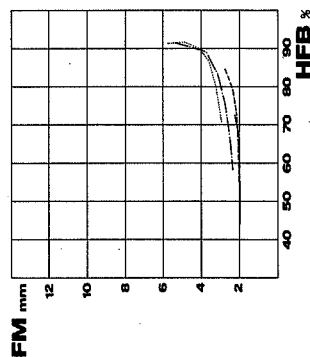
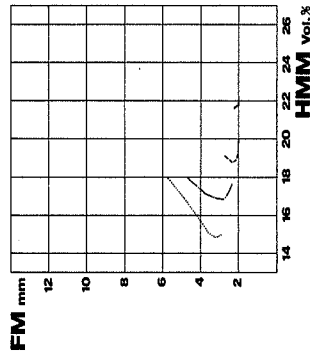
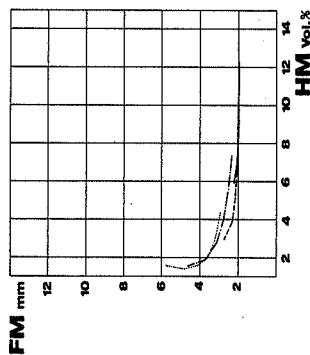
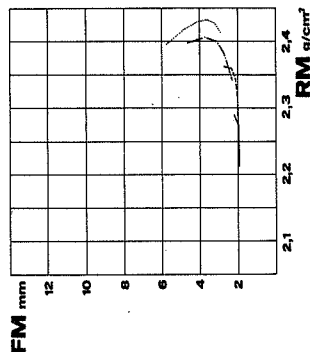
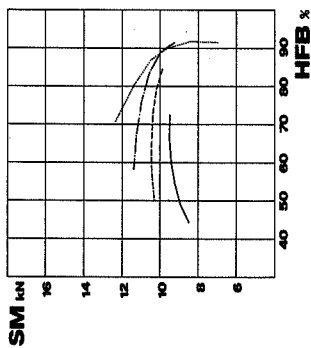
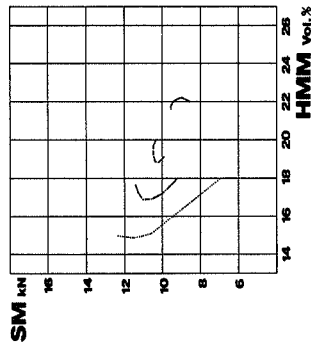
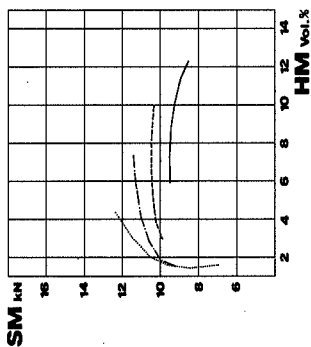
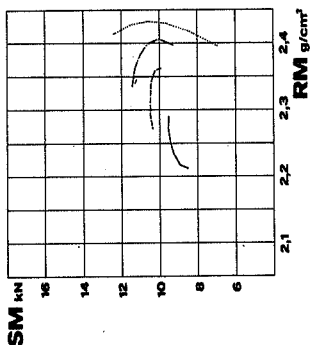


Bindemittelgehalt:
 — 4,5 Gew. %
 — 5,0 Gew. %
 — 5,5 Gew. %
 — 6,0 Gew. %
 — 6,5 Gew. %
 — 7,0 Gew. %



SM, FM, SM/FM über RM, HM, HMM, HFB

AB 16/III/A



Füllergehalt:
 — 4,0 Gew. %
 — 6,5 Gew. %
 — 9,0 Gew. %
 — 11,5 Gew. %

8. EINFLUSS DER BINDEMITELE- UND FILLERGEHALTE

8.1 ALLGEMEINES

In diesem Kapitel werden die generellen Wirkungsweisen der Marshall-Kennwerte über variablen Bindemittel- und variablen Füllergehalt aufgezeigt.

Darauf aufbauend wird versucht, einen verformungsfesten Bereich festzulegen, der seine Abgrenzungen im Marshall-Versuch selber findet. Da diese Abgrenzungen teilweise nicht genügen, werden sie in einem weiteren Teil durch Erfahrungswerte aus der Praxis ergänzt. Die daraus abgeleiteten 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' werden den Normbereichen gegenübergestellt, die sich aus der Anwendung der Normanforderungen an die Marshall-Werte ergeben.

8.2 VARIABLER BINDEMittelGEHALT

Interessante Zusammenhänge lassen sich zwischen den jeweiligen Kennwerten bestimmen, wie sie in den Sammeldiagrammen (Kapitel 7.5) aufgetragen sind.

Diese sollen im folgenden an einer Prinzipskizze veranschaulicht und erläutert werden (siehe Seite 79).

Das in diesem Schema gezeigte Verhalten konnte bei allen hier untersuchten Reihen festgestellt werden. Es ist mehr oder weniger stark ausgeprägt und bei einigen Siebkurven nur in einem Teilbereich erfassbar.

Betrachtet man zuerst die Kurve des Hohlraumgehaltes HM, so stellen sich bei kleinen Bindemittelgehalten hohe Werte ein, die bei Erhöhung des Gehaltes zuerst mässig (negative Krümmung) und dann verstärkt abnehmen. Nach diesem eher linearen Verlauf (Gerade mit negativer Steigung) folgt eine verminderte Reduktion der Abnahme (positive Krümmung). Welche Mechanismen bestimmen diesen Verlauf, und wie wirkt er sich auf die anderen Kennwerte aus?

Damit Marshall-Prüfkörper überhaupt hergestellt werden können, braucht es einen minimalen Bindemittelgehalt zur Umhüllung und Verklebung der Mineralstoffkörner. Schon bald kommt aber bei zunehmendem Bindemittelgehalt neben dem Auffüllen der Hohlräume ein Schmiereffekt hinzu, der rasch eine dichtere Lagerung der Mineralstoffe bewirkt. Dieser Effekt zeigt sich deutlich in der Abnahme von HMM, die etwas abgeschwächt wie bei HM verläuft. Dabei steuert HMM auf ein Minimum zu, um dann wieder anzusteigen. Es kommt also der Zeitpunkt, wo eine dichtest mögliche Lagerung der im Marshall-Prüfkörper bindemittelfrei gedachten Mineralstoffe erreicht wird. Bei einer weiteren Steigerung des Bindemittelgehaltes werden zwar immer noch zusätzliche Hohlräume aufgefüllt (HM sinkt schwach weiter), aber gleichzeitig vergrössert sich auch die Dicke des Bindemittelfilmes um die einzelnen Körner. Diese werden auseinandergedrängt und HMM vergrössert sich. Mit steigendem Bindemittelgehalt ist somit ein HMM-Minimum festzustellen. Das HMM-Minimum signalisiert den Uebergang zu einem instabilen Bereich.

Das aufgezeigte Verhalten lässt sich auch an RMM demonstrieren, da bei konstantem SG_M ein direkter Zusammenhang zwischen RMM und HMM besteht:

$$HMM = \left(1 - \frac{RMM}{SG_M} \right) \cdot 100$$

Dabei tritt an Stelle des HMM-Minimums ein RMM-Maximum auf.

Der Hohlraumfüllungsgrad mit Bindemittel (HFB) ist ein weiterer Wert, der in bezug auf die volumetrischen Verhältnisse im Prüfkörper ähnliche Aussagen liefert wie HM. HFB ist der Prozentsatz der mit Bindemittel aufgefüllten Hohlräume im Mineralstoffgerüst. Die Werte von HFB weisen einen angenähert spiegelbildlichen Verlauf zur HM-Kurve auf. Dies erklärt sich aufgrund der Gleichung:

$$\text{HFB} = \left(\frac{\text{VB}}{\text{VB} + \text{HM}} \right) \cdot 100 \text{ in } \%$$

Im Gegensatz zu diesen Werten sind die direkt bestimmten Werte, das Raumgewicht RM und das spezifische Gewicht SG, zur Beurteilung der volumetrischen Verhältnisse in den Prüfkörpern weniger geeignet.

Das Raumgewicht nimmt bei zunehmendem Bindemittelgehalt zu, erreicht aber das Maximum erst bei einer äusserst kritischen Mischung (HM sehr klein, HMM schon steigend). Ein ausgeprägtes Maximum im RM-Verlauf ist ausserdem schwer festzulegen.

Mit zunehmendem Bindemittelgehalt nimmt das spezifische Gewicht ab. Die SG-Kurve weist eine sehr kleine positive Krümmung auf.

Es zeigt sich, dass sich die volumetrischen Verhältnisse im Prüfkörper auf die im Marshall-Versuch bestimmten mechanischen Kennwerte auswirken:

Mischungen mit geringen Bindemittelgehalten weisen ziemlich hohe Stabilitäten auf. Das SM-Maximum wird bei noch relativ hohem Hohlraumgehalt erreicht. Die Fließswerte sind in diesem Bereich noch klein und steigen nur langsam. Bei weiterer Zunahme des Bindemittelgehaltes nimmt SM sukzessive ab und FM zu. Im Bereich des Bindemittelgehaltes, wo HMM minimal wird, zeigt FM einen etwas stärkeren Anstieg auf und signalisiert somit seinerseits den Übergang in eine weichere, unstabilere Phase. Das Verhältnis SM/FM durchläuft eine ähnliche Kurve wie SM, dessen Maximum findet sich jedoch immer etwas vor dem SM-Maximum. Die beiden Maxima liegen wegen der in diesem Bereich flachen FM-Kurve nahe beieinander.

Das Mischgut ändert also bei konstanter Mineralstoffzusammensetzung im Marshall-Versuch seine Eigenschaften mit variierendem Bindemittelgehalt. Aus den gemachten Erklärungen lassen sich als Folgerung drei Bereiche mit grundsätzlich unterschiedlichen Eigenschaften abgrenzen.

- | | |
|--------------------|---|
| - Nachverdichtbare | hohlraumreiche,
bindemittelarme Mischungen.
ERMUEDUNGSGEFAEHRDETER
BEREICH |
| - Verformungsfeste | Mischungen, Walzasphalt. |
| - Instabile | hohlraumarme,
bindemittelreiche Mischungen.
FLIESSBEREICH |

Diese Bereiche sind natürlich nicht exakt definierbar. Ihre Grenzen sind fliessend und je nach Mischgutsorte auch mehr oder weniger ausgeprägt.

Folgende Werte sind als Abgrenzung denkbar:

- Gegen die hohlraumreiche, nachverdichtbare und bindemittelarme Seite SM/FM max und SM max.

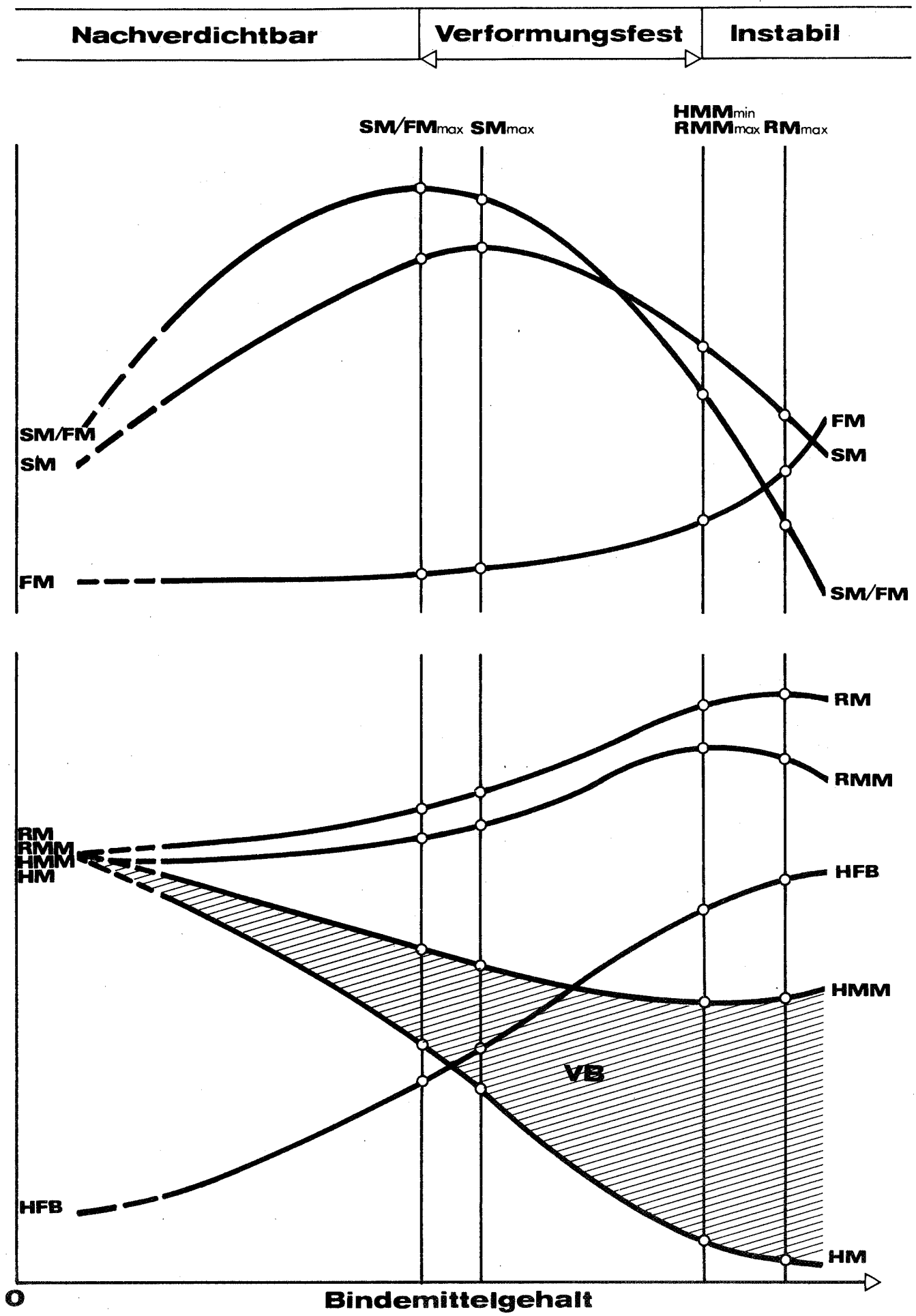
SM/FM max bietet sich eher als Abgrenzung an, da dieser Wert im Randbereich liegt und somit ein Abfall der Steifigkeit den ermüdungsgefährdeten Bereich signalisiert. Zudem schliesst der SM/FM-Wert beide aus dem Marshall-Versuch resultierenden mechanischen Kennwerte mit ein.

- Gegen die hohlraumarme, bindemittelreiche Seite HMM min und RM max.

Als Abgrenzung kommt hier aufgrund der ausführlichen Erläuterung nur HMM min in Frage.

Diese Bereichseinteilung wird bei jeder Mineralstoffzusammensetzung durch genügende Variation des Bindemittelgehaltes erreicht, ist aber nicht als absolute Beurteilung für die Praxis zu betrachten, wo bekanntlich noch andere Kriterien als die vorerst hier aufgeführten wirksam werden.

Prinzipielle Zusammenhänge zwischen Marshall- resp. Folgewerten und Bindemittelgehalt



8.3 VARIABLER FILLERGEHALT

Eine umfassende Auswertung des Marshall-Versuchs bei variablem Füllergehalt und konstantem Bindemittelgehalt ist ebenfalls aufschlussreich.

Die bei unterschiedlichem Füllergehalt bestimmten Kennwerte sind in einer Prinzipskizze aufgetragen (siehe Seite 83). Auffallend ist, dass die meisten der gebräuchlichen volumetrischen Kenngrößen bei konstantem Bindemittelgehalt in direktem Zusammenhang zu einer Variablen stehen: dem Raumgewicht RM. Diese Relation ist aus den formelmässigen Beziehungen ersichtlich:

$$\begin{aligned}
 RMM &= RM \cdot (1 - B/100) && B \text{ konstant} \\
 VB &= RM \cdot (B / SG_B) && B/SG_B \text{ konstant} \\
 HM &= (1 - RM/SG_A) \cdot 100 && SG_A \text{ konstant} \\
 HMM &= VB + HM \\
 HFB &= VB / (VB + HM) = VB/HMM
 \end{aligned}$$

Somit weisen die aufgeführten Kennwerte ein Maximum resp. Minimum bei Füllergehalten auf, bei denen RM maximal ist.

Die HM-Kurve verläuft hier ähnlich wie bei variablem Bindemittelgehalt, weist jedoch wie erwähnt ein Minimum auf, weil andere Mechanismen wirken als bei der Variation des Bindemittelgehaltes:

Die Abnahme von HM im Bereich kleiner Füllergehalte wird vor allem durch die Zunahme des Füllervolumens bewirkt, das Bindemittelvolumen nimmt dagegen nur schwach zu. Es erfolgt, wie die Verringerung der HMM-Werte zeigt, eine Verbesserung der Korngrößenabstufung.

Interessant ist, dass auch der Anteil Sand/Splitt dichter gelagert wird, wie aus dem Verlauf des Hohlraumgehaltes des Anteils Sand/Splitt (HM Sand/Splitt) ersichtlich ist.

Bei weiterer Füllierzugabe wird jedoch ein Minimum und somit wieder eine Zunahme von HM Sand/Splitt erreicht. Sand und Splitt werden auf Kosten einer Füllierzunahme verdrängt, ein ähnlicher Effekt wie beim Übergang der 'festen' in die 'flüssige' Phase bei der Bindemittelzunahme, allerdings mit einer anderen Folge. HMM nimmt noch weiter ab. Bei grösseren Füllergehalten als bei HMM min ist die Abnahme des Sand/Splitt-Volumens grösser als die Zunahme des Füllervolumens.

Es ist anzunehmen, dass zwischen den Minima von HM Sand/Splitt und HMM ein Uebergang zu einer ungünstigen Mineralstoffmischung stattfindet.

Die Mischung wird bindemittelärmer in dem Sinne, dass mit steigendem Füllergehalt die Mineralstoffoberfläche stark ansteigt. Der Bindemittelfilm wird rasch dünner und reduziert damit den Schmiereffekt bei der Verdichtung. Ab HMM min werden somit wieder Hohlräume eingebaut, die bei der Bindemittelknappheit nicht mehr gefüllt werden.

Der Uebergang in einen ungünstigen Bereich wird auch durch die Betrachtung der mechanischen Werte angezeigt: Mischungen mit kleinen Füllergehalten weisen kleine Fließwerte FM und kleine Stabilitäten SM, aber relativ hohe Verhältnisse SM/FM auf. Bei Zunahme des Füllergehaltes nimmt SM und FM zu und SM/FM erreicht - bei recht hohem Hohlraumgehalt HM - ein Maximum. Bei weiterer Zunahme des Füllergehaltes strebt SM dem Maximum zu in einem Bereich, der oft mit einem starken Ansteigen von FM verbunden ist (insbesondere beim AB 10). Von da an sinken die SM/FM-Werte stark ab. In der Regel bewegen sich diese SM-Maxima bei Füllergehalten, die zwischen den Minima von HM Sand/Splitt und HM liegen. Somit lassen sich auch hier drei Bereiche mit prinzipiell unterschiedlichen Eigenschaften feststellen, mit den gleichen Einschränkungen wie bei variablem Bindemittelgehalt:

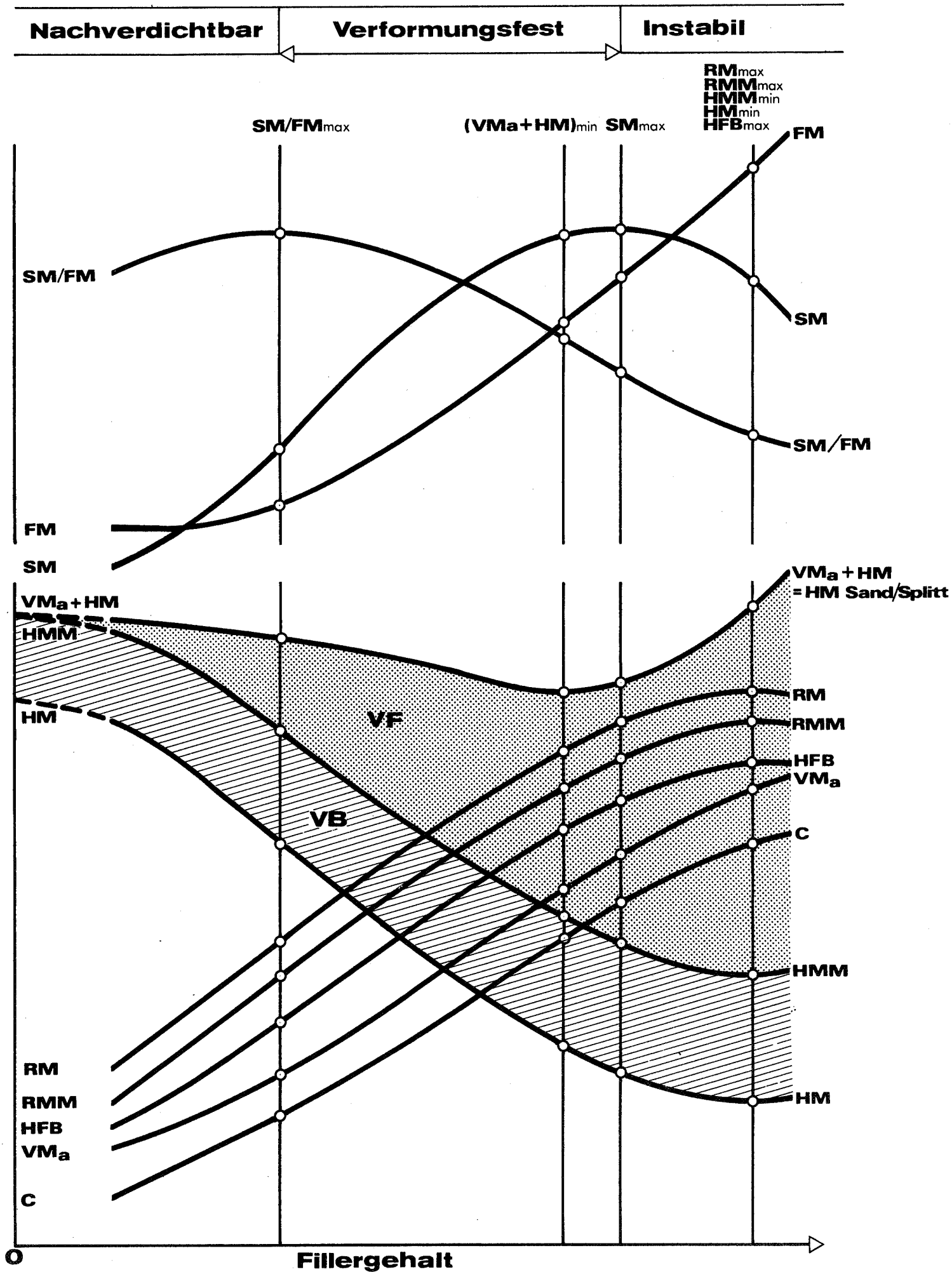
- | | |
|--------------------|---|
| - NACHVERDICHTBARE | hohlraumreiche,
fillerarme Mischungen.
ERMÜDUNGSGEFÄHRDETER BEREICH |
| - VERFORMUNGSFESTE | Mischungen. |
| - INSTABILE | fillerreiche,
hohlraumarme Mischungen.
FLIESSBEREICH |

Hier sind wieder Werte zu finden, die als Abgrenzung dienen können. Gegen den nachverdichtbaren Bereich bietet sich einzig SM/FM max an. Gegen den instabilen Bereich ist die kritische Grenze zu diskutieren. Wird diese bereits bei HM Sand/Splitt min, bei SM max oder erst bei HM min erreicht ?

Der starke Verdrängungseffekt im Mineralstoffgerüst jenseits von SM max, signalisiert durch den Anstieg von HM Sand/Splitt, deutet aber bereits auf eine gefährliche Tendenz hin. Dieser Effekt zusammen mit dem Bindemittelmanko schliesst ein Einbeziehen von HM min in den verformungs-festen Bereich aus.

Als Grenze scheint deshalb SM max sinnvoll.

Prinzipielle Zusammenhänge zwischen Marshall- resp. Folgewerten und Füllergehalt



8.4 VERFORMUNGSFESTE BEREICHE IM MARSHALL-VERSUCH

1. Grenzen der Bereiche

In den Kapiteln 8.2 und 8.3 wurden in getrennten Betrachtungen verformungsfeste Bereiche über variablen Bindemittel- und Füllergehalt abgegrenzt. Diese Grenzen -Maxima und Minima - wurden anschliessend an den ausgeglichenen Marshall-Werten bestimmt:

- Ueber variablen Bindemittelgehalt:

Bestimmung von SM/FM max und HMM min mit entsprechenden Bindemittelgehalten. Zusätzlich wurden bei diesen Bindemittelgehalten die Werte von RM, HMM, HM, HFB, SM, FM und SM/FM berechnet.

- Ueber variablen Füllergehalt:

Bestimmung von SM/FM max und SM max mit entsprechenden Füllergehalten. Zusätzlich wurden bei diesen Füllergehalten die Werte von RM, RMM, HM, HFMA, HM + VMA, SM, FM und SM/FM berechnet.

Die Werte sind tabellarisch im Anhang G zusammengefasst.

2. Vergleich der Bereiche bestimmt über Bindemittel- und Füllergehalt an Hand des Hohlraumgehaltes HM

Es soll nun verglichen werden, wie weit sich diese beiden verformungsfesten Bereiche decken.

Dazu wurden die bei dem entsprechenden Extremwert bestimmten Werte Bindemittel-, Füller- und Hohlraumgehalt sowohl in das Hohlraumgehalt-Bindemittelgehalt-Diagramm als auch in das Hohlraumgehalt-Füllergehalt-Diagramm eingetragen.

Wie die Diagramme zeigen (Beispiel AB/10/B auf den folgenden Seiten, Uebersicht im Anhang H), stimmen die Grenzen grösstenteils schlecht überein. Die Kurven schneiden sich oder liegen auseinander. Verschiedene Ursachen sind offenbar dafür verantwortlich:

Massgebend ist wohl das Fehlen exakter Grenzen. Wie bereits erwähnt finden allmähliche Uebergänge zwischen den einzelnen Bereichen statt. Die einzelnen Grenzwerte wurden aber als markante Punkte (Maxima, Minima) gewählt. Verschiedene Differenzen sind möglicherweise auch auf Ungenauigkeiten (trotz Ausgleich) bei der Bestimmung der Marshall-Kennwerte zurückzuführen.

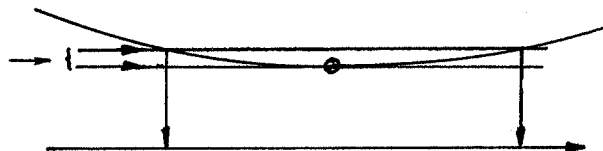
Im weiteren liegen der Bestimmung der Extrema beim Bindemittelgehalt 6 Werte mit Abständen von jeweils nur 0.5 Gew.% zugrunde, beim Füllergehalt jedoch nur 4 mit den grösseren Abständen von 2.5 Gew.% Füller.

Da zur Bestimmung der Grenzwerte interpoliert wird, zeigt sich, dass gerade die 'Füller-Grenzwerte' durch eventuelle Ungenauigkeiten einzelner Punkte sehr stark beeinflusst werden.

Im übrigen sind vielfach die Extrema auch schwierig zu bestimmen, wenn die Kurven flach verlaufen und die Bestimmungen wohl mathematisch exakt, aber optisch in einem oft weiten Bereich möglich sind. So sind z.B. bei kleinen Füllergehalten über variablen Bindemittelgehalt die HMM min nur schwach ausgeprägt und somit die entsprechenden Grenzwerte unsicher.

Kurvenverlauf im Bereich von HMM min

ungefähr gleicher Wert in einem grösseren Bindemittelgehaltsbereich

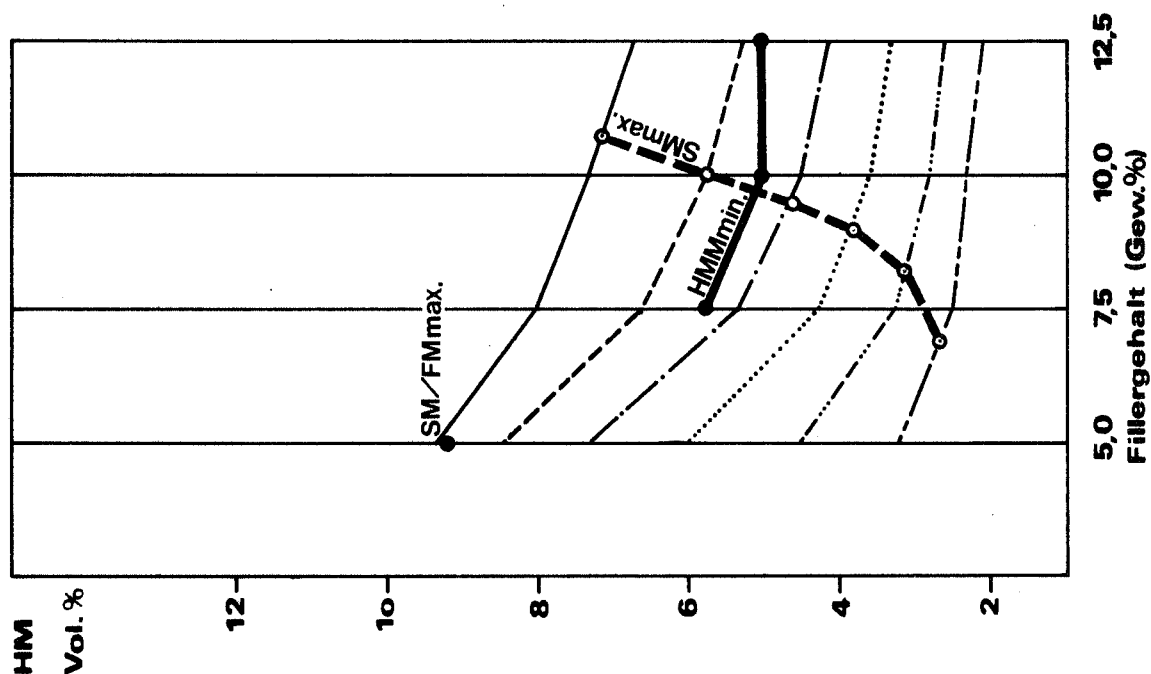
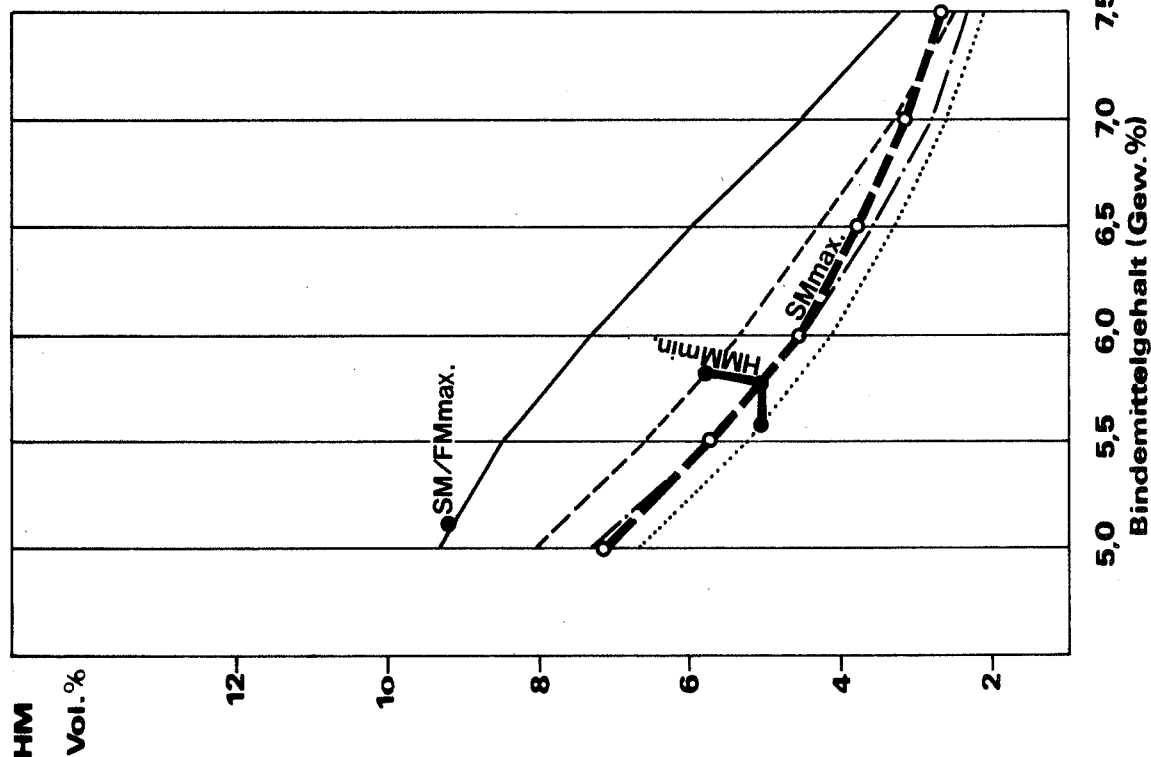


Bindemittelgehalt

Grenzen der verformungsfesten Bereiche in Zusammenhang mit HM

AB 10 / I / B

Ausgeglicheene Werte



Grenzen aus Diagramm

—●— über Bdm.

