

Anhang zu:

**Entwicklung einer
Prüfsystematik zur
Identifizierung der
Bitumenart und der
verwendeten Modifizie-
rungsmittel in einem
Ausbauasphalt**

von

Michael Gehrke

Ingenieurgesellschaft für Technische Analytik mbH
Herne

Dietmar Stephan
Sandra Weigel

Fachgebiet Baustoffe und Bauchemie
Institut Bauingenieurwesen
Fakultät VI Planen Bauen Umwelt
Technische Universität Berlin

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 168

bast

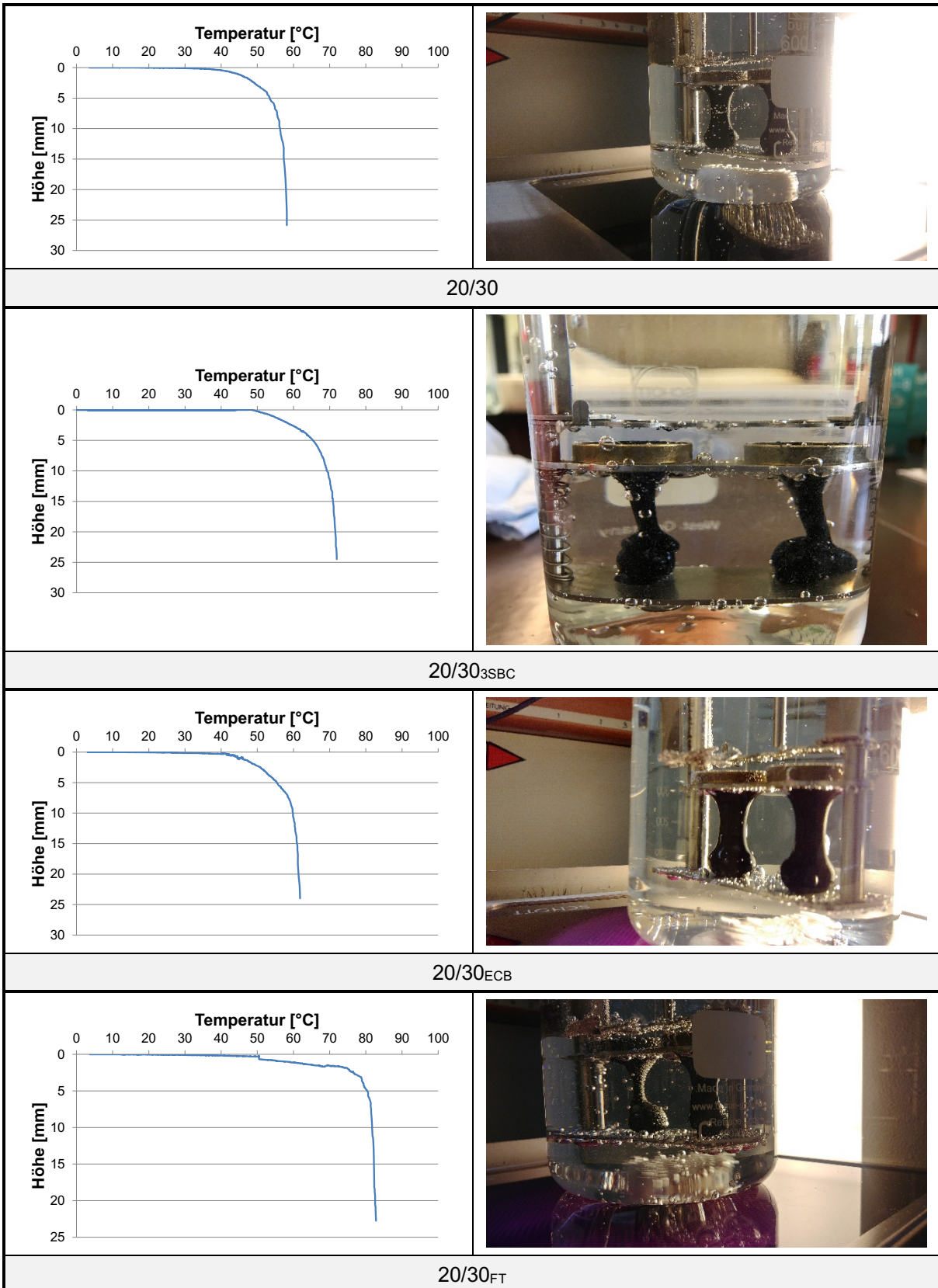
A.1. Bezeichnungen der Bindemittelvarianten

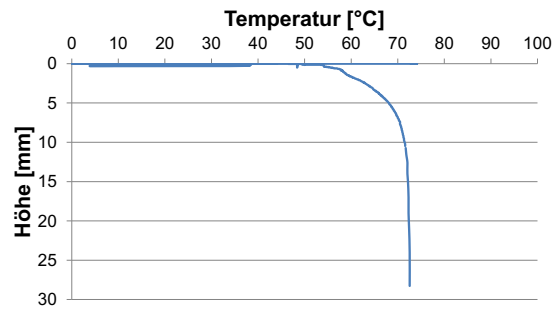
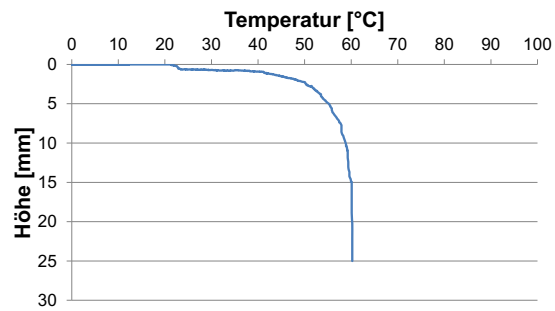
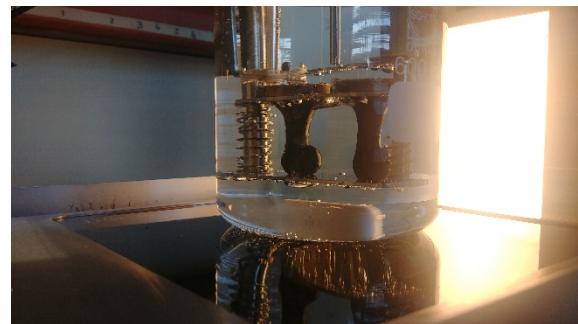
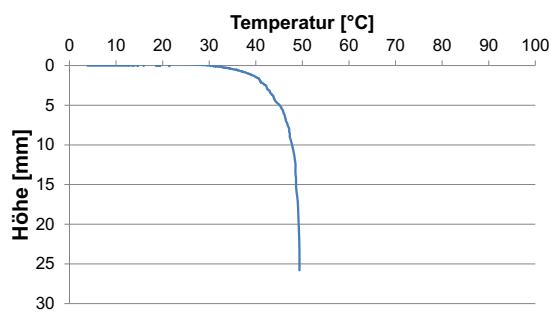
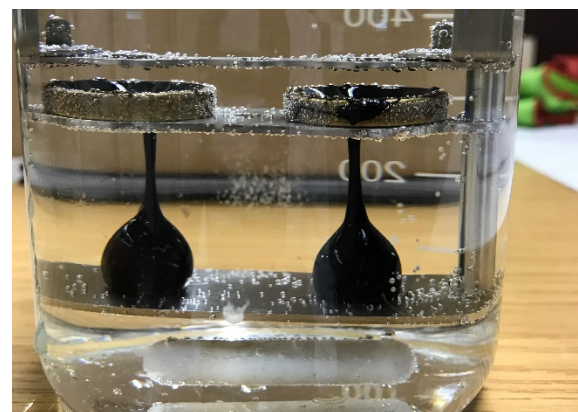
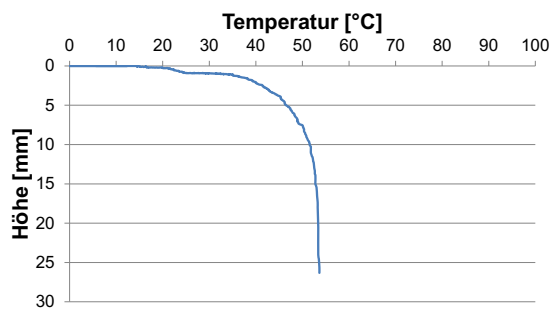
Bezeichnung	Basisbindemittel	Modifizierung	Konditionierung
20/30 _A	20/30	–	–
20/30 _{SBC}	20/30	3,0 M.-% SBC	
20/30 _{ECB}	20/30	5,0 M.-% ECB	
20/30 _{Amid}	20/30	3,0 M.-% Amidwachs	
20/30 _{FT}	20/30	3,0 M.-% FT-Wachs	
20/30 _{GG}	20/30	20,0 M.-% GG	
70/100 _A	70/100	-	
70/100 _{1SBC}	70/100	1,0 M.-% SBC	
70/100 _{2SBC}	70/100	2,0 M.-% SBC	
70/100 _{3SBC}	70/100	3,0 M.-% SBC	
70/100 _{4SBC}	70/100	4,0 M.-% SBC	
70/100 _{5SBC}	70/100	5,0 M.-% SBC	
70/100 _{2ECB}	70/100	2,0 M.-% ECB	
70/100 _{3,5ECB}	70/100	3,5 M.-% ECB	
70/100 _{5ECB}	70/100	5,0 M.-% ECB	
70/100 _{1,5FT}	70/100	1,5 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{2FT}	70/100	2,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{3FT}	70/100	3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{1,5Amid}	70/100	1,5 M.-% Amidwachs	
70/100 _{2Amid}	70/100	2,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{3Amid}	70/100	3,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{MoA}	70/100	3,0 M.-% MoA	
70/100 _{MoB}	70/100	3,0 M.-% MoB	
70/100 _{20GG}	70/100	20,0 M.-% GG	
70/100 _{SBC/FT}	70/100	3,0 M.-% SBC + 3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{SBC/Amid}	70/100	3,0 M.-% SBC + 3,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{GG/FT}	70/100	20 M.-% GG + 3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{GG/Amid}	70/100	20 M.-% GG + 3,0 M.-% Amidwachs	
25/55-55 _A	25/55-55 A	–	
25/55-55 _B	25/55-55 A	–	
40/100-65	40/100-65 A	–	
GmB	GmB 25/55-65	–	

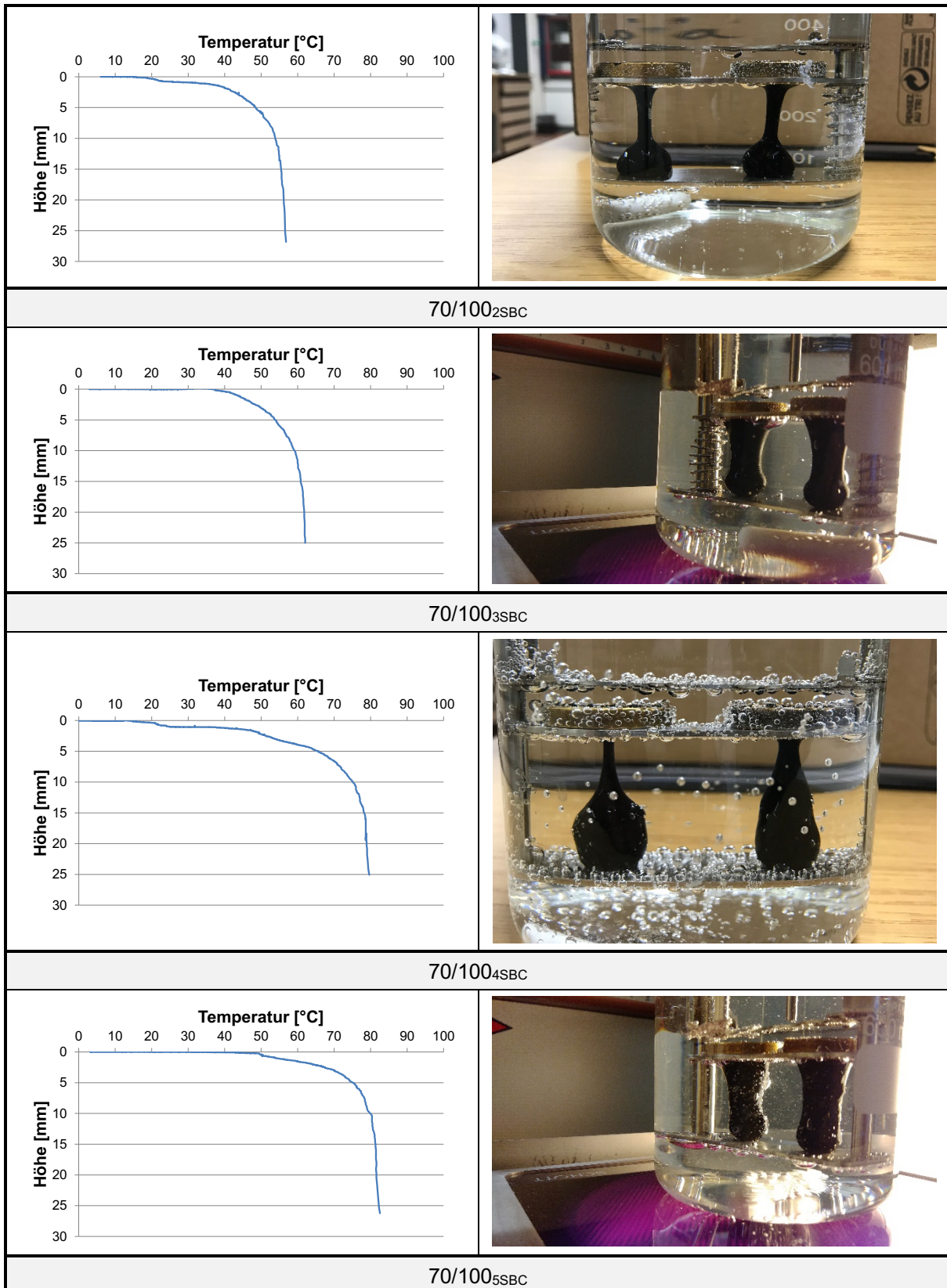
Bezeichnung	Basisbindemittel	Modifizierung	Konditionierung
70/100 _{A_PAV}	70/100	–	RTFOT + PAV
70/100 _{3SBC_PAV}	70/100	3,0 M.-% SBC	
70/100 _{5ECB_PAV}	70/100	5,0 M.-% ECB	
70/100 _{3FT_PAV}	70/100	3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{3Amid_PAV}	70/100	3,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{GG_PAV}	70/100	20,0 M.-% GG	
70/100 _{SBC/FT_PAV}	70/100	3,0 M.-% SBC + 3,0 M.-% FT-Wachs	
40/100-65 _{PAV}	40/100-65 A	–	
20/30 _{Rück}	20/30	–	Herstellung AC 8 DN, Alterung des Asphalts, Extraktion und Bindemittelrückgewinnung
70/100 _{Rück}	70/100	–	
70/100 _{1SBC_Rück}	70/100	1,0 M.-% SBC	
70/100 _{2SBC_Rück}	70/100	2,0 M.-% SBC	
70/100 _{3SBC_Rück}	70/100	3,0 M.-% SBC	
70/100 _{5SBC_Rück}	70/100	5,0 M.-% SBC	
70/100 _{ECB_Rück}	70/100	5,0 M.-% ECB	
70/100 _{2Amid_Rück}	70/100	2,5 M.-% Amidwachs	
70/100 _{3Amid_Rück}	70/100	3,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{2FT_Rück}	70/100	2,5 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{3FT_Rück}	70/100	3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{20GG_Rück}	70/100	20,0 M.-% GG	
40/100-65 _{Rück}	40/100-65 A	–	
70/100 _{SBC/FT_Rück}	70/100	3,0 M.-% SBC + 3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{SBC/Amid_Rück}	70/100	3,0 M.-% SBC + 3,0 M.-% Amidwachs	
70/100 _{GG/FT_Rück}	70/100	3,0 M.-% GG + 3,0 M.-% FT-Wachs	
70/100 _{GG/Amid_Rück}	70/100	3,0 M.-% GG + 3,0 M.-% Amidwachs	