—○— über Filler

Füllergehalt:

— 5,0 Gew. %

--- 7,5 Gew. %

-.- 10,0 Gew. %

..... 12,5 Gew. %

Bindemittelgehalt:

— 5,0 Gew. %

--- 5,5 Gew. %

-.- 6,0 Gew. %

..... 6,5 Gew. %

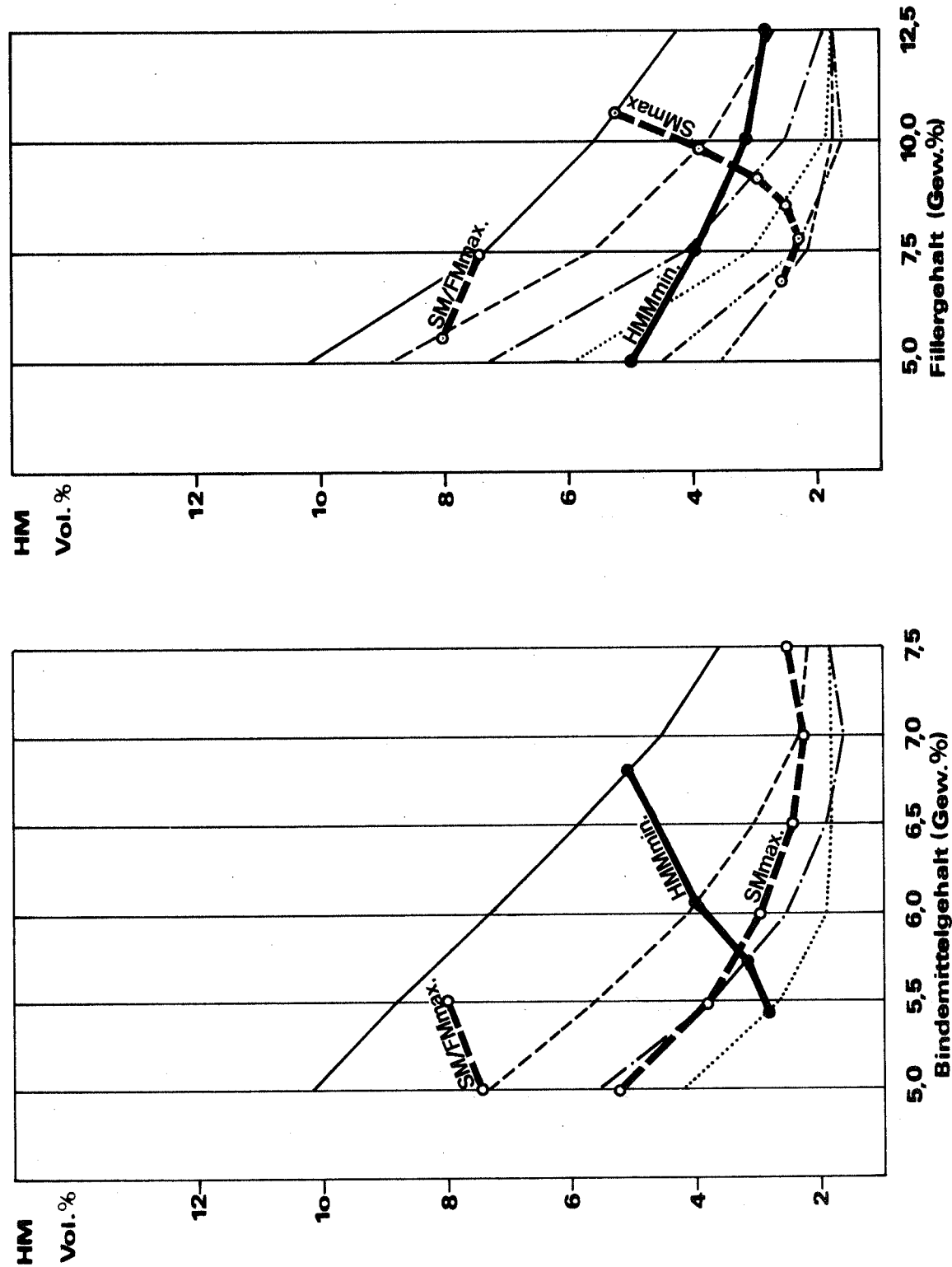
--- 7,0 Gew. %

--- 7,5 Gew. %

Grenzen der verformungsfesten Bereiche in Zusammenhang mit HM

Ausgeglicheene Werte

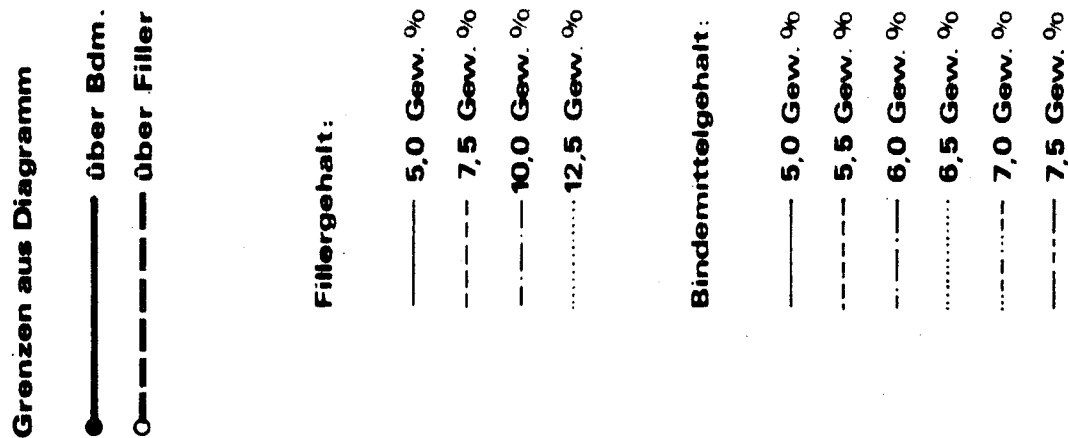
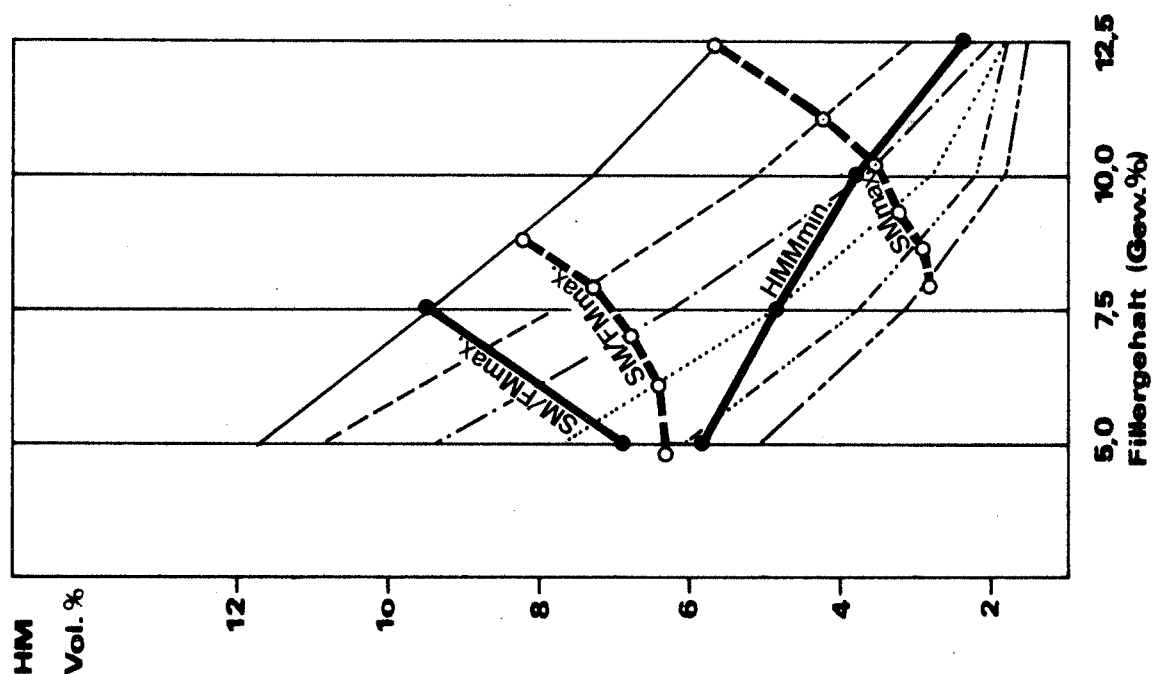
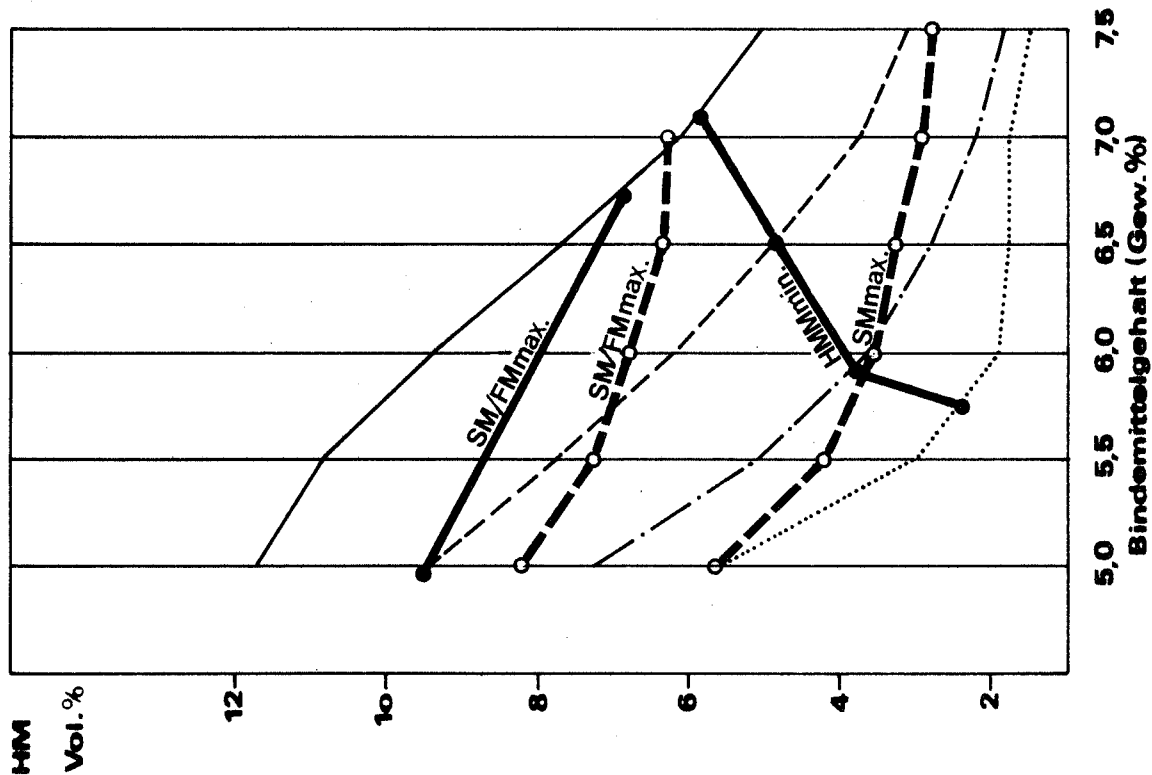
AB 10 / II / B



Grenzen der verformungsfesten Bereiche in Zusammenhang mit HM

AB 10 / III / B

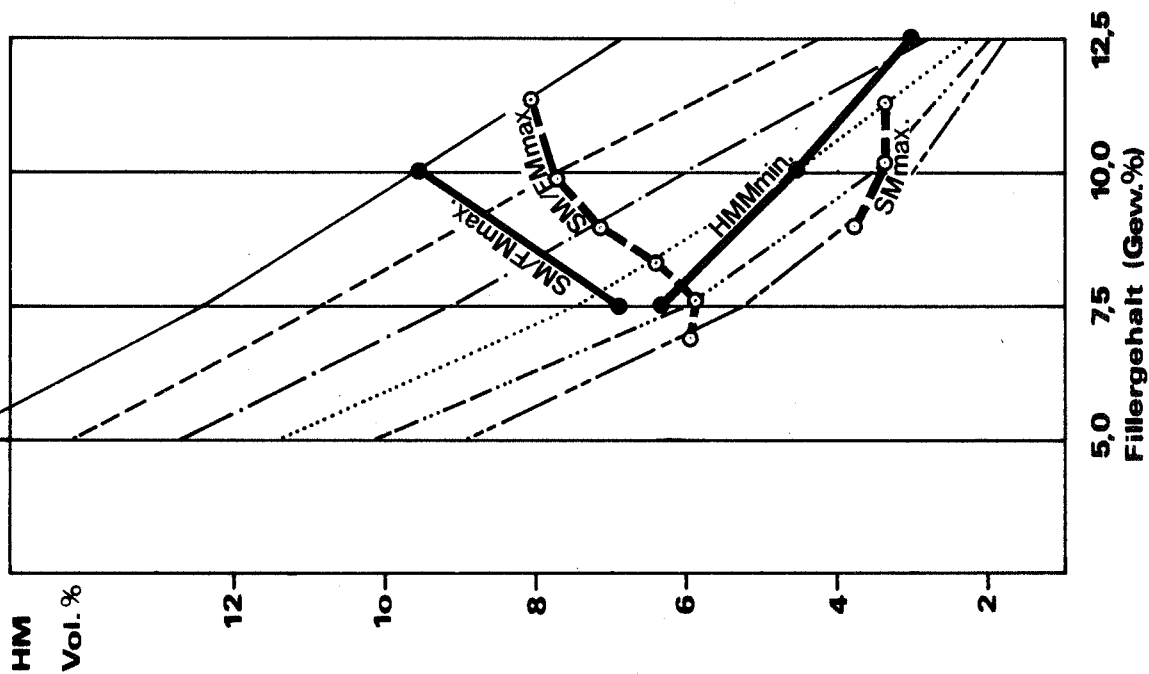
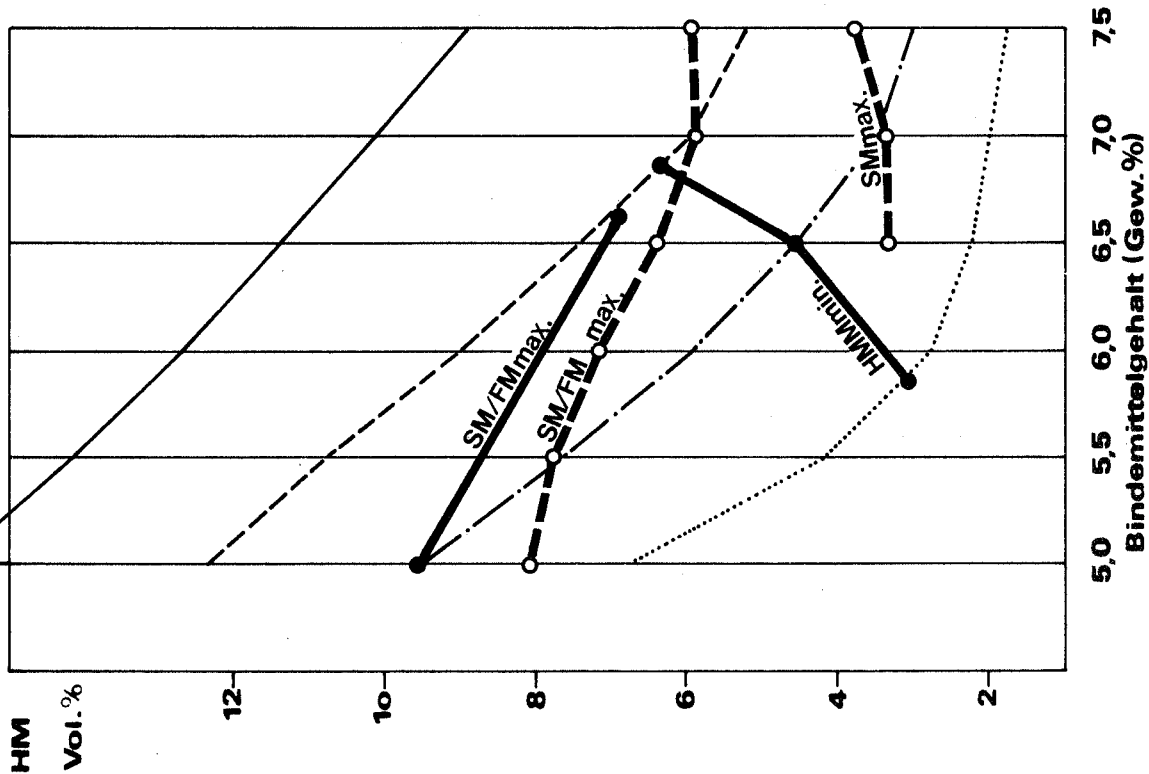
Ausgeglichenne Werte



Grenzen der verformungsfesten Bereiche in Zusammenhang mit HM

Ausgeglichenne Werte

AB 10 /IV/B



Grenzen aus Diagramm

—●— über Bdm.

- - -○- - über Filler

Füllergehalt:

— 5,0 Gew. %

- - - 7,5 Gew. %

- . - 10,0 Gew. %

..... 12,5 Gew. %

Bindemittelgehalt:

— 5,0 Gew. %

- - - 5,5 Gew. %

- . - 6,0 Gew. %

..... 6,5 Gew. %

- . - 7,0 Gew. %

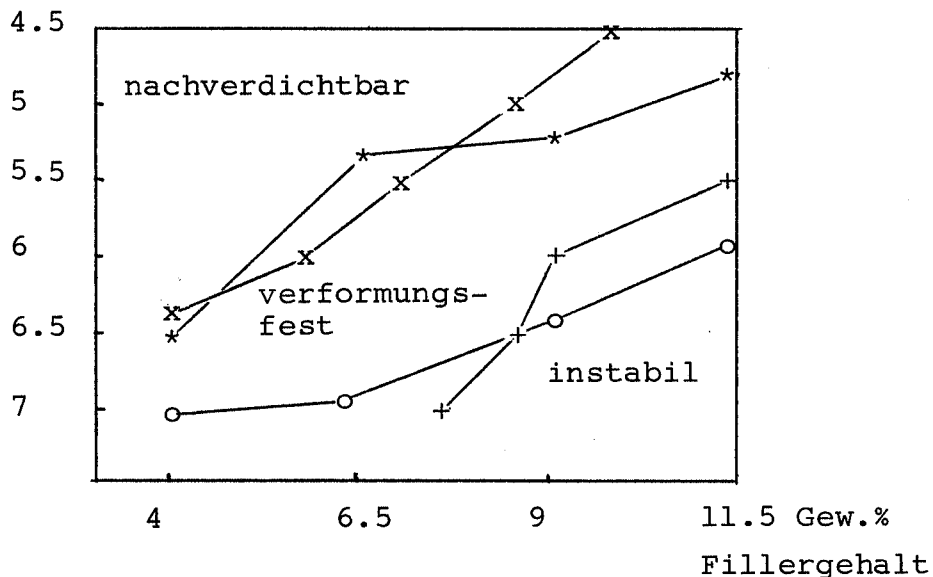
- - - 7,5 Gew. %

3. Darstellung in einer Bindemittel-Fillerebene

Trägt man die bei SM max und HMM min ermittelten Bindemittelgehalte (Fillergehalt konstant) und die bei SM/FM max ermittelten Füllergehalte (Bindemittelgehalt konstant) in eine Filler-Bindemittel-Ebene ein, so lassen sich sowohl die gemeinsamen verformungsfesten wie die nachverdichtbaren resp. instabilen Bereiche gegeneinander abgrenzen.

Prinzipskizze:

Bindemittelgehalt
Gew. %



variabler Bindemittelgehalt: * SM/FM max
o HMM min
variabler Füllergehalt : x SM/FM max
+ SM max

Die Diagramme (siehe Seite 97 ff) unter dem Titel 'Empfohlene verformungsfeste Bereiche' enthalten die entsprechenden Grenzen von SM/FM max, HMM min (für variablen Bindemittelgehalt) und SM/FM max, SM max (für variablen Füllergehalt).

4. Beurteilung der Grenzen bestimmt über variablen Bindemittelgehalt

Für die verschiedenen Siebkurven umfassen die Werte von HM, SM, FM, SM/FM für SM/FM max und HMM min folgende Spanneiten:

SM/FM max					HMM min					
	HM Vol %	SM kN	FM mm	SM/FM _{max} kN/mm	HM Vol %	SM kN	FM mm	SM/FM kN/mm	HMM min Vol %	
AB 10	I	>6.1÷ 10.0*	6.1÷ >8.3	2.3÷ <2.8	2.4÷ 3.2	3.7÷ 5.9	7.0÷ 7.9	2.5÷ 3.0	2.3÷ 3.0	17.0÷ 19.6
	II	÷ >10.2	<7.2÷ >10.2	<2.1÷ <3.6	>2.7÷ >4.2	2.9÷ 5.0	2.9÷ 9.8	2.5÷ 3.8	2.3÷ 3.1	15.7÷ 20.1
	III	÷ >11.4	7.9÷ >11.4	<1.9÷ <3.3	>3.4÷ >3.3	2.4÷ (9.6)	8.0÷ 10.7	2.0÷ 4.1	2.4÷ 4.2	16.0÷ 22.0
	IV	> 6.8÷ >14.8	>6.3÷ >12.4	<2.0÷ <3.0	>3.2÷ >4.6	3.0÷ (12.8)	6.4÷ 11.7	2.1÷ 3.6*	3.0*÷ 3.8	16.8÷ 25.1
AB 16	I	>7.6	6.3÷ >7.7	> 2.5	z 2.6	z 6.0	z 6.7	≦ 2.5	≦ 2.7	17.9÷ 18.4
	II	7.2÷ 7.7*	7.4÷ >10.0	2.1÷ 2.3*	z 3.2	3.5÷ 4.9	7.6÷ 9.9	2.3÷ 3.0	3.1÷ 3.7	14.1÷ 18.9
	III	8.2÷ 9.4*	7.7÷ >12.4	1.9÷ 2.0	z 4.0	2.9÷ 4.4	9.9÷ 11.6	2.3÷ 3.3	3.3÷ 4.6	14.9÷ 18.8
	IV	9.0÷ 11.0*	9.0÷ >15.9	2.0	z 4.6	3.3÷ (6.0)	9.7÷ 14.1	2.2÷ 3.1	≦ 4.8	16.1÷ 23.5

* bestimmter Wert

() extremer Wert bei ungünstigen Mischungen

SM/FM max als Grenze zwischen verformungsfestem und nachverdichtbarem Bereich:

Es zeigt sich, dass die Grenze beim AB 10 praktisch nie und beim AB 16 nur von wenigen, vor allem fillerarmen Mischungen erreicht wird. Meistens liegt somit SM/FM max bei geringeren als den hier untersuchten Bindemittelgehalten. Trotzdem lässt sich abschätzen, dass diese Grenze bei im allgemeinen grossen Hohlraumgehalten liegt: für den AB 10 oft über 10 Vol.%, für den AB 16 bei 7-11 Vol.%.

Die Stabilitäten bewegen sich im Rahmen von 6 bis 12 kN mit einzelnen Höchstwerten bis 16 kN. Die Fließwerte sind gering und bewegen sich ziemlich unabhängig von Bindemittelgehalt um 2mm.

Die SM/FM max weisen Werte von 2.4 bis 4.6 kN/mm auf.

HMM min als Grenze zwischen verformungsfestem und instabilem Bereich:

Die Grenze wird von beiden Mischgutsorten sehr oft erfasst. Ausnahmen sind vor allem bei den extremen Siebkurven I und IV sowie bei einzelnen sehr fillerarmen oder -reichen Mischungen zu finden.

Interessanterweise liegt diese Grenze bei im allgemeinen hohen HM-Werten von 2.4 bis 6 Vol.%

Die Stabilitäten liegen bei etwa 6 bis 12 kN. Die Fließwerte sind ziemlich stark von der Siebkurve und dem Füllergehalt abhängig. Erstaunlicherweise sind sie mit 2 bis 4 mm zum Teil eher gering. Allerdings liegt HMM min bei Bindemittelgehalten, die bei weiterer Zunahme einen starken Anstieg von FM bewirken.

Die SM/FM-Werte liegen zwischen 2.5 und 5 kN/mm.

5. Beurteilung der Grenzen bestimmt über variablen Füllergehalt

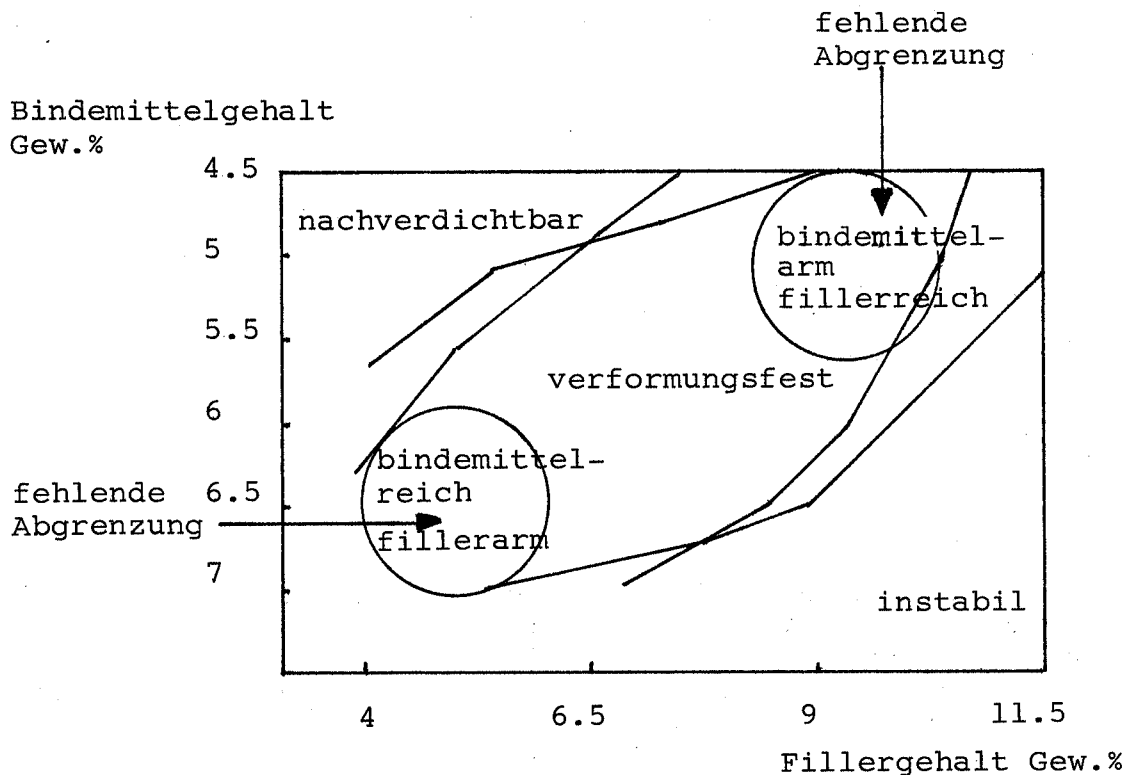
Die Grenzen der verformungsfesten Bereiche, bestimmt über den Füllergehalt, sind aus folgenden Gründen problematisch (vgl. auch 8.4 - 2):

- Die Füllergehalte der untersuchten Mischungen liegen relativ weit auseinander (Abstände 2.5 Gew.%).
- Durch die Interpolation bei der Extremwertbestimmung wirken sich Schwankungen einzelner Punkte stark aus.
- Teilweise flache Kurvenverläufe erschweren zusätzlich die Bestimmung von Extremas.
- Durch die Variation des Füllergehaltes ändert sich der Kornaufbau und dadurch die Wirkungsweise des Mineralstoffgerüsts.

Aus Informationsgründen sind die Grenzen trotzdem in den Bindemittel-Füller-Diagrammen eingetragen, aber für die weitere Untersuchung nicht mehr verwendet worden.

8.5 EINFUEHRUNG VON PRAXISNAHEN GRENZWERTEN

Generell kann ein verformungsfester Bereich allein auf Grund der Marshall-Versuche definiert werden. Die Problematik liegt nun einerseits in den bereits erwähnten stark streuenden und deshalb weggelassenen Filler-Grenzwerten (bestimmt über variable Füllergehalte, Kap. 8.4 -5) und andererseits in fehlenden Abgrenzungen des Bereichs:



Zur Erweiterung und Verbesserung der Abgrenzung eines verformungsfesten Bereiches wurden deshalb Werte aus der Praxis übernommen, die auf Grund der Erfahrung gewählt wurden.

Folgende Grenzwerte wurden zusätzlich in das Filler/Bitumengehalts-Diagramm eingetragen:

Hohlraumgehalt	HM = 3 Vol. %
	HM = 8 Vol. %
Fliesswert	FM = 3 mm
	FM = 3.5 mm
Konzentration	C = 0.25
	C = 0.40

Beurteilung

Hohlraumgehalt HM :

Die Grenzen von 3 Vol. % liegen fast ausschliesslich im dichten, instabilen Bereich. Die HMM min-Kurven wirken somit meistens einschneidender als HM von 3 Vol. %. Die Grenzen von 8 Vol. % liegen oft nahe bei den Begrenzungen gegen den 'nachverdichtbaren Bereich', die von SM/FM max über Filler- und Bindemittelgehalt bestimmt werden.