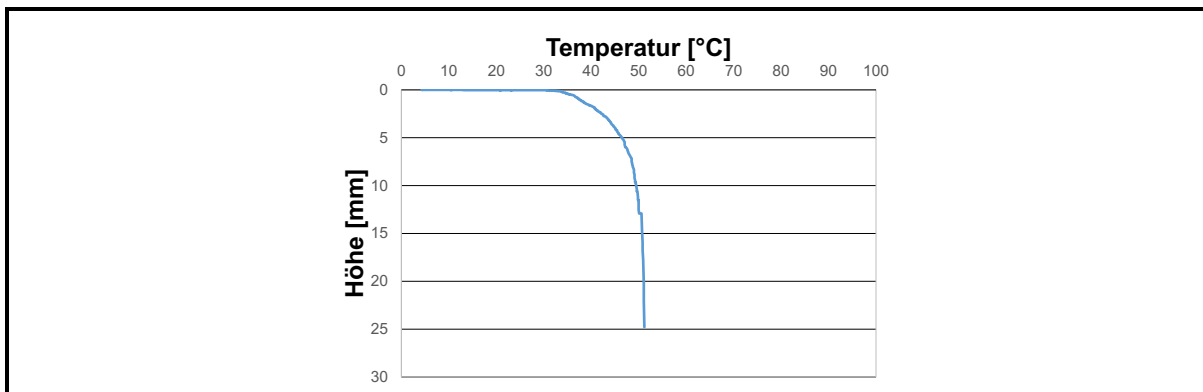
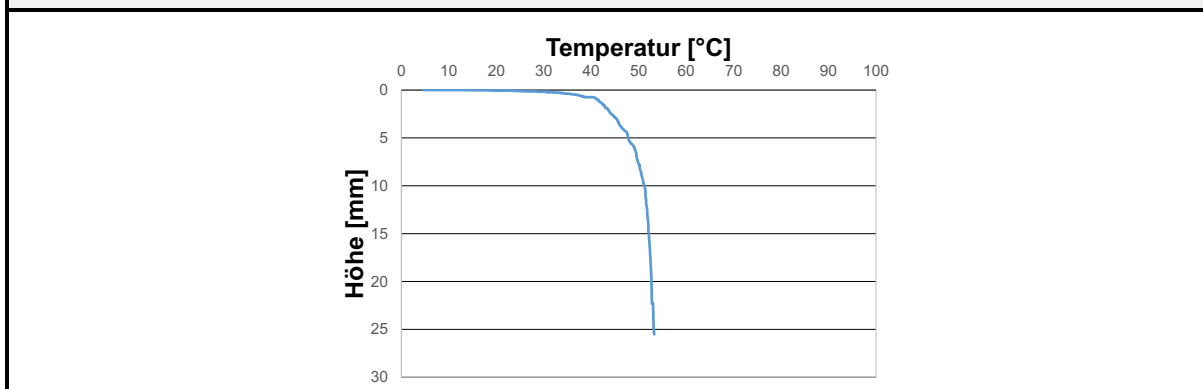
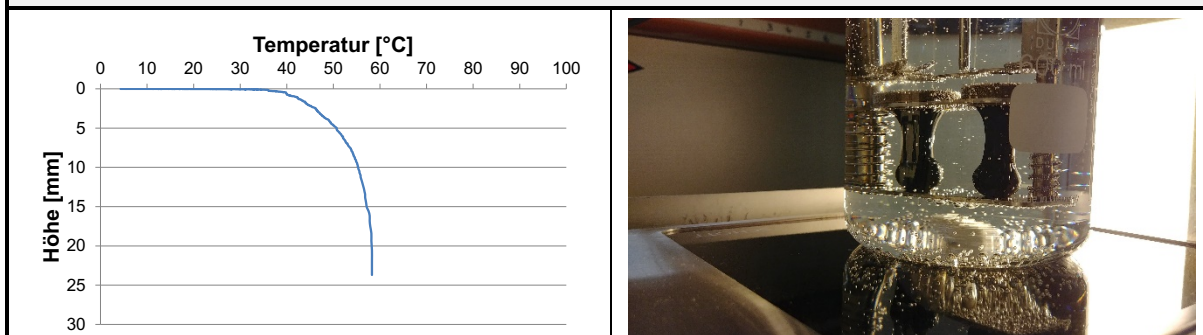
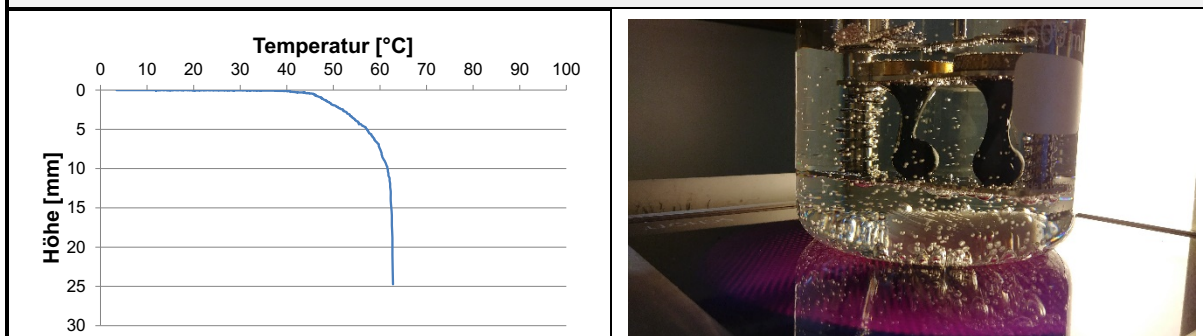
Bezeichnung	Bindemittel / Modifizierung	Konditionierung
BK 1	50/70	Praxisproben
BK 2	Straßenbaubitumen	
BK P 1	45/80-50 A	
BK P 2	25/55-55 A	
BK P 3	45/80-50 A	
BK P 4	25/55-55 A	
BK P 5	40/100-65 A	
BK W 1	Ursprüngliche Vermutung: WmB	
BK W 2	15/25 VL	
BK W 3	15/25 VL	
BK W 4	15/25 VL	
BK W 5	25/35 VH	
BK W 6	25/35 VL	
BK PW 1	PmB 10/25 VL	
BK PW 2	PmB 10/25 VL	
BK G 1	GmB	
BK G 2	GmB	

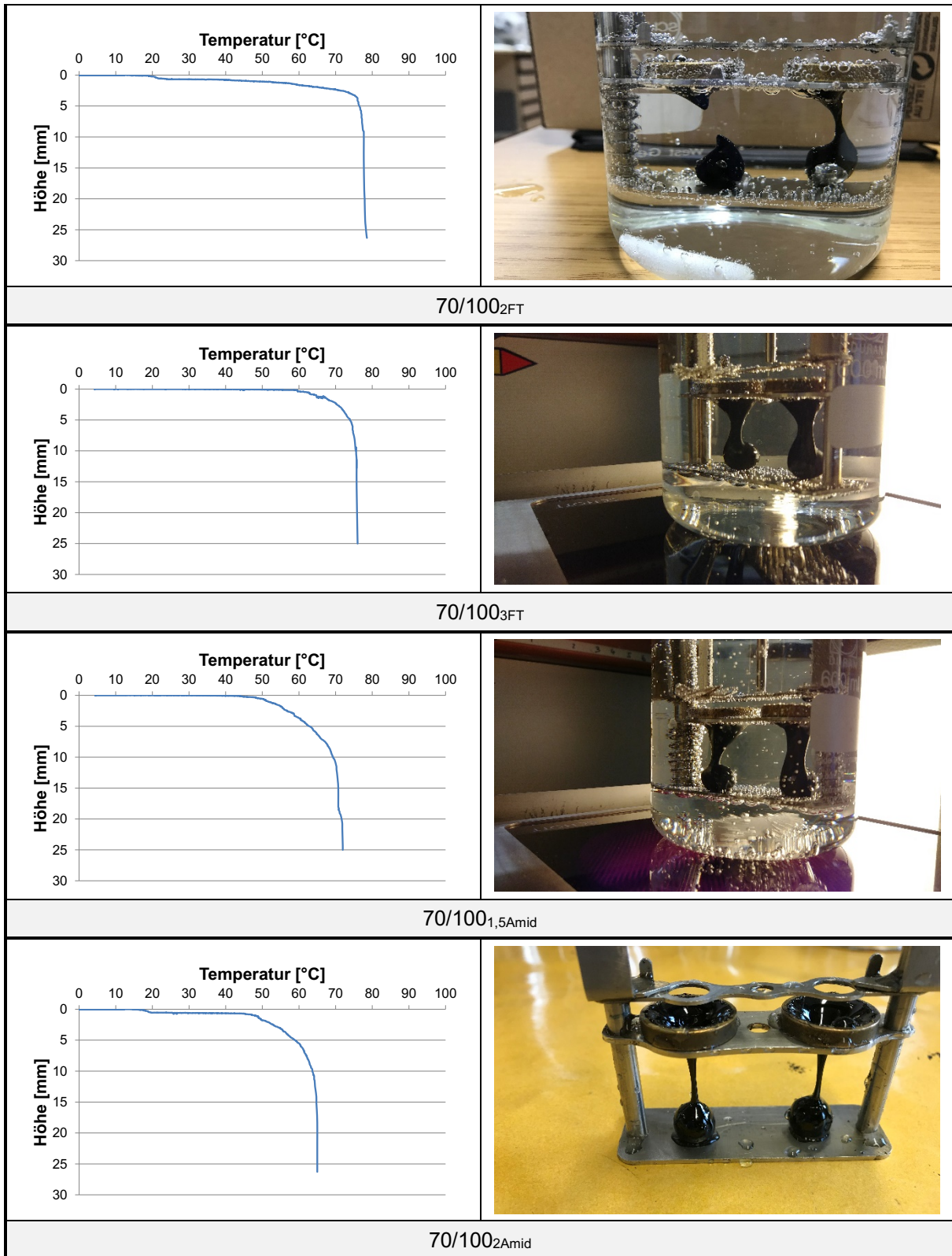
A.2. Untersuchungsergebnisse – Erweiterter Erweichungspunkt Ring und Kugel

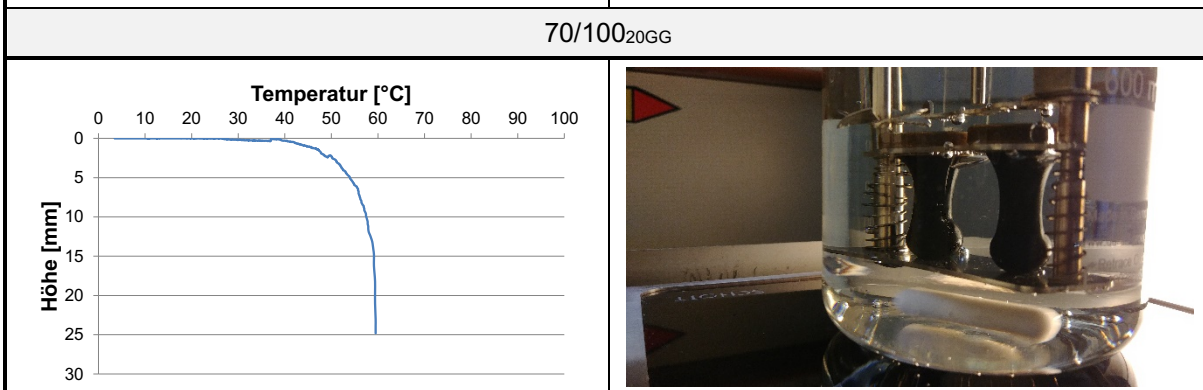
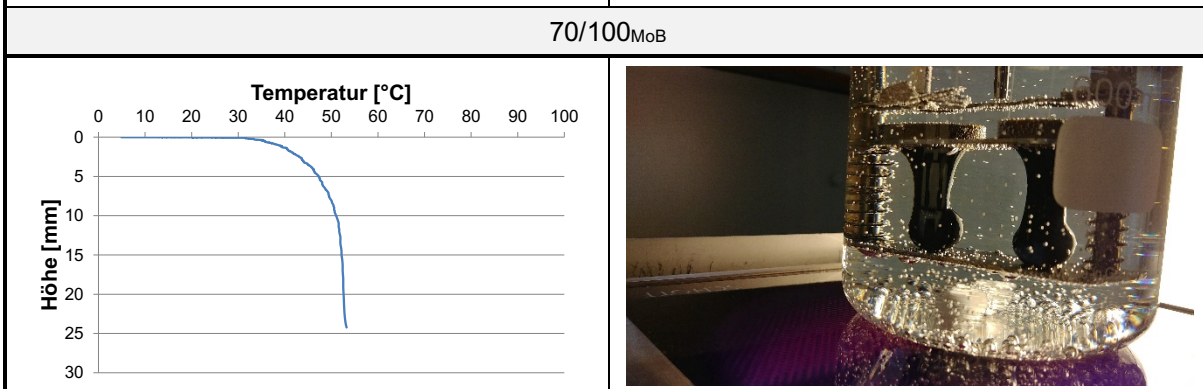
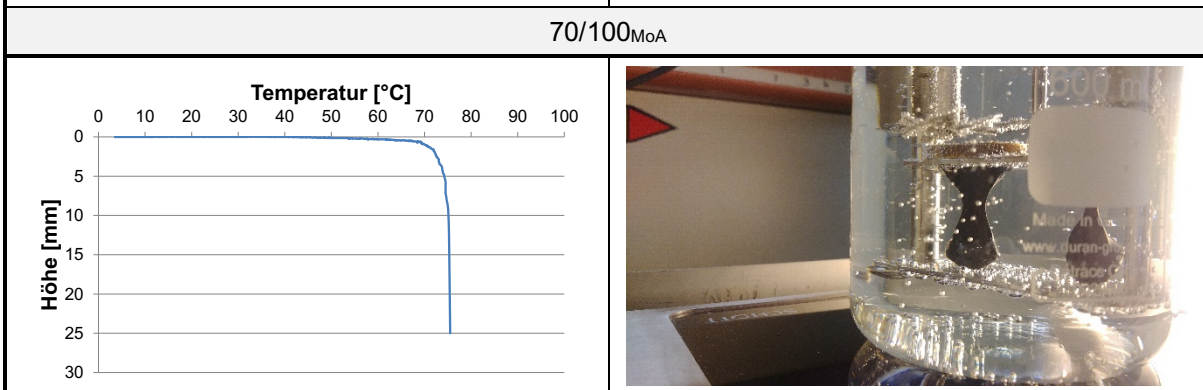
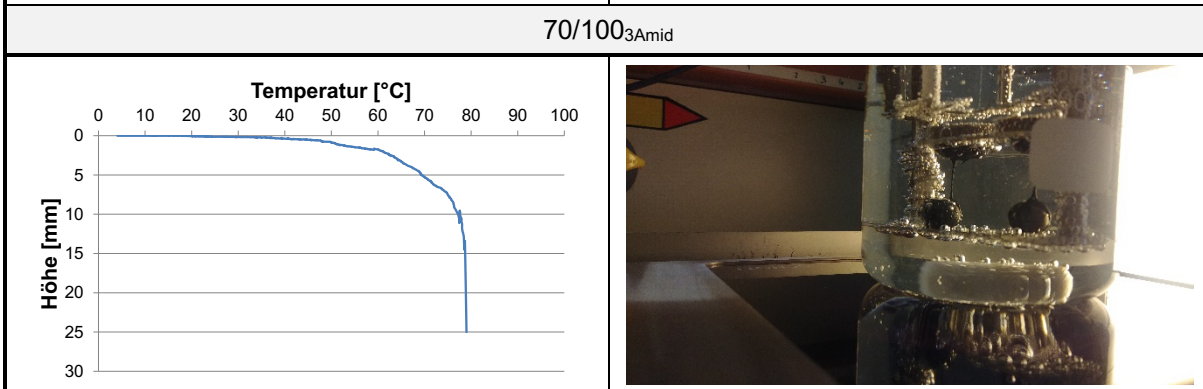
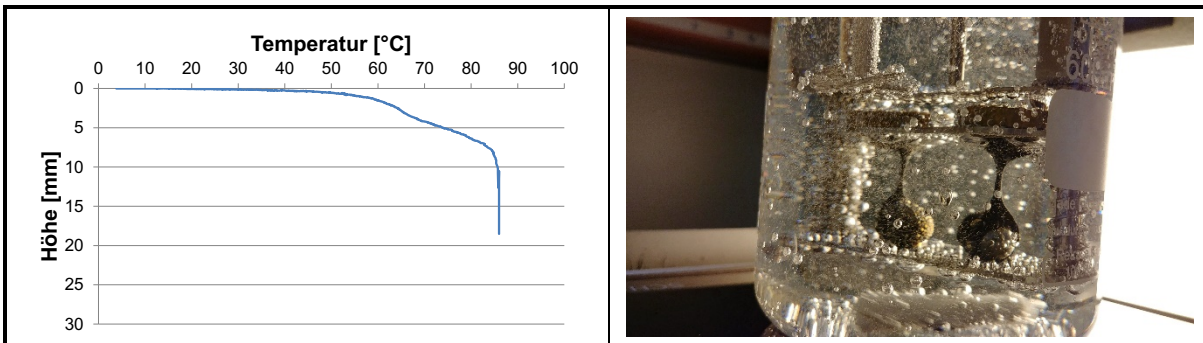


20/30_{Amid}20/30_{GG}70/100_A70/100_{1SBC}

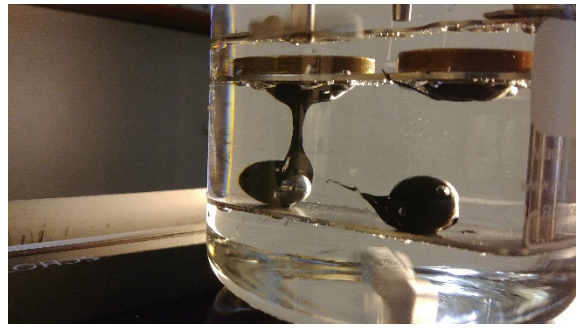
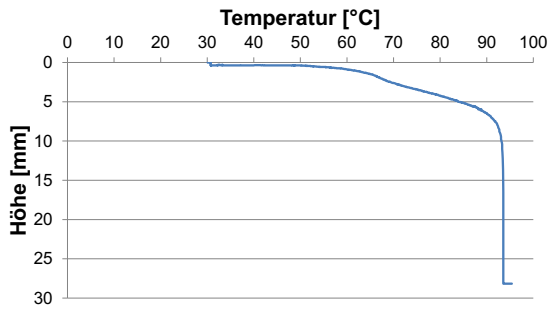


70/100₂ECB70/100_{3,5}ECB70/100₅ECB70/100_{1,5}FT

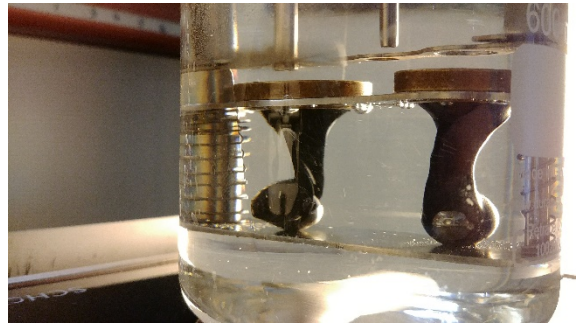
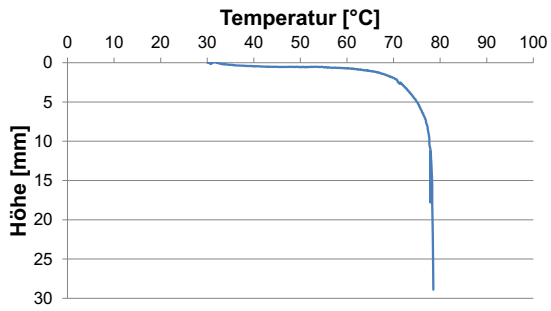




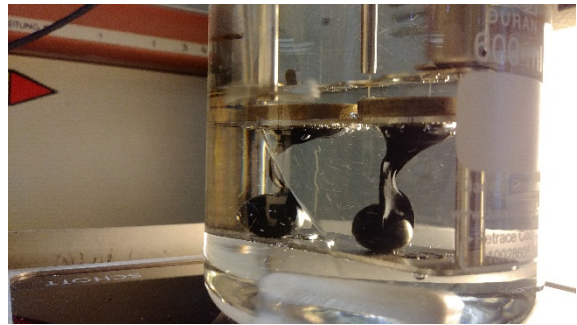
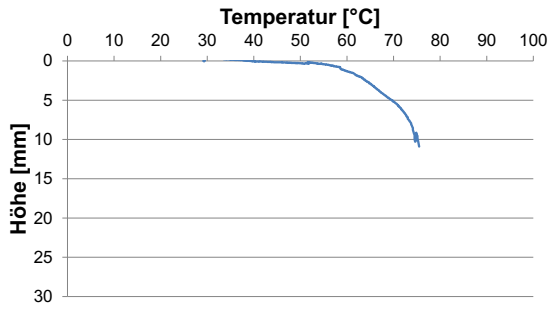
70/100_{SBC/FT}



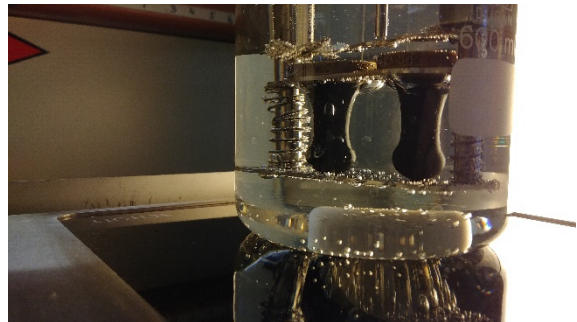
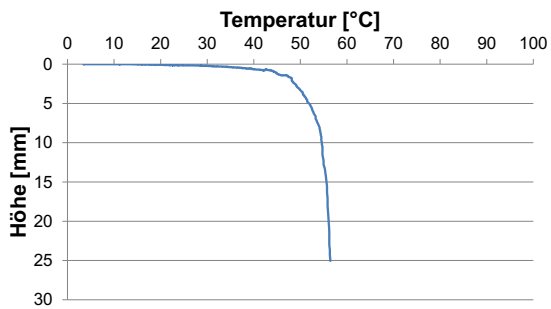
70/100_{SBC/Amid}



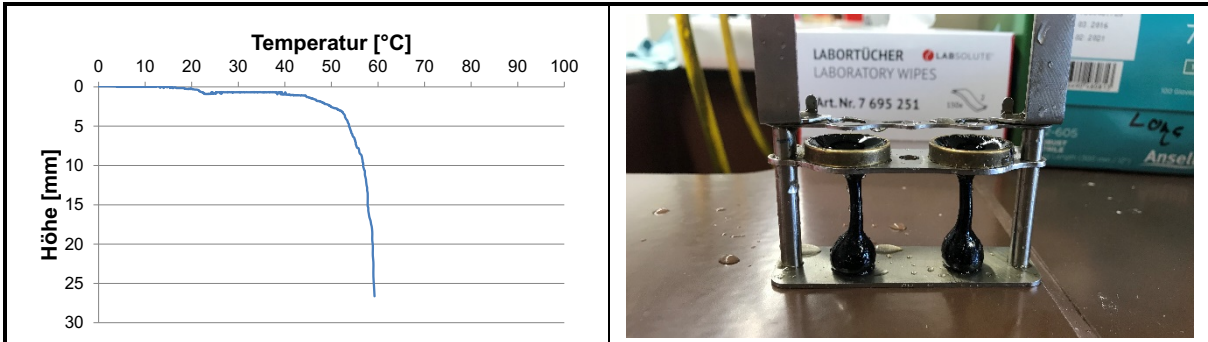
70/100_{GG/FT}



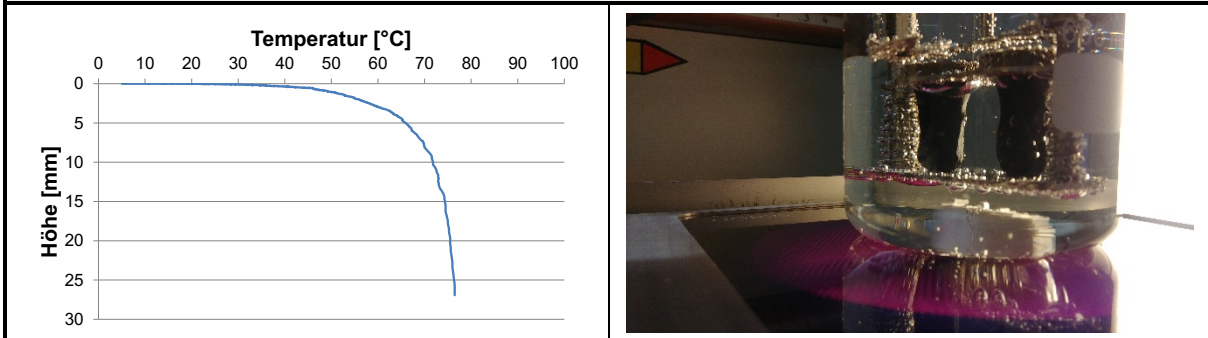
70/100_{GG/Amid}



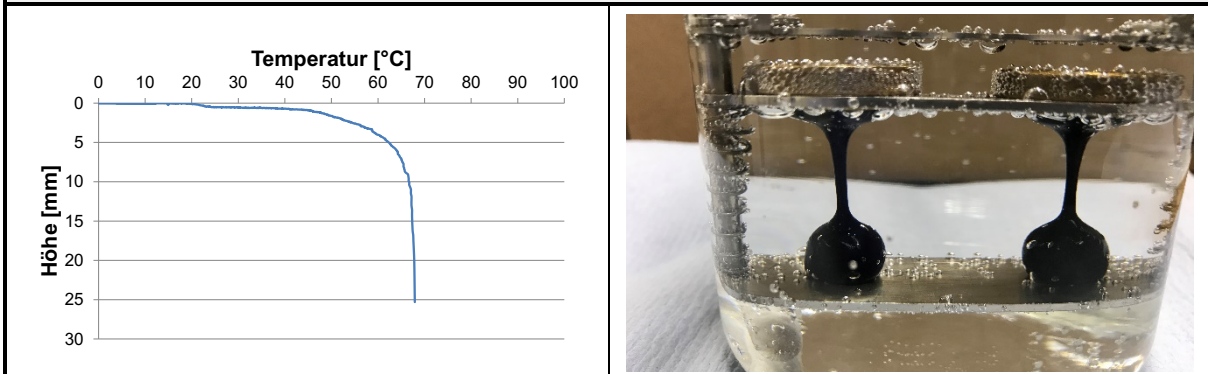
25/55-55_A



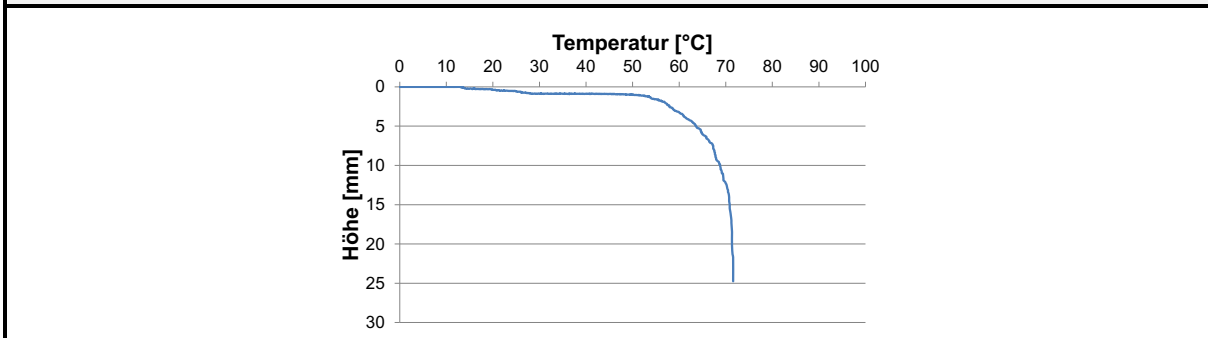
25/55-55_B



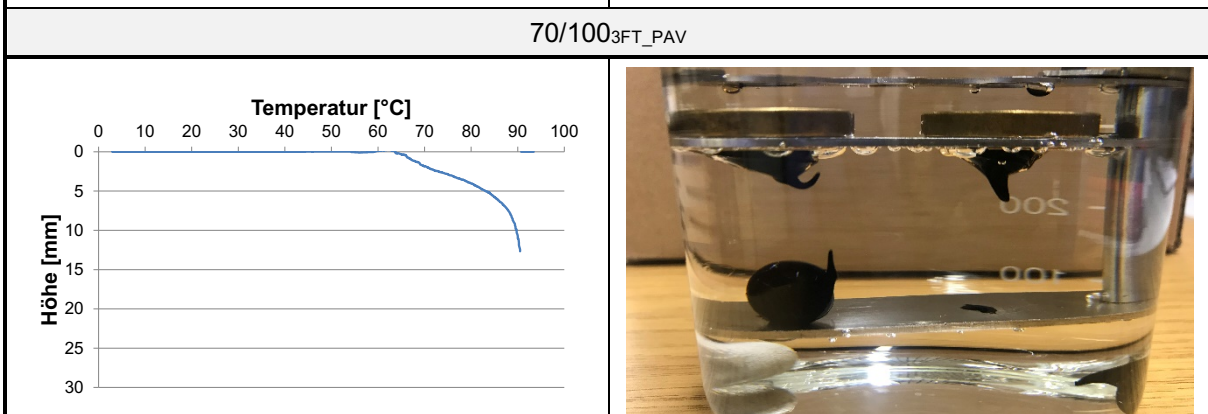
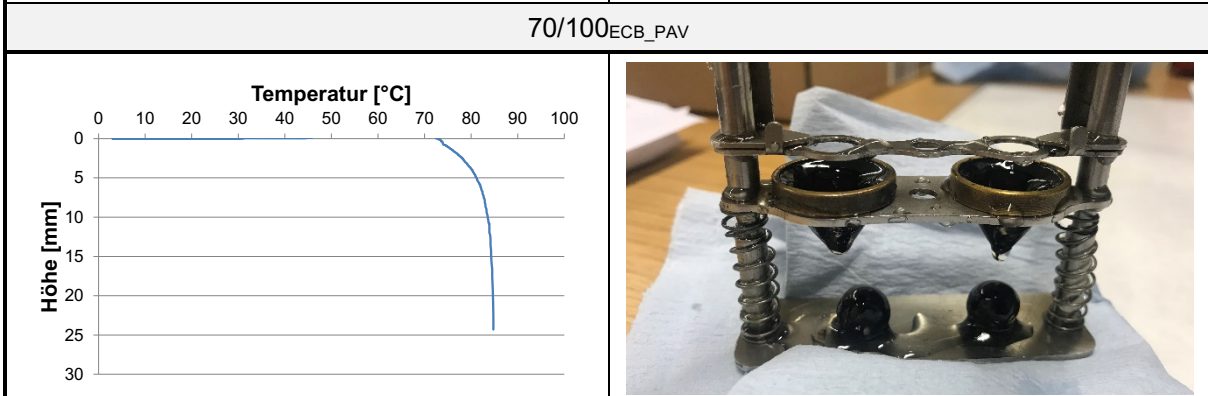
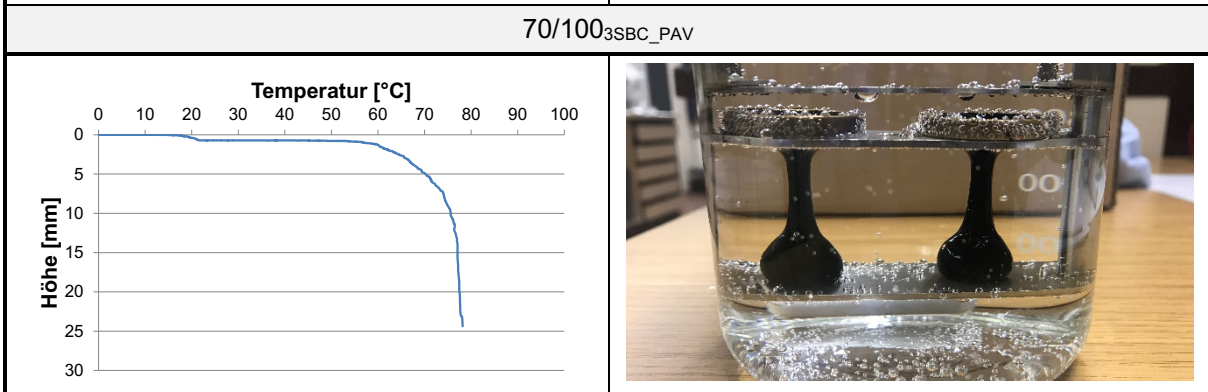
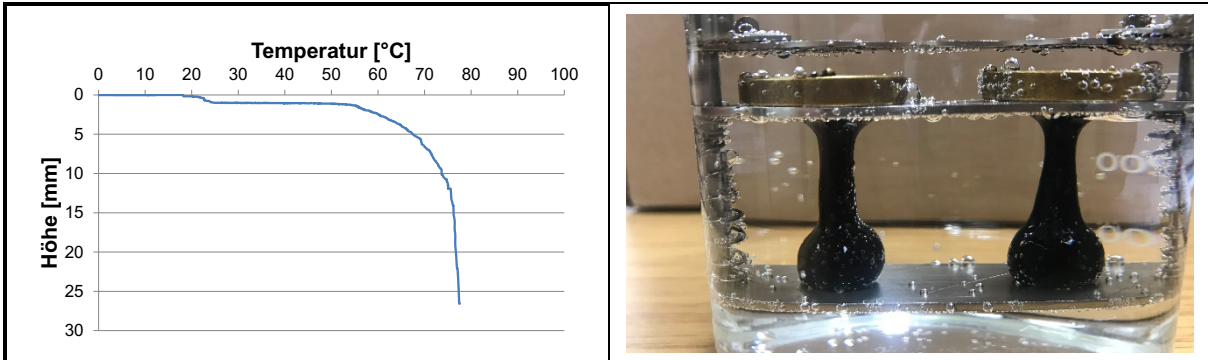
40/100-65

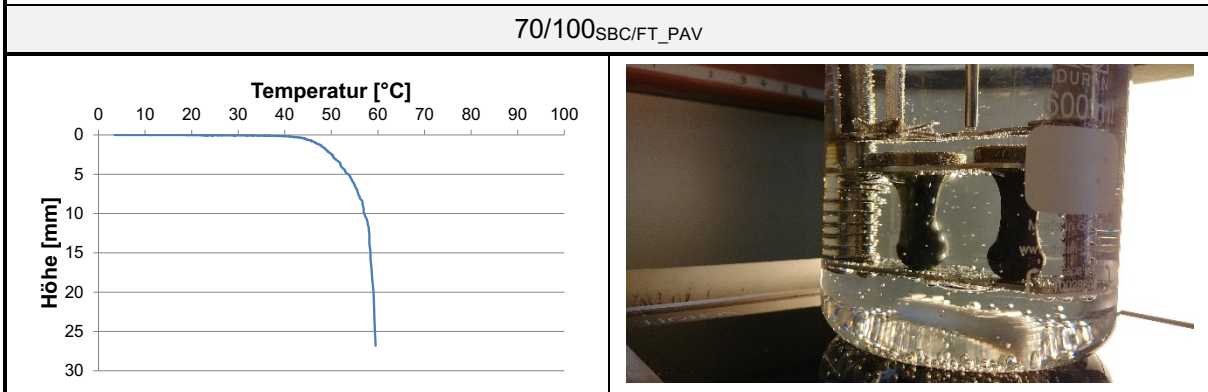
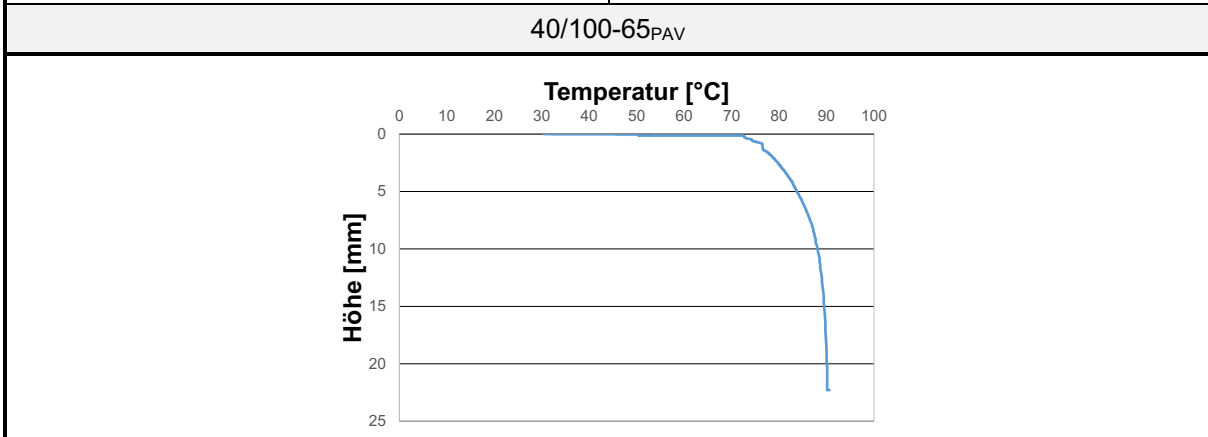
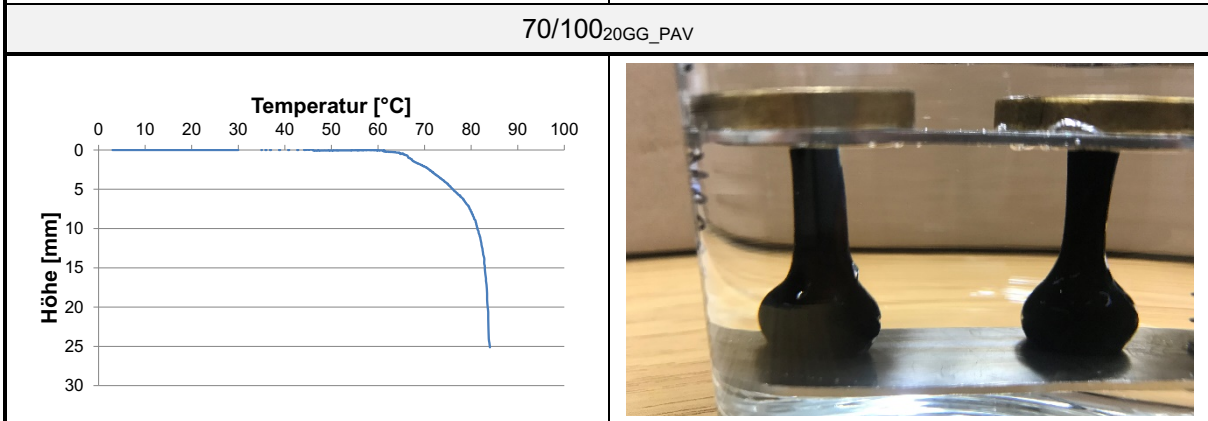
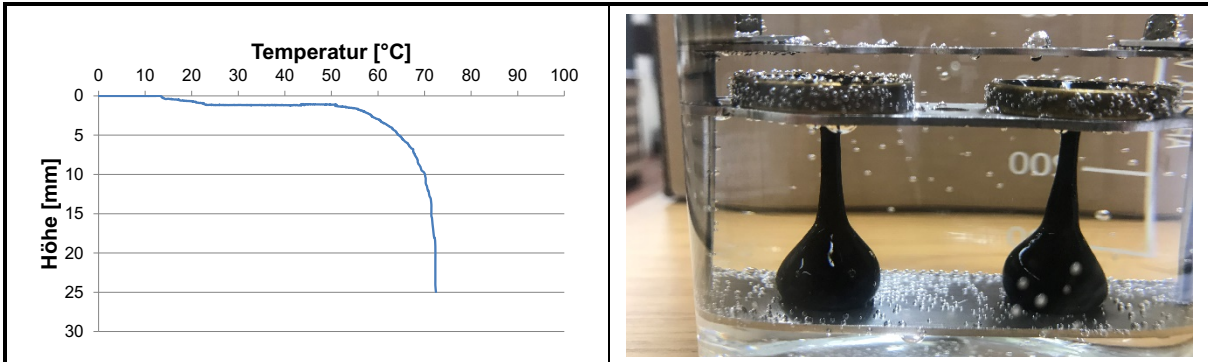