Fliesswert FM :

Während sich die Grenze von 3 mm nahe bei HMM min bewegt, liegt diejenige von 3,5 mm eindeutig jenseits von HMM min im instabilen Bereich.

Konzentration C :

Wie das Diagramm auf der nächsten Seite zeigt, steigen die Erweichungspunkte R. u. K. mit zunehmender Konzentration C an. Im C-Bereich bis etwa 0.25 erfolgt eine schwache Versteifung des Bindemittels durch den Filler. Im mittleren C-Bereich von 0.25-0.40 zeigt eine deutliche Zunahme der Erweichungspunkte die Wirkung des Fillers. Ab einem Wert von etwa 0.4 erfolgt ein sehr starker Anstieg, der die Gefahr von zu steifem (sprödem) und fillerreichem Mastix signalisiert.

Die gewählte Abgrenzung ist als Vorschlag und nicht als absolute Grösse zu werten.

Erweichungspunkt R.u.K. von Mörtelmischungen in Funktion der Konzentration C

Erweichungspunkt
Ring u. Kugel

°C

110

100

90

80

70

60

50

Bit.80/100

0

0,1

0,2

0,3

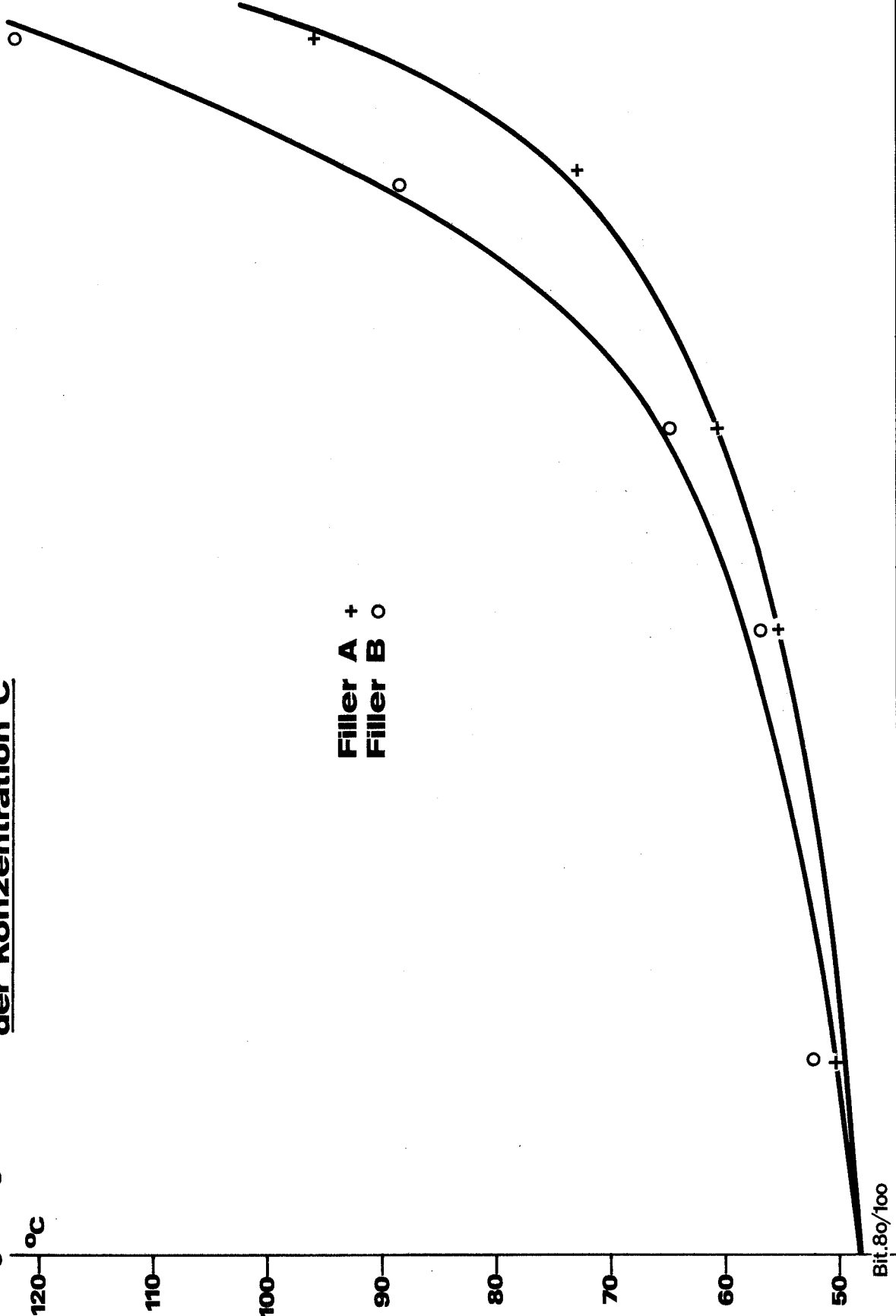
0,4

0,5

0,6

C

Filler A +
Filler B o



8.6 'EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE'

Auf Grund der vorhergehenden Ueberlegungen resultiert ein 'empfohlener verformungsfester Bereich', der folgende Grenzen aufweist:

gegen den instabilen Bereich	: HMM min
gegen den nachverdichtbaren Bereich	: HM = 8 Vol.%
gegen den fillerarmen, bindemittelreichen Bereich	: C = 0.25
gegen den fillerreichen, bindemittelarmen Bereich	: C = 0.40

Damit werden Abgrenzungen vorgeschlagen, die einerseits auf generellen Ueberlegungen über die Wirkungsweise von Asphaltmischungen im Marshall-Versuch beruhen, andererseits aus der Praxis entnommen sind, die erfahrungsgemäss nicht ohne Nachteile über- resp. unterschritten werden dürfen.

Sämtliche Grenzwerte (aus theoretischen Ueberlegungen und Praxis) sind in den folgenden Diagrammen 'Empfohlene verformungsfeste Bereiche' eingetragen.

Die Bereiche, die von obigen Grenzen umschlossen werden, sind punktiert hervorgehoben.

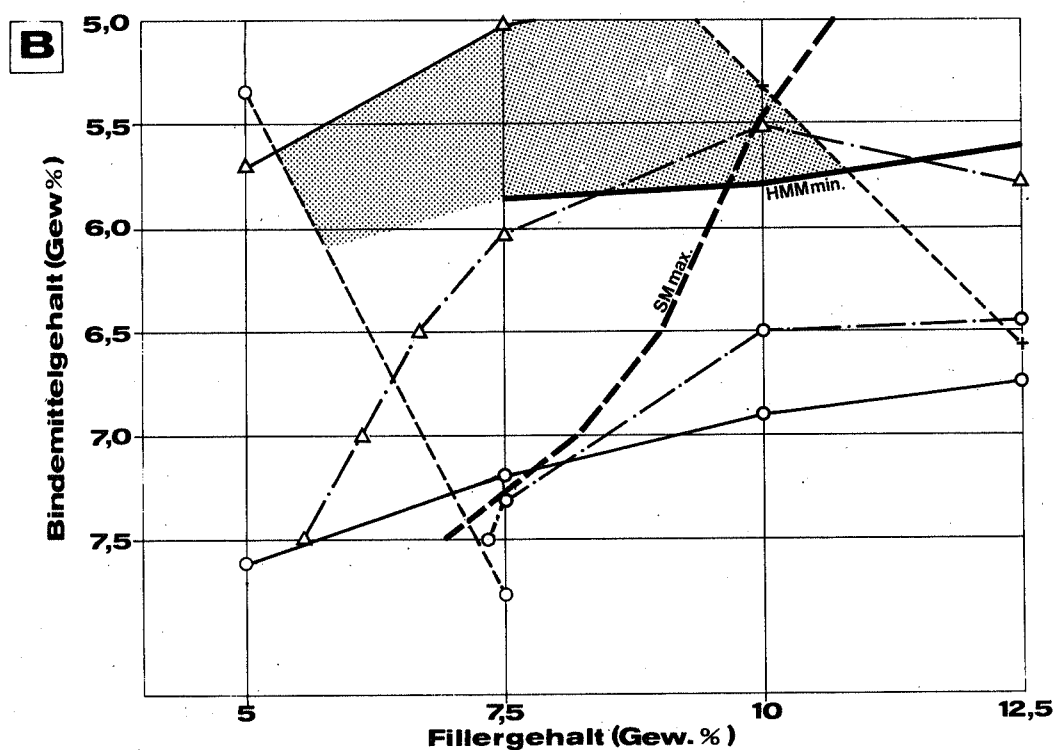
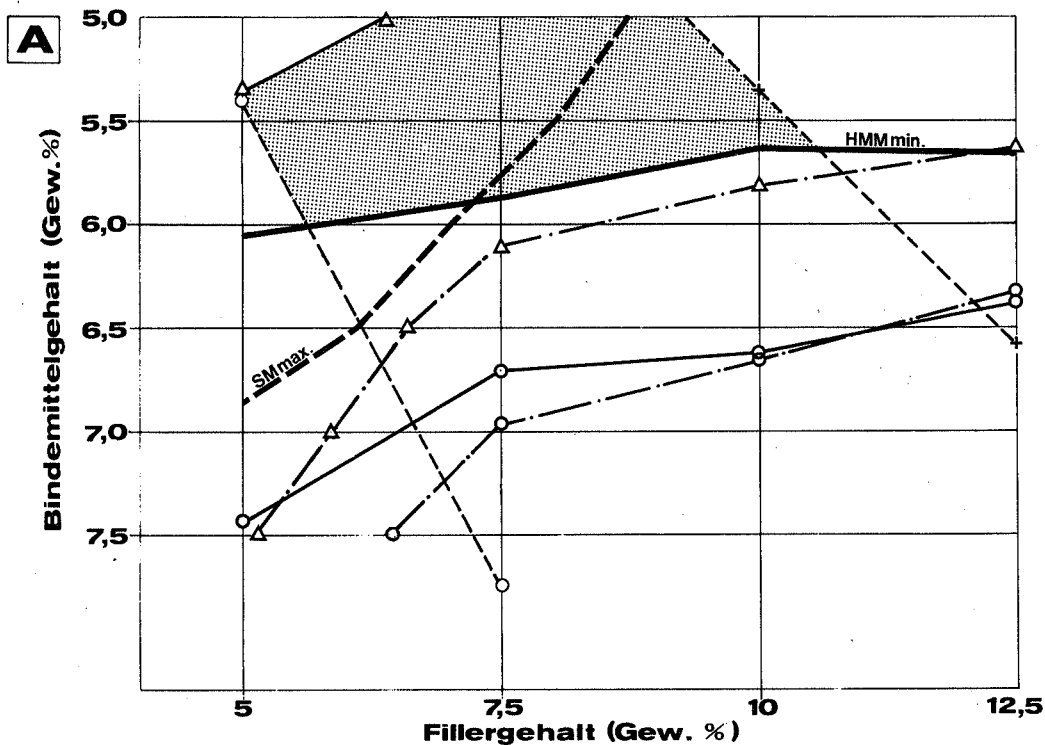
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

AB 10/I

C = 0,25 ○-----○
 0,4 +-----+
 HM = 8 Vol.% △-----△
 3 Vol.% ○-----○
 FM = 3 mm △-----△
 3,5 mm ○-----○



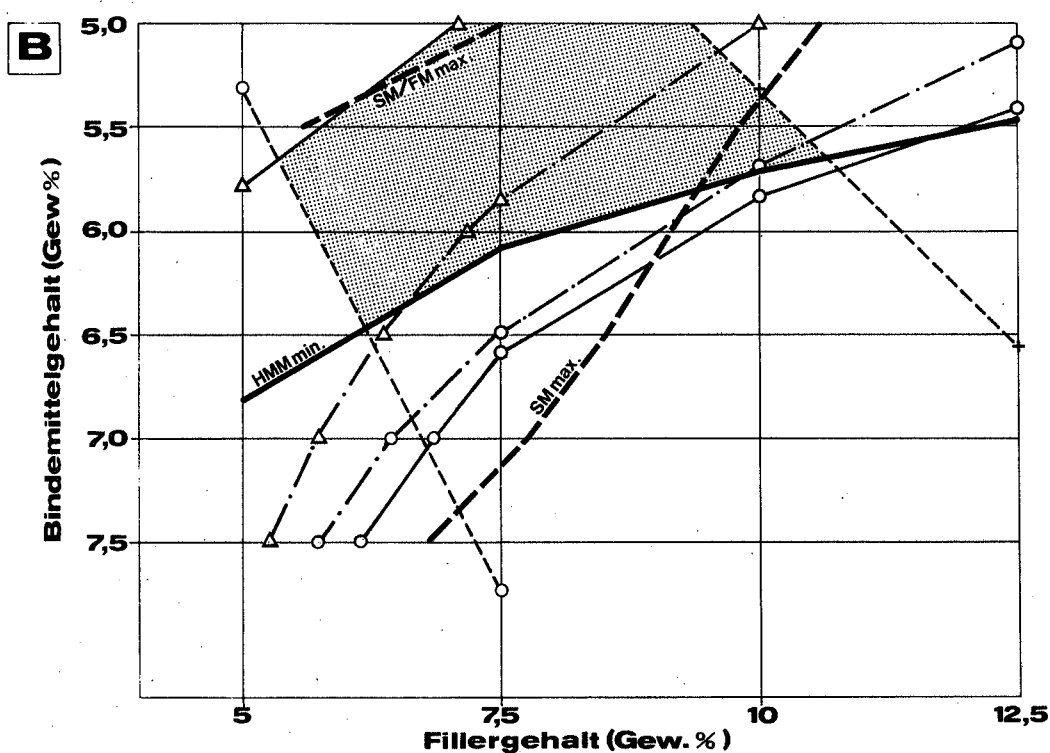
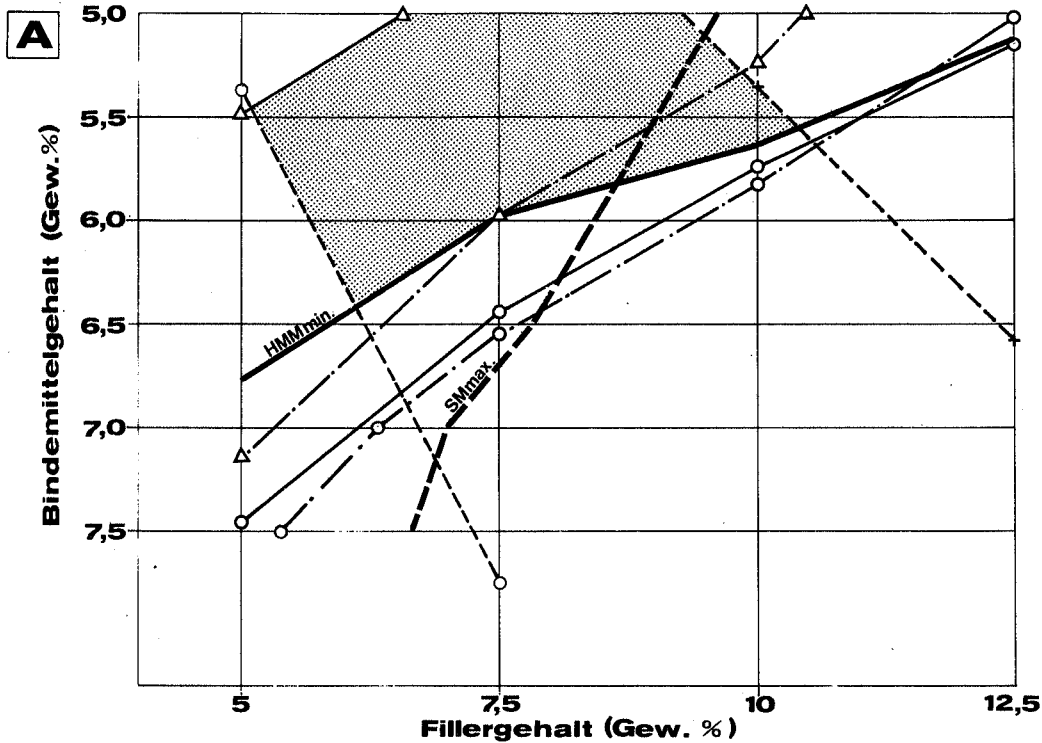
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

C = 0,25 ○-----○
 0,4 +-----+
 HM = 8 Vol.% △-----△
 3 Vol.% ○-----○
 FM = 3 mm △-----△
 3,5 mm ○-----○

AB 10/II



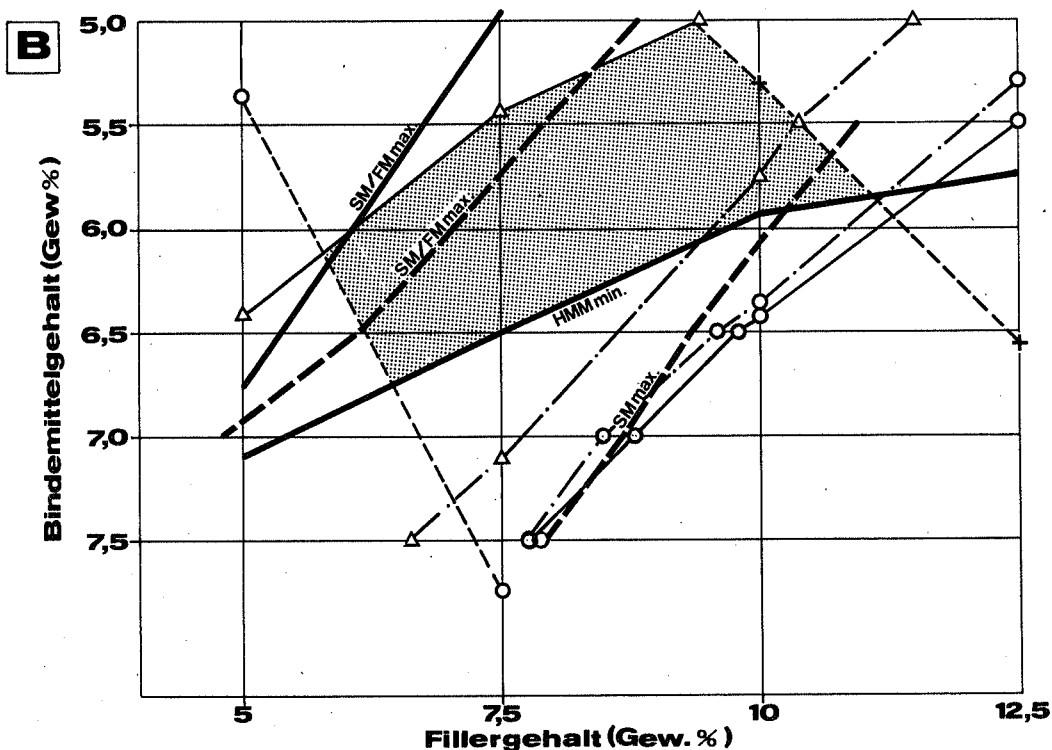
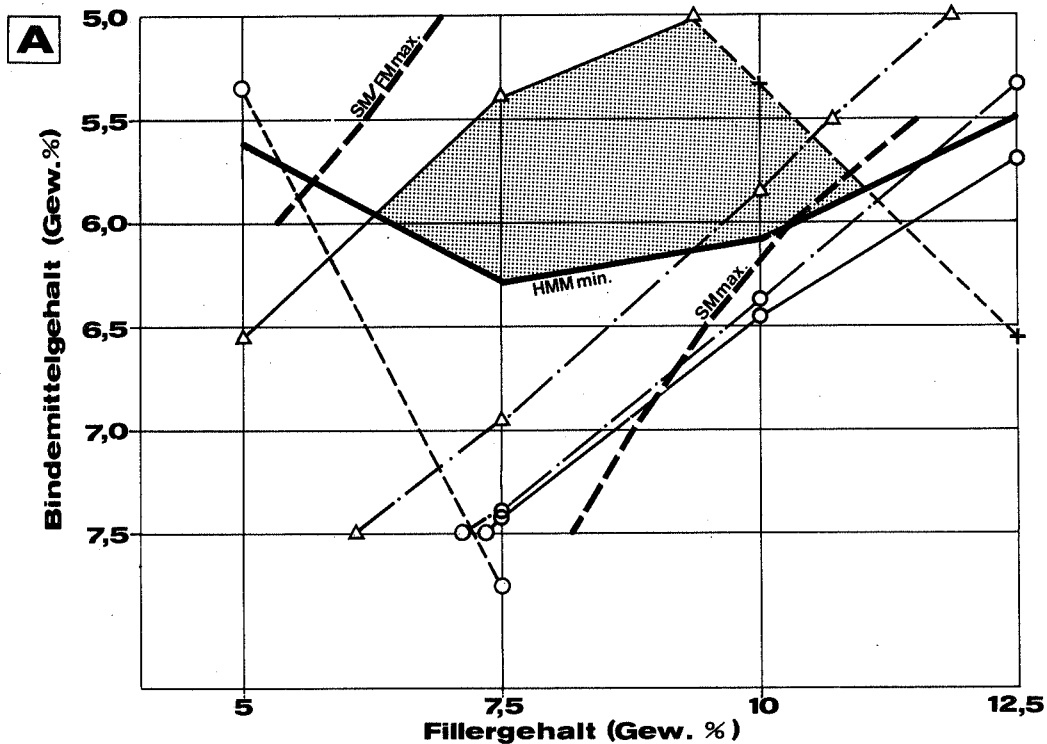
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

AB 10/III

C = 0,25 ○-----○
 0,4 +-----+
 HM = 8 Vol.% △-----△
 3 Vol.% ○-----○
 FM = 3 mm △-----△
 3,5 mm ○-----○



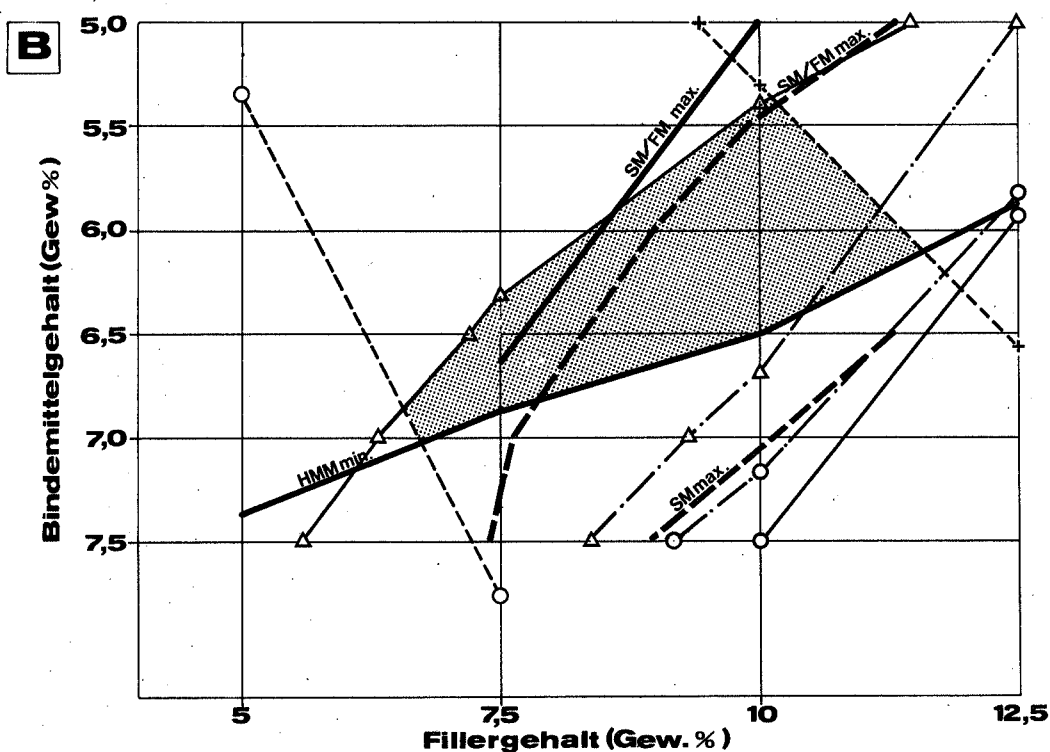
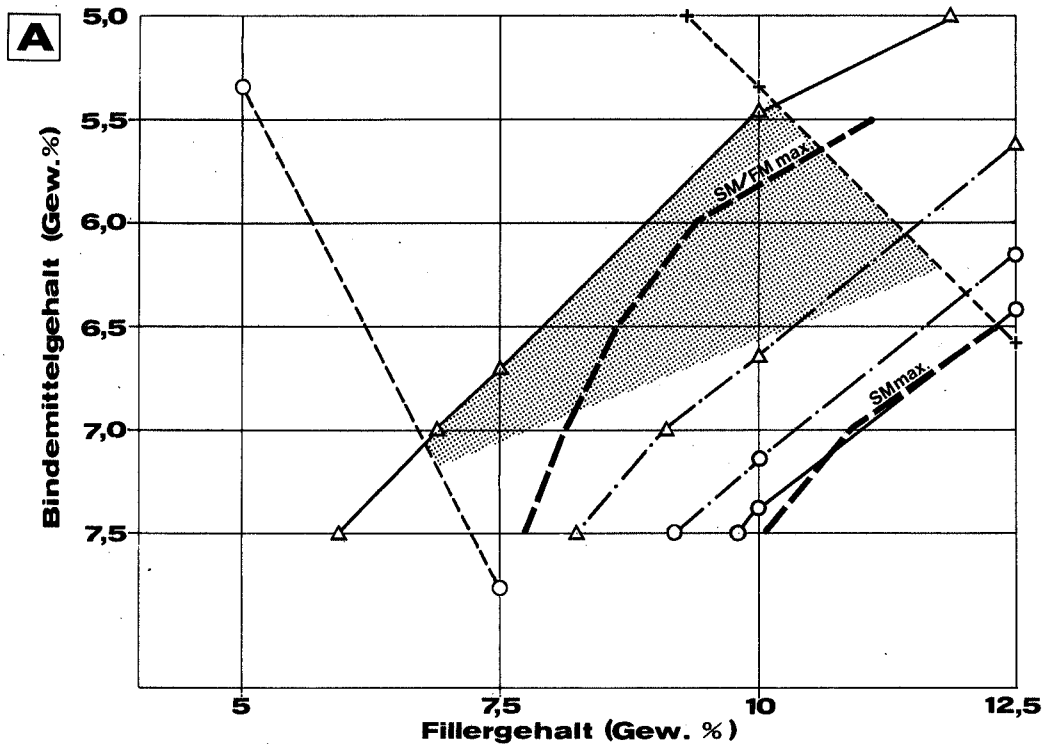
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

AB 10/IV

C = 0,25 ○-----○
 0,4 +-----+
 HM = 8 Vol.% △-----△
 3 Vol.% ○-----○
 FM = 3 mm △-----△
 3,5 mm ○-----○



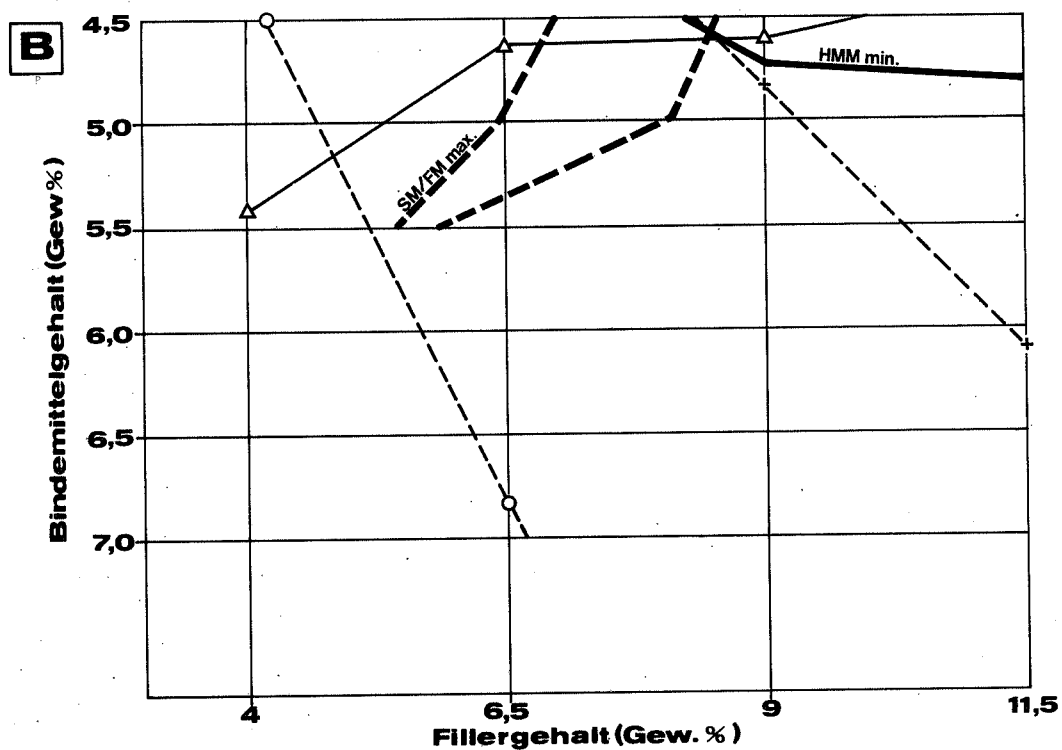
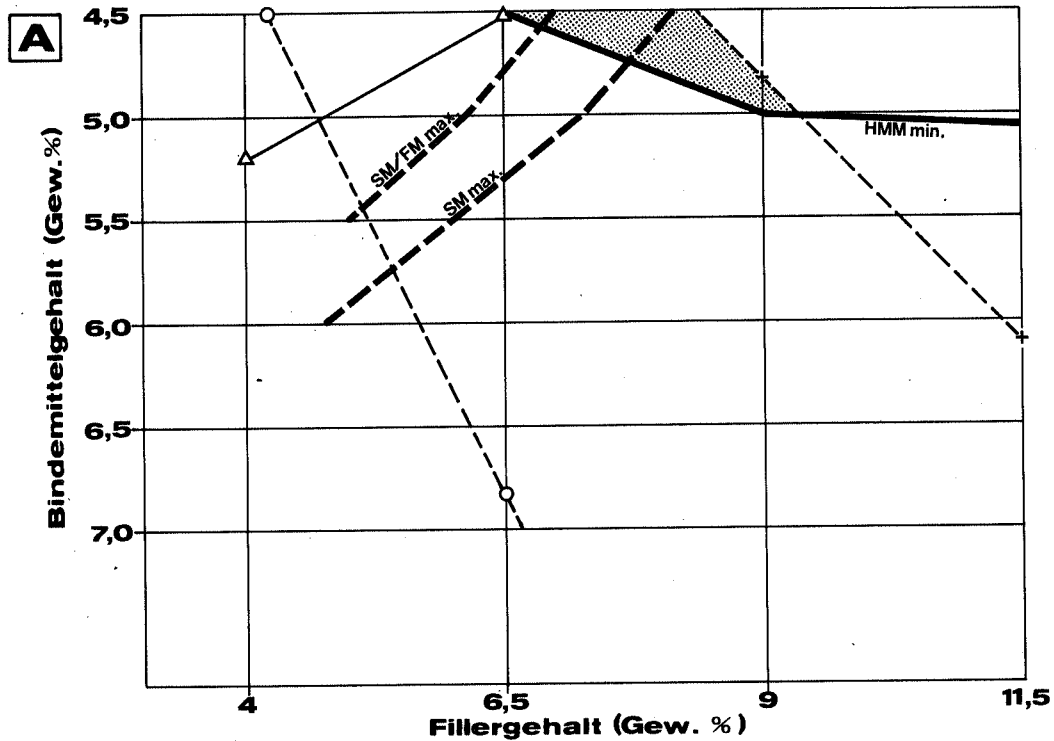
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