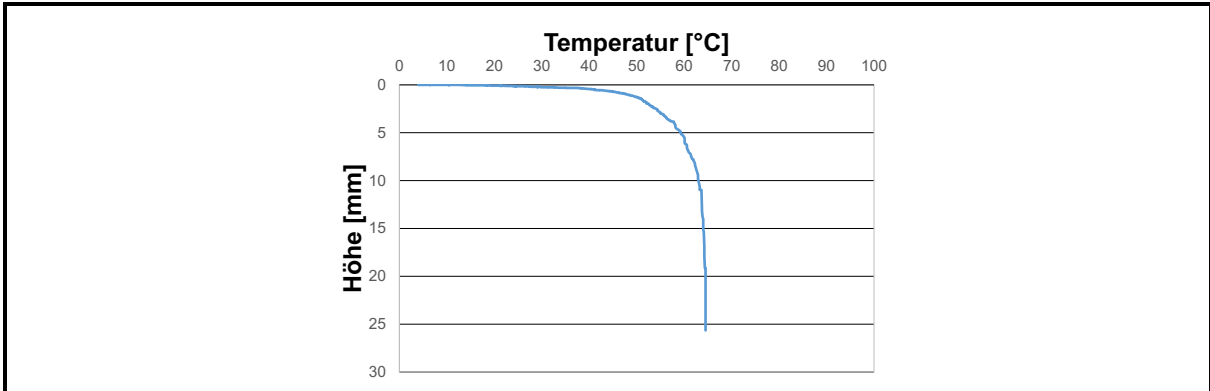
GmB



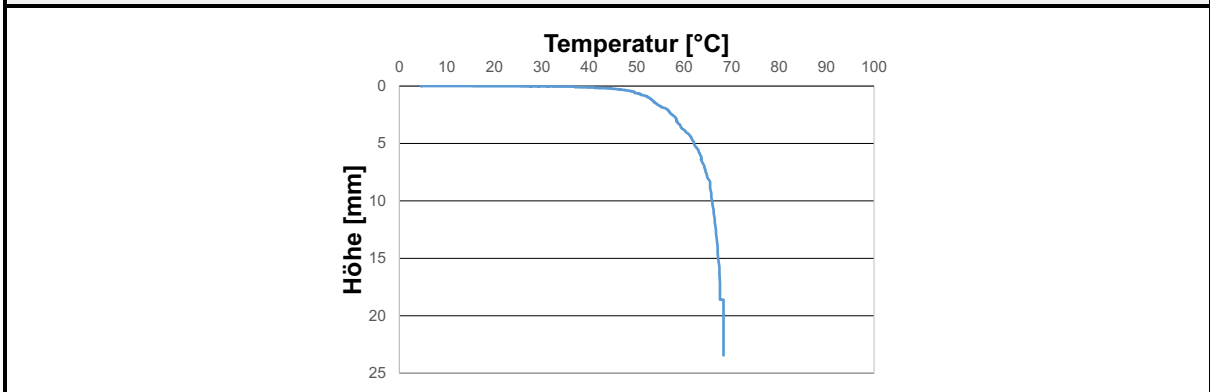
70/100_{PAV}



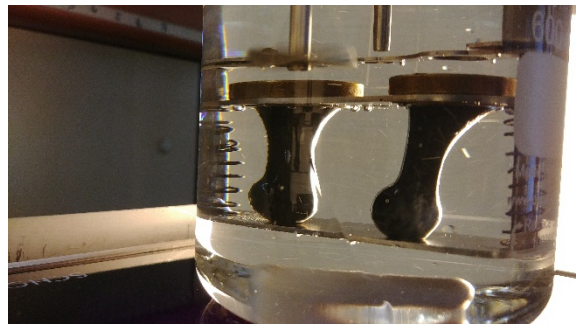
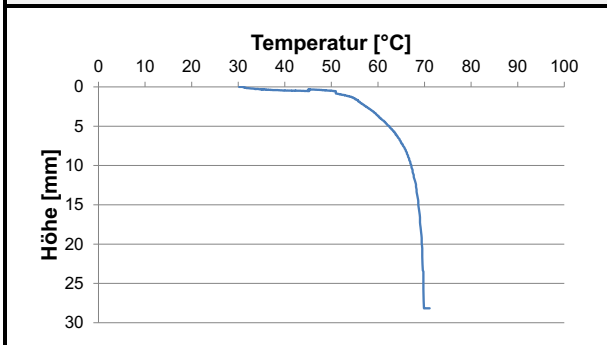




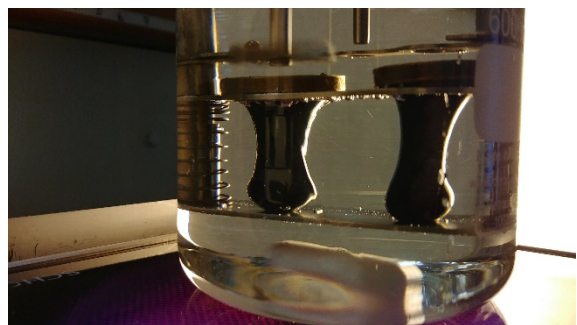
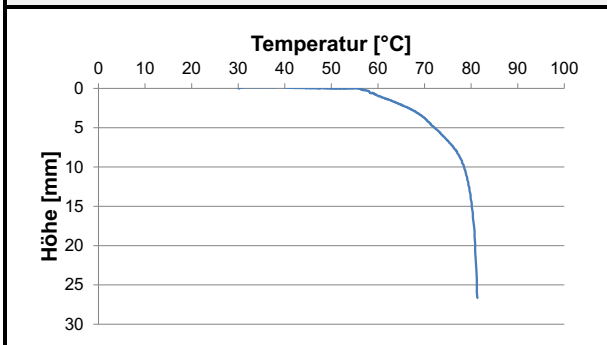
70/100₁SBC_Rück



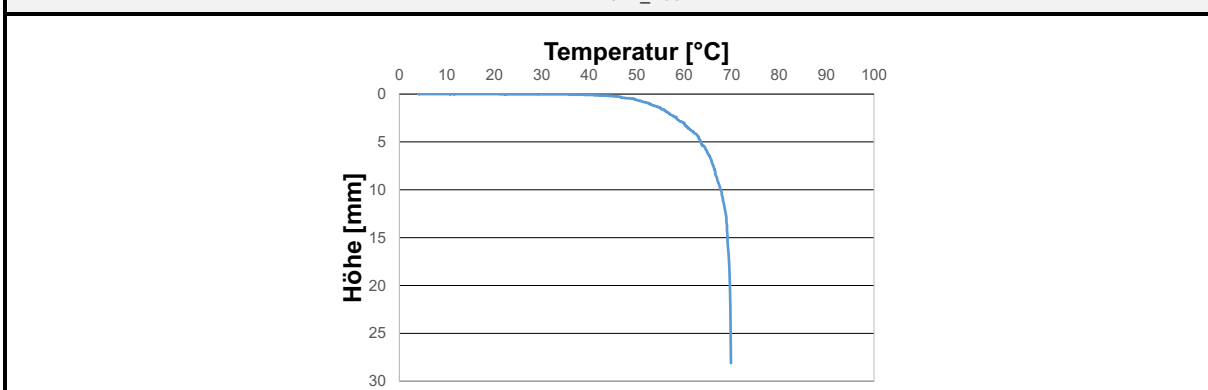
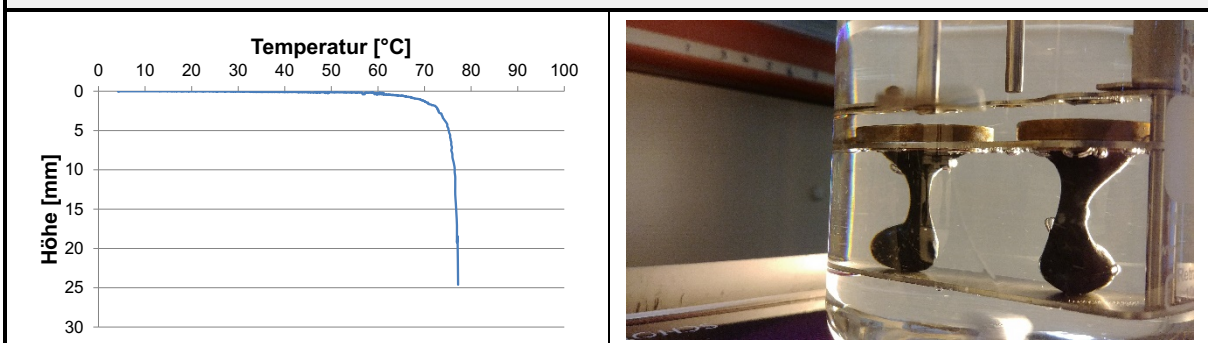
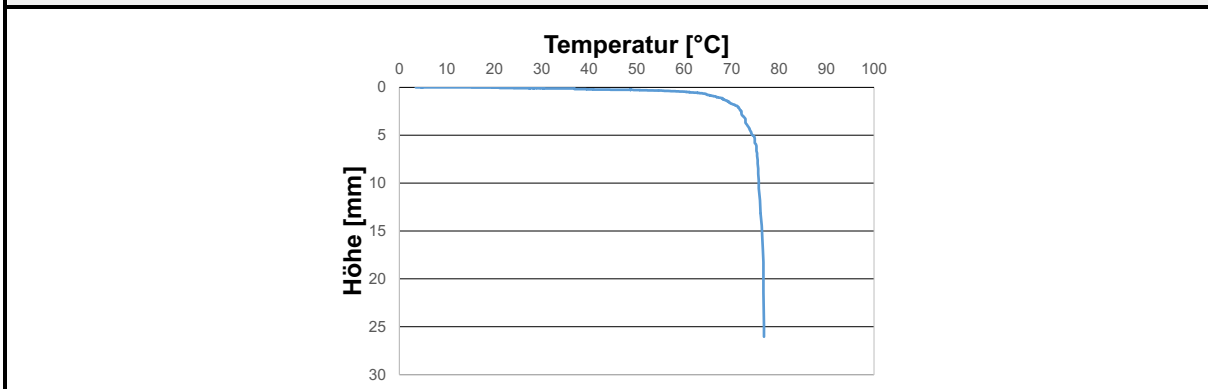
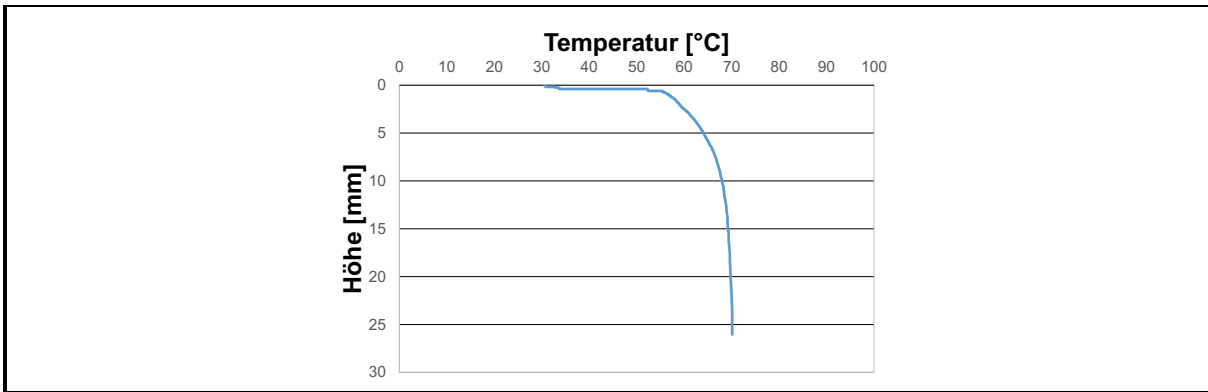
70/100₂SBC_Rück

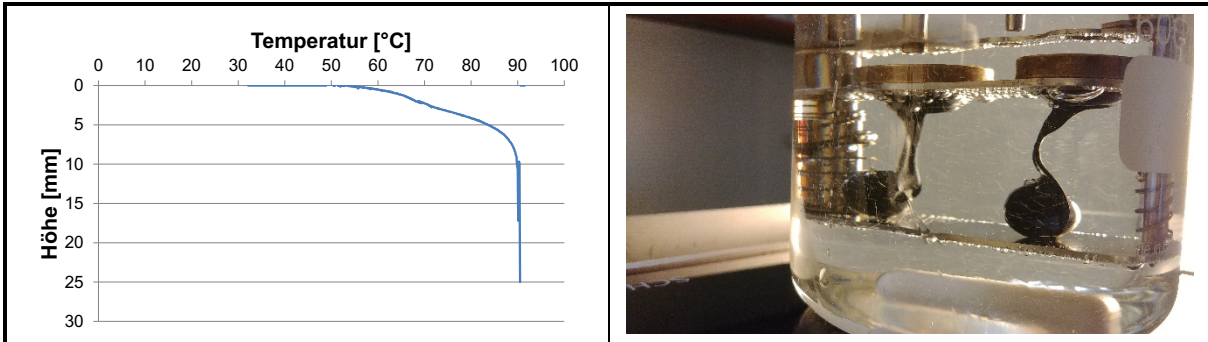


70/100₃SBC_Rück

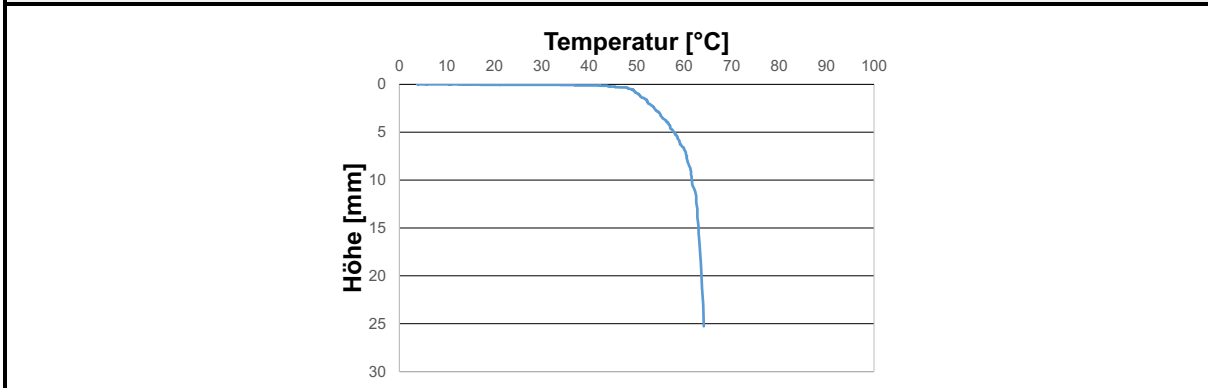


70/100₅SBC_Rück

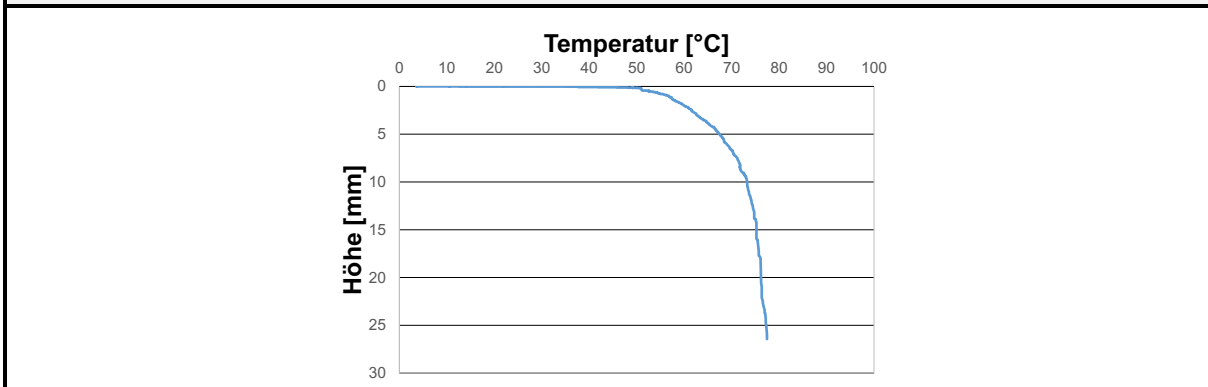




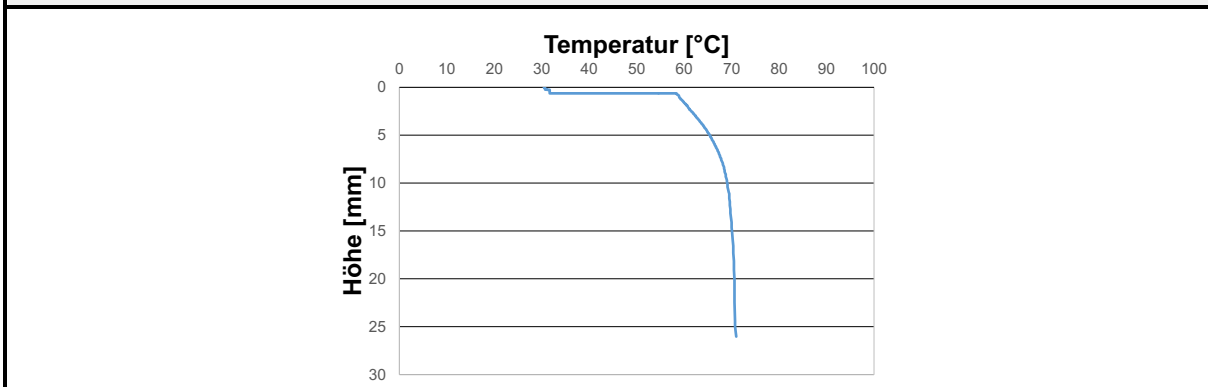
70/100_{3Amid_Rück}



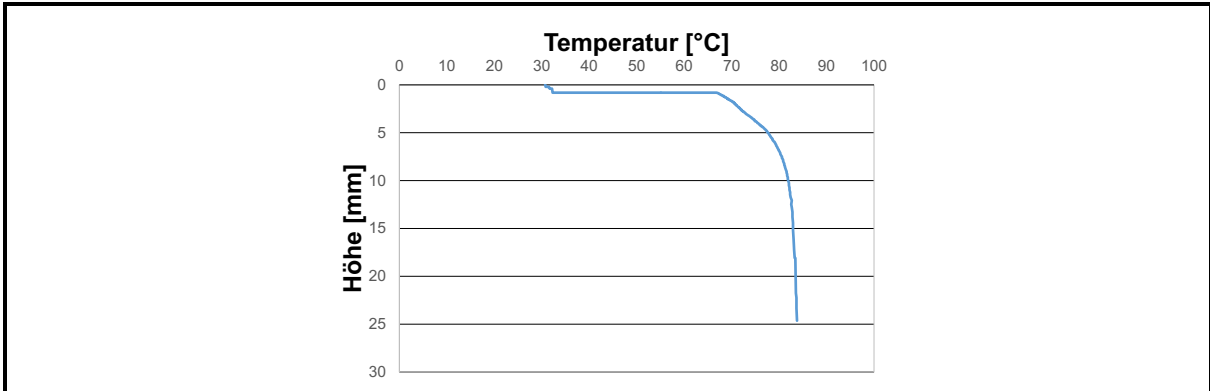
70/100_{GG_Rück}



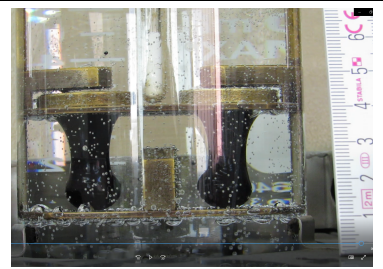
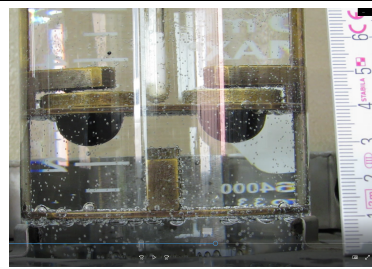
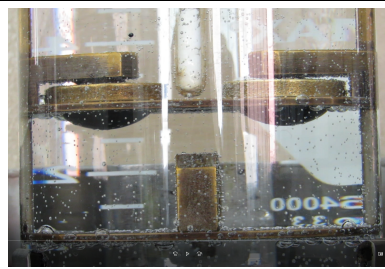
40/100-65_{Rück}