AB 16/ I

C = 0,25 ○ - - - - - ○
 C = 0,4 + - - - - +
 HM = 8 Vol.% △ - - - - - △
 HM = 3 Vol.% ○ - - - - - ○
 FM = 3 mm △ - - - - - △
 FM = 3,5 mm ○ - - - - - ○



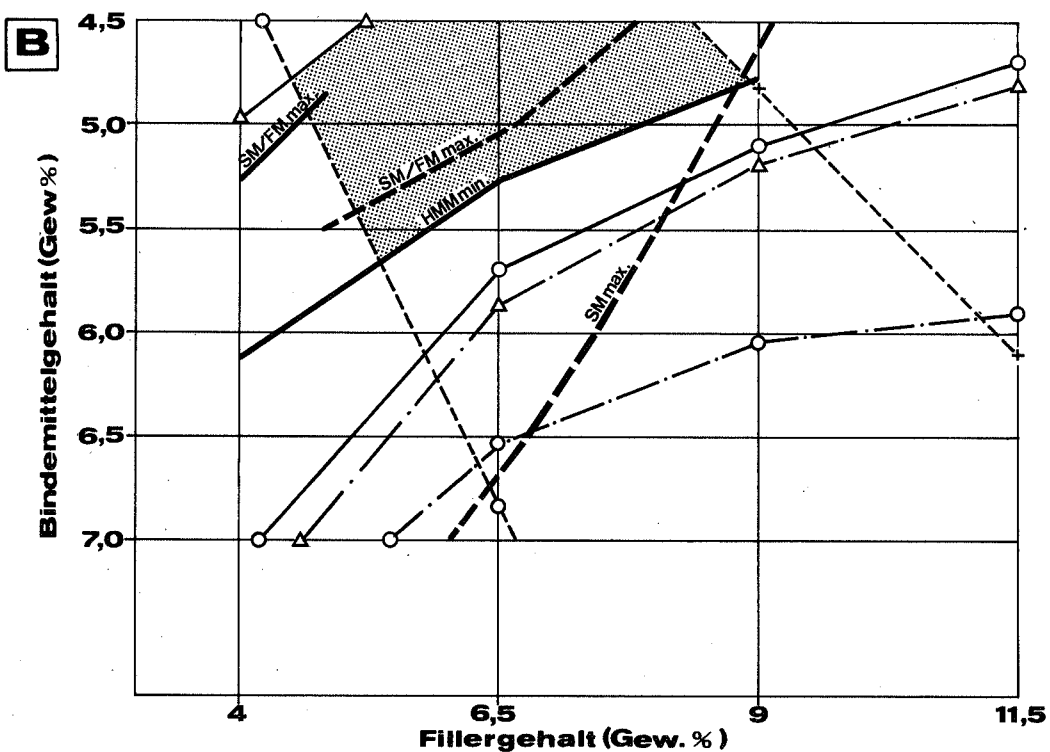
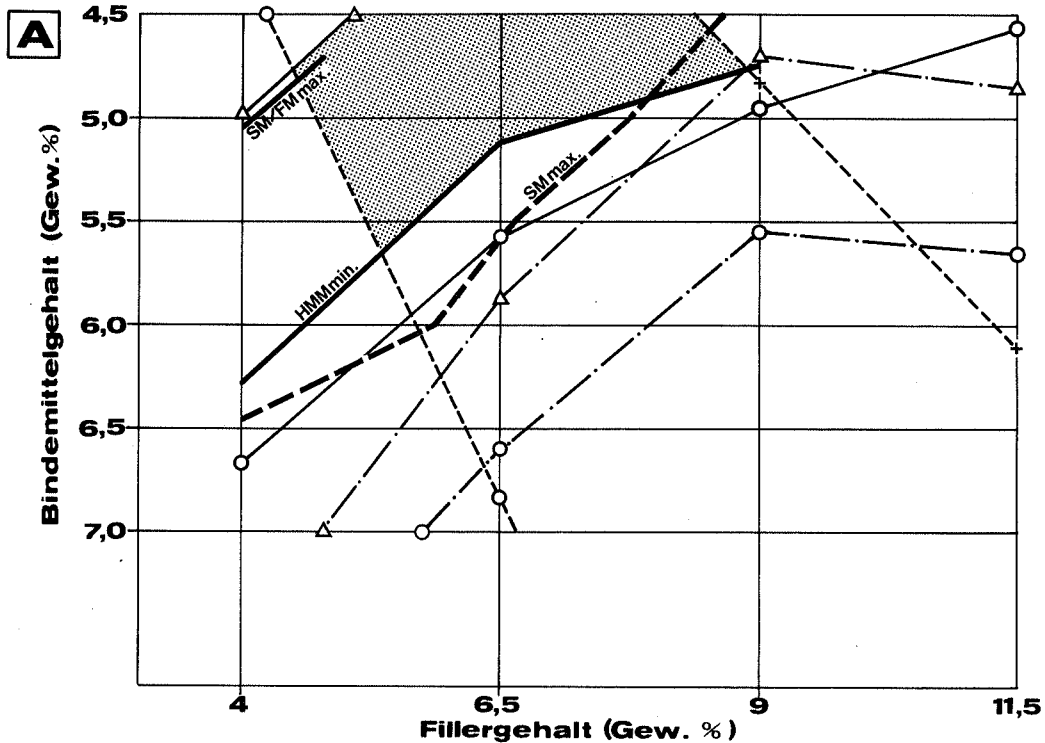
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

C = 0,25 ○ - - - - ○
 0,4 + - - - +
HM = 8 Vol.% △ - - - △
 3 Vol.% ○ - - - ○
FM = 3 mm △ - - - △
 3,5 mm ○ - - - ○

AB 16/II



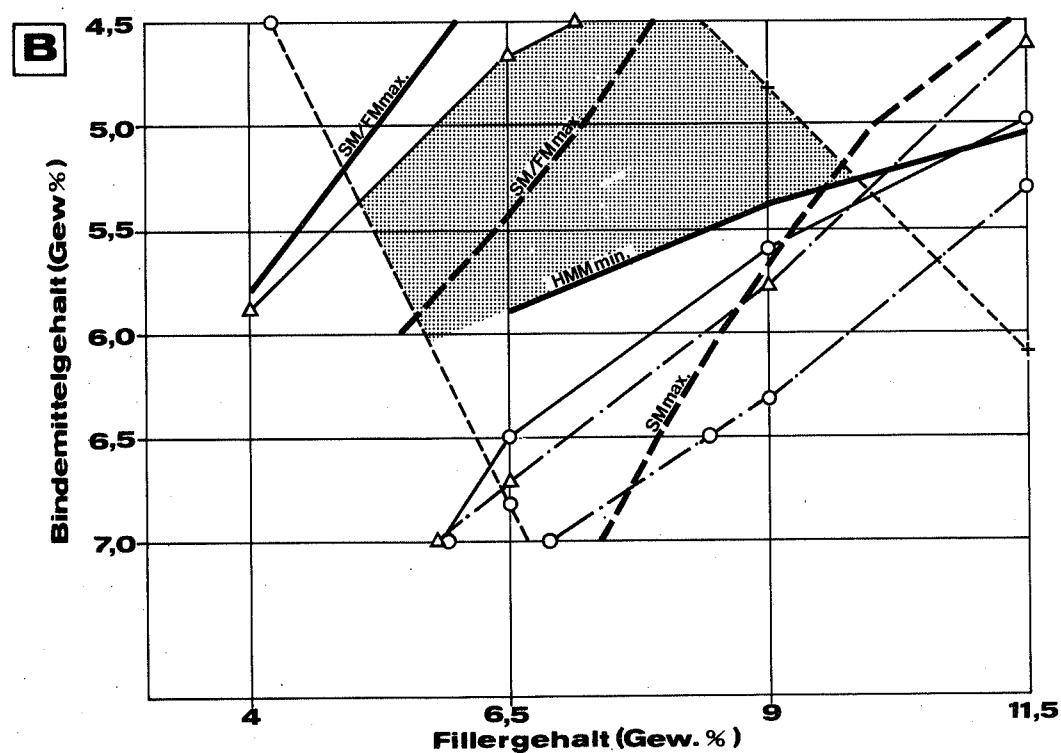
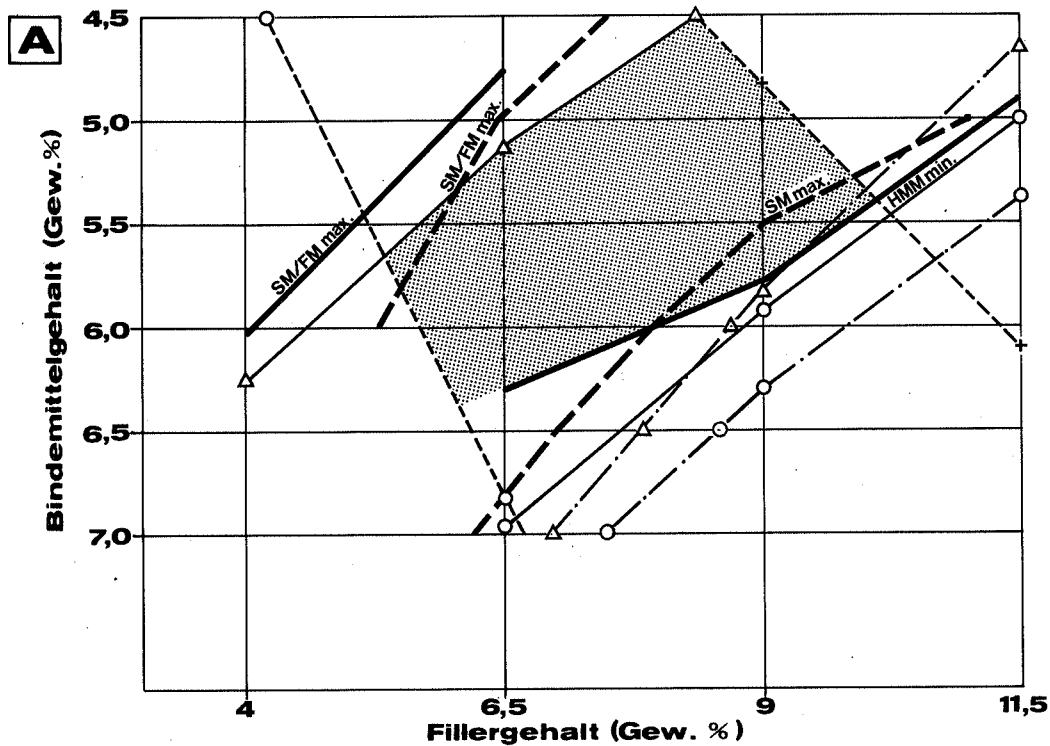
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

C = 0,25 ○ - - - - ○
 0,4 + - - - - +
 HM = 8 Vol.% △ - - - - △
 3 Vol.% ○ - - - - ○
 FM = 3 mm △ - - - - △
 3,5 mm ○ - - - - ○

AB 16/III



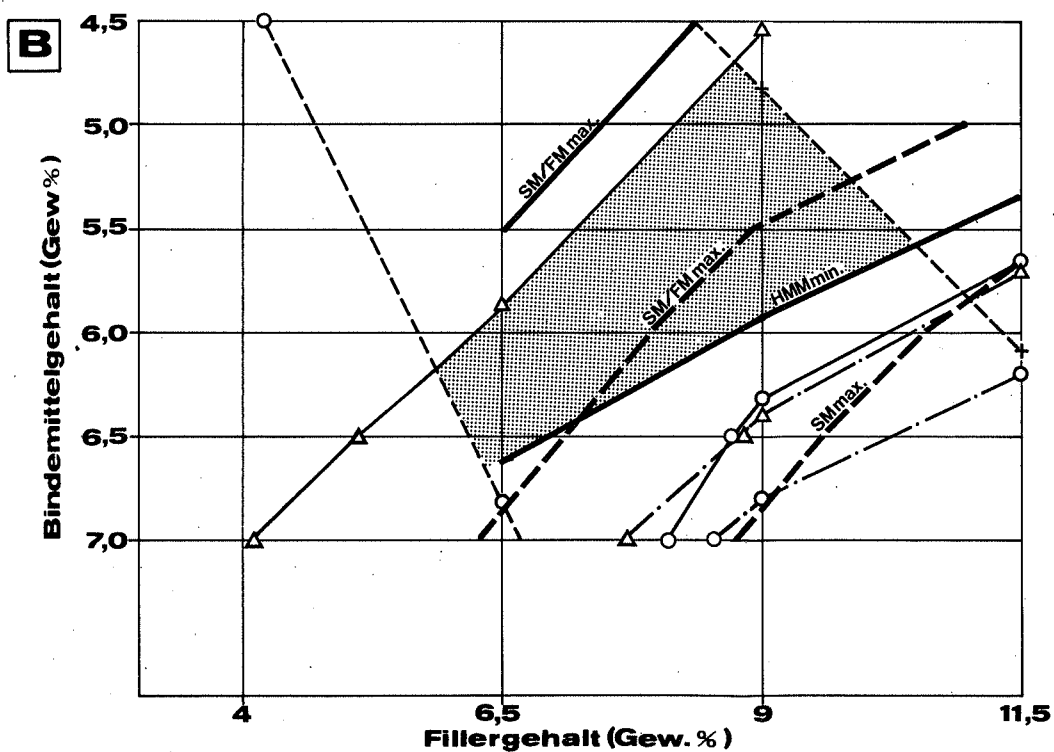
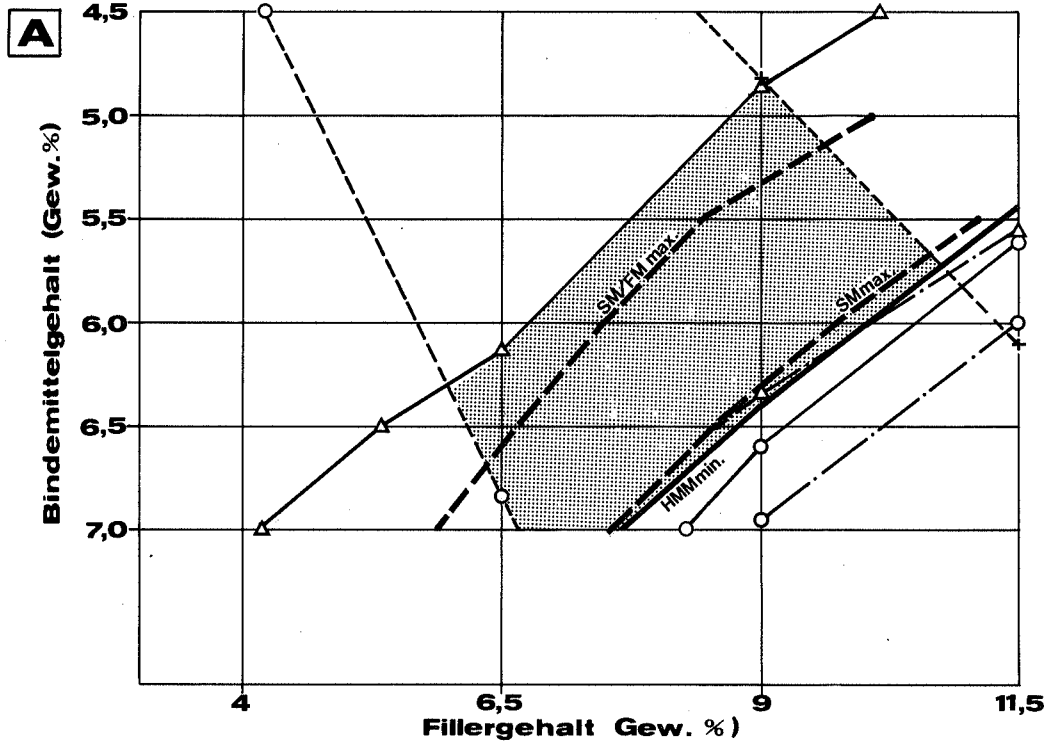
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

Mögliche Grenzen ——— über Bdm. (SM/FM max. bzw. HMM min)
 - - - - - über Filler (SM/FM max. bzw. SM max)

Vergleich mit praxisbezogenen Werten

AB 16/IV

C = 0,25 ○-----○
 0,4 +-----+
 HM = 8 Vol.% △-----△
 3 Vol.% ○-----○
 FM = 3 mm △-----△
 3,5 mm ○-----○



8.7 Verformungsfeste Bereiche gemäss Schweizer Norm 640 431

Die Anwendung der Normanforderungen an die Marshall-Werte ergibt Gültigkeitsbereiche, die in gleicher Weise wie die 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' in Bindemittel-Filler-Diagrammen dargestellt werden können.

Die Anforderungen an Marshall-Prüfkörper in der Schweizer Norm 640 431 lauten:

Schichten und Sorten	SM min. kN	FM mm	SM/FM min. kN/mm	HM Vol. %	
AB/TA 10s, 16s, 16us,	10	1,5..3,5	3,3	3....6	} a*
TF > 1000 AB/TA 10, 16, 16u	9	1,5..3,5	3,0	3....6	
100 < TF ≤ 1000 AB/TA 10, 16, 16u	8	1,5..4,0	2,5	3....6	} b*
TF ≤ 100 AB/TA 10, 16, 16u	6	1,5..4,5	2,0	2....6	

* Für die weiteren Vergleiche werden die Anforderungen mit Kategorie a und Kategorie b bezeichnet (vgl. folgenden Kommentar).

Die Anforderungen an die Korngrößenverteilung der Belagsorten AB 10, 10s, resp. 16u, 16us, 16 und 16s sind jeweils für die aufgeführten Beanspruchungsklassen gleich. Unterschiedlich sind aber die Vorschriften an die Mineralstoffeigenschaften und Bindemittelsorten. Von der Mineralstoffzusammensetzung her -Verwendung gebrochener Mineralstoffe - ist hier ein Vergleich unter den Beanspruchungsklassen s-Beläge, $TF > 1000$ und $100 \leq TF \leq 1000$ möglich. Für Mischgut der Verkehrsklasse $TF < 100$ sind die Mineralstoffe zu hochwertig, diese Klasse wird deshalb nicht in den Vergleich mit einbezogen.

Die Anforderungen an die Marshall-Prüfkörper von s-Belägen und solchen mit $TF > 1000$ unterscheiden sich lediglich in der grösseren Stabilität der ersteren und in der Folge in einem grösseren Verhältnis SM/FM.

Die Anforderungen an HM und FM sind gleich.

Das im Versuch verwendete Bindemittel B 80/100 ist für s-Beläge die weichste zulässige Sorte. Häufiger wird B 60/70 und vereinzelt auch B 40/50 verwendet. Da die Verwendung eines härteren Bindemittels sich vor allem in einer Erhöhung der Stabilität SM und somit auch von SM/FM auswirkt, werden im vorliegenden Vergleich dieselben Anforderungen an die Marshall-Prüfkörper der s-Beläge und für $TF > 1000$ gelegt.

Damit werden zwei Kategorien von Anforderungen beurteilt:

Kategorie a)

s-Beläge und $TF > 1000$ mit den Anforderungen der Kategorie $TF > 1000$

Kategorie b)

$100 \leq TF \leq 1000$ mit den entsprechenden Grenzwerten dieser Kategorie

Die Anforderungen für beide Kategorien lauten wie folgt:

Kategorie			a)	b)
Hohlraumgehalt	HM	Vol %	3 - 6	3 - 6
Fliessen	FM	mm	1.5 - 3.5	1.5 - 4.0
Stabilität	SM	kN	≥ 9	≥ 8
Verhältnis	SM/FM	kN/mm	≥ 3	≥ 2.5

Da die Anforderungen an HM für beide Kategorien gleich sind, können sich diese Normbereiche nur durch die verschiedenen Anforderungen an die mechanischen Marshall-Werte unterscheiden. Die Grenzen der Normbereiche für $TF > 1000$ stimmen deshalb mit denjenigen für $100 < TF \leq 1000$ überein oder liegen innerhalb dieser Bereiche.

Folgende vier Werte werden für die Begrenzung der Normbereiche massgebend:

Kategorie a

AB 10

HM 6 Vol. %
 SM/FM 3 kN/mm
 SM 8 kN
 Füllergehalt 11 Gew. %

Ausnahme:

AB/IV, wo anstelle von SM/FM teilweise FM = 3,5mm massgebend wird

AB 16

HM 6 Vol. %
 HM 3 Vol. %
 SM 9 kN
 Füllergehalt 10 Gew. %

Kategorie b

AB 10

HM 6 Vol. %
 HM 3 Vol. %
 Füllergehalt 5 Gew. %
 Füllergehalt 11 Gew. %

Ausnahme:

AB 10/ I/A mit SM = 8 kN anstelle von HM = 3 Vol. %

AB 10/II/B mit teilweise SM/FM = 2.5 anstelle von HM = 3 Vol. %

AB 16

HM 6 Vol. %
 HM 3 Vol. %
 Füllergehalt 4 Gew. %
 Füllergehalt 10 Gew. %

Ausnahme:

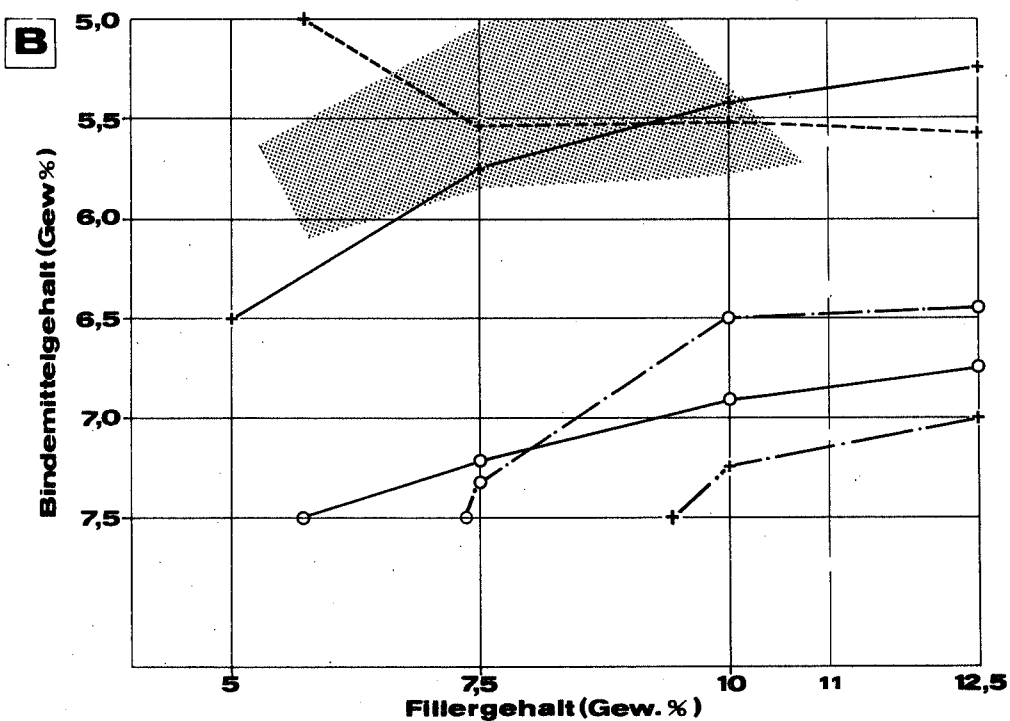
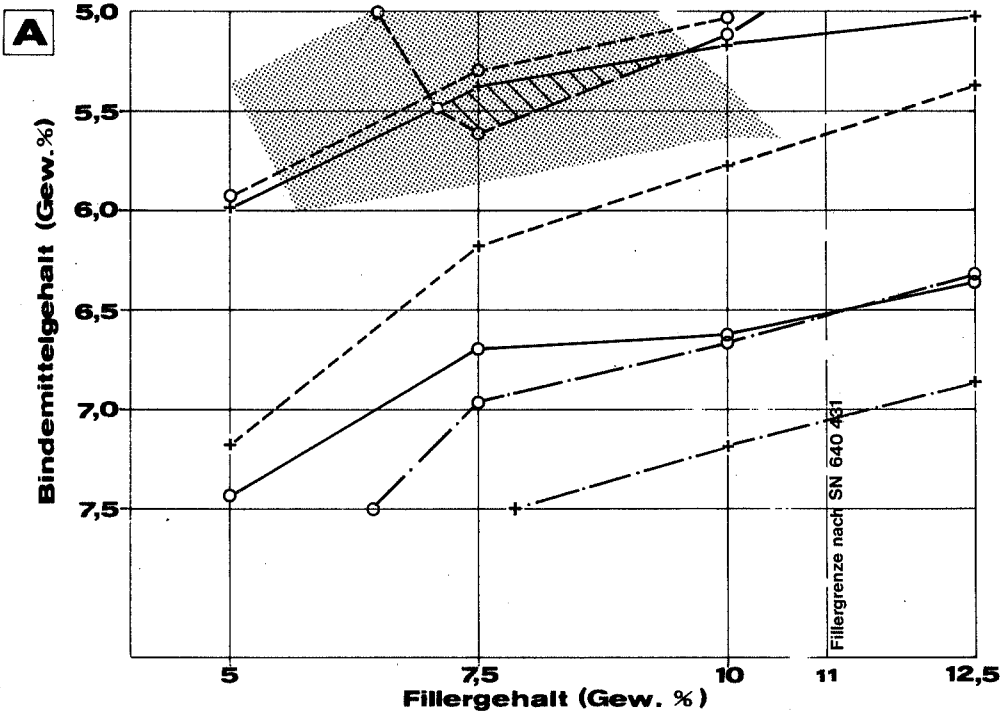
AB 16/II/B, wo anstelle von 4 Gew. % Füllergehalt SM = 8 kN die Grenze zieht.

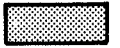
Die Normbereiche für $TF > 1000$ (Kategorie a) und $100 < TF \leq 1000$ (Kategorie b) sind analog der 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' in die Filler-Bitumengehalts-Diagramme eingetragen. Zum direkten Vergleich sind punktiert die 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' eingetragen (siehe folgende Seiten).

EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 10/ I**

SM= 8,0 kN ○---○
 9,0 kN +---+
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○---○
 2,5 kN/mm +---+

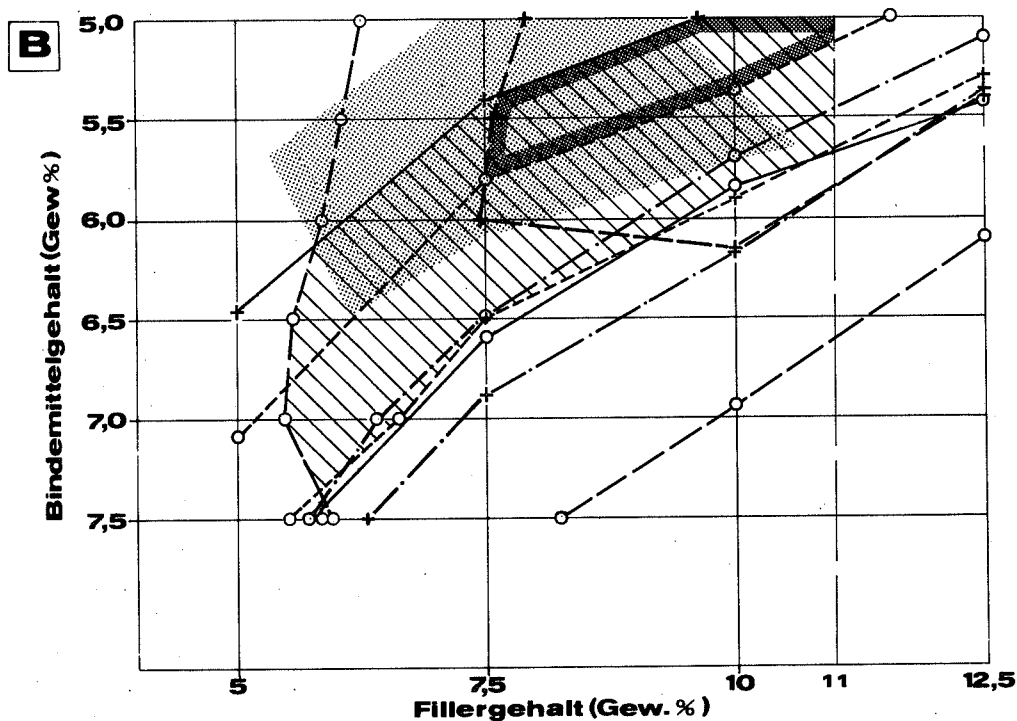
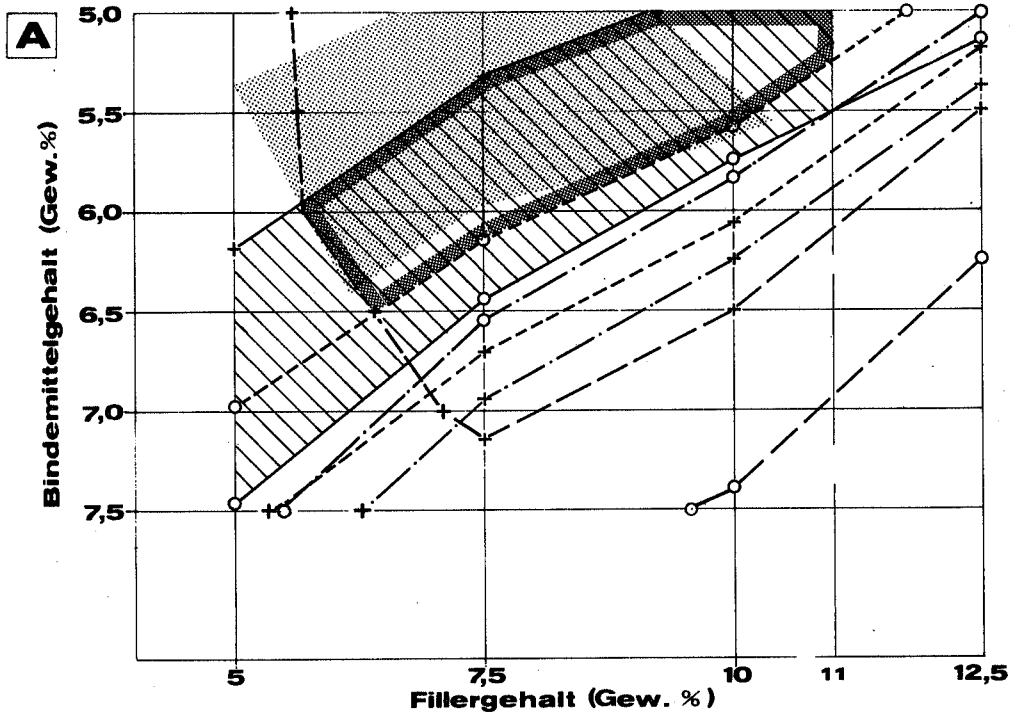
FM= 3,5 mm ○---○
 4,0 mm +---+
 HM= 3 Vol.% ○---○
 6 Vol.% +---+



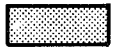
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 10/ II**

SM= 8,0 kN ○ — — — ○
 9,0 kN + — — — +
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○ — — — ○
 2,5 kN/mm + — — — +

FM= 3,5 mm ○ — — — ○
 4,0 mm + — — — +
 HM= 3 Vol.% ○ — — — ○
 6 Vol.% + — — — +



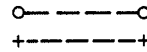
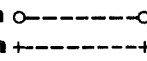
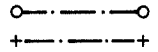
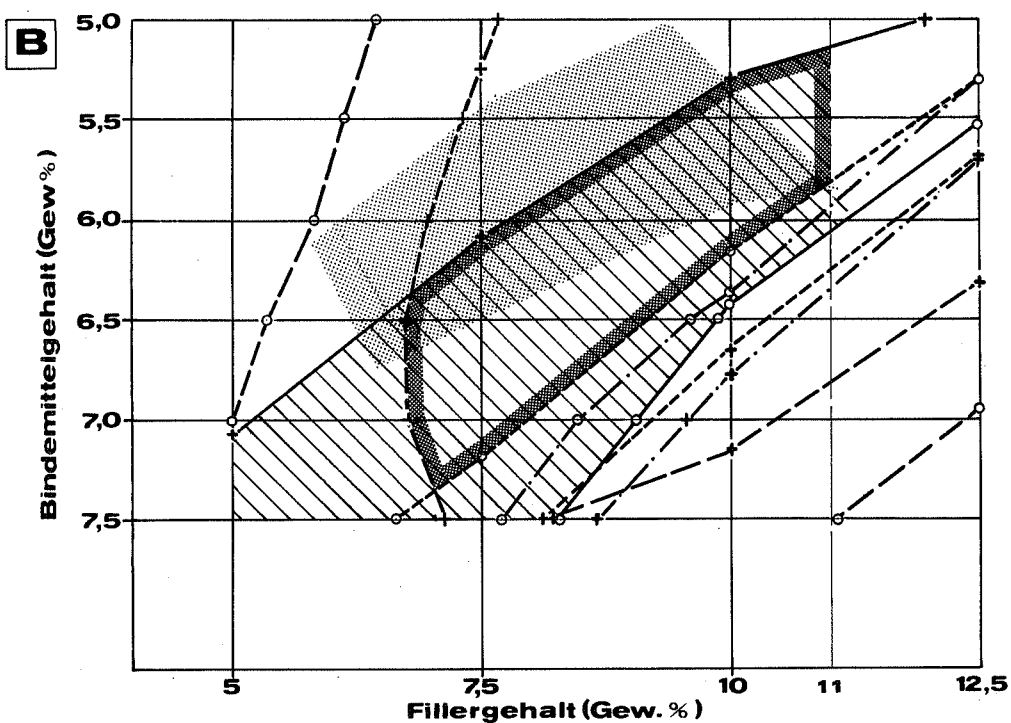
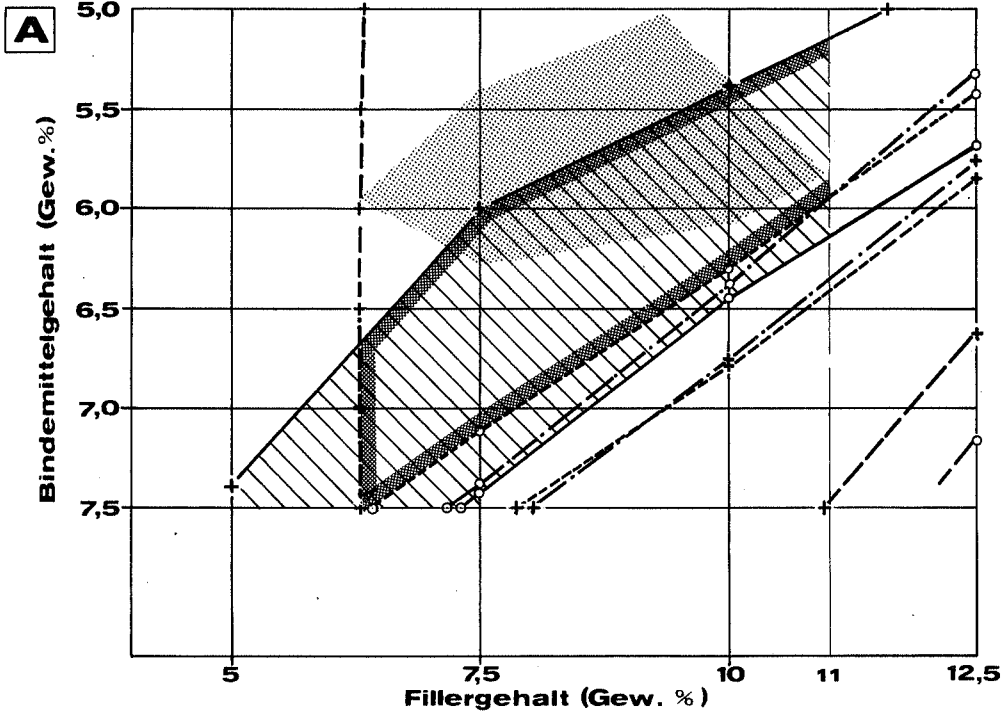
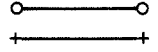
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

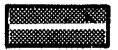


NORMBEREICHE (SN 640 431)

TF > 1000

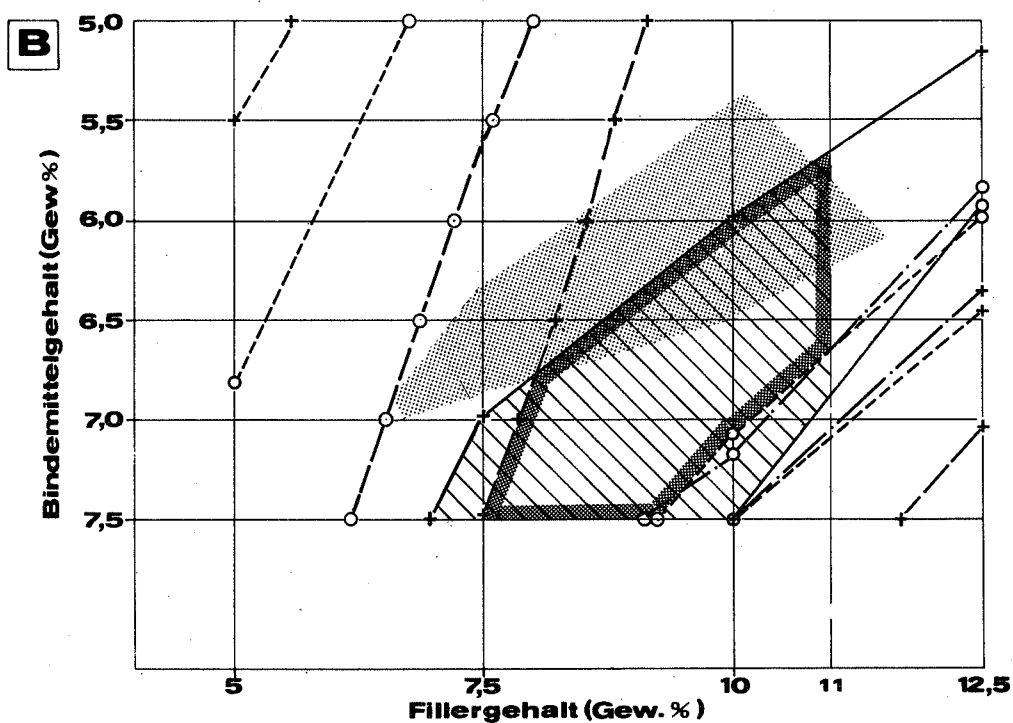
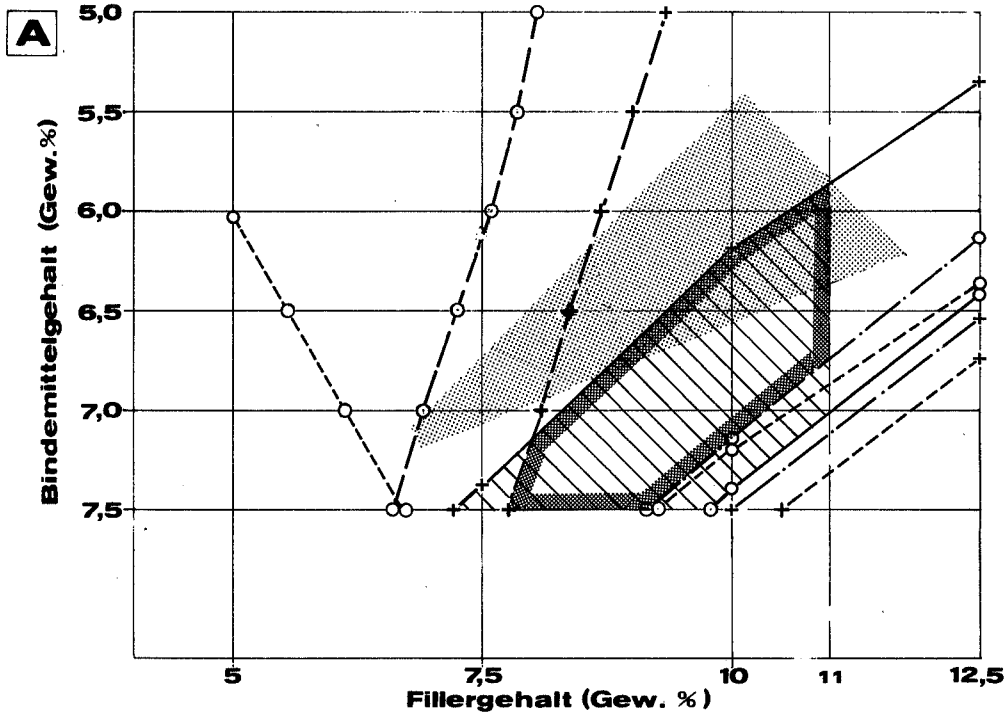
100 < TF ≤ 1000

AB 10/III
SM= 8,0 kN
9,0 kN

SM/FM= 3,0 kN/mm
2,5 kN/mm

FM= 3,5 mm
4,0 mm

HM= 3 Vol.%
6 Vol.%


EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 10/IV**

SM= 8,0 kN ○ — — — ○
 9,0 kN + — — — +
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○ — — — ○
 2,5 kN/mm + — — — +

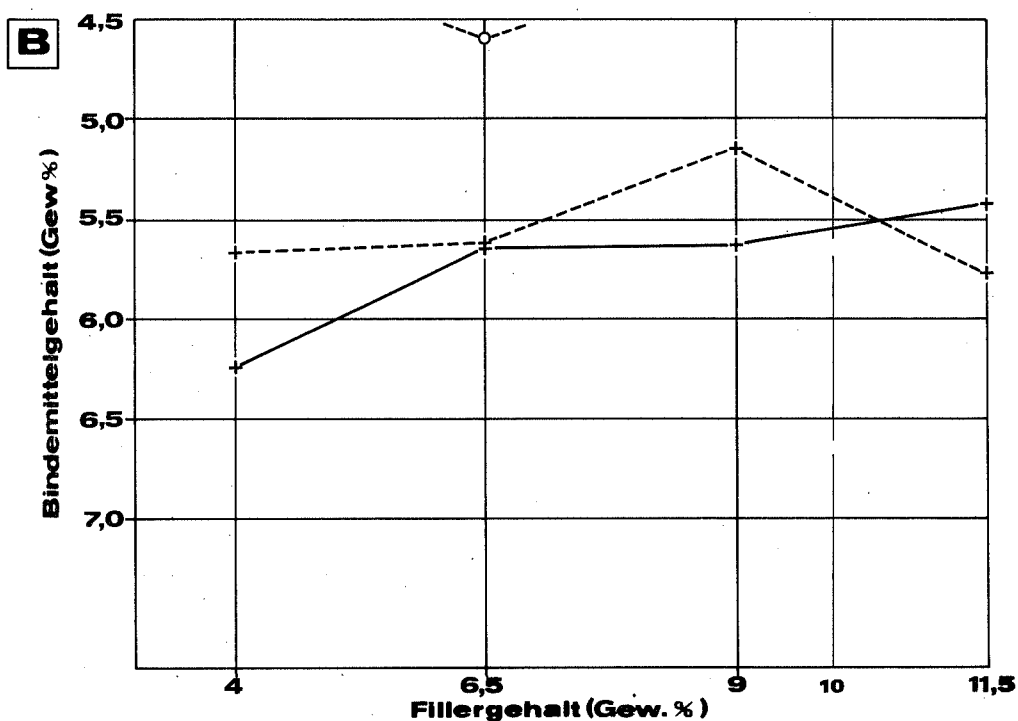
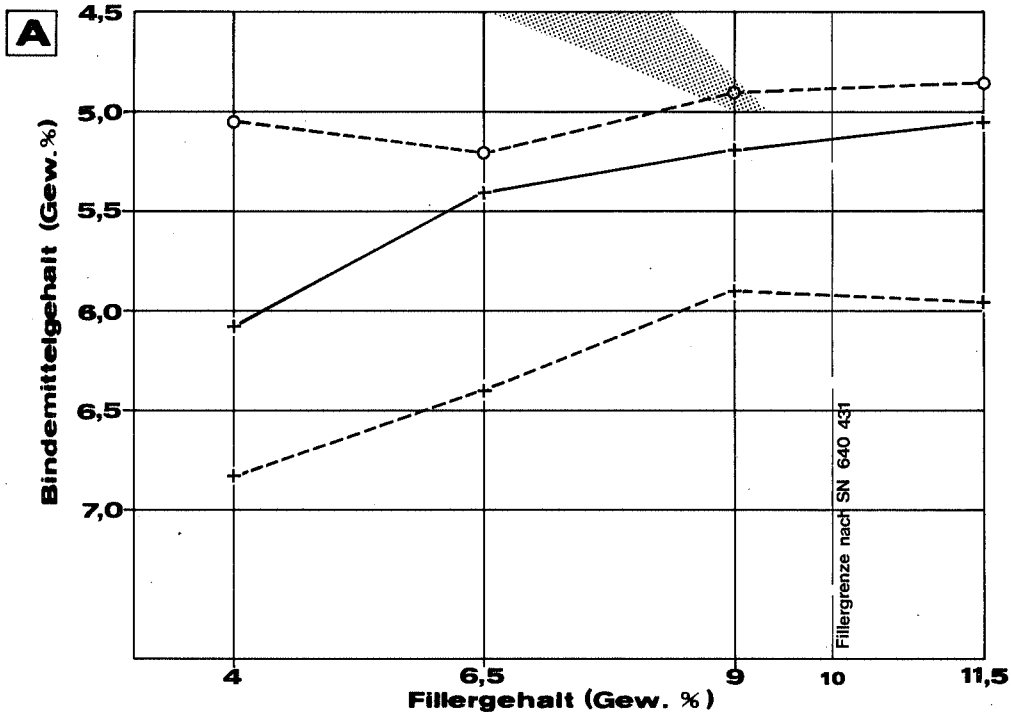
FM= 3,5 mm ○ — — — ○
 4,0 mm + — — — +
 HM= 3 Vol.% ○ — — — ○
 6 Vol.% + — — — +

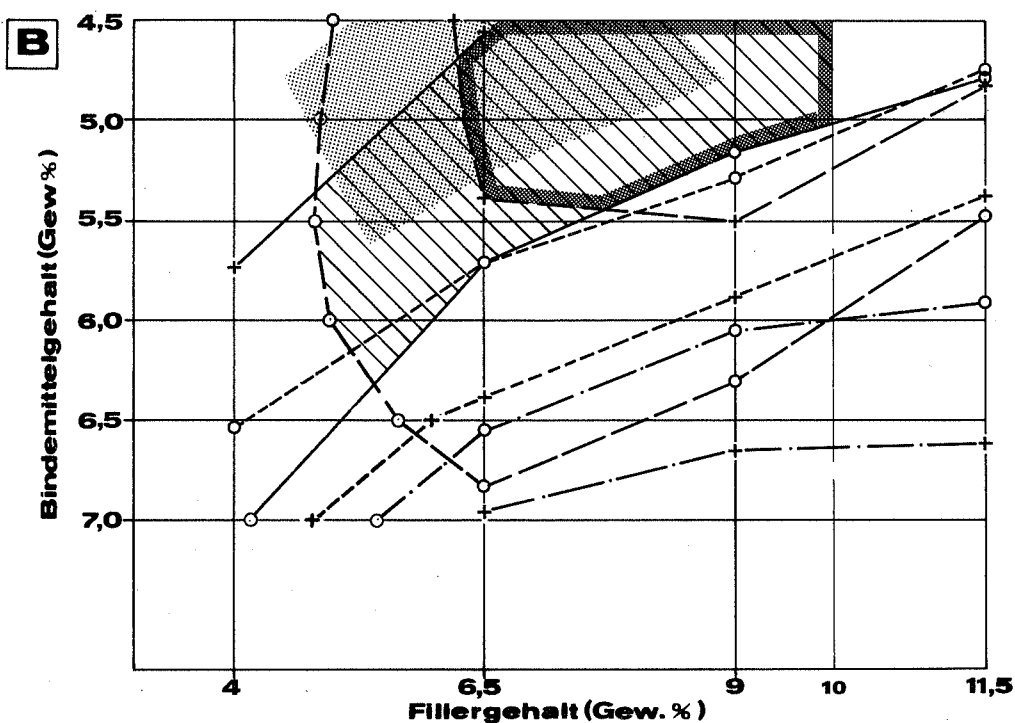
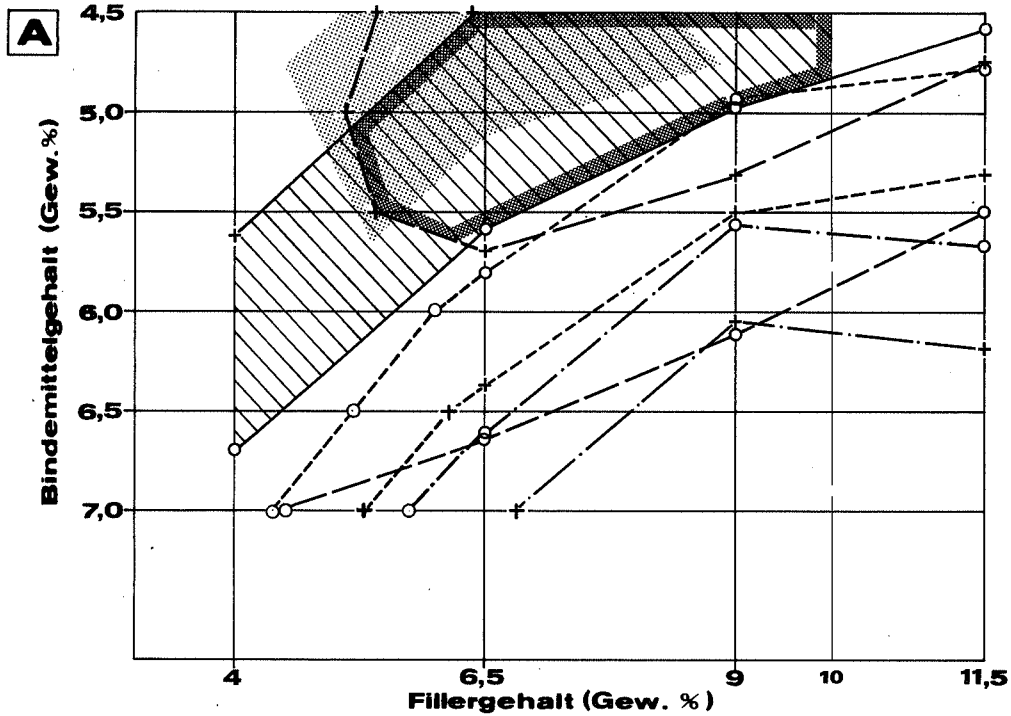


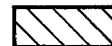
EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 16/ I**

SM= 8,0 kN ○ — — — ○
 9,0 kN + — — — +
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○ — — — ○
 2,5 kN/mm + — — — +

FM= 3,5 mm ○ — — — ○
 4,0 mm + — — — +
 HM= 3Vol % ○ — — — ○
 6Vol % + — — — +

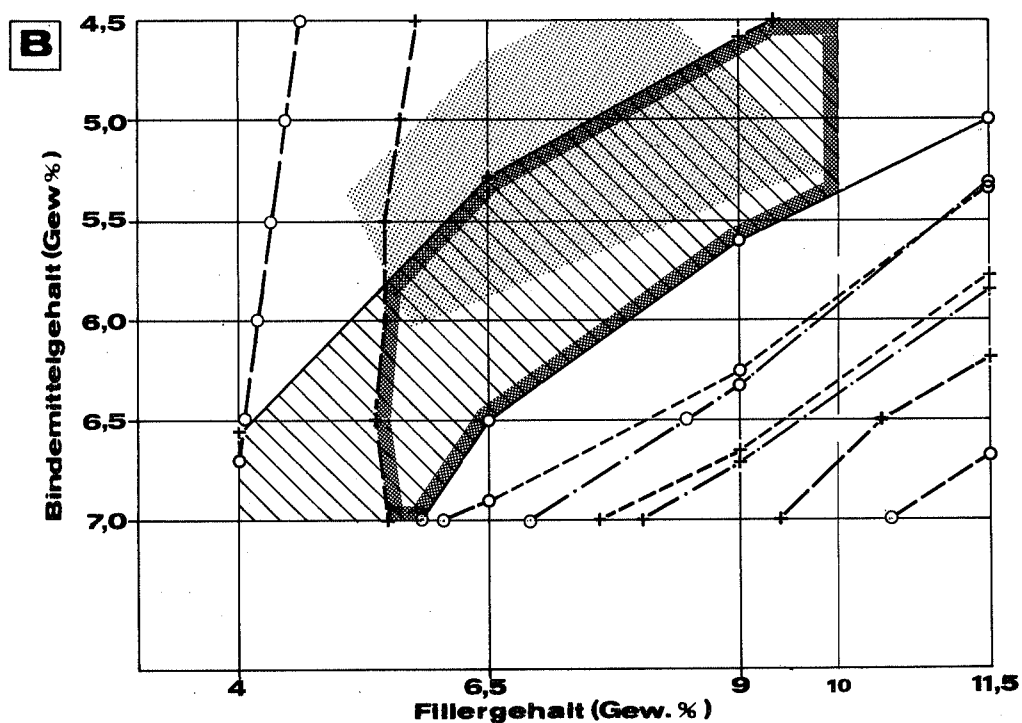
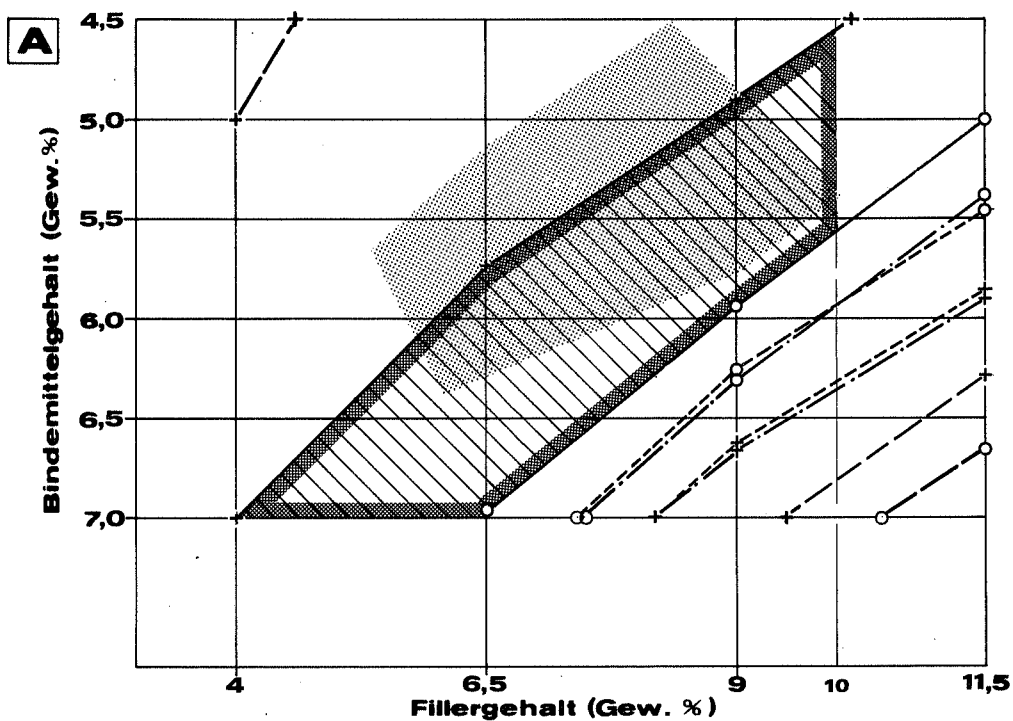


EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 16/ II**SM= 8,0 kN
9,0 kN○ — — — ○
+ — — — +SM/FM= 3,0 kN/mm
2,5 kN/mm○ — — — ○
+ — — — +FM= 3,5 mm
4,0 mm○ — — — ○
+ — — — +HM= 3Vol.%
6Vol.%○ — — — ○
+ — — — +

EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 16/III**

SM= 8,0 kN ○ — ○
 9,0 kN + — +
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○ — ○
 2,5 kN/mm + — +

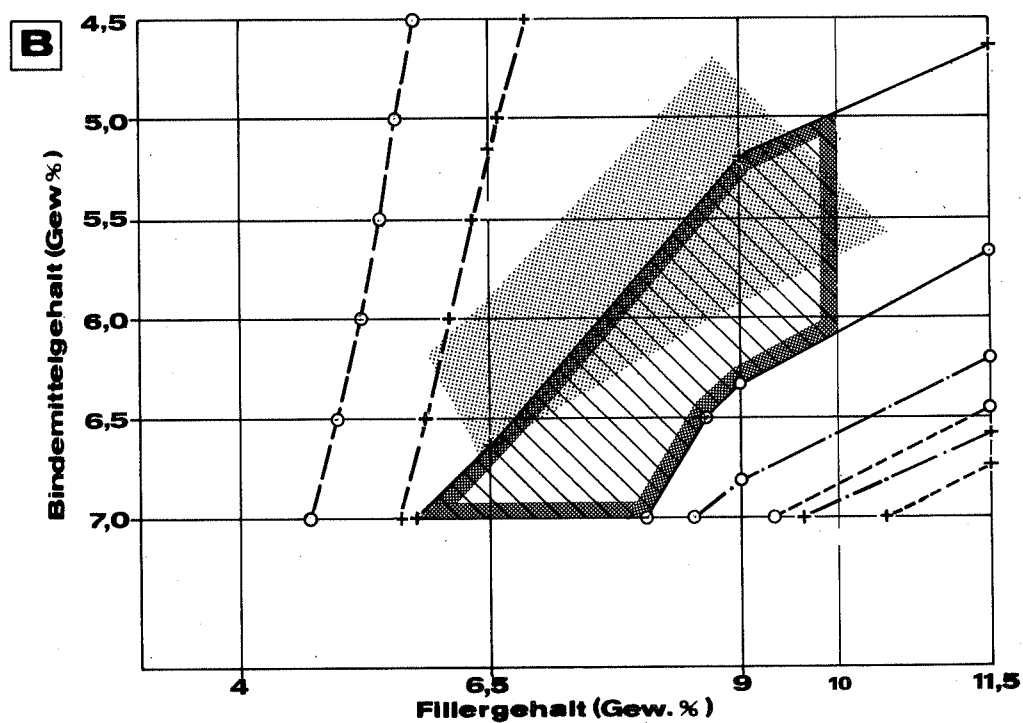
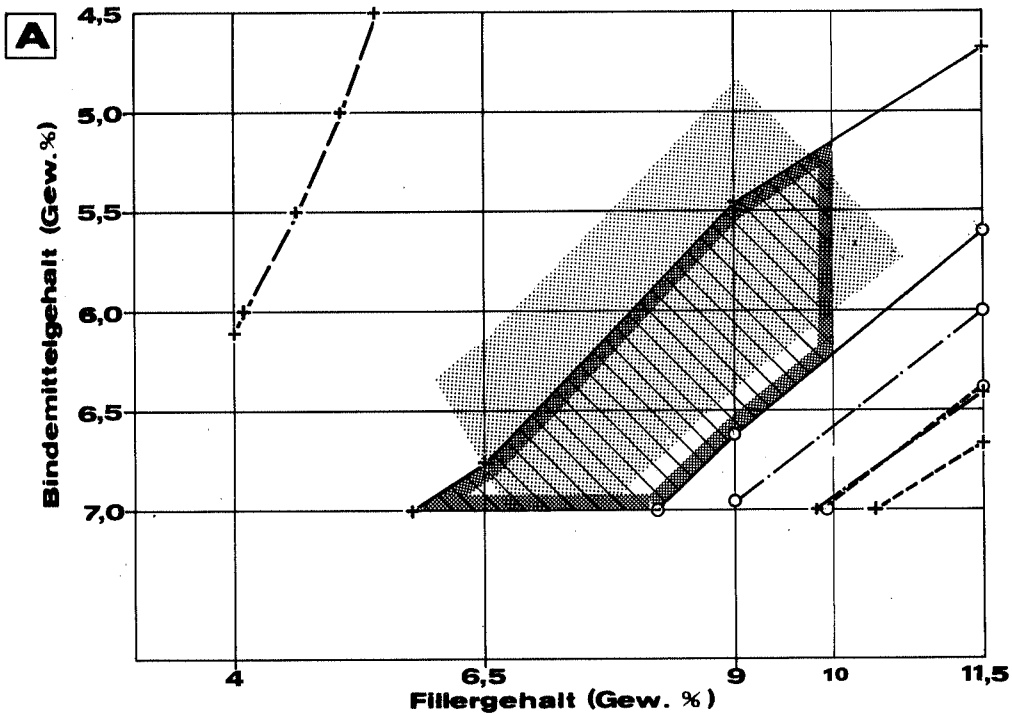
FM= 3,5 mm ○ — ○
 4,0 mm + — +
 HM= 3 Vol.% ○ — ○
 6 Vol.% + — +



EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE**NORMBEREICHE (SN 640 431)****TF > 1000****100 < TF ≤ 1000****AB 16/IV**

SM= 8,0 kN ○-----○
 9,0 kN +-----+
 SM/FM= 3,0 kN/mm ○-----○
 2,5 kN/mm +-----+

FM= 3,5 mm ○-----○
 4,0 mm +-----+
 HM= 3 Vol.% ○-----○
 6 Vol.% +-----+



8.8 VERGLEICH NORMBEREICHE MIT 'EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTEN BEREICHEN'

Bei beiden Mischgutsorten und bei beiden Fillersorten liegen für alle Siebkurven Differenzen zwischen 'Normbereichen' und 'empfohlenen verformungsfesten Bereichen' vor. Dazu tragen drei Ursachen bei:

Erstens unterscheiden sich die Gültigkeitsbereiche von HM: Beim Normbereich liegt HM zwischen 3 und 6 Vol.%, beim 'empfohlenen verformungsfesten Bereich' zwischen HMM min, was einer HM-Begrenzung von 2,4 bis 6 Vol.% entspricht (siehe Tabelle Seite 91), und HM von 8 Vol.%. Somit liegen die Gültigkeitsbereiche beider Klassen folgendermassen:

gemäss Norm SN 640 431

HM 3 bis 6 Vol.%

gemäss 'empfohlenem verformungsfestem Bereich' HM 2,4...6 bis 8 Vol.%

Zweitens werden für die Ermittlung der 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' die Absolutwerte der mechanischen Marshall-Kenngrössen nicht mit einbezogen. Als Grenze gegen die hohlraumreiche, 'nachverdichtbare' Seite wird der Hohlraumgehalt HM 8 Vol.% berücksichtigt.