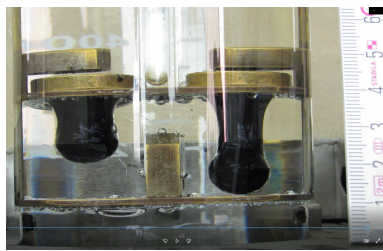
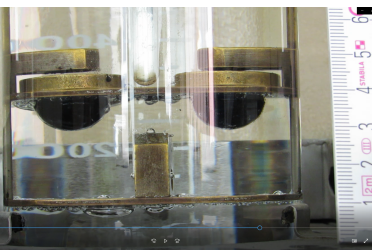
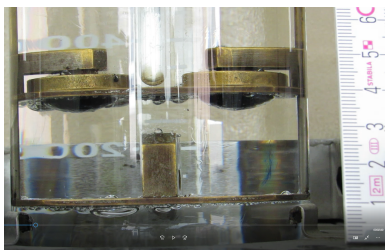
70/100_{SBC/FT_Rück}



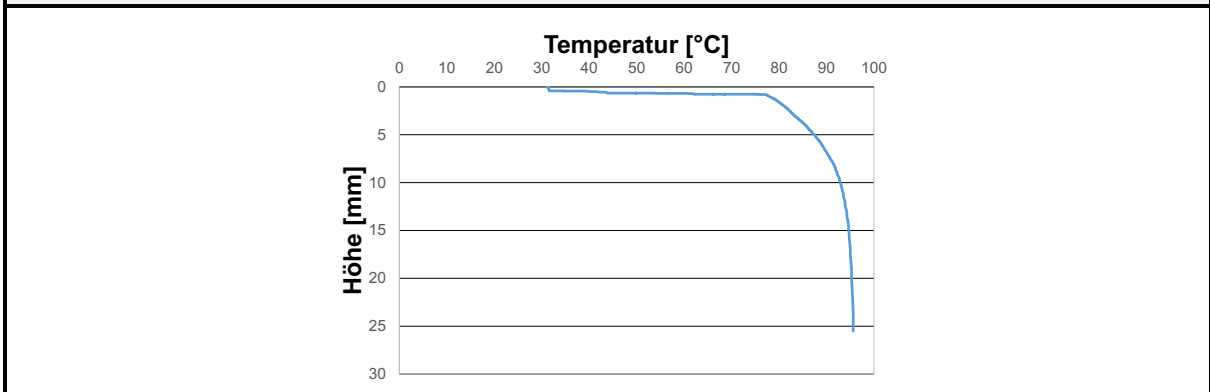
70/100sBC/Amid_Rück



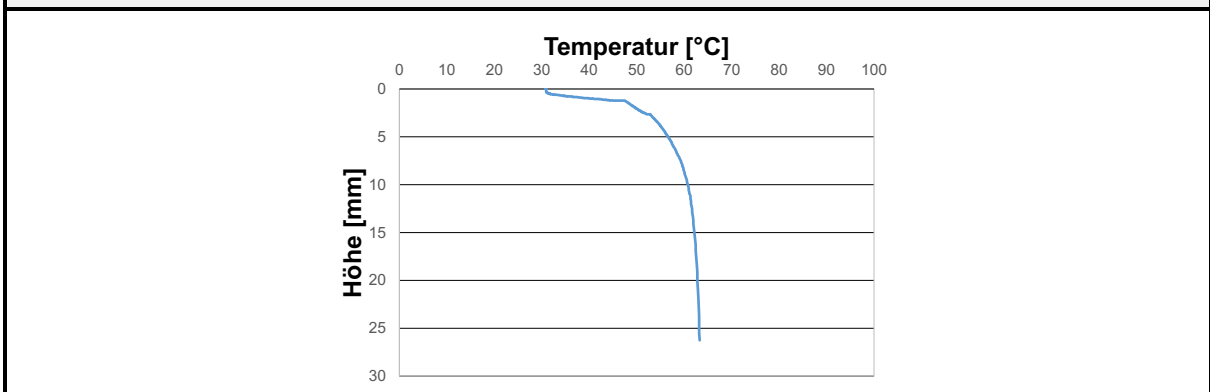
BK 1



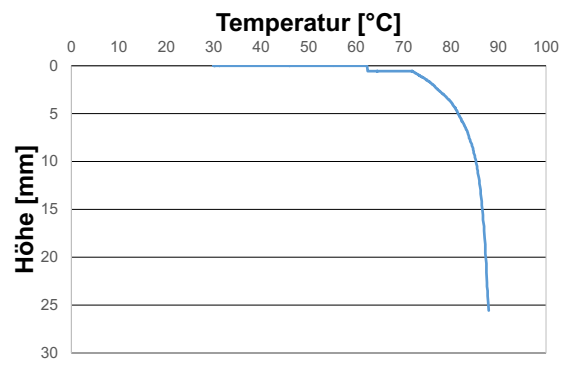
BK 2



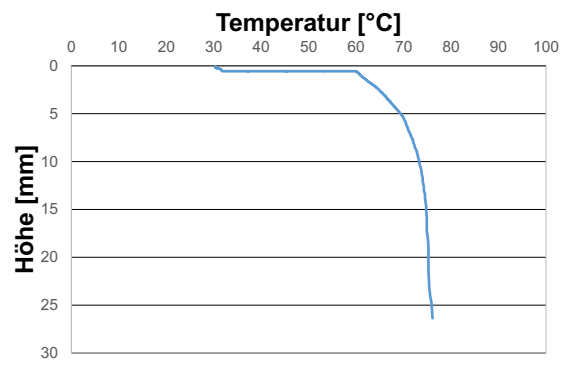
BK P1



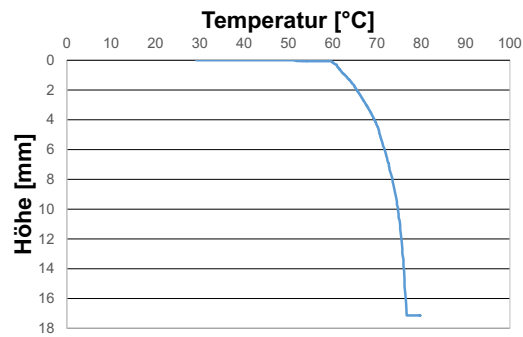
BK P2



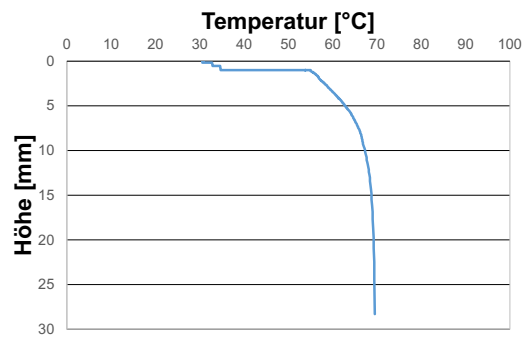
BK P3



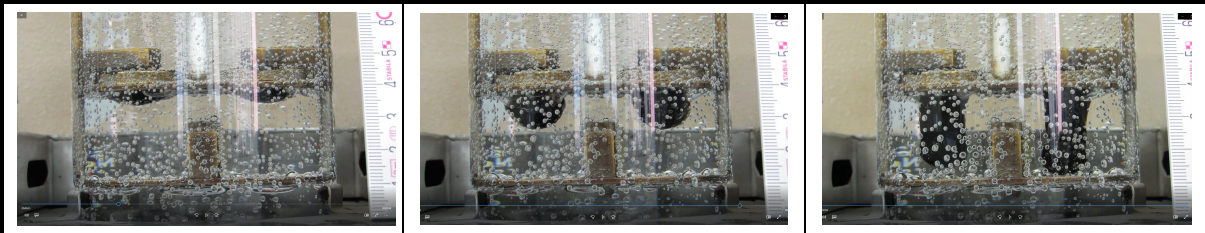
BK P4



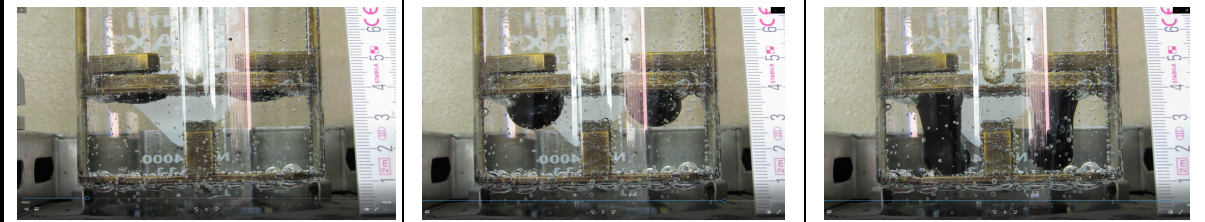
BK P5



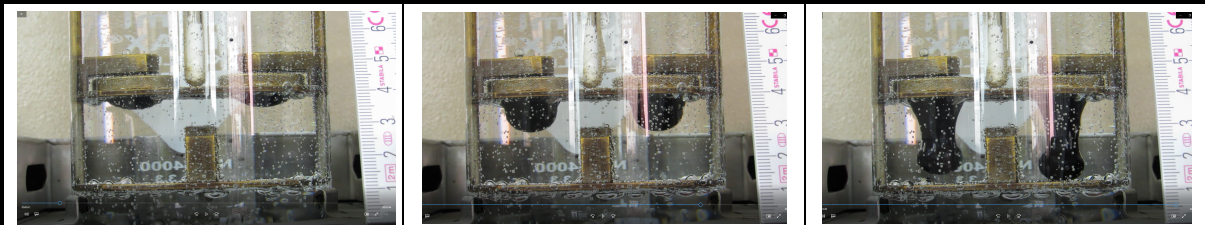
BK W3



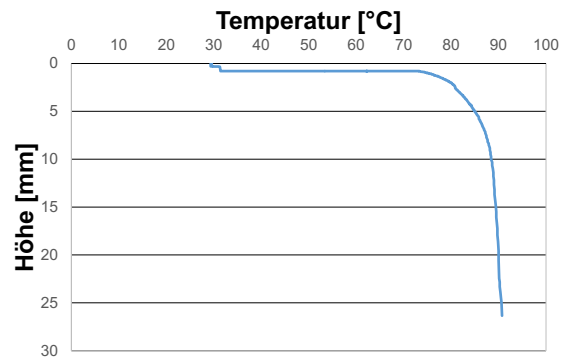
BK W4



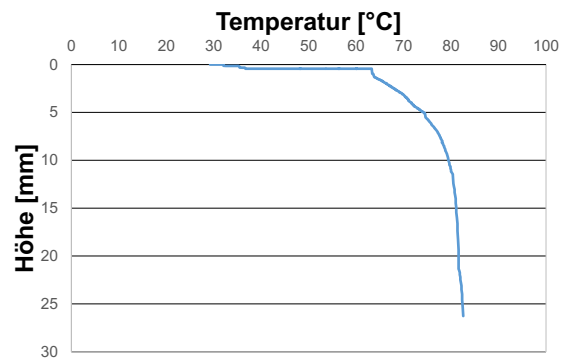
BK W5



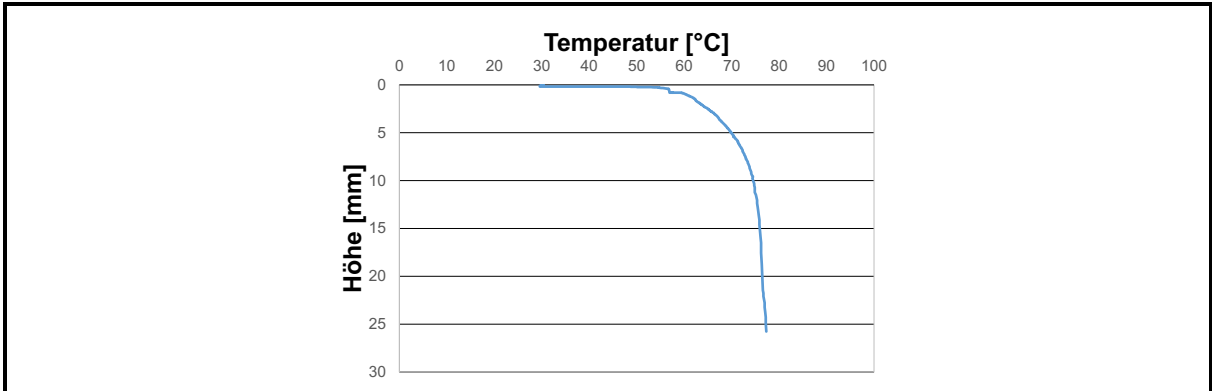
BK W6



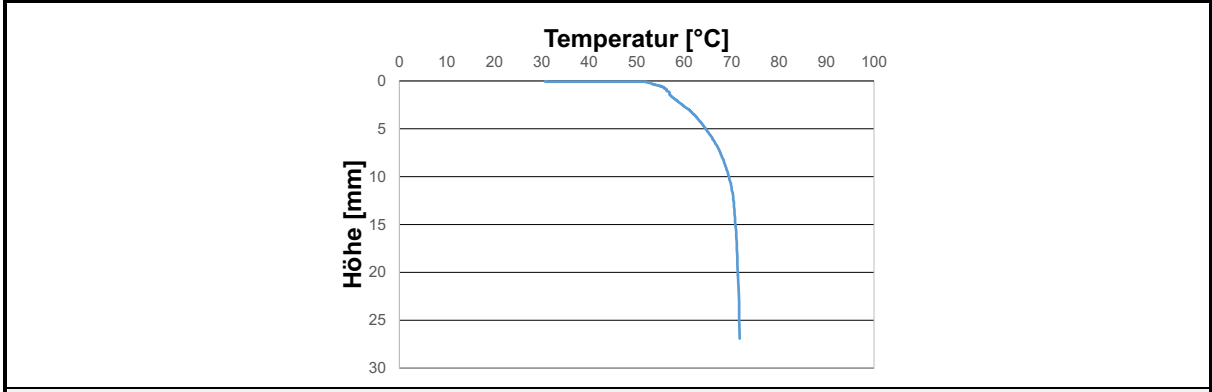
BK PW1



BK PW2



BK G1



BK G2

A.3. Untersuchungsergebnisse – DSR

In Anhang A.3 sind zunächst die Versuche, die Ergebnisse und die Auswertungen zur optimalen Ansprache der Bindemitteldargestellt. Darauf folgen in den Abschnitten A.3.4 und A.3.5 in tabellarischer Form die Ergebnisse zur Charakterisierung der Eigenschaften und zur Bestimmung der Modifizierungen.

A.3.1 Versuche zur optimalen Ansprache der Bindemittel

Die in Abschnitt 5.3.2 erwähnten, aber nicht näher beschriebenen Versuche zum Amplitudentest, der Temperierungsart, der Temperierungsrichtung, der Frequenz, der Temperierung bei EG*T und der Beanspruchungsart (kraft-/weggeregelt) sind im Folgenden beschrieben.

Amplitudentests

Um bei den Bindemitteln eine zerstörungsfreie Prüfung gewährleisten zu können, wurden bei ausgewählten Proben, die jeweils charakteristisch für eine Gruppe an Bindemitteln sind, Amplitudentests mit unterschiedlich großen Deformationen bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen durchgeführt.

Die Amplitudentests wurden in Abständen von 20 K bei den Frequenzen 0,1 Hz und 1,59 Hz durchgeführt. Bei jeder Temperatur wurden die Proben bei beiden Frequenzen mit einer logarithmisch steigenden Deformation zwischen 0,1 % und 10 % oszillierend belastet. Als Temperierungszeit wurden 15 Minuten gewählt. Der Tabelle A3.1 sind die Prüfparameter der Amplitudentests zu entnehmen.

Messgeometrie	Platte/Platte
Prüfart	weggesteuert/oszillierend
Vorgegebene Deformation	0,1% bis 10%
Prüftemperaturbereich	+40 bis +120 °C
Prüfintervalle	20 K
Prüffrequenz	0,1 und 1,59 Hz
Zeit der Temperierung	15 min
Probendurchmesser	25 mm
Spaltbreite	1 mm

Tabelle A3.1: Prüfparameter der Amplitudentests mittels DSR

Temperierungsart

Bei den Versuchen zur allgemeinen Ansprache der unterschiedlich modifizierten Bitumen wurde die Temperierungsart auf zwei verschiedene Weisen erprobt: Mit konstanter Temperierung und mit stufenweiser Temperierung.

Die Versuche mit einer konstanten Temperierung erfolgten in Anlehnung an die [AL DSR-Prüfung (BTSV), 2017]. Nach einer Temperierung auf die Starttemperatur wurden die rheologischen Kennwerte bei Oszillationsversuchen mit einer konstanten Heiz- bzw. Abkühlrate von 0,02 K/s kontinuierlich erfasst. Abweichend von der Versuchsdurchführung gemäß [AL DSR-Prüfung (BTSV), 2017] wurden die Untersuchungen im Temperaturbereich zwischen 40 °C und 140 °C durchgeführt, da in dieser Temperaturspanne die verschiedenen Modifizierungen

ihre charakteristische Wirkung am deutlichsten zeigen. Als weiterer Unterschied zur [AL DSR-Prüfung (BTSV), 2017] wurden die Deformationen auf Basis der durchgeführten Amplitudentests festgelegt. Hierzu wurden drei Temperaturbereiche gewählt, in denen die Deformationen jeweils konstant blieben.