Drittens werden beim 'empfohlenen verformungsfesten Bereich' durch die Begrenzungen von C diagonale Limiten gesetzt, die beim Normbereich fehlen. Hier liegen zwar Begrenzungen des Füllergehaltes von 5 bis 11 Gew.% (AB 10) resp. 4 bis 10 Gew.% (AB 16) vor, doch ist dieser Spielraum wesentlich grösser als die Beschränkung von C mit 0.25 bis 0.40.

Die Abgrenzung eines 'empfohlenen verformungsfesten Bereiches' beinhaltet keine absolute Beurteilung dieser Mischungen. Sie stellt lediglich den Versuch dar, Mischungen mit verschiedenen Eigenschaften auf Grund der Marshall-Versuche abzugrenzen. Dass sich z.B. bei diversen Mischungsreihen der Siebkurve I, die erfahrungsgemäss ungünstige Zusammensetzungen aufweisen, ebenfalls 'empfohlene verformungsfeste Bereiche' bestimmen lassen, zeigt, dass noch andere Kriterien mitbestimmend sind. So wären z.B. auch Absolutwerte von SM/FM und FM dazu geeignet, aber es fehlen die markanten Werte, die eine solche Abgrenzung ermöglichen würden.

Die Normbereiche Kategorie a) und b) und die 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' überlappen sich. Die Anzahl Mischungen, die jeweils im ersten oder zweiten oder in beiden Bereichen liegen, sind im folgenden zusammengefasst:

	Norm- bereich Kat.a	'empfohlener verformungs- fester Bereich'	in beiden Bereichen	Norm- bereich Kat.b	'empfohlener verformungs- fester Bereich'	in beiden Bereichen
AB 10/A	11	17	6	16	17	8
AB 10/B	9	14	4	19	14	7
AB 16/A	13	12	7	16	12	7
AB 16/B	11	9	4	16	9	4

Diejenigen Mischungen, die im Normbereich, nicht aber im 'empfohlener verformungs-fester Bereich' liegen, resultieren vorwiegend aus der erwähnten unterschiedlichen unteren Hohlraumgrenze (3 Vol.% resp. 2.4 bis 6 Vol.%) und der unterschiedlichen Begrenzung durch die zulässigen Füllergehalte einerseits und die C-Werte andererseits. Umgekehrt weisen Mischungen, die im 'empfohlener verformungs-fester Bereich', nicht aber im Normbereich liegen, hohe Hohlraumwerte (6 bis 8 Vol.%) und teilweise knappe SM-Werte auf. Die FM-Werte erfüllen praktisch immer die Normanforderungen.

9. EINFLUSS EINZELNER PARAMETER AUF DIE MISCHGUTEIGENSCHAFTEN

Im Folgenden werden die Einflüsse folgender Parameter untersucht:

- Siebkurve
- Filler A resp. Filler B
- Mischgutsorte AB 10 resp. AB 16

9.1 EINFLUSS DER SIEBKURVE

1. Einleitung

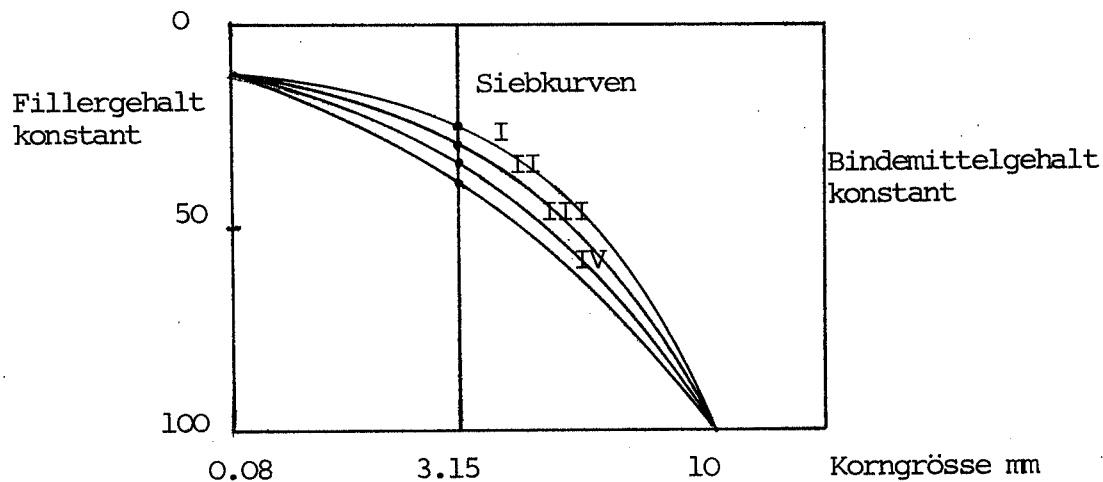
Generell ist der Einfluss der Aenderung der Siebkurve auf die Marshall-Kennwerte prägnant. Grösse und Art des Einflusses variieren dabei stark in Abhängigkeit des Sand/Splittverhältnisses. Bindemittel- und Fillergehalt beeinflussen zusätzlich in unterschiedlicher Weise sandarme resp. sandreiche Zusammensetzungen.

Zur systematischen Erfassung dieser Einflüsse sollen die Auswirkungen der Variation der Siebkurve an Hand des variablen Sand/Splittverhältnisses überprüft werden. Die Siebkurven I bis IV entsprechen je einem Sand/Splittverhältnis, das jeweils zusätzlich im Feinbereich durch vier Fillergehalte unterteilt wird.

2. Einfluss des Sand/Splittgehaltes (Siebkurve I-IV) bei jeweils konstantem Filler- und Bindemittelgehalt

Diese Betrachtungsweise erlaubt den direkten Vergleich eines Einflusses der unterschiedlichen Sand/Splittanteile (Einfluss der Siebkurve) auf die Marshall-Kennwerte.

Siebdurchgang Gew. %



Ersichtlich ist dieser Einfluss in den Sammeldiagrammen (siehe Seite 63 ff). Als Beispiel für diese Betrachtungsweise sind auf Seite 122 verschiedene Marshall-Werte in Funktion des variablen Sand/Splittverhältnisses bei jeweils konstantem Bindemittel- resp. Füllergehalt aufgezeichnet. Dabei handelt es sich um eine Zusammenfassung desselben Zahlenmaterials wie in den Sammeldiagrammen.

Stabilität SM :

Beim AB 10 weisen die fillerärmeren Mischungen (5 und 7,5 Gew.%) ihre höchsten Stabilitäten durchwegs bei Kurve II und III auf. Diese Charakteristik ändert sich bei den fillerreicheren Mischungen, indem ein kontinuierlicher Anstieg von SM gegen sandreichere Mischungen von Siebkurve I-IV auftritt.

Beim AB 16 sind die Ergebnisse insofern anders, als nur noch die fillerärmste Mischung (4,5 Gew.%) ihr Optimum bei Kurve II und III findet, im übrigen SM eine steigende Tendenz von Siebkurve I bis IV aufweist. Die Akzentuierung ist hier stärker als beim AB 10.

Fliessen FM :

Sehr ausgeprägt zeigt sich beim AB 10 eine verstärkte Neigung zum Fliessen bei Siebkurve II und III, am augenfälligsten bei den fillerreichen Mischungen. Die gleiche Tendenz aber wesentlich weniger stark zeigt sich beim AB 16.

Verhältnis SM/FM :

Durch die flachen Verläufe der Fliesswert-Kurven entsprechen bei den fillerärmsten Mischungen die SM/FM-Kurven dem Bild von SM. Bei den übrigen Füllergehalten steigt SM/FM von Siebkurve I bis IV an. Während dieser Anstieg sich beim AB 10 in Grenzen hält, ist er beim AB 16, bedingt durch die kleineren Unterschiede der Fliesswerte, sehr ausgeprägt.

Hohlraumgehalt HM :

Der Einfluss des Sand/Splittgehaltes wird durch den Füllergehalt mitgeprägt. So sind die HM-Werte für die fillerärmsten Mischungen bei Siebkurve I und II praktisch gleich und steigen dann von Siebkurve II bis IV stark an. Bei höheren Füllergehalten dagegen weist die HM-Kurve ein Minimum auf -am häufigsten bei Siebkurve II, seltener bei Siebkurve III- und steigt dann, bei mittleren Füllergehalten stark, bei höheren schwächer, gegen Siebkurve IV an. Beim AB 16 ist dieses Verhalten etwas ausgeprägter als beim AB 10.

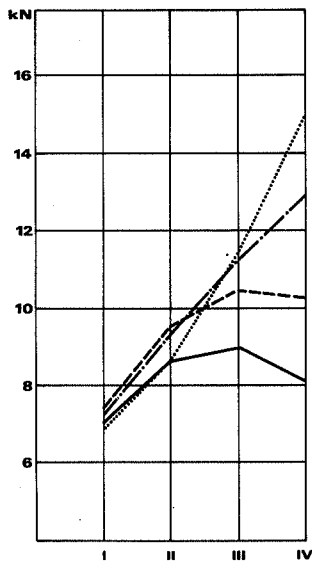
Marshallwerte SM, FM, SM/FM und HM über Siebkurve I-IV

(Beispiele mit ausgeglichenen Werten)

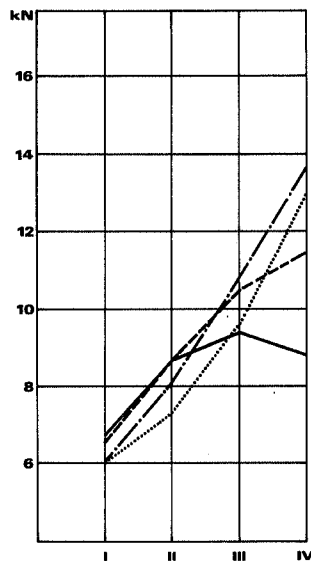
AB 16 A

Fillergehalt: ————— 4,0 Gew. %
 - - - - - 6,5 Gew. %
 - · - · - 9,0 Gew. %
 11,5 Gew. %

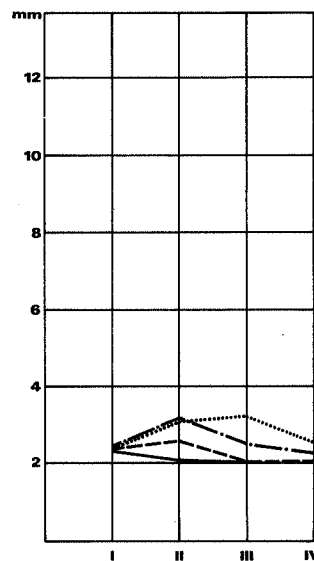
SM
Bdm.gehalt 5 Gew. %



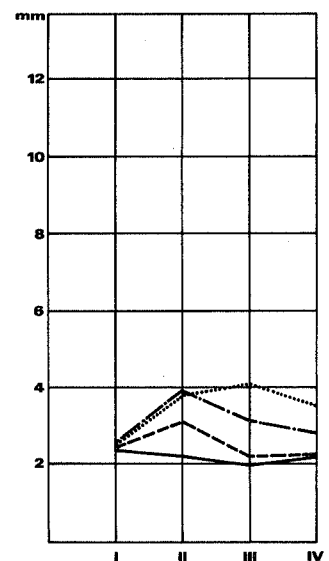
SM
Bdm.gehalt 6 Gew. %



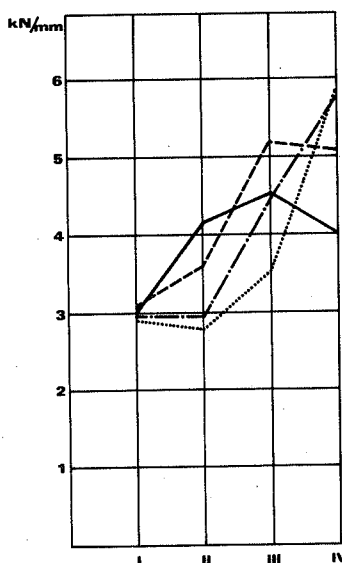
FM
Bdm.gehalt 5 Gew. %



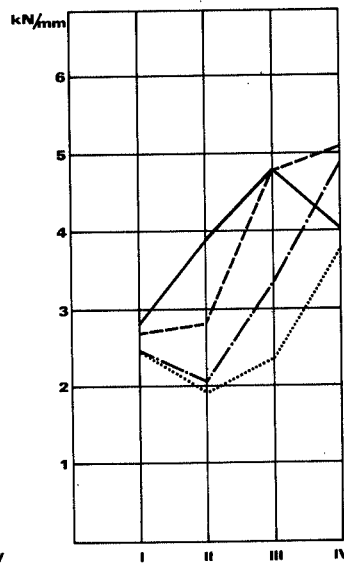
FM
Bdm.gehalt 6 Gew. %



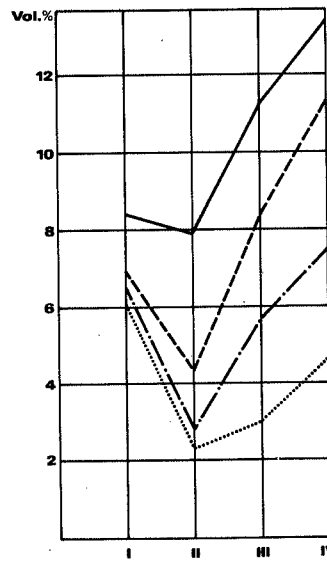
SM/FM
Bdm.gehalt 5 Gew. %



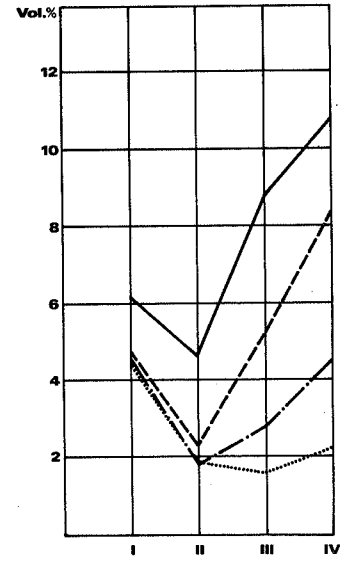
SM/FM
Bdm.gehalt 6 Gew. %



HM
Bdm.gehalt 5 Gew. %



HM
Bdm.gehalt 6 Gew. %



3. Einfluss des Sand/Splittgehaltes bei variablem Bindemittel- und Füllergehalt

Im Folgenden wird die Frage behandelt, ob die im vorigen Kapitel aufgezeigten Tendenzen als Einfluss des Sand/Splittgehaltes ihre Gültigkeit bei unterschiedlichen Füller- und Bindemittelgehalten behalten (relative Beeinflussung).

Stabilität SM :

Während das im Kapitel 9.1-2 gezeigte Verhalten durch die Aenderung des Bindemittelgehaltes sich kaum ändert, hat der Füllergehalt eine verstärkte Akzentuierung der SM-Werte von Siebkurve I bis IV zur Folge. Die bei Kurve I noch eng beieinanderliegenden Werte werden bis zu Kurve IV zunehmend auseinandergezogen, sodass sich bei sandreicheren Mischungen der Einfluss des Füllergehaltes stärker bemerkbar macht als bei den splittreicheren.

Fliessen FM :

Auf den Einfluss von höheren Füllergehalten zu erhöhten Fliesswerten bei Kurve II und III wurde schon hingewiesen. Zusätzlich zeigen bei diesen FM-Kurven die hohen Bindemittelgehalte eine zusätzliche Steigerung dieses Verhaltens, vor allem beim AB 10, etwas weniger beim AB 16 auf. Ein starker Zusammenhang zwischen hohen Fliesswerten und geringen HM-Werten ist in jedem Falle gegeben.

Verhältnis SM/FM :

Der unterschiedliche Füllergehalt hat bei Siebkurve I nur eine schwache Differenzierung der SM/FM-Werte zur Folge, im Gegensatz zu den übrigen Siebkurven, wo sich der Füllergehalt wesentlich stärker auswirkt. Während für fillerärmere Mischungen nach einer Zunahme der SM/FM-Werte bis Siebkurve III der Wert ungefähr konstant bleibt oder leicht abnimmt, erfolgt bei fillerreicheren eine konstante Zunahme. Diese ist speziell beim AB 16 sehr ausgeprägt. Der Einfluss des Bindemittelgehaltes ist ebenfalls unterschiedlich. Bei fillerarmen Mischungen verlaufen die SM/FM-Kurven bei zunehmendem Bindemittelgehalt relativ flach, bei zunehmendem Füllergehalt von Siebkurve I zu IV wesentlich steiler.

Fillerreiche Mischungen zeigen somit bei Aenderung des Bindemittelgehaltes eine verstärkte Empfindlichkeit im SM/FM-Wert gegen sandreichere Zusammensetzungen hin. Bei fillerarmen Mischungen tritt der gegenteilige Effekt auf.

Hohlraumgehalt HM :

Oberhalb eines HM-Wertes von 2 bis 3 Vol% verlaufen die HM-Kurven über den variablen Bindemittelgehalt praktisch parallel. Dies gilt für alle Füllergehalte. Diese Systematik zeigt, dass der Einfluss des Bindemittelgehaltes bei allen Sand/Splittverhältnissen recht konstant ist. Der Füllergehalt bewirkt, ähnlich wie bei SM, ein erhöhtes Differenzieren der HM-Werte von Kurve I bis IV und hat damit einen verstärkten Einfluss.

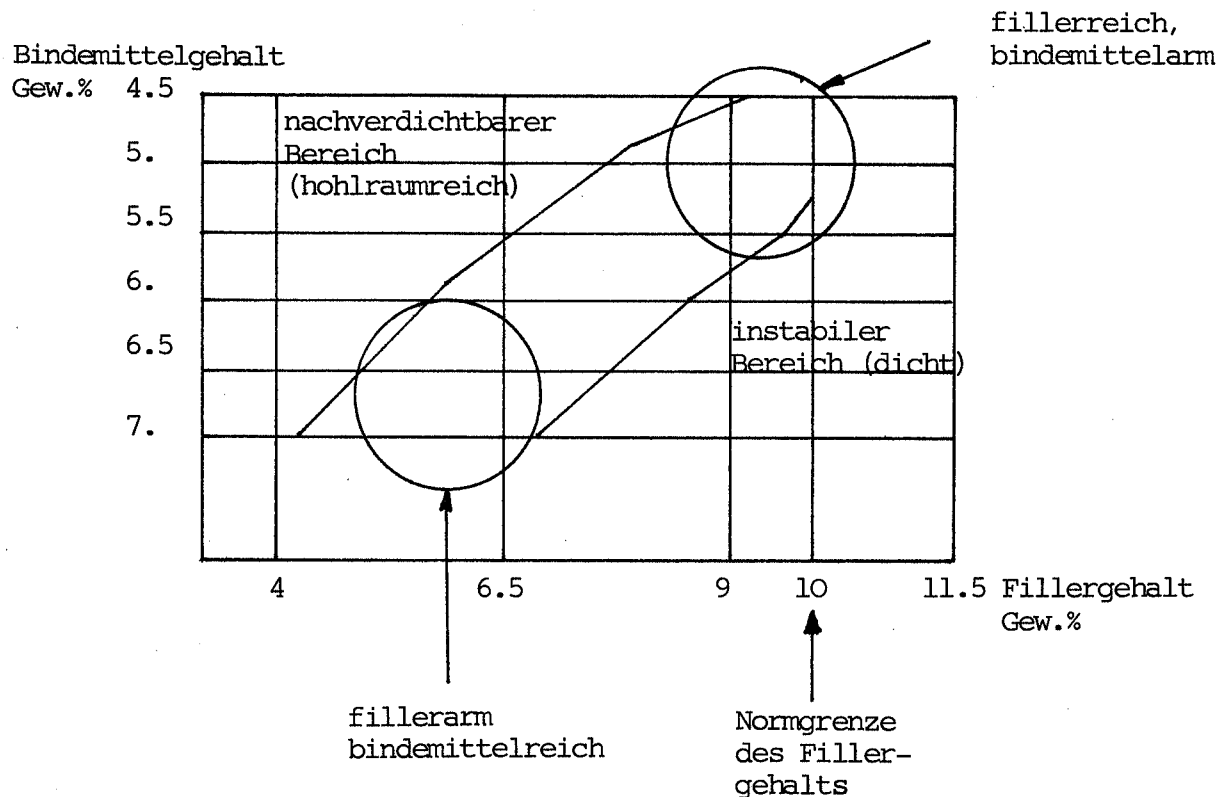
Insgesamt zeigt sich, dass die in Kapitel 9.1-2 aufgezeigten Tendenzen bei Aenderungen der Bindemittel- und Füllergehalte erhalten bleiben.

4. Zusammenwirken der einzelnen Einflüsse an Hand von Normbereichen und 'empfohlenen verformungsfesten Bereichen'

Die oben beschriebenen Einflüsse des Sand/Splittgehaltes auf einzelne Marshall-Kennwerte sollen im Zusammenhang betrachtet werden. Als Grundlage dienen Normbereiche und 'empfohlene verformungsfeste Bereiche' in den Bitumen-Filler-Diagrammen.

Zur besseren Uebersicht sind die graphischen Darstellungen der Bereiche zusammengefasst (siehe Diagramme Seite 128 ff).

Begriffe im Filler-Bindemittel-Diagramm (Beispiel AB 16)

Normbereich TF<1000

Als erstes fällt auf, dass ausser einem Fall (AB 10, Filler A, TF<1000) kein Mischgut der Siebkurve I die Anforderungen erfüllt. Der Grund liegt in der zu geringen Stabilität, die mit Ausnahme des erwähnten Falles unter 8 kN liegt. Die übrigen Siebkurven zeigen ein recht einheitliches Bild. Ihre Bereiche erstrecken sich in diagonalen Richtung von der fillerarmen, bindemittelreichen zur fillerreichen, bindemittelarmen Seite. Von Siebkurve II zu Siebkurve IV verschiebt sich der Schwerpunkt dabei senkrecht dazu von der filler- bindemittelarmen zur filler-bindemittelreichen Seite.

Es ergibt sich im Rahmen der Norm für TF<1000 ein recht einheitliches Bild mit weiten zulässigen Bereichen. Pro Siebkurve werden vorwiegend die filler- und bindemittelarme sowie die filler- und bindemittelreiche Seite als Folge der Begrenzung der zulässigen Hohlraumwerte ausgeklammert. Die ungenügende Stabilität, die praktisch zum Ausfall von Siebkurve I führt, zeigt sich noch leicht bei Siebkurve II auf der bindemittelreichen, fillerarmen Seite, während die Gegenseite (fillerreich, bindemittelarm) durchwegs durch die Begrenzung des oberen Füllergehaltes und nicht durch Begrenzung von Marshall-Kennwerten ihre Einschränkung findet.

Normbereich TF>1000 und s-Beläge

Die beschriebenen Eigenschaften lassen sich auch auf die Verkehrsklasse TF>1000 übertragen, allerdings mit einigen Einschränkungen. Die erhöhte Stabilitätsanforderung bewirkt, dass Mischgut der Kurve II wesentlich stärkere Einschränkungen erfährt. Zusätzlich wird nun auch der Bereich von Mischgut der Kurve III teilweise leicht reduziert. Zugleich ergibt sich eine Unterscheidung zwischen AB 10 und AB 16 auf der dichten (instabilen) Seite. Die Abgrenzung wird beim AB 10 durch die Anforderung $SM/FM \geq 3$, teilweise durch $FM \leq 3,5$ mm erreicht. Beim AB 16 ist es ausschliesslich $HM \geq 3$ Vol.%, womit sich bei diesem Belag die zulässigen Normbereiche beider Verkehrsklassen nur durch unterschiedliche Stabilitätsanforderungen unterscheiden. Dies gilt für alle Mischungen der Kurven II bis IV.

'Empfohlene verformungsfeste Bereiche'

Die 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' sind nur durch Anforderungen an volumetrische Kennwerte begrenzt. Dabei drängt sich lediglich die Grenze von HMM min durch den Marshall-Versuch auf. Die übrigen Werte für HM 8 Vol.% und C 0.25 bzw. 0.4 wurden als Erfahrungswerte aus der Praxis gewählt. Durch dieses Konzept eines vor allem gegen Verformung standfesten Mischgutes sind die Bereiche gegen die bindemittelärmere Seite verschoben. Zusätzlich schränkt die Begrenzung der Konzentration C die bei den Normbereichen oft vorhandenen kritischen Ecken fillerarm-bindemittelreich und fillerreich-bindemittelarm weitgehend aus. Die Grösse der Bereiche schwankt von Siebkurve zu Siebkurve wenig (teilweise Ausnahme Siebkurve I und II durch Beschränkung des untersuchten Bereiches bezüglich des Bindemittelgehaltes). Im Gegensatz zur Norm wird hier beim AB 10 die Siebkurve I deutlich erfasst. Sie deckt sich weitgehend mit Siebkurve II. Beim AB 16 ist die Siebkurve I nur am Rande bei Filler A vorhanden.

Vergleich Normbereich TF>1000 und s-Belag mit 'empfohlenen verformungsfesten Bereichen'

- Beide Bereiche klammern die bindemittel-fillerarme sowie bindemittel-fillerreiche Seite aus, der Normbereich eher die erstere, der 'empfohlene verformungsfeste Bereich' eher die letztere Seite.
- Die Abgrenzung gegen die bindemittelreiche-fillerarme Seite unterscheidet sich bei der Norm stark nach der Siebkurve, indem sandarme Siebkurven den Stabilitätsanforderungen teil-

weise nicht genügen, während die sandreicheren Mischungen im untersuchten Bereich keine Einschränkungen erfahren. Beim 'empfohlenen verformungsfesten Bereich' schränkt hier die Begrenzung des C-Wertes das Mischgut aller Kurven gleich ein.

- Die Abgrenzung gegen die bindemittelarme-fillerreiche Seite entsteht bei der Norm durch Begrenzung des Füllergehaltes, unabhängig von der Siebkurve. Beim 'empfohlenen verformungs-festen Bereich' erlaubt die Grenze des oberen C-Wertes von 0.4 eine auf die Siebkurve abgestimmte Beschränkung.

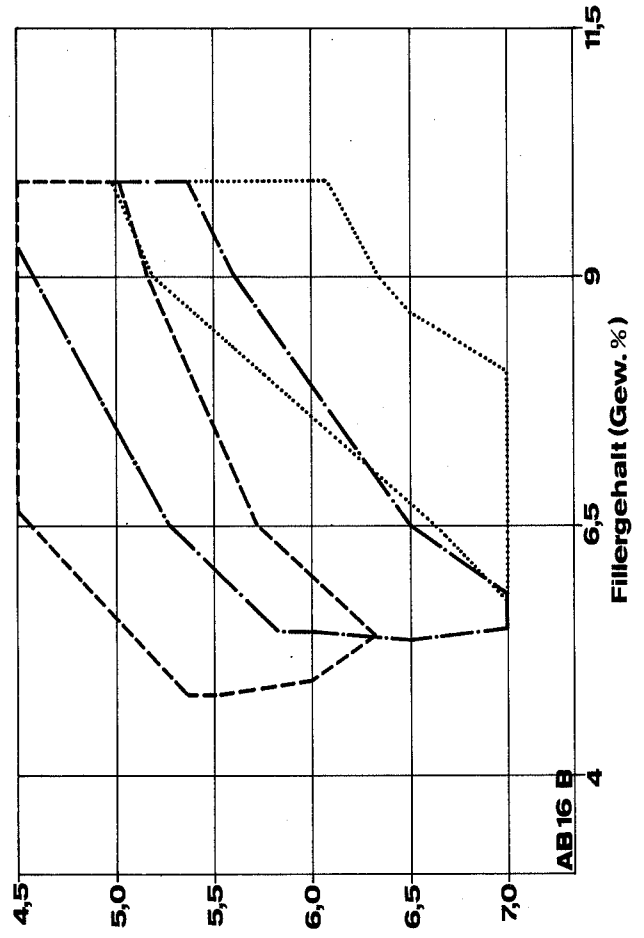
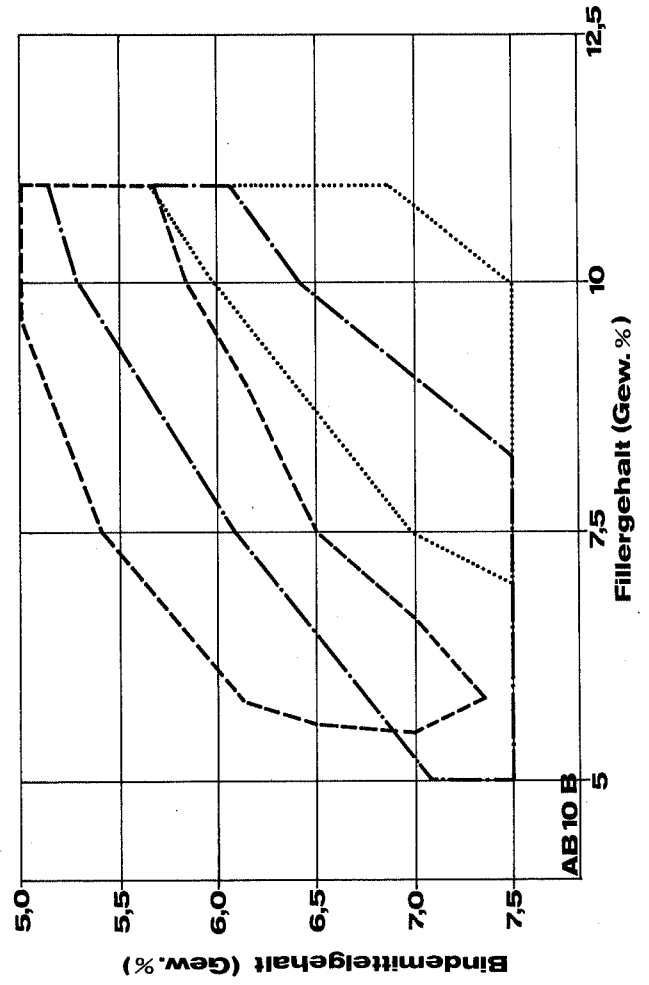
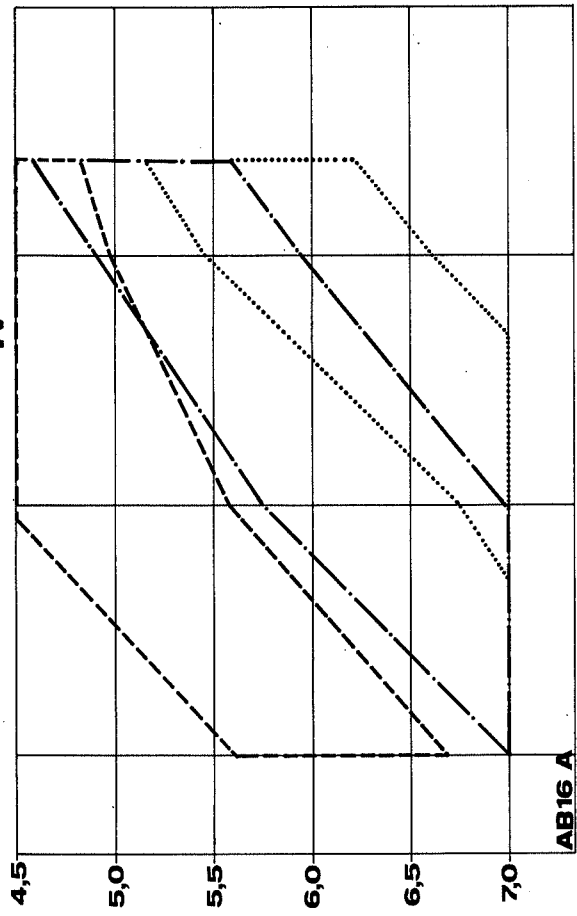
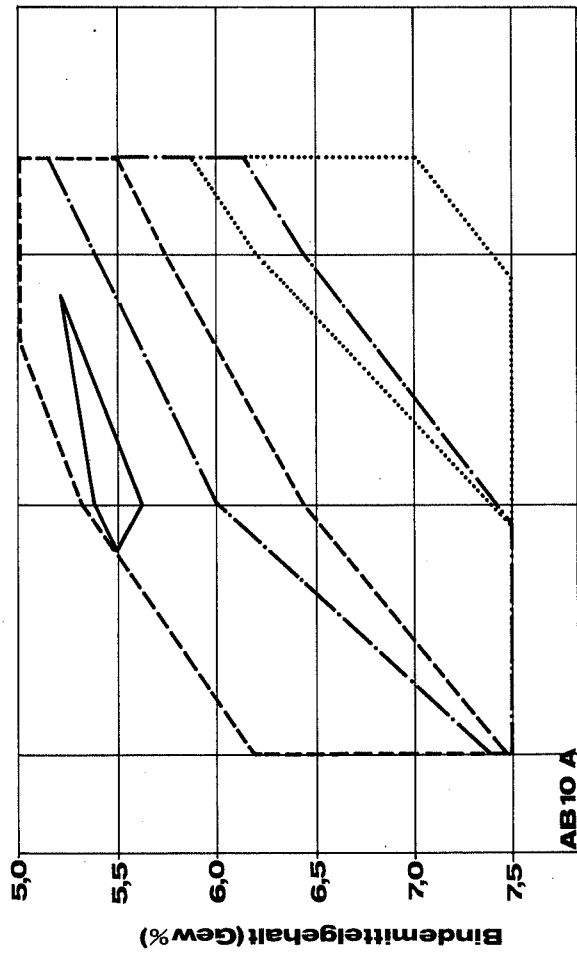
5. Beurteilung

Die Variation der Siebkurve zeigt, dass der Einfluss des Sand/Splittverhältnisses komplex ist und für die verschiedenen Marshallwerte unterschiedliche Auswirkungen hat. Zusätzlich wirken variable Bindemittel- und Füllergehalte in unterschiedlicher Weise bei verschiedenen Sand/Splittverhältnissen. Den grösseren Einfluss hat dabei der Füllergehalt, während der Bindemittelgehalt wohl innerhalb einer Siebkurve differenziert, aber das Bild von Siebkurve zu Siebkurve weniger stark prägt.

NORMBEREICHE 100 < TF ≤ 1000

SIEBKURVEN

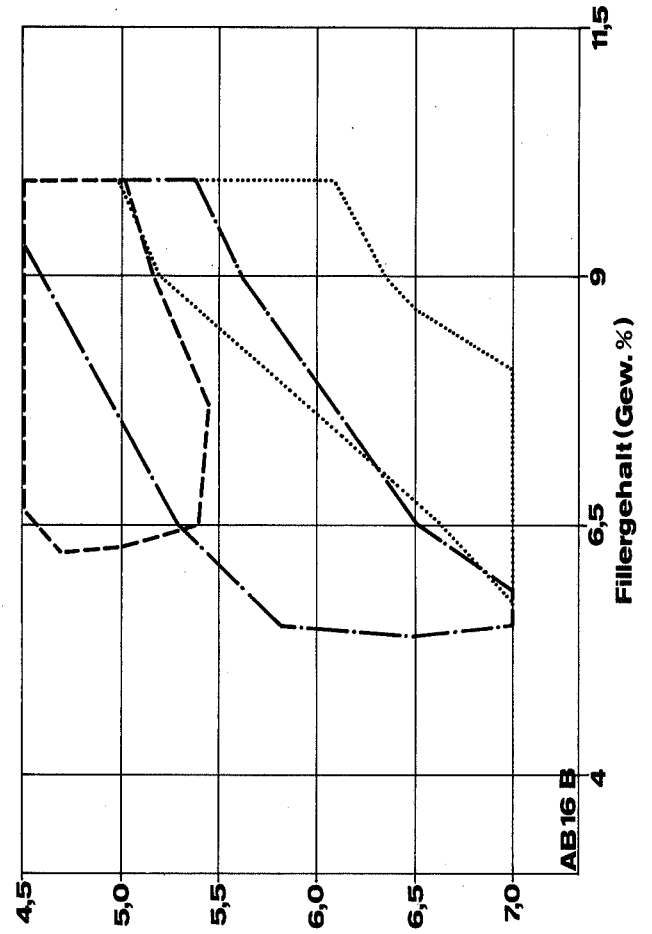
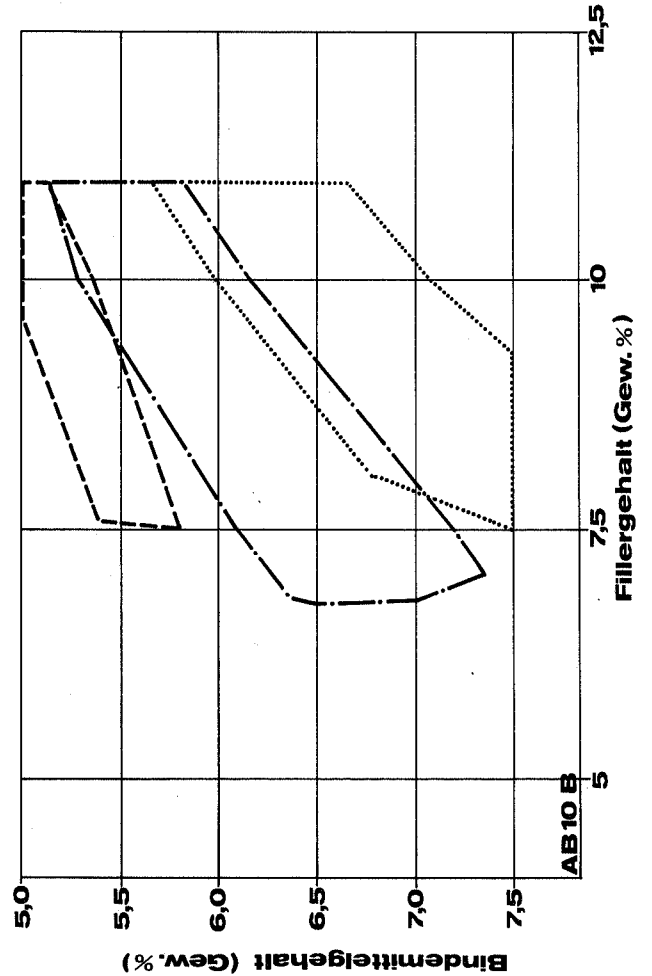
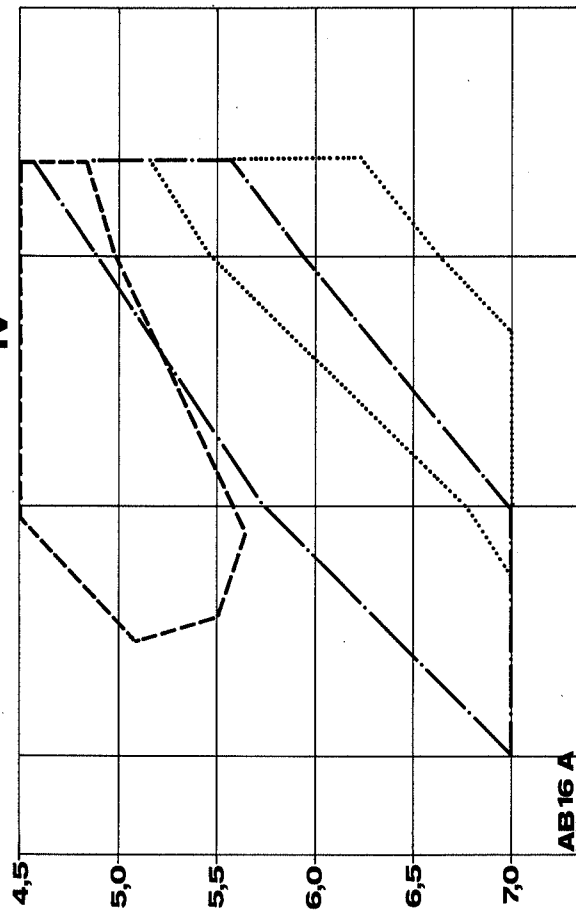
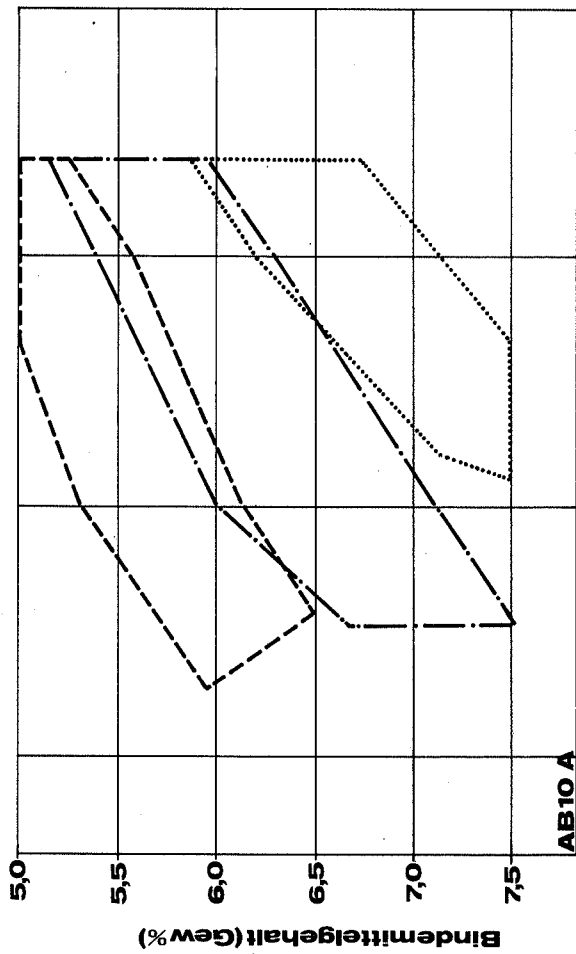
I
II
III
IV



NORMBEREICHE TF > 1000

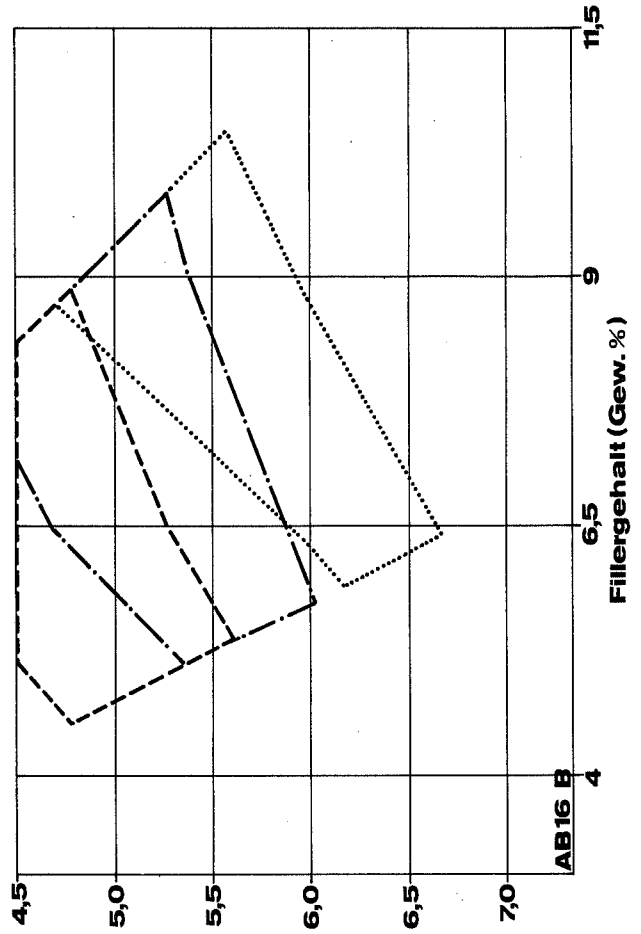
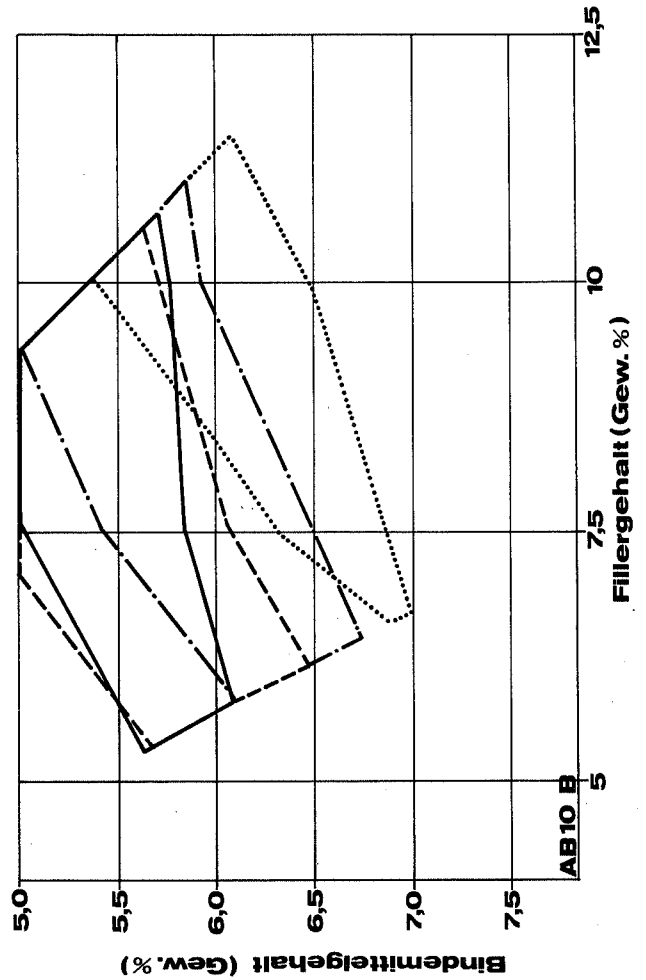
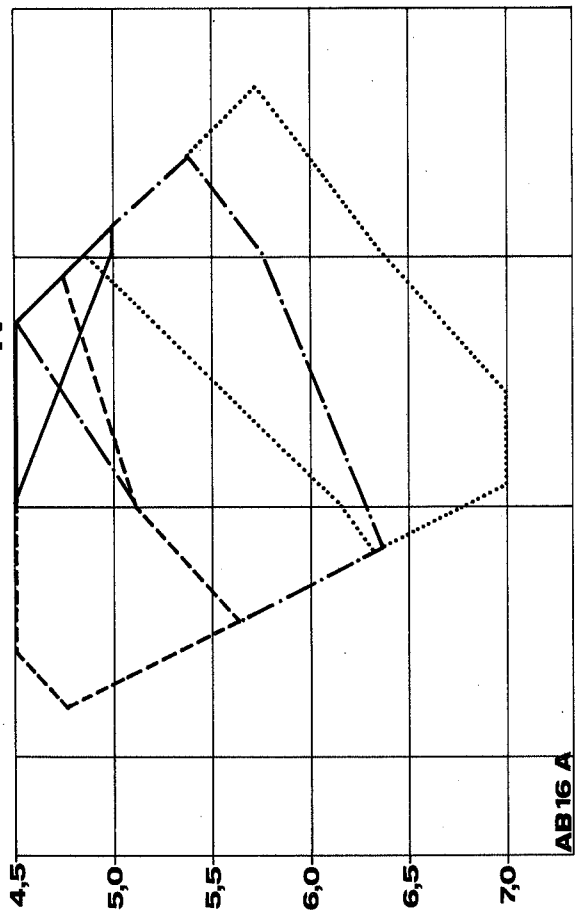
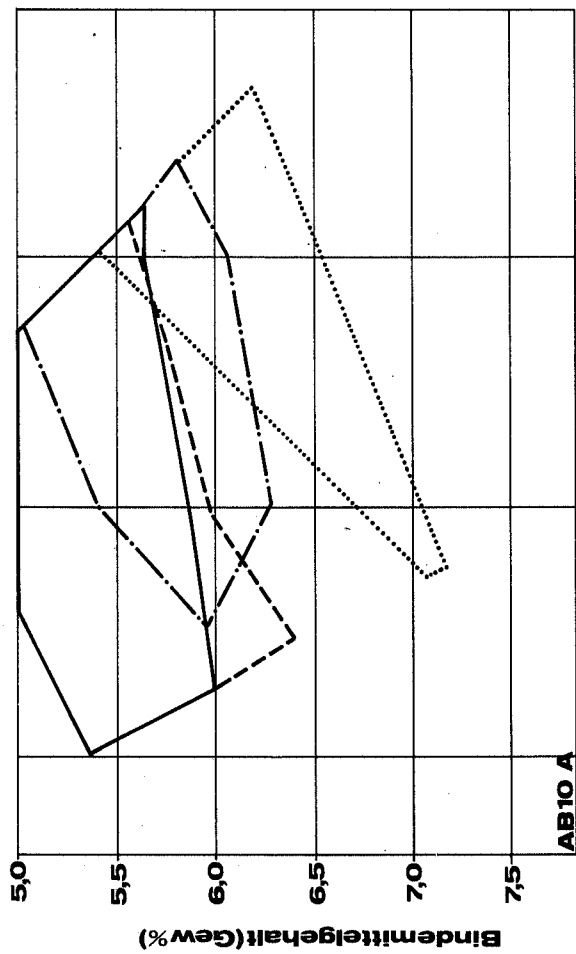
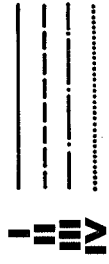
SIEBKURVEN

I
II
III
IV



EMPFOHLENE VERFORMUNGSFESTE BEREICHE

SIEBKURVEN



9.2 EINFLUSS VON FILLER A UND FILLER B

1. Filleranteile

Eine Beurteilung nach s-Belägen von Mischgut mit Filler B erfolgt, obschon die Norm nur Rückgewinnungsfiller aus dem verwendeten gewaschenen Brechsand erlaubt.

Der verwendete gewaschene Brechsand 0.2/3 mm hat einen Eigenfillergehalt von knapp 5 Gew. %, der mitverwendet wurde (siehe Seite 23). Damit ergab sich je nach Siebkurve und Fillergehalt der Mischung eine unterschiedliche Dosierung von Filler A resp. B. Diese Tatsache trägt den Gegebenheiten der Produktion Rechnung, wo auch je nach Art der Entstaubungsanlage und des Brechsandes ein gewisser Prozentsatz des Eigenfillers im Sande verbleibt.

Nachstehend zeigt eine Uebersicht die prozentualen Anteile des Fillers aus dem Brechsand - hier Eigenfiller genannt - im Verhältnis zum Gesamtfiller. Die Zahlen beziehen sich nur auf den eigentlichen Filler ≤ 0.08 mm. In den Schweizer Normen wird zwischen Gesteinsmehl - das industrielle oder rückgewonnene Produkt - und Filler unterschieden. Dieser besteht aus den Anteilen ≤ 0.08 mm des Steinmehls.

Prozentuale Filleranteile ($<0.08 \text{ mm}$)

AB 10 A/B						AB 16 A/B				
Siebkurve	Soll-Fillergehalt Gew. %	Eigenfiller aus Sand Gew. %	Filler A resp. B Gew. %	Anteil Eigenf. %		Soll-Fillergehalt Gew. %	Eigenfiller aus Sand Gew. %	Filler A resp. B Gew. %	Anteil Eigenf. %	
I	5.0	1.8	3.2	36		4.0	1.9	2.1	48	
	7.5	1.5	6.0	20		6.5	1.7	4.8	26	
	10.0	1.2	8.8	12		9.0	1.2	7.8	13	
	12.5	0.5	12.0	4		11.5	0.8	10.7	7	
II	5.0	2.6	2.4	52		4.0	2.6	1.4	65	
	7.5	2.3	5.2	31		6.5	2.5	4.0	38	
	10.0	2.0	8.0	20		9.0	1.3	7.7	14	
	12.5	1.3	11.2	10		11.5	1.4	10.1	12	
III	5.0	3.4	1.6	68		4.0	3.4	0.6	85	
	7.5	3.1	4.4	41		6.5	3.5	3.0	54	
	10.0	2.8	7.2	28		9.0	3.6	5.4	40	
	12.5	2.1	10.4	17		11.5	2.3	9.2	20	
IV	5.0	4.2	0.8	84		4.0	4.0	-	100	
	7.5	3.9	3.6	52		6.5	4.1	2.4	62	
	10.0	3.6	6.4	36		9.0	3.4	5.6	38	
	12.5	2.9	9.6	23		11.5	3.1	8.4	27	

2. Grundlage für die Beurteilung

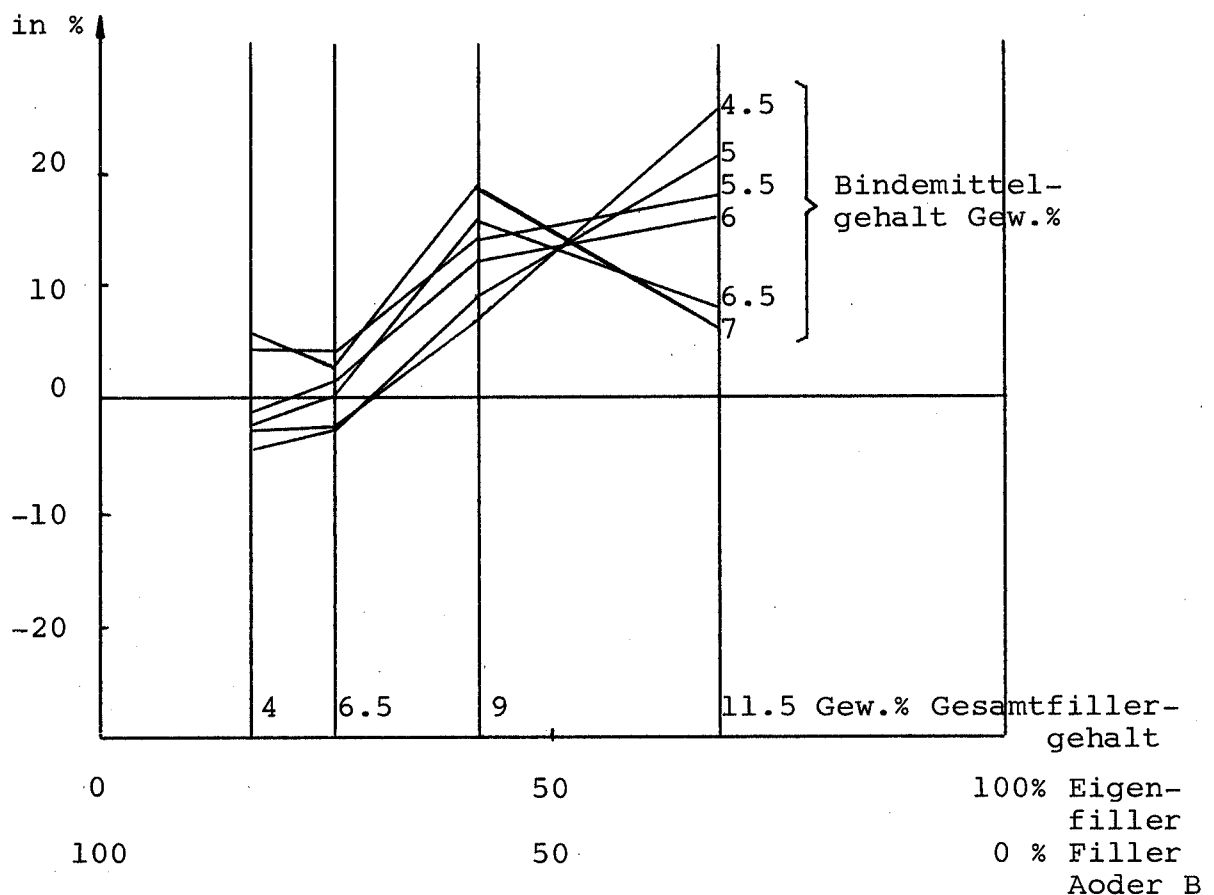
Der Einfluss der unterschiedlichen Fillerarten auf die mechanischen Werte werden an der Stabilität SM und am Fließen FM gezeigt. Der Einfluss auf die volumetrischen Werte soll an Hand des Raumgewichtes RM verglichen werden. Da die Mittelwerte der spezifischen Gewichte für Filler A resp. B nur minim differieren, werden über RM auch HM und die übrigen volumetrischen Grössen beurteilt. Für SM, FM und RM wurden folgende prozentualen Differenzen berechnet (Bsp. für SM, analog Berechnung für FM und RM):

$$\Delta \text{ in } \% = \frac{\frac{\text{SM}}{\text{Filler A}} - \frac{\text{SM}}{\text{Filler B}}}{\frac{\text{SM}}{\text{Filler A}}} \cdot 100$$

Diese Werte wurden in ein Diagramm eingetragen, bei dem Δ die Ordinate und der Anteil Eigenfiller am Gesamtfiller die Abzisse bildet.

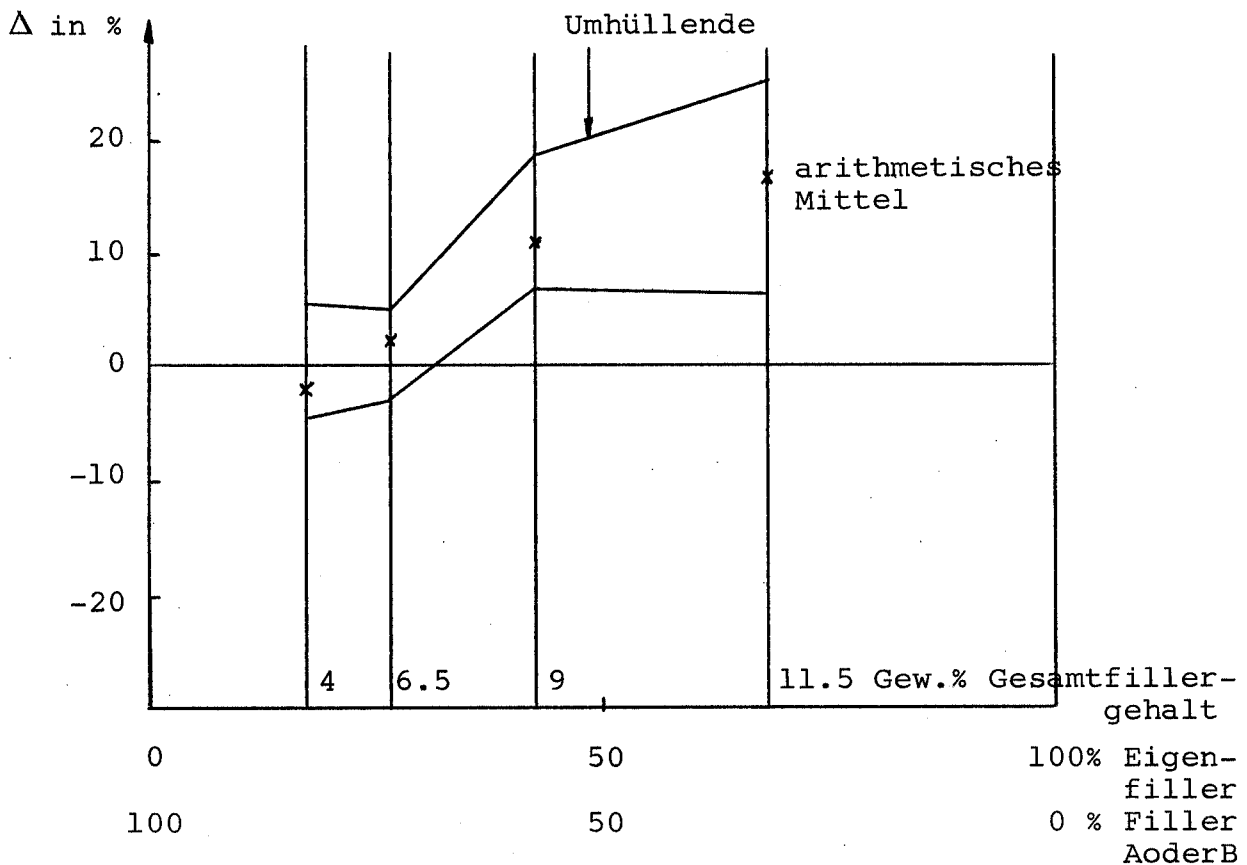
Pro Siebkurve und untersuchte Grösse (SM, FM, RM) ergibt sich somit ein Diagramm mit den 6 Kurven der Bindemittelgehalte (Diese Einzelkurven wurden im vorliegenden Bericht nicht graphisch dargestellt).

Prinzipiskizze:



Die Aufzeichnung dieser mit den ausgeglichenen Werten ermittelten Differenzen ergaben im allgemeinen regelmässige Kurvenläufe. Um aber bei dieser Betrachtungsweise die Auswirkung des Ausgleichs nicht ausser Acht zu lassen, wurden nach dem gleichen Prinzip auch mit Laborwerten die Differenzen gebildet und die entsprechenden Δ -Kurven aufgetragen. Diese Kurven zeigten ziemlich unregelmässige Verläufe. Um aussagekräftige Gegenüberstellungen zu ermöglichen wurden an die Kurvenscharen von jeweils 6 Kurven die Umhüllende gelegt und jeweils pro Füllergehalt das arithmetische Mittel der Δ -Abweichung eingetragen. Damit wird der Einfluss auf die Abweichungen, berechnet mit Laborwerten und mit ausgeglichenen Werten, deutlich.

Schema für die graphische Darstellung:



Die Diagramme nach obigem Schema sind im Anhang I zu finden.

Der Vergleich zeigt, dass zwar die Umhüllenden bei den Laborwerten stärker auseinander liegen als bei den ausgeglichenen Werten, dass aber insbesondere bei FM und RM die arithmetischen Mittel praktisch die gleiche Tendenz aufweisen. Bei SM wirken sich naturgemäss die früher erwähnten Niveauverschiebungen etwas aus, doch ist auch hier die Uebereinstimmung genügend. Deshalb wird im folgenden mit den ausgeglichenen Werten gearbeitet.

Zur Veranschaulichung wurden die Punkte der arithmetischen Mittel für gleiche Füllergehalte im selben Diagramm zusammengefasst und als Funktion der prozentualen Unterschiede (Ordinate) und der Anteile Eigen- resp. Fremdfüller (Abzisse) aufgetragen (siehe folgende Seiten).