Die Versuche mit stufenweiser Temperierung erfolgten in Anlehnung an die [AL DSR-Prüfung (T-Sweep), 2014]. Beginnend mit der Starttemperatur von 40 bzw. 140 °C wurde die Mess-temperatur in Schritten von 10 K verändert. Das Temperaturspektrum reichte abweichend von den Vorgaben der [AL DSR-Prüfung (T-Sweep), 2014] von 40 bis 140 °C. Jede Messtemperatur wurde für die Dauer von 15 Minuten konstant gehalten, um ein thermisches Gleichgewicht innerhalb der Probe zu erreichen. Daran anschließend erfolgte die Bestimmung der rheologischen Kennwerte mit den anhand der Amplitudentests vorher festgelegten, ggf. von den Vorgaben der [AL DSR-Prüfung (T-Sweep), 2014] abweichenden Deformationen. Bei einer Prüffrequenz von 0,1 Hz erfolgten je Temperatur 5 Messpunkte mit einer Dauer von 30 Sekunden, bei 1,59 Hz 8 Messpunkte mit einer Dauer von 10 Sekunden.

Richtung der Temperierung

Neben der Art wurde auch die Richtung der Temperierung variiert. Hierdurch wurde zum einen überprüft, ob der jeweilige Versuchsablauf zuverlässige und das Materialverhalten exakt wiederpiegelnde Ergebnisse liefert. Zum anderen wurde der Frage nachgegangen, bei welcher Temperierungsrichtung Ergebnisse erzielt werden, die eine bessere Identifizierung der unterschiedlichen Modifizierungsarten erlaubt.

Nach einer 15 Minuten dauernden Temperierung auf die Starttemperatur von 40 bzw. 140 °C erfolgten die Messungen entsprechend den Ausführungen im obigen Abschnitt „Temperierungsart“.

Frequenz

Als Prüffrequenzen wurden bei jeder Temperierungsart und -richtung 0,1 und 1,59 Hz gewählt. Bei der stufenweisen Versuchsdurchführung wurde bei jeder Temperatur erst bei 1,59 und im Anschluss bei 0,1 Hz geprüft. Die Versuche mit konstanter Temperierung wurden im Ganzen sowohl mit 0,1 als auch mit 1,59 Hz durchgeführt.

Messung und Kennwerte zur Temperierungsart, -richtung und Frequenz

Die zu untersuchenden Aspekte der Temperierungsart, Temperierungsrichtung und Frequenz wurden parallel angesprochen. Hierzu wurden wie zuvor beschrieben Versuche mit kontinuierlicher Erwärmung bzw. Abkühlung (beide Frequenzen mit einer Prüfung) und Versuche mit stufenweiser Erwärmung bzw. Abkühlung (jeweils mit 0,1 bzw. 1,59 Hz) durchgeführt.

Während der vier, jeweils in Doppelbestimmung durchgeführten Untersuchungsläufe bei kontinuierlicher Temperierung wurden durchgehend die rheologischen Kennwerte komplexer Schermodul G^* und Phasenwinkel δ in Abhängigkeit von der Temperatur erfasst. In Tabelle A3.2 sind die Prüfparameter dieser Versuche zusammengefasst.

Die Versuche mit stufenweiser Temperierung erfolgten ebenfalls in Doppelbestimmungen. In den Abschnitten von jeweils 10 K wurden die rheologischen Kennwerte komplexer Schermodul G^* und Phasenwinkel δ in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen. Tabelle A3.3 sind die Prüfparameter zu entnehmen.

Messgeometrie	Platte/Platte
Prüfart	weggesteuert/oszillierend
Prüftemperaturbereich	+40 bis +140 °C
Heizrate	± 0,02 K/s
Prüffrequenz	0,1 und 1,59 Hz
Probendurchmesser	25 mm
Spaltbreite	1 mm
Vorgegebene Deformation 0,1 Hz	
40 °C bis 60 °C	2 %
60 °C bis 90 °C	5 %
90 °C bis 140 °C	10 %
Vorgegebene Deformation 1,59 Hz	
40 °C bis 60 °C	1%
60 °C bis 90 °C	3%
90 °C bis 140 °C	5%

Tabelle A3.2: Prüfparameter der DSR-Analysen mit konstanter Temperierung

Messgeometrie	Platte/Platte
Prüfart	weggesteuert/oszillierend
Prüftemperaturbereich	+40 bis +140 °C
Temperaturschritte	± 10 K
Prüffrequenz	0,1 und 1,59 Hz
Zeit der Temperierung zwischen den Temperaturschritten	15 min
Probendurchmesser	25 mm
Spaltbreite	1 mm
Vorgegebene Deformation 0,1 Hz	
40 °C bis 60 °C	1 - 5 %
60 °C bis 90 °C	2 - 10 %
90 °C bis 140 °C	5 - 15 %
Vorgegebene Deformation 1,59 Hz	
40 °C bis 60 °C	0,5 - 3 %
60 °C bis 90 °C	1 - 5 %
90 °C bis 140 °C	3 - 8 %

Tabelle A3.3: Prüfparameter der DSR-Analysen mit stufenweiser Temperierung

Temperierung bei EG*T

Bei Untersuchungen mit konstanter Temperierung liegt beim Erreichen der Äquisteifigkeitstemperatur EG*T eine Bindemittelprobe vor, deren Kerntemperatur nicht der erfassten Temperatur der Messgeometrie entspricht. Aufgrund der Leitfähigkeit des Bindemittels nimmt der Kern erst verzögert EG*T an. Daher entsprechen die gemessenen rheologischen Kennwerte beim Erreichen von EG*T nicht den Eigenschaften der Probe bei dieser Temperatur. Um den Einfluss der verzögerten Einstellung eines Temperaturgleichgewichts innerhalb der Probe zu quantifizieren, wurden Untersuchungen durchgeführt, bei denen nach dem Erreichen der EG*T die rheologischen Kennwerte zunächst unmittelbar und zusätzlich nach einer zehn Minuten dauernden Temperierungsphase bei der konstant gehaltenen EG*T gemessen werden.

Die Prüfparameter des beschriebenen Versuchsablaufs sind Tabelle A3.4 zu entnehmen.

Messgeometrie	Platte/Platte
Prüfart	weggesteuert/oszillierend
Probendurchmesser	25 mm
Spaltbreite	1 mm
Temperaturtest	
Prüffrequenz	1,59 Hz
Deformation	1 %
Prüftemperaturbereich	+40 bis EG*T
Heizrate	± 0,02 K/s
Ohne Temperierung bei EG*T	
Zeit der Temperierung	-
Prüffrequenz	1,59 Hz
Deformation	1 %
Mit Temperierung bei EG*T	
Zeit der Temperierung	10 min
Prüffrequenz	1,59 Hz
Deformation	1 %

Tabelle A3.4: Prüfparameter der DSR-Analysen zur Temperierung bei EG*T

Beanspruchungsart

Bei, ausgewählten Proben wurde ein Vergleich zwischen der in diesem FE-Projekt definierten Äquisteifigkeitstemperatur EG*T und der gemäß [AL DSR-Prüfung (BTSV), 2017] bestimmten Temperatur $T_{(BTSV)}$ durchgeführt. Hierzu wurde die EG*T entsprechend Tabelle A3.4 und die $T_{(BTSV)}$ entsprechend Tabelle A3.5 ermittelt.

Messgeometrie	Platte/Platte
Prüfart	kraftgesteuert/oszillierend
Probendurchmesser	25 mm
Spaltbreite	1 mm
Temperaturtest	
Prüffrequenz	1,59 Hz
Scherspannung	500 Pa
Prüftemperaturbereich	+20 bis $T_{(BTSV)}$
Heizrate	$\pm 0,02$ K/s

Tabelle A3.5: Prüfparameter der DSR-Analysen zur Bestimmung von $T_{(BTSV)}$

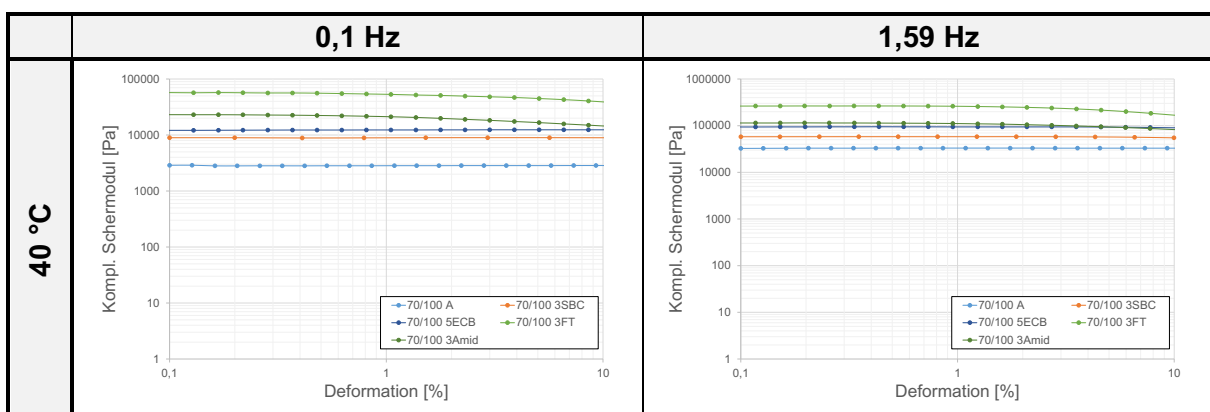
A.3.2 Ergebnisse zur optimalen Ansprache der Bindemittel

Die in Abschnitt 6.3.2 nicht aufgeführten Ergebnisse zur optimalen Ansprache der Bindemittel sind in Abschnitt A.3.2 zusammengefasst.

Amplitudentests

In der folgenden Abbildung A3.1 sind die Ergebnisse der Amplitudentests ausgewählter Proben bei den Messtemperaturen von 40, 60, 80, 100 und 120 jeweils bei den Frequenzen 0,1 und 1,59 Hz vergleichend dargestellt. Um alle im Rahmen des FE-Projektes betrachteten Kategorien an Modifizierungen abzudecken, werden im Folgenden für unterschiedlich modifizierte Proben betrachtet:

- ein unmodifiziertes Bitumen (70/100_A)
- ein SBC-modifiziertes Bitumen (70/100_{3SBC})
- ein ECB-modifiziertes Bitumen (70/100_{5ECB})
- ein mittels VL-Wachs modifiziertes Bitumen (70/100_{3FT})
- ein mittels VH-Wachs modifiziertes Bitumen (70/100_{3Amid})



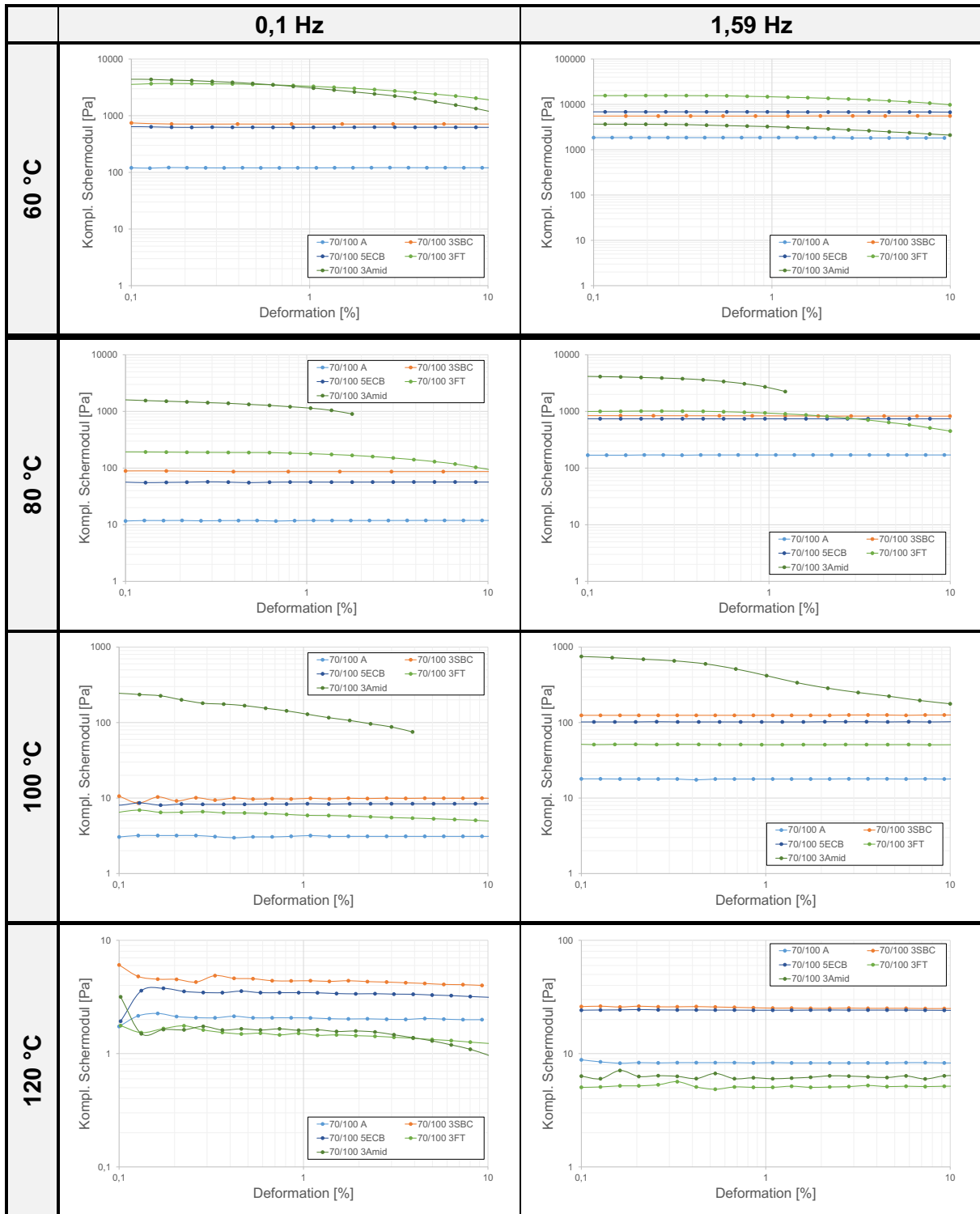


Abbildung A3.1: Amplitudentests ausgewählter Bindemittel

Ergebnisse zu Temperierungsart, -richtung, Frequenz und Steifigkeit

Zur grundlegenden Analyse der unterschiedlich modifizierten Bitumen wurde mit variierenden Versuchsbedingungen (Richtung und Art der Temperierung, Prüffrequenz) die rheologischen Kennwerte zwischen 40 und 140 °C bestimmt. Die Ergebnisse der Versuche bei stufenweiser Erwärmung der Proben sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

20/30				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	20.120	81,4	224.500	74,9
50	3.411	85,7	43.630	80,2
60	647	88,3	9.393	84,2
70	155,2	89,4	2.381	86,9
80	44,4	88,3	696	88,6
90	15,34	88,9	242,1	89,3
100	6,55	89,3	96,1	88,9
110	3,70	90,0	43,4	89,6
120	2,86	90,0	21,75	90,0
130	2,46	90,0	12,45	90,0
140	2,02	90,0	7,65	90,0

20/30_{SBC}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	29.700	68,4	248.800	68,2
50	7.085	68,8	57.810	69,3
60	1.887	71,3	15.980	69,0
70	570,5	72,9	5.235	70,3
80	209,5	69,7	1.934	71,5
90	100,70	73,0	797,2	73,4
100	51,39	82,4	378,1	77,0
110	18,87	86,8	175,0	82,1
120	7,28	90,0	71,34	87,6
130	5,16	90,0	33,66	90,0
140	4,75	90,0	18,66	90,0

20/30_{ECB}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	41.140	76,2	366.400	67,3
50	7.009	82,8	78.880	73,7
60	1.399	86,4	18.390	79,4
70	337,6	87,6	4.856	83,4
80	94,7	87,7	1.424	85,9
90	34,71	86,9	496,5	85,4
100	13,80	88,8	192,8	85,9
110	7,39	90,0	86,0	86,5
120	5,38	90,0	42,62	88,4
130	4,77	90,0	23,01	90,0
140	4,54	90,0	13,74	90,0

20/30_{FT}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	119.600	62,2	746.700	62,8
50	26.100	63,6	182.200	66,6
60	5.707	64,3	41.130	69,7
70	1.094	69,3	8.499	74,4
80	387,6	68,2	2.732	74,5
90	141,90	62,1	875,4	73,9
100	24,65	66,1	202,5	78,2
110	2,32	64,5	32,7	88,1
120	1,37	51,9	16,58	88,4
130	0,94	41,6	9,44	89,8
140	0,83	28,3	5,69	88,7

20/30_{Amid}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	88.500	66,5	627.000	62,8
50	19.500	68,7	154.000	67,2
60	5.030	67,9	40.400	69,9
70	1.570,0	66,1	12.000	71,6
80	724,0	59,6	4.470	70,1
90	380,00	53,1	1.860,0	67,7
100	143,00	54,4	735,0	63,9
110	36,10	63,1	195,0	69,2
120	3,21	90,0	19,24	90,0
130	1,86	90,0	10,04	90,0
140	1,46	90,0	6,86	90,0

20/30_{GG}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	26.180	79,3	270.600	72,5
50	4.459	84,1	54.520	78,1
60	849	87,6	11.670	82,7
70	198,3	89,2	2.966	85,9
80	57,4	88,7	890	87,9
90	19,04	88,8	299,5	88,9
100	7,47	89,3	116,8	89,2
110	3,37	89,6	51,7	89,3
120	1,84	90,0	25,39	89,6
130	1,18	90,0	13,68	90,0
140	0,88	90,0	7,97	90,0

70/100								
Zustand	frisch				RTFOT-gealtert			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	2.790	83,1	32.750	77,0	19.400	68,8	143.000	62,6
50	554	86,4	7.407	81,6	4.070	75,9	36.400	68,0
60	122	88,9	1.808	85,3	859	82,5	9.570	74,0
70	33,8	89,6	526	87,7	206	86,3	2.700	79,6
80	11,4	90,0	175	88,7	55,7	87,8	810	83,8
90	4,98	90,0	68,0	89,4	17,5	89,0	270	86,5
100	3,11	90,0	30,3	89,9	6,65	89,7	102	87,9
110	2,93	90,0	15,4	90,0	3,13	90,0	43,8	88,8
120	2,09	90,0	8,52	90,0	2,01	90,0	20,7	89,6
130	1,52	90,0	5,19	90,0	1,67	90,0	10,9	90,0
140	1,71	90,0	3,66	90,0	1,54	90,0	6,33	90,0

70/100								
Zustand	RTFOT+PAV-gealtert				rückgewonnen			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	94.200	56,9	490.000	51,9	22.000	70,7	172.000	63,9
50	22.500	63,5	139.000	56,9	4.120	78,3	39.700	70,0
60	5.130	71,8	39.600	62,5	806	84,1	9.540	76,3
70	1.190	79,3	11.500	69,0	186	87,3	2.550	81,6
80	297	84,1	3.540	75,5	50,1	88,5	741	85,3
90	80,7	87,1	1.100	81,1	15,7	86,4	244	87,8
100	25,5	89,1	376	84,7	5,94	82,5	92,5	89,2
110	9,53	90,0	143	88,1	2,64	74,5	39,8	89,7
120	4,39	90,0	60,0	89,6	1,44	60,3	19,2	90,0
130	2,78	90,0	28,1	90,0	0,98	42,0	10,2	90,0
140	2,29	90,0	14,5	90,0	0,90	26,1	5,89	90,0

70/100 _{1SBC}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	4.921	74,8	45.710	71,3
50	1.135	78,6	11.590	74,2
60	265	83,7	3.190	78,0
70	73,3	86,0	988	81,7
80	21,4	87,8	326	86,2
90	7,49	88,7	116,7	88,4
100	3,25	89,4	49,2	89,3
110	1,68	89,8	23,3	89,5
120	1,31	90,0	12,41	90,0
130	1,04	90,0	7,24	90,0
140	1,24	90,0	4,58	90,0

70/100 _{2SBC}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	5.961	70,1	47.740	67,9
50	1.465	74,9	13.110	69,1
60	376	79,5	3.978	73,0
70	112,2	81,4	1.307	76,8
80	38,9	80,8	473	79,7
90	12,92	83,4	176,3	83,9
100	4,58	86,2	69,4	88,2
110	2,21	88,5	32,4	89,0
120	1,36	89,5	16,40	89,7
130	1,06	90,0	9,23	90,0
140	1,17	90,0	5,79	90,0

70/100 _{3SBC}								
Zustand	frisch				RTFOT-gealtert			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	8.283	62,9	57.990	64,2	26.000	57,4	153.000	58,0
50	2.402	65,4	16.880	64,0	7.520	58,4	45.000	58,8
60	712	69,5	5.583	65,3	2.300	61,4	14.500	59,8
70	233,3	71,2	2.036	68,1	745	66,9	5.280	62,2
80	93,2	68,5	804	69,6	236	75,0	1.990	66,3
90	35,79	72,0	330,6	74,9	66,5	82,6	740,	72,9
100	10,07	81,2	125,6	80,0	20,5	84,4	280	80,0
110	5,31	86,4	49,3	83,3	7,48	87,5	111	84,6
120	4,50	89,4	23,58	86,4	3,59	89,0	50,2	88,6
130	4,29	90,0	13,22	88,7	2,29	90,0	25,5	89,8
140	4,20	90,0	8,60	89,7	1,84	90,0	14,3	90,0

70/100 _{3SBC}								
Zustand	RTFOT+PAV-gealtert				rückgewonnen			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	57.900	54,0	299.000	53,0	29.500	60,3	185.000	59,2
50	16.400	55,5	88.400	54,9	7.520	62,4	49.400	61,2
60	4.970	58,7	28.700	56,5	2.050	66,2	14.600	63,2
70	1.600,0	64,0	10.200	58,9	609,0	72,0	4.920	66,1
80	520,0	71,3	3.940	62,9	177,0	79,5	1.730	70,5
90	162,00	79,1	1.550,0	68,4	50,90	84,9	631,0	76,5
100	48,80	83,8	589,0	75,1	16,30	85,5	236,0	82,6
110	16,50	85,7	231,0	80,9	6,28	83,3	96,4	86,7
120	6,79	88,3	98,60	84,6	2,94	74,2	43,80	88,6
130	3,49	90,0	47,00	88,9	1,65	62,4	22,60	89,7
140	2,33	90,0	24,40	90,0	1,06	49,5	12,60	89,8

70/100 _{4SBC}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	10.790	58,8	64.550	60,0
50	3.321	62,1	20.820	59,2
60	1.052	63,8	7.529	61,4
70	380,1	62,5	2.884	64,6
80	172,8	60,0	1.199	65,0
90	91,53	65,6	603,5	61,0
100	30,09	77,4	297,3	69,0
110	7,86	80,9	106,7	81,7
120	3,24	83,1	46,68	86,3
130	1,79	86,1	24,74	90,0
140	1,19	89,6	14,53	90,0

70/100 _{5SBC}								
Zustand	frisch				rückgewonnen			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	18.400	51,7	87.700	51,9	27.500	53,0	147.000	55,6
50	6.325	55,7	32.110	52,3	8.620	51,7	44.200	55,0
60	2.089	61,5	12.440	55,2	3.070	51,8	15.500	54,2
70	697,0	66,3	4.998	60,2	1.200,0	54,4	6.220	54,5
80	256,0	68,5	2.064	65,0	451,0	61,8	2.640	56,7
90	115,80	71,7	965,9	66,1	146,00	72,9	1.100,0	61,8
100	45,51	79,1	473,9	70,1	43,40	81,2	452,0	70,0
110	14,71	83,3	195,3	79,5	14,40	83,5	185,0	77,6
120	5,51	86,8	80,99	85,1	5,46	81,0	79,30	83,5
130	2,84	88,9	40,86	87,4	2,64	72,5	38,50	86,6
140	1,72	89,5	23,48	88,9	1,56	59,8	20,40	88,2

70/100 _{5ECB}								
Zustand	frisch				RTFOT-gealtert			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz		0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa	°
40	12.670	71,4	96.520	63,6	51.500	55,9	240.000	48,4
50	2.628	78,8	24.900	68,4	13.000	63,4	77.300	54,0
60	615	82,8	6.999	73,9	3.830	69,7	27.000	57,5
70	168,8	83,7	2.157	78,5	1.120,0	76,4	9.600	62,7
80	57,1	80,9	738	81,5	325,0	79,7	3.170	67,6
90	17,99	83,4	252,5	85,2	55,40	83,6	742,0	81,2
100	8,69	84,6	104,6	87,9	20,20	85,0	289,0	84,2
110	5,79	88,5	49,4	88,9	8,71	86,7	125,0	85,9
120	4,86	89,6	25,75	89,8	4,26	89,4	57,90	87,9
130	4,50	90,0	14,85	90,0	2,61	90,0	29,30	89,8
140	4,34	90,0	9,66	90,0	2,02	90,0	16,00	90,0

70/100 _{5ECB}				
Zustand	RTFOT+PAV-gealtert			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	113.000	55,9	566.000	50,8
50	27.800	62,0	165.000	55,1
60	7.200	69,0	50.900	59,1
70	2.020	75,1	16.700	62,9
80	683,0	77,3	5.900	67,4
90	203,0	82,7	2.480	76,5
100	63,20	84,9	841,0	80,9
110	23,20	88,7	308,0	83,5
120	10,10	90,0	126,00	86,5
130	5,29	90,0	57,90	89,6
140	3,34	90,0	29,90	90,0

70/100 _{3FT}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	54.900	48,8	244.000	58,2
50	14.800	45,9	69.100	59,0
60	3.480	45,6	15.900	60,8
70	528	55,5	2.890	67,3
80	183	54,3	950	68,3
90	57,3	50,9	290	68,6
100	7,3	65,0	55,6	75,7
110	1,73	90,0	9,4	90,0
120	1,22	90,0	4,14	90,0
130	1,04	90,0	3,24	90,0
140	0,98	90,0	2,81	90,0

70/100 _{3Amid}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	20.100	53,6	103.700	63,0
50	6.207	50,6	30.530	61,9
60	3.099	41,6	11.250	57,0
70	1.797	36,0	4.994	53,5
80	1.321	30,9	2.877	47,1
90	720,3	31,5	1.427	44,2
100	148,6	41,0	421	47,9
110	12,05	66,8	47,8	69,9
120	1,82	90,0	6,17	90,0
130	2,03	90,0	3,87	90,0
140	1,42	90,0	3,25	90,0

70/100 _{MoA}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	19.990	51,6	97.970	62,1
50	6.088	50,0	29.490	61,3
60	2.413	45,9	9.861	59,4
70	1.004,0	43,6	3.680	58,5
80	766,9	36,4	2.004	52,9
90	474,10	33,1	1.031,0	48,3
100	120,80	41,2	346,8	48,4
110	19,63	54,6	61,3	62,1
120	3,32	89,1	6,66	88,7
130	3,32	90,0	4,82	90,0
140	3,28	90,0	4,07	90,0

70/100 _{MoB}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	33.680	52,2	168.200	60,5
50	7.962	50,3	42.200	62,5
60	1.881	49,7	9.549	63,8
70	387,1	56,8	2.119	68,1
80	153,6	52,5	739	66,8
90	73,72	41,0	287,8	63,3
100	21,96	46,4	96,34	65,0
110	3,423	84,0	12,67	85,3
120	3,355	90,0	7,161	90,0
130	3,317	90,0	4,988	90,0
140	3,284	90,0	4,184	90,0

70/100 _{GG}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	6.539	77,9	65.550	72,5
50	1.333	81,2	15.210	77,5
60	265	87,6	3.679	82,5
70	68,0	88,1	1.022	85,8
80	20,7	88,0	322	88,1
90	7,52	88,9	117,2	88,7
100	3,28	89,7	50,3	89,6
110	1,79	90,0	24,0	90,0
120	1,08	90,0	12,53	90,0
130	0,77	90,0	7,13	90,0
140	0,81	90,0	4,36	90,0

70/100 _{SBC/FT}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	19.820	62,3	127.700	65,0
50	4.840	63,4	34.190	67,2
60	1.517	60,5	9.913	68,3
70	598	56,8	3.360	69,7
80	313	51,5	1.397	68,3
90	164,7	48,4	644	67,1
100	66,3	50,7	288	61,9
110	14,3	64,9	72,0	65,6
120	1,0	88,4	8,57	87,8
130	0,85	90,0	5,06	88,0
140	0,71	90,0	3,31	90,0

70/100 _{SBC/Amid}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	28.050	52,0	139.100	58,0
50	9.010	51,6	43.990	56,0
60	3.579	49,0	16.170	55,1
70	1.560,0	48,0	6.843	55,3
80	999,7	45,4	3.580	53,7
90	493,40	47,0	1.728,0	55,1
100	128,80	53,2	619,7	60,0
110	26,89	56,1	123,8	70,1
120	4,65	89,1	18,20	84,7
130	4,53	90,0	11,06	89,4
140	4,46	90,0	7,67	90,0

70/100 _{GG/FT}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	126.040	52,1	373.800	56,5
50	36.060	51,9	105.900	59,7
60	7.946	52,5	24.420	63,9
70	1.508	57,6	4.534	69,7
80	511	56,2	1.459	70,3
90	168	51,8	454,6	70,9
100	22,8	59,3	89,5	76,8
110	9,70	84,6	19,6	85,3
120	9,46	90,0	11,23	90,0
130	9,30	90,0	7,71	90,0
140	9,20	90,0	6,06	90,0

70/100_{GG/Amid}				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	39.640	62,3	127.700	65,0
50	9.680	63,4	34.190	67,2
60	3.034	60,5	9.913	68,3
70	1196	56,8	3.360	69,7
80	627	51,5	1.397	68,3
90	329	48,4	644	67,1
100	132	50,7	288	61,9
110	28,6	64,9	72,0	65,6
120	2,10	84,5	8,58	87,8
130	1,70	90,0	5,06	88,0
140	1,42	90,0	3,32	90,0

25/55-55_A				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	9.765	73,2	88.210	71,9
50	2.241	77,3	22.010	72,3
60	568	80,0	6.243	75,2
70	173,9	79,5	2.009	77,7
80	73,4	81,5	773	77,1
90	45,87	84,6	349,8	80,1
100	37,44	89,1	213,5	84,7
110	17,62	90,0	128,3	89,4
120	4,79	90,0	51,86	90,0
130	1,86	90,0	21,09	90,0
140	1,05	90,0	10,41	90,0

25/55-55_B				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	14.090	72,4	123.000	69,9
50	2.965	75,6	28.720	71,7
60	694	76,0	7.253	74,9
70	203,3	71,7	2.097	76,2
80	98,1	58,8	773	72,6
90	78,92	50,8	386,8	68,5
100	48,83	61,9	270,0	65,5
110	11,91	84,3	111,4	81,7
120	2,65	88,7	36,51	88,3
130	1,29	90,0	15,28	90,0
140	1,11	90,0	8,70	90,0

40/100-65				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	10.180	64,1	72.030	63,9
50	2.863	69,0	21.170	64,7
60	785	74,3	6.868	67,0
70	240,5	75,6	2.459	71,6
80	94,4	70,9	950	74,3
90	50,33	65,1	421,3	72,5
100	27,57	75,5	232,6	74,1
110	7,94	84,3	105,9	79,3
120	2,64	89,3	40,05	88,6
130	1,81	90,0	16,94	89,8
140	2,39	90,0	9,53	90,0

GmB				
Zustand	frisch			
Frequenz	0,1 Hz		1,59 Hz	
Temperatur	G*	δ	G*	δ
°C	kPa	°	kPa	°
40	26.000	58,5	167.900	63,1
50	7.991	52,4	48.250	63,0
60	2.961	45,6	15.400	61,5
70	1.139	44,2	5.532	61,7
80	596,3	41,7	2.462	60,2
90	310,4	41,5	1.105	60,8
100	106,1	47,9	457	59,5
110	21,21	86,4	108	71,5
120	1,40	89,1	17,7	89,4
130	1,04	90,0	10,5	90,0
140	1,07	90,0	6,65	90,0

Um aus der Vielzahl der so ermittelten Werte Rückschlüsse auf die zweckmäßige Versuchsdurchführung und aussagekräftige Kennwerte ziehen zu können, wurden unter den verschiedenen Randbedingungen jeweils die Äquisteifigkeitstemperaturen und die dazugehörigen Phasenwinkel erfasst.

Bei der Prüffrequenz von 0,1 Hz wurden die Äquisteifigkeitstemperaturen bei einem komplexen Schermodul von 1,0 kPa ermittelt, während bei der Prüffrequenz von 1,59 Hz stets zwei Äquisteifigkeitstemperaturen gemessen wurden: eine bei einem komplexen Schermodul von 15,0 kPa und eine bei einem komplexen Schermodul von 1,0 kPa. In Abbildung A3.2 ist beispielhaft die Ermittlung der vier Kennwerte während eines kontinuierlichen Aufheizens bei 1,59 Hz dargestellt.

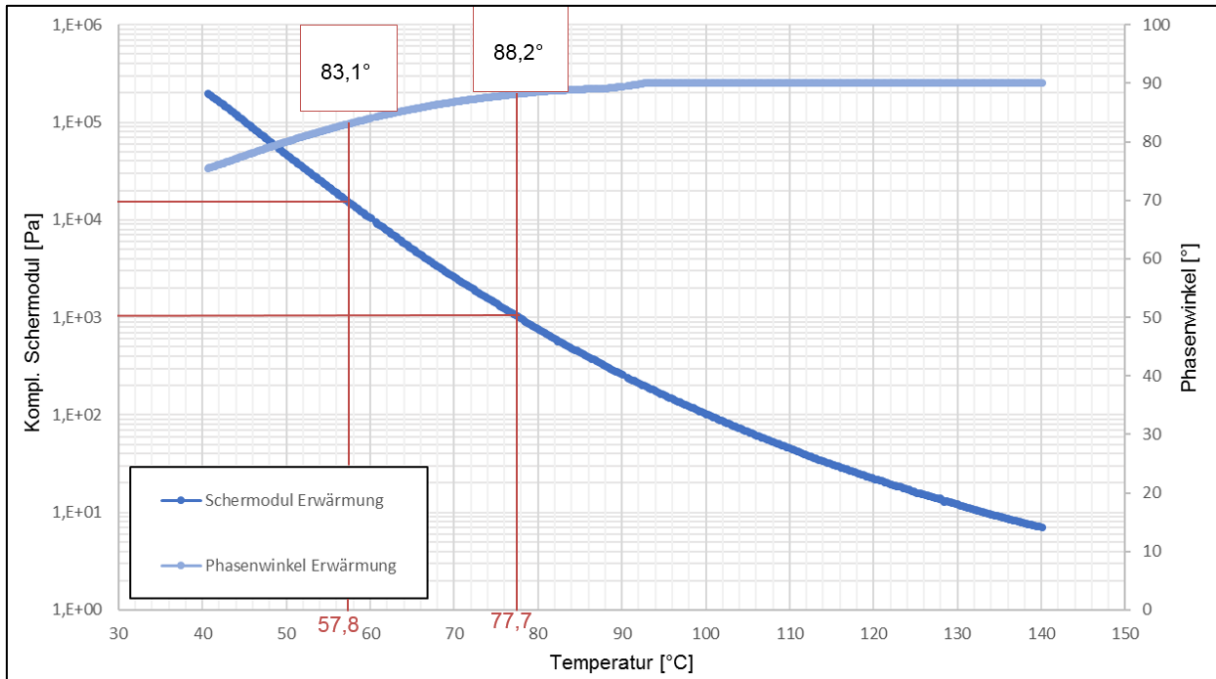


Abbildung A3.2: Exemplarische Ermittlung der Äquisteifigkeitstemperaturen und der dazugehörigen Phasenwinkel
 Aus den beschriebenen Prüfbedingungen ergeben sich für jedes Bindemittel zwölf Äquisteifigkeitstemperaturen und entsprechend zwölf dazugehörige Phasenwinkel. Diese Kennwerte und deren Bezeichnungen sind den Tabellen des A3.6 bis A3.10 zu entnehmen.