AB 10: Δ in % für Werte mit Filler A resp. B

+ - Werte: A-Wert > B-Wert

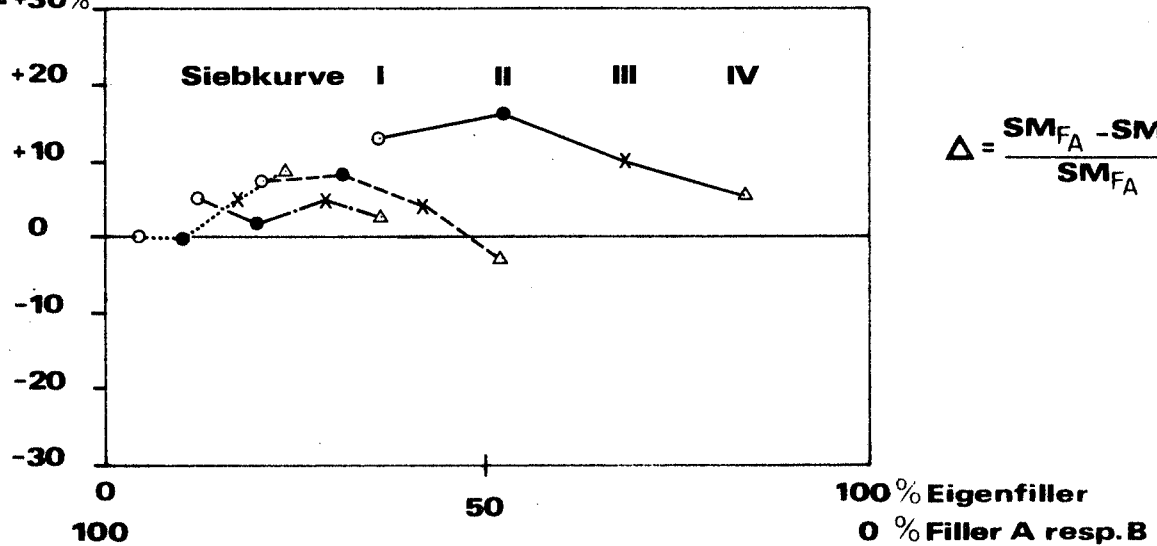
-- Werte: A-Wert < B-Wert

Fillergehalt:

— 5,0 Gew. %
 --- 7,5 Gew. %
 - - - 10,0 Gew. %
 12,5 Gew. %

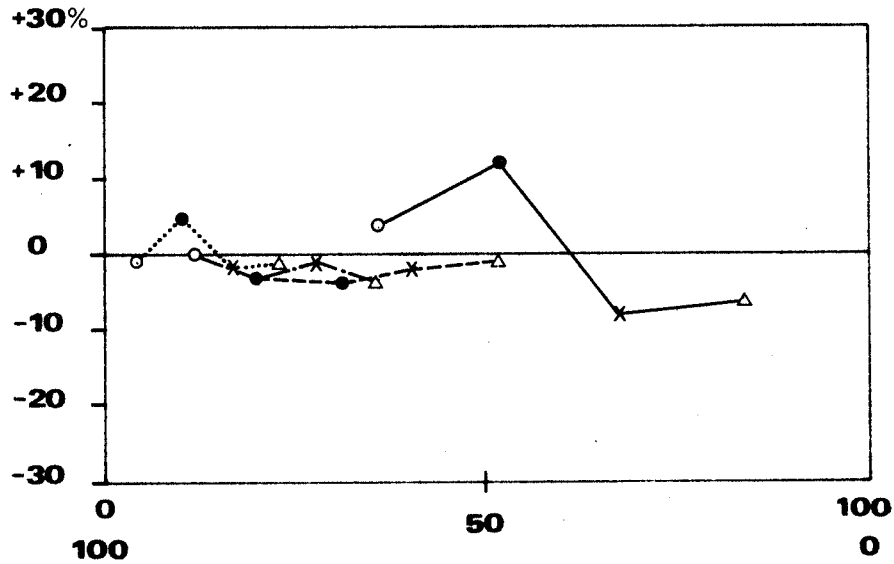
SM

$\Delta = +30\%$



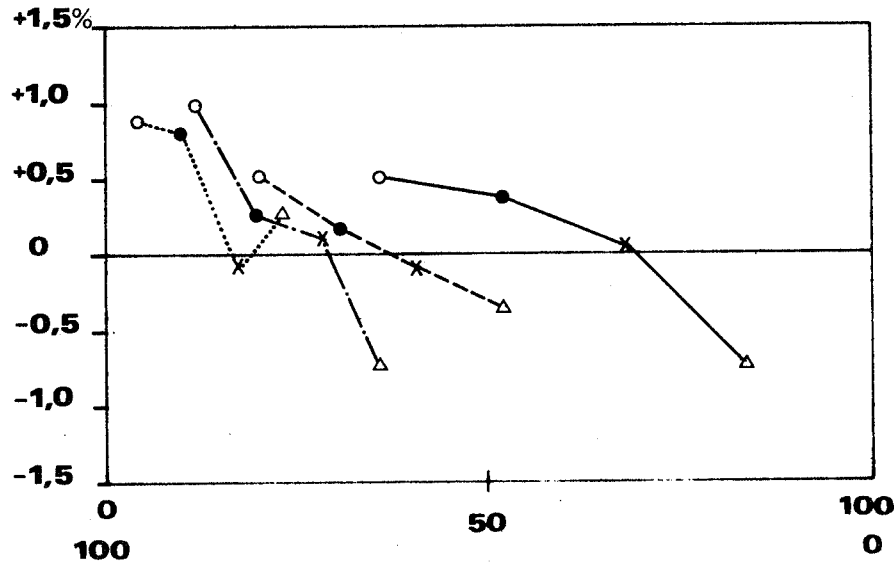
$$\Delta = \frac{SM_{FA} - SM_{FB}}{SM_{FA}}$$

FM



$$\Delta = \frac{FM_{FA} - FM_{FB}}{FM_{FA}}$$

RM



$$\Delta = \frac{RM_{FA} - RM_{FB}}{RM_{FA}}$$

AB 16: Δ in % für Werte mit Filler A resp. B

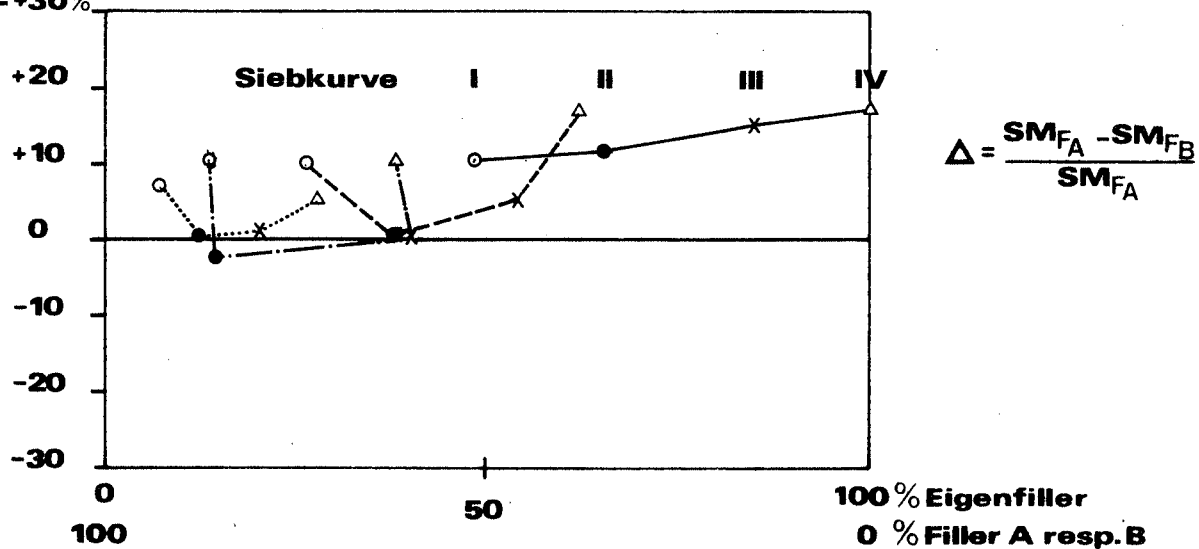
+ - Werte: A-Wert > B-Wert
 -- Werte: A-Wert < B-Wert

Fillergehalt:

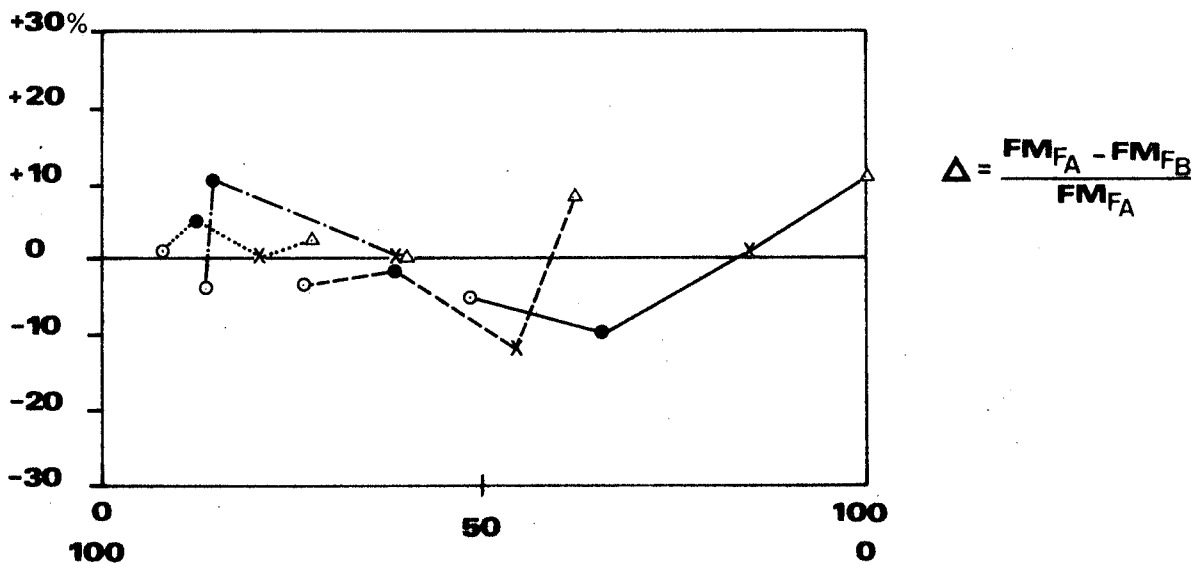
— 4,0 Gew. %
 --- 6,5 Gew. %
 - - - 9,0 Gew. %
 11,5 Gew. %

SM

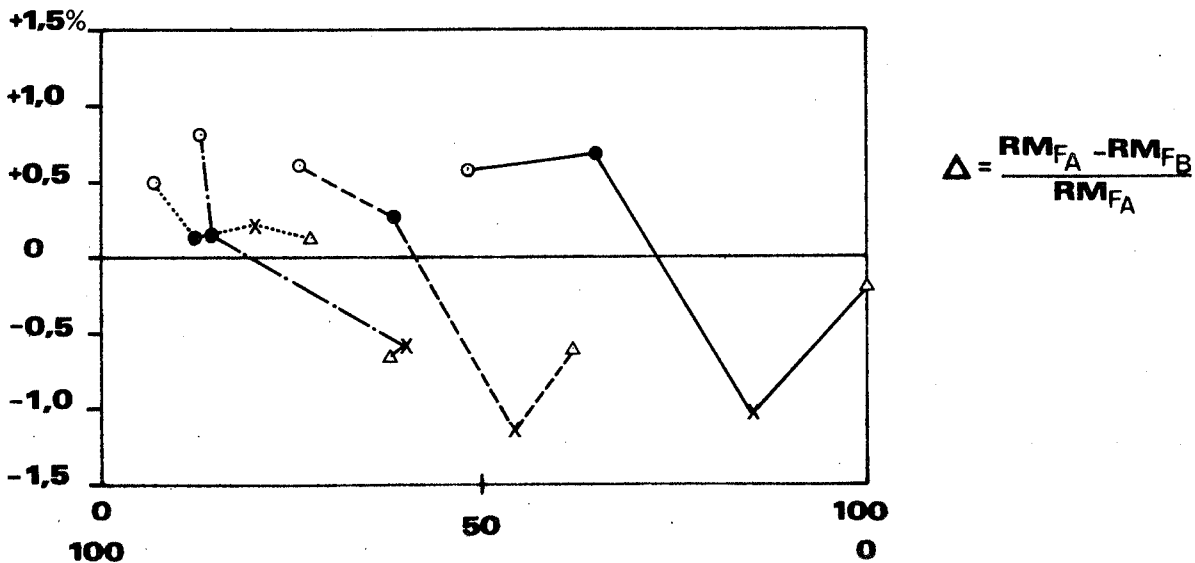
$\Delta = +30\%$



FM



RM



3. Vergleich bei gleichem Gesamtfillergehalt

Diese Betrachtungsweise erlaubt einen direkten Vergleich von Filler A zu B für gleiche Mischungen.

Stabilität SM:

Generell weisen Mischungen mit Filler A um etwa 5 bis 10% höhere Stabilitäten auf, wobei diese Unterschiede beim AB 10 eher bei den mittleren Siebkurven II und III, beim AB 16 eher bei den Randkurven I und IV auftreten. Etwas aus dem Rahmen fallen beim AB 10 und 16 die fillerärmsten Mischungen, wo der Anteil Fremdfiller absolut gesehen am kleinsten ist. Hier betragen die Unterschiede Δ 10 bis 15% zugunsten von Filler A.

Die Siebkurve IV beim AB 16 enthält mit 4 Gew.% Filler nur Eigenfiller, womit von der Mischung her kein Unterschied besteht zwischen denjenigen von Filler A und B. Trotzdem liegen die Stabilitäten der Reihe mit Filler A höher. Allerdings sind die SM-Werte an und für sich niedrig, sodass sich versuchsbedingte Schwankungen prozentual zu stark niederschlagen.

Der Anteil an Fremdfiller hat einen relativ kleinen Einfluss auf die Stabilität. Es ist also nicht so, dass sich bei mehr als 50% Fillerzugabe (bezüglich Gesamtfiller) Filler A oder B in grösserem Masse auswirkt als bei kleinerem Anteil.

Fliessen FM:

Mit Ausnahme einiger Punkte bei den fillerarmen Mischungen liegen die FM-Werte grösstenteils im Bereich, wo Differenzen Δ von 0 bis 5% auftreten.

Damit liegen sie in einem prüfungstechnischen Toleranzbereich, der keine eindeutige Tendenzaussage erlaubt.

Hier gibt der Anteil Fremdfiller wenig Anhaltspunkte über eine tendenzielle Beeinflussung.

Raumgewicht RM:

In diesen Diagrammen fällt der kleine Variationsbereich von Δ von -1 bis +1 % auf. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass bei den auftretenden Raumgewichten von 2.13 bis 2.44 g/cm³ eine Änderung von Δ von 1% eine Hohlraumgehaltsänderung von ca. 0.8 Vol.% bewirkt.

Bei gleichem Gesamtfillergehalt zeigt sich eine recht auffällige Tendenz, dass bei zunehmendem Anteil Fremdfiller der Einfluss der Fillerart wechselt.

Während bei Mischungen der Siebkurve IV und teilweise III (AB 16) Filler B höhere Raumgewichte ergibt, so findet ein sukzessiver Wechsel gegen die sandärmeren Mischungen der Siebkurve I und II statt, wo jetzt Filler A (bei prozentual höherem Anteil an Gesamtfillergehalt) höhere Raumgewichte und damit tiefere Hohlraumgehalte bewirkt.

4. Einfluss des Anteils Fremdfiller am Gesamtfiller

Neben der Frage eines Einflusses von Filler A oder B interessiert weiter, ob und in welchem Masse sich der Anteil des jeweiligen Fremdfillers am Gesamtfiller auswirkt.

Stabilität SM:

Speziell bei hohem Gesamt- und entsprechend grösserem Fremdfilleranteil (in der Regel über 50%) fehlt ein Hinweis oder eine Tendenz auf eine Zunahme der Wirkungsweise eines Fillers. Die Abweichungen sind eher versuchsbedingt (teilweise bei Randkurve I und IV) und entbehren einer Systematik.

Fliessen FM:

Im Bereich des grösseren Fremd- und Gesamtfilleranteils ist kein Unterschied in der Wirkung von Filler A und B erkennbar. Bei kleinen Fremdfilleranteilen sind gewisse uneinheitliche Schwankungen vorhanden, doch sind sie klein und betreffen fast ausschliesslich die fillerärmsten Mischungen.

Raumgewicht RM:

Ein zunehmend höherer Anteil Fremdfiller ergibt eine deutliche Zunahme des Raumgewichts RM von Prüfkörpern aus Mischgut mit Filler A gegenüber solchen mit Filler B. Damit lassen sich offenbar Mischungen mit einem relativ hohem Filler A-Gehalt besser verdichten und ergeben kleinere Hohlraumgehalte.

5. Vergleich im Bindemittel-/Fillerdiagramm

Vergleich der 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche'
(siehe Diagramm Seite 97 ff)

Die Vergleiche der punktierten Flächen von Filler A und B zeigen, dass die 'empfohlenen verformungsfesten Bereiche' von Filler A und B sich kaum unterscheiden. Sowohl die Grösse wie die Lage sind in etwa gleich.

Vergleich der Normbereiche
(siehe Diagramm Seite 108 ff)

Auch hier zeigen sich im Grossen und Ganzen geringe Unterschiede, speziell bei Kategorie b) ($100 < TF \leq 1000$). Lediglich die Begrenzung von SM von 9 kN in Kategorie a) ($TF > 1000$) hat für Filler B bei Siebkurve II und III eine Akzentuierung zur Folge: Der fillerarme, bindemittelreiche Bereich wird stärker ausgeklammert.

6. Beurteilung

Ein Unterschied in der Auswirkung der beiden Fillerarten im Mischgut zeigt sich im Marshall-Versuch hauptsächlich in einer etwas höheren Stabilität zugunsten von Filler A. Die Unterschiede bei FM sind klein. Eine etwas klarere Tendenz zeigt sich beim Raumgewicht, das mit zunehmendem Anteil Fremdfiller höhere Werte für Filler A ergibt. Insgesamt lässt sich aber mit diesen Auswertungen keine Aussage über eine bessere Eignung des einen oder anderen Fillers machen, immer unter der Berücksichtigung der Wertung im Marshall-Versuch. Andere Kriterien wie Regelmässigkeit in der Korngrössenverteilung und der Qualität etc. werden hier nicht erfasst. Auch lässt die Verwendung von nur zwei Fillern keine allgemein gültigen Schlüsse zu.

9.3 EINFLUSS DER MISCHGUTSORTE

Die gleiche Bezeichnung der Siebkurven mit I - IV beim AB 10 und AB 16 kam auf Grund der ähnlichen Lage bezüglich der Normbereiche gemäss SN 640 431 zustande, was jeweils einem ähnlichen Aufbau bezüglich dem Grösstkorn entspricht. Es hat sich gezeigt, dass die Zusammenhänge zwischen Marshall-Werten und Bindemittelgehalt resp. Füllergehalt bei allen Siebkurven beider Mischgutsorten prinzipiell ähnlich sind und entsprechend den Skizzen von Kap. 8.2/8.3 verlaufen. Für die verschiedenen Marshall-Kennwerte ergeben sich jedoch wertmässig starke Unterschiede bei Aenderung der Siebkurve.

Das Mischgut der sandarmen Siebkurven I weist für beide Sorten geringe Stabilitäten und bei variablem Bindemittelgehalt kleine Differenzierungen der Fliesswerte, des Verhältnisses SM/FM und zum Teil der Hohlraumgehalte auf. Bei beiden Belagssorten werden die Normanforderungen nicht erfüllt.

Grössere Unterschiede haben sich vor allem bei Mischungen der Siebkurven II bis IV ergeben, wo beim AB 10 grössere Fliesswerte und in der Folge kleinere Verhältnisse SM/FM festgestellt werden. Diese Ergebnisse drücken sich z.B. in der Abgrenzung der Mischungen gemäss Norm im Bindemittel-Füller-Diagramm aus. Gegen den instabilen Bereich grenzen folgende Werte ab:

AB 10 :	TF > 1000	FM _{max}	3,5mm
		SM/FM	3 kN/mm
	100 < TF ≤ 1000	HM _{min}	3 Vol.%

AB 16 :	Durchwegs	HM _{min}	3 Vol.%
---------	-----------	-------------------	---------

Das Mischgut AB 10 mit einem HM von 3 Vol.% weist also grössere Fliesswerte und kleinere Verhältnisse SM/FM auf als entsprechendes Mischgut AB 16.

Im 'empfohlenen verformungsfesten Bereich' erfüllen im Gegensatz zum Normbereich gewisse Mischungen der Siebkurve I beim AB 10 die festgelegten Anforderungen, während dies beim AB 16 nur gerade noch in Ansätzen der Fall ist.

Beurteilung

Beide Mischgutsorten eignen sich zur Anwendung im Marshall-Versuch. Anhaltspunkte über eine Extrapolation der vorliegenden Werte auf Mischgut mit kleinerem oder grösserem Grösstkorn können nicht abgeleitet werden. Für das Mischgut selber werden verschiedene Marshall-Werte für die Abgrenzung des Anwendungsbereiches massgebend.

10. F O L G E R U N G E N

In diesem abschliessenden Kapitel werden folgende Punkte zusammengefasst und erläutert:

Geeignete Beläge

Beurteilung des Marshall-Versuchs

Beurteilung der Schweizer Norm 640 431

Empfehlungen

10.1 GEEIGNETE BELÄGE

1. Aussagekraft des Marshall-Versuchs

Der Marshall-Versuch ermöglicht ein Abgrenzen eines 'empfohlenen verformungsfesten Bereichs' gegen den instabilen Bereich.

Um verbindliche Aussagen im nachverdichtbaren (hohlraumreichen) Bereich z.B. bezüglich des Langzeitverhaltens machen zu können, sind zusätzliche Untersuchungen und Versuchsreihen anzustellen. Um die Problematik in ihrer Gesamtheit erfassen zu können, müssten u.a. Ermüdungsversuche und Bewitterungs-Tests durchgeführt werden.

2. Verformungsfeste Beläge für hohe Beanspruchungen

Schweizer Norm 640 431 für $TF > 1000$ und s-Beläge

Die Norm geht von der Vorstellung eines verformungsfesten Bereichs aus, der in einem gewissen Gültigkeitsbereich der Korngrößenverteilung durch Anforderungen an Kennwerte des Marshall-Versuchs sichergestellt ist:

<u>Kennwert</u>		<u>Anforderungen</u>
Stabilität	SM	-Mindestwert
Fliessen	FM	-Bereich
Verhältnis	SM/FM	-Mindestwert
Hohlraumgehalt	HM	-Bereich

Die Darstellung dieser Grenzwerte in Filler-Bindemittel-Diagrammen zeigt anschaulich, wie und wo die heutige Schweizer Norm 640 431 Grenzen setzt:

- Gegen den nachverdichtbaren Bereich
durchwegs mit dem oberen Hohlraumgehalt von 6 Vol.%
- Gegen den instabilen Bereich
AB 10 : Verhältnis SM/FMmin und Fliessen FMmax
AB 16 : Hohlraumgehalt HMmin 3 Vol.%

Zur Abgrenzung von Normbereichen mit Hilfe des Marshall-Versuchs sind somit als grundlegende Punkte berücksichtigt:

- Anforderungen an volumetrische und mechanische Marshall-Kennwerte.
- Feste Grenzwerte unabhängig von der Zusammensetzung.
- Betrag dieser Grenzwerte aufgrund von Erfahrungen aus der Praxis.

'Empfohlener verformungsfester Bereich'

Ausgehend von theoretischen Ueberlegungen wird zur Abgrenzung des 'empfohlenen verformungsfesten Bereichs' der minimale Hohlraumgehalt der Mineralstoffe (HMMmin) übernommen:

- Minimum des Hohlraumgehaltes der Mineralstoffe HMM als dichteste Lagerung der Mineralstoffe.

Weitere Abgrenzungen ergeben sich aus Erfahrungswerten:

- Maximalwert des Hohlraumgehaltes (HMmax 8 Vol.%) als Abgrenzung gegen den offenen Bereich.
- Konzentration C (Volumenverhältnis Filler/Mastix) mit einem Minimalwert von 0.25 und einem Maximalwert von 0.40.

Beim 'empfohlenen verformungsfesten Bereich' erfolgt die Abgrenzung somit durch:

- Anforderungen an volumetrische Marshall-Kennwerte allein.
- Variablen unteren Grenzwert des Hohlraumgehaltes HM durch die Wahl eines Minimums des Hohlraumgehaltes der Mineralstoffe HMM min (über variablen Bindemittelgehalt).
- Zusätzliche feste Grenzwerte auf Grund praktischer Erfahrungen.

Notwendig sind im weiteren Anforderungen an mechanische Werte, um den hohlraumreichen Bereich -insbesondere von splittreichen Mischungen (Siebkurve I)- abzugrenzen. Dazu ist aber der Marshall-Versuch nicht geeignet und muss durch andere Versuche ergänzt werden.

3. Verformungsfeste Beläge für normale Beanspruchungen

Darunter fallen nach Norm Beläge mit einer Verkehrsbeanspruchung von $100 < TF \leq 1000$. Dieselben Marshall-Kennwerte sind vorgeschrieben wie bei $TF > 1000$ und s-Belägen, unterscheiden sich aber in den Anforderungen an den Betrag der mechanischen Werte.

Im Bindemittel-Fillerdiagramm zeigt die Darstellung die massgebenden Grenzwerte:

- Gegen den hohlraumreichen Bereich Hohlraumgehalt HM max 6 Vol. %
(Ausnahme AB 10/I/A: Stabilität SM).
- Gegen den hohlraumarmen Bereich Hohlraumgehalt HM min 3 Vol. %

Die Abgrenzung erfolgt somit analog der höheren Beanspruchung, wobei aber fast ausschliesslich volumetrische Werte massgebend werden.

10.2 DER MARSHALL-VERSUCH

Die vorliegende Arbeit ermöglicht folgende Feststellungen über Versuchsdurchführung und Interpretation des Marshall-Versuchs:

- Beim Beurteilen eines Mischgutes im Labor mit Hilfe des Marshall-Versuchs muss immer das Zusammenwirken sämtlicher Kennwerte beachtet werden.
- Die Bestimmung der volumetrischen Kennwerte Hohlraumgehalt HM, Hohlraumgehalt der Mineralstoffe HMM und Hohlraumfüllungsgrad des Bindemittels HFB allein erlaubt bereits eine weitgehende Beurteilung des Mischgutes.
- Das Minimum des Hohlraumgehaltes der Mineralstoffe HMM min, bestimmt über variablen Bindemittelgehalt, trennt als dichteste Lagerung der Mineralstoffe den 'verformungsfesten' vom 'instabilen' Bereich.
- Der mechanische Teil des Marshall-Versuchs gibt bei hohen Fließwerten und kleinen Verhältnissen SM/FM Hinweise auf instabile Mischungen.
- Die Abgrenzung des 'verformungsfesten' vom hohlraumreichen Bereich muss durch Erfahrungswerte oder andere Versuche erfolgen.
- Die Variation des Bindemittelgehaltes -übliche Art der Eignungsprüfung- lässt dessen Auswirkung bei einer gegebenen Korngrößenverteilung der Mineralstoffe beurteilen (Optimieren des Bindemittelgehaltes).
- Bei der Variation des Füllergehaltes werden die Kornabstufung und damit die Eigenschaften des Mineralstoffgemisches geändert. Dadurch wird die Wirkungsweise des Mischgutes sowohl im Marshall-Versuch wie auch in der Praxis prinzipiell anders als bei der Variation des Bindemittelgehaltes.
- Starke Einflüsse bringt die Variation des Sand/Splittverhältnisses. Dabei bewirken Änderungen des Bindemittel- und/oder Füllergehaltes bei Mischgut mit sandreichen Siebkurven (→ IV) wesentlich stärkere Differenzierungen der Marshall-Kennwerte als bei Mischgut mit sandärmeren Siebkurven (→ I).
- Der Einfluss der beiden in die Untersuchung einbezogenen Filler auf die Eigenschaften des Mischgutes im Marshall-Versuch ist klein. Zur Qualitätsbeurteilung von grundsätzlich geeigneten Fillern ist der Marshall-Versuch nicht brauchbar.

- Aussagen über das Verhalten von Mischgut mit kleinerem resp. grösserem Grösstkorn als 10 resp. 16mm sind im Rahmen dieser Untersuchung praktisch nicht möglich.
- Eine andere Auswertung des Kraft-Verformungs-Diagrammes, z.B. mittels des Tangentenmoduls, brachte keine zusätzlichen Informationen.
- Die in der Norm vorgeschriebenen maximal zulässigen Abweichungen der Einzelwerte von den Mittelwerten ($SM \pm 15\%$, $FM \pm 15\%$, $RM \pm 0.015 \text{ g/cm}^3$) wurden bis auf wenige Ausnahmen eingehalten und sind als realistische Werte zu beurteilen.

10.3 BEURTEILUNG DER SCHWEIZER NORM 640 431

Die Beurteilung erstreckt sich auf die Teile C und D, die die Eignung eines Mischgutes mit einem zulässigen Siebkurvenbereich und mit den Anforderungen an Werte im Marshall-Versuch festlegen.

- Die bestehenden Siebkurvenbereiche und die entsprechenden volumetrischen und mechanischen Anforderungen an die Marshall-Prüfkörper ermöglichen eine grosse Anzahl von Mischgutzusammensetzungen für verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten.
- Mischgutzusammensetzungen der Kurven I erfüllen die mechanischen Anforderungen nicht, während viele Mischungen der Kurven II sie erfüllen. Damit sind die grobe Grenze des Siebkurvenbereiches und die Marshall-Anforderungen gut aufeinander abgestimmt. Siebkurven ausserhalb der splittreichen Grenze des Siebkurvenbereiches sind für die Beurteilung im mechanischen Teil des Marshall-Versuchs nicht geeignet.
- Im feinen sandreichen Bereich erfüllen viele Mischgutzusammensetzungen der Siebkurven IV (bereits ausserhalb des Normbereiches) die bestehenden Anforderungen im Marshall-Versuch. Damit ist hier eine Ausweitung des Siebkurvenbereiches denkbar.
- Die heute gültige Norm zeigt eine gute Uebereinstimmung zwischen Siebkurvenbereichen und Anforderungen im Marshall-Versuch. Diese Anforderungen basieren alle auf Erfahrungswerten. Für die Erfassung von Zusammensetzungen ausserhalb des Norm-Siebkurvenbereiches, die nach Norm bei Nachweis der Eignung zulässig sind, fehlen Kriterien der Beurteilung.

10.4 EMPFEHLUNGEN

Beim Bewerten eines Mischgutes mit Hilfe des Marshall-Versuches und damit insbesondere bei Eignungsprüfungen sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Einbeziehen der volumetrischen Kennwerte Hohlraumgehalt der Mineralstoffe HMM, Hohlraumfüllungsgrad des Bindemittels HFB und der Konzentration C zusätzlich zum Hohlraumgehalt HM.
- Lage des Minimums des Hohlraumgehalts der Mineralstoffe HMM min im bezug auf zugehörigen Hohlraumgehalt HM überprüfen.
- Beim Beurteilen der mechanischen Werte hauptsächlich Fliessen und Verhältnis SM/FM zusammen mit den entsprechenden volumetrischen Kennwerten überprüfen.
- Vorsichtiges Bewerten der Stabilität SM, da eine Aussage über die Verformungsfestigkeit auf Grund der Stabilität nur beschränkt möglich ist.
- Vermehrt andere Untersuchungsmethoden einbeziehen, die den Marshall-Versuch ergänzen und auch für die Bereiche ausserhalb der heutigen Norm gelten.

Ein Berücksichtigen der aufgeführten Punkte in der bestehenden Schweizer Norm 640 431 ist zu überprüfen.

Zürich, den 12. November 1981

WALO BERTSCHINGER
CENTRAL AG SA

W. Messmer

Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt
Abteilung Strassenbau- und Isolierstoffe
Der Abteilungsvorsteher:

F. Hilt