Äquisteifigkeitstemperatur	Phasenwinkel	Prüffrequenz	Steifigkeit	Temperierungsrichtung	Temperierungsart
$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	0,1 Hz	1,0 kPa	Heizen	Stufenweise
$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	1,59 Hz	15,0 kPa	Heizen	Stufenweise
$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	1,59 Hz	1,0 kPa	Heizen	Stufenweise
$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	0,1 Hz	1,0 kPa	Kühlen	Stufenweise
$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	1,59 Hz	15,0 kPa	Kühlen	Stufenweise
$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	1,59 Hz	1,0 kPa	Kühlen	Stufenweise
$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	0,1 Hz	1,0 kPa	Heizen	Kontinuierlich
$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	1,59 Hz	15,0 kPa	Heizen	Kontinuierlich
$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	1,59 Hz	1,0 kPa	Heizen	Kontinuierlich
$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	0,1 Hz	1,0 kPa	Kühlen	Kontinuierlich
$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	1,59 Hz	15,0 kPa	Kühlen	Kontinuierlich
$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\bar{\delta}_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	1,59 Hz	1,0 kPa	Kühlen	Kontinuierlich

Tabelle A3.6: Definition der Äquisteifigkeitstemperaturen und Phasenwinkel

	$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\delta_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{S})}$
	°C	°	°C	°	°C	°
Frische Bindemittel						
70/100 _A	46,3	85,2	45,2	79,4	64,8	86,4
70/100 _{2SBC}	52,8	76,2	48,9	69,0	72,6	77,5
70/100 _{3SBC}	57,2	68,4	51,1	64,1	77,7	69,3
70/100 _{4SBC}	60,5	63,7	53,2	59,9	82,7	64,1
70/100 _{ECB}	56,7	81,5	54,0	70,5	77,2	80,7
70/100 _{GG}	51,8	82,3	50,1	77,5	70,3	85,9
70/100 _{1,5Amid}	49,1	82,9	47,5	78,0	68,2	84,8
70/100 _{3Amid}	89,0	26,3	57,1	58,4	92,9	45,3
70/100 _{1,5FT}	56,0	71,7	52,7	73,2	67,1	84,0
70/100 _{3FT}	66,6	52,1	60,3	61,0	79,5	68,3
70/100 _{MoA}	70,1	43,5	56,6	60,1	90,3	48,3
70/100 _{MoB}	64,0	52,5	57,0	63,4	77,1	67,2
70/100 _{SBCAmid}	80,0	45,4	60,9	55,1	95,3	57,7
70/100 _{SBCFT}	64,5	58,8	56,7	67,9	84,3	67,8
20/30 _A	57,4	87,6	57,0	83,1	77,0	88,0
20/30 _{SBC}	65,3	72,0	60,6	69,2	87,4	72,9
20/30 _{ECB}	62,4	86,7	61,5	80,0	83,4	85,5
20/30 _{GG}	59,0	87,3	58,3	81,9	79,0	87,7
20/30 _{Amid}	75,8	62,3	68,2	71,3	96,7	65,2
20/30 _{FT}	70,9	69,2	66,4	72,7	88,8	74,0
25/55-55 A	55,9	78,9	53,0	73,2	77,3	77,3

Tabelle A3.7 Äquisteifigkeitstemperaturen und dazugehörige Phasenwinkel bei stufenweisem Aufheizen

	$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\delta_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{S})}$
	°C	°	°C	°	°C	°
Frische Bindemittel						
70/100 _A	47,0	84,2	45,2	77,8	64,2	85,2
70/100 _{2SBC}	51,5	77,3	48,0	67,4	70,6	78,9
70/100 _{3SBC}	56,3	69,6	49,0	62,8	76,2	72,4
70/100 _{4SBC}	63,8	55,9	50,5	54,4	84,3	61,5
70/100 _{ECB}	58,0	77,5	53,7	67,6	77,0	81,6
70/100 _{GG}	49,8	83,2	48,7	75,9	68,9	84,6
70/100 _{1,5FT}	59,1	52,5	52,0	66,1	70,1	73,3
70/100 _{3FT}	69,3	54,8	60,5	60,8	75,9	67,8
70/100 _{MoA}	49,6	80,8	47,6	73,8	75,7	82,7
70/100 _{MoB}	67,5	45,5	57,7	59,7	75,7	69,4
20/30 _A	57,1	86,9	56,3	82,0	76,4	87,4
20/30 _{SBC}	63,5	74,4	58,4	68,1	85,3	76,1
20/30 _{ECB}	60,6	85,9	59,5	78,0	82,0	84,1
20/30 _{GG}	58,5	86,6	57,7	80,9	78,1	87,2
20/30 _{FT}	74,2	55,2	67,0	67,5	84,9	80,0
25/55-55 A	55,9	76,8	50,7	69,9	76,2	78,0

Tabelle A3.8: Äquistufigkeitstemperaturen und dazugehörige Phasenwinkel bei stufenweisem Abkühlen

	$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$\delta_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$	$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{L})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{H};\text{K})}$
	°C	°	°C	°	°C	°
Frische Bindemittel						
70/100 _A	47,6	85,3	46,4	79,3	66,0	86,4
70/100 _{2SBC}	53,9	76,9	49,3	69,0	73,2	78,1
70/100 _{3SBC}	58,9	68,8	52,0	64,2	78,2	71,1
70/100 _{4SBC}	61,1	64,3	53,8	59,8	82,8	65,9
70/100 _{ECB}	56,1	83,1	53,6	73,7	76,6	82,0
70/100 _{GG}	52,2	81,8	50,2	77,5	70,5	85,9
70/100 _{1,5Amid}	51,0	81,2	48,0	78,1	68,4	85,4
70/100 _{3Amid}	89,2	29,7	56,0	62,5	90,3	49,2
70/100 _{1,5FT}	57,0	69,9	53,2	72,9	73,1	78,3
70/100 _{3FT}	64,8	59,1	59,1	60,4	73,1	78,2
70/100 _{MoA}	72,0	48,5	57,1	58,9	90,3	50,9
70/100 _{MoB}	64,3	54,1	58,0	62,6	77,7	68,1
20/30 _A	58,6	87,8	57,5	83,1	77,7	88,2
20/30 _{SBC}	66,3	71,8	61,5	69,3	88,1	71,8
20/30 _{ECB}	63,4	86,9	61,8	80,9	84,0	86,2
20/30 _{GG}	60,1	87,1	59,7	82,2	80,0	87,7
20/30 _{FT}	68,0	77,2	66,4	75,0	87,6	79,0
25/55-55 A	57,3	79,2	54,1	72,9	78,2	77,5

Tabelle A3.9: Äquisteifigkeitstemperaturen und dazugehörige Phasenwinkel bei konstantem Aufheizen

	$T_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\delta_{(0,1\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$T_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};15,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$T_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$	$\delta_{(1,59\text{Hz};1,0\text{kPa};\text{K};\text{K})}$
	°C	°	°C	°	°C	°
Frische Bindemittel						
70/100 _A	43,5	84,0	42,4	77,3	62,1	85,1
70/100 _{2SBC}	49,0	78,0	45,1	67,6	68,8	80,0
70/100 _{3SBC}	53,2	68,7	46,7	63,4	73,6	72,3
70/100 _{4SBC}	62,2	55,2	48,4	58,9	81,5	60,8
70/100 _{ECB}	55,0	77,9	51,1	68,2	74,2	82,3
70/100 _{GG}	47,2	83,2	45,8	76,0	66,4	84,5
70/100 _{1,5Amid}	45,0	81,7	43,1	75,2	64,4	82,3
70/100 _{3Amid}	48,2	79,7	44,7	74,2	68,0	82,9
70/100 _{1,5FT}	58,0	48,6	52,1	60,3	67,0	75,5
70/100 _{3FT}	66,5	42,2	58,4	50,3	73,4	65,1
70/100 _{MoA}	47,4	79,1	44,7	72,9	68,4	81,0
70/100 _{MoB}	64,7	40,0	56,7	51,5	71,6	67,0
20/30 _A	53,7	86,7	53,3	81,7	73,8	87,5
20/30 _{SBC}	60,7	75,4	55,8	68,4	82,5	77,5
20/30 _{ECB}	58,6	86,1	57,8	78,1	80,1	84,3
20/30 _{GG}	55,5	86,3	54,9	80,6	75,7	87,1
20/30 _{FT}	75,7	51,7	65,0	61,6	77,6	78,0
25/55-55 A	52,5	76,7	48,7	70,4	73,4	78,5

Tabelle A3.10: Äquisteifigkeitstemperaturen und dazugehörige Phasenwinkel bei konstantem Abkühlen

Temperierung bei EG*T

Bei den frischen, gealterten und den rückgewonnenen Laborproben wurden die rheologischen Kennwerte bei der Äquisteifigkeitstemperatur EG*T nach einer Temperierungszeit von zehn Minuten bei der konstanten Temperatur erneut gemessen. Die komplexen Schermodulen dieser Messungen sind Tabelle A3.11 zu entnehmen.

Probe	G* bei EG*T, nach Tempe- rierung	Probe	G* bei EG*T, nach Tempe- rierung	Probe	G* bei EG*T, nach Tempe- rierung
	Pa		Pa		Pa
20/30 _A	13590			20/30 _{A_Rück}	13210
70/100 _A	13640	70/100 _{A_PAV}	13760	70/100 _{A_Rück}	13750
70/100 _{1SBC}	13720			70/100 _{1SBC_Rück}	13260
70/100 _{2SBC}	13830			70/100 _{2SBC_Rück}	13840
70/100 _{3SBC}	13630	70/100 _{3SBC_PAV}	14090	70/100 _{3SBC_Rück}	13960
70/100 _{4SBC}	13810				
70/100 _{5SBC}	13980			70/100 _{5SBC_Rück}	14080
70/100 _{ECB}	13340	70/100 _{ECB_PAV}	14060	70/100 _{ECB_Rück}	13970
GmB	13980				
25/55-55 _B	13330				
40/100-65	14180	40/100-65 <sub_pav< sub=""></sub_pav<>	14180	40/100-65 <sub_rück< sub=""></sub_rück<>	14180
70/100 _{1,5FT}	12760				
70/100 _{2FT}	12390			70/100 _{2FT_Rück}	13310
70/100 _{3FT}	12100	70/100 _{3FT_PAV}	14300	70/100 _{3FT_Rück}	12870
70/100 _{1,5Amid}	13630				
70/100 _{2Amid}	13710			70/100 _{2Amid_Rück}	13570
70/100 _{3Amid}	13700	70/100 _{3Amid_PAV}	14590	70/100 _{3Amid_Rück}	13610
70/100 _{MoA}	14110				
70/100 _{MoB}	13870				
70/100 _{GG}	13350	70/100 _{GG_PAV}	14100	70/100 _{GG_Rück}	13460

Tabelle A3.11: Komplexe Schermoduln nach einer Tempe-rierungszeit von zehn Minuten bei EG*T

Belastungsart:

Der Vergleich zwischen der Äquisteifigkeitstemperatur EG*T, die unter den im Rahmen dieses FE-Projektes entwickelten Prüfbedingungen ermittelt wurde, und der Temperatur $T_{(BTSV)}$ gemäß [AL DSR-Prüfung (BTSV), 2017] wurde an vier Proben ermittelt. Hierzu wurden mit dem 70/100_{3SBC_PAV}, dem 70/100_{3Amid_PAV}, dem BK 2 und dem BK P5 Proben ausgewählt, bei denen die Wahrscheinlichkeit von unterschiedlichen Messergebnissen aufgrund der Steifigkeit des Basisbitumens und der Modifizierung groß war. Der folgenden Tabelle A3.12 sind die Temperaturen EG*T bzw. $T_{(BTSV)}$ und die bei den Temperaturen ermittelten Phasenwinkel zu entnehmen.

Probe	EG*T	δ bei EG*T	$T_{(BTSV)}$	$\delta_{(BTSV)}$
	°C	°	°C	°
70/100 _{3SBC_PAV}	71,7	54,4	71,8	54,6
70/100 _{3Amid_PAV}	73,2	60,9	72,6	63,6
BK 2	86,4	68,4	86,2	68,9
BK P5	88,8	62,9	89,1	63,2

Tabelle A3.12: EG*T bzw. $T_{(BTSV)}$ und die dazugehörigen Phasenwinkel

A.3.3 Bewertung der Untersuchungen zur optimalen Ansprache der Bindemittel

Die in Abschnitt 7.3.2 zusammengefassten Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur optimalen Ansprache der Bindemittel sind im Folgenden erläutert.

Amplitudentests:

Die Grenzen des jeweiligen LVE-Bereichs wurden aus den mit steigender Deformation durchgeführten Amplitudentests wie folgt ermittelt: Die Grenze des LVE-Bereichs gilt gemäß [DIN EN 14770, 2013] als überschritten, sobald die Speichermoduln um 5 % unter deren Anfangswert sinken. Der Anfangswert ist dabei gemäß [DIN EN 14770, 2013] als Schnittpunkt der Messergebnisse mit einer an die ersten (konstanten) Messwerte angelegten Regressionsgeraden definiert.

In Tabelle A3.13 sind die Grenzen des LVE-Bereichs für die Proben 70/100_A, 70/100_{3BSC}, 70/100_{5ECB}, 70/100_{3FT} und 70/100_{3Amid} jeweils in Abhängigkeit von der Prüffrequenz und der Messtemperatur zusammengefasst.

Probe	Frequenz	Temperatur	LVE-Grenze
	Hz	°C	%
70/100 _A	0,1	40	> 10,0
	1,59	40	> 10,0
	0,1	60	> 10,0
	1,59	60	> 10,0
	0,1	80	> 10,0
	1,59	80	> 10,0
	0,1	100	> 10,0
	1,59	100	> 10,0
	0,1	120	> 10,0
	1,59	120	> 10,0
70/100 _{3BSC}	0,1	40	> 10,0
	1,59	40	> 10,0
	0,1	60	> 10,0
	1,59	60	> 10,0
	0,1	80	> 10,0
	1,59	80	> 10,0
	0,1	100	> 10,0
	1,59	100	> 10,0
	0,1	120	> 10,0
	1,59	120	> 10,0
70/100 _{5ECB}	0,1	40	> 10,0
	1,59	40	> 10,0
	0,1	60	> 10,0
	1,59	60	> 10,0
	0,1	80	> 10,0
	1,59	80	> 10,0
	0,1	100	> 10,0
	1,59	100	> 10,0
	0,1	120	> 10,0
	1,59	120	> 10,0

Tabelle A3.13a: Grenze des LVE-Bereichs ausgewählter Bindemittel

Probe	Frequenz	Temperatur	Untere LVE-Grenze	Obere LVE-Grenze
	Hz	°C	%	%
70/100 _{3FT}	0,1	40	< 0,1	1,6
	1,59	40	< 0,1	2,2
	0,1	60	< 0,1	0,8
	1,59	60	< 0,1	0,5
	0,1	80	< 0,1	0,8
	1,59	80	< 0,1	1,2
	0,1	100	0,4	1,1
	1,59	100	< 0,1	> 10,0
	0,1	120	0,5	> 10,0
	1,59	120	0,6	> 10,0
70/100 _{3Amid}	0,1	40	< 0,1	1,1
	1,59	40	< 0,1	1,6
	0,1	60	< 0,1	0,2
	1,59	60	< 0,1	0,4
	0,1	80	< 0,1	< 0,1
	1,59	80	< 0,1	< 0,1
	0,1	100	< 0,1	< 0,1
	1,59	100	< 0,1	< 0,1
	0,1	120	0,6	3,0
	1,59	120	0,6	> 10,0

Tabelle A3.13b: Grenze des LVE-Bereichs ausgewählter Bindemittel

Die Deformationen für die Versuche zur Bestimmung der rheologischen Kennwerte sollten so weit möglich so gewählt werden, dass alle in Frage kommenden Bindemittel innerhalb des LVE-Bereichs beansprucht werden. Die Grenze des LVE-Bereichs gibt die maximalen Verformungen an, bei deren Überschreitung eine signifikante Änderung der gemessenen rheologischen Kennwerte (bei bitumenhaltigen Bindemitteln in aller Regel Rückgang der komplexen Schermoduln und Zunahme der Phasenwinkel) auftritt.

Die Proben 70/100_A, 70/100_{3SBC} und 70/100_{5ECB} weisen zwischen 40 und 120 °C eine Grenze des LVE-Bereichs von mehr als 10 % auf.

Bei dem wachsmodifizierten Bitumen 70/100_{3FT} werden dagegen deutlich niedrigere LVE-Grenzen festgestellt. So beträgt die LVE-Grenze bei den Temperaturen 40, 60 und 80 °C weniger als 3 %. Bei höheren Temperaturen steigt die LVE-Grenze aufgrund des Schmelzens des Wachses deutlich an.

Das 70/100_{3Amid} weist bei 40, 60 und 120 °C ähnliche LVE-Grenzen wie das 70/100_{3FT} auf. Bei 80 und 100 °C ist bei dem 70/100_{3Amid} kein deutlicher LVE-Bereich festzustellen, da bei kleinen Deformationen keine eindeutigen Werte ermittelt werden können und schon bei sehr geringen Deformationen durch einen Rückgang des komplexen Schermoduls bzw. eine Zunahmen des Phasenwinkels eine Überschreitung der LVE-Grenze auftritt. Unter den für dieses FE-Projekt aufzustellenden, für alle Bindemittel gleichen Versuchsbedingungen sind daher keine Messungen innerhalb des LVE-Bereichs für die wachsmodifizierten Bitumen der VH-Gruppe in dem Temperaturbereich von etwa 80 bis 100 °C möglich.

Für die Analyse der Versuchsbedingungen auf die unterschiedlichen Modifizierungen wurden zunächst temperatur- und frequenzabhängig unterschiedliche Deformationen gewählt. Hierdurch wurde sichergestellt, dass bei den meisten Bindemitteln keine Überschreitung der LVE-

Grenze auftritt. Bei den wachsmodifizierten Bitumen (vor allem den Modifizierungen mit Wachsen der VH-Gruppe) war dagegen eine Überschreitung der LVE-Grenze im Temperaturbereich von etwa 60 bis 100 °C unvermeidlich. Zudem wurde durch die gewählten Deformationen sichergestellt, dass die Deformationen nicht zu gering sind, um Messergebnisse ohne „Verfälschungen“ durch äußere Einflüsse zu erzeugen (siehe geringe Amplituden in Abbildung A3.1).

Auswertung zu Temperierungsart, -richtung, der Frequenz und der Steifigkeit

Auf Basis der Äquisteifigkeitstemperaturen und der bei diesen Temperaturen ermittelten Phasenwinkel wurde den folgenden Fragen nachgegangen:

- Welche Parameter (Prüffrequenz, vorgegebene Steifigkeit) sind vorzugeben, um charakteristische Kennwerte für die Modifizierungsarten zu ermitteln?
- Unter welchen Prüfbedingungen (Temperierungsart und -richtung) können die Bindemittel bzw. die verschiedenen Modifizierungsarten möglichst einfach, prozesssicher und eindeutig charakterisiert werden?

Frequenzen und vorgegebene Steifigkeiten

Generell bestand das Ziel des Forschungsprojektes darin, modifizierte Bitumen eindeutig von unmodifizierten Bitumen und innerhalb der Gruppe der modifizierten Bitumen die verschiedenen Modifizierungsarten deutlich voneinander unterschieden zu können. Vor diesem Hintergrund wurden die Einflüsse der jeweiligen Modifizierungen auf die Kennwerte des Grundbitumens betrachtet. Um dies übersichtlich darzustellen, sind in Abbildung A3.3 die Änderungen der Äquisteifigkeitstemperaturen für die Modifizierungen des 70/100_A dargestellt. Ergänzend sind in Abbildung A3.3 die Differenzen zwischen dem 70/100_A und dem härteren, unmodifizierten 20/30_A angegeben.

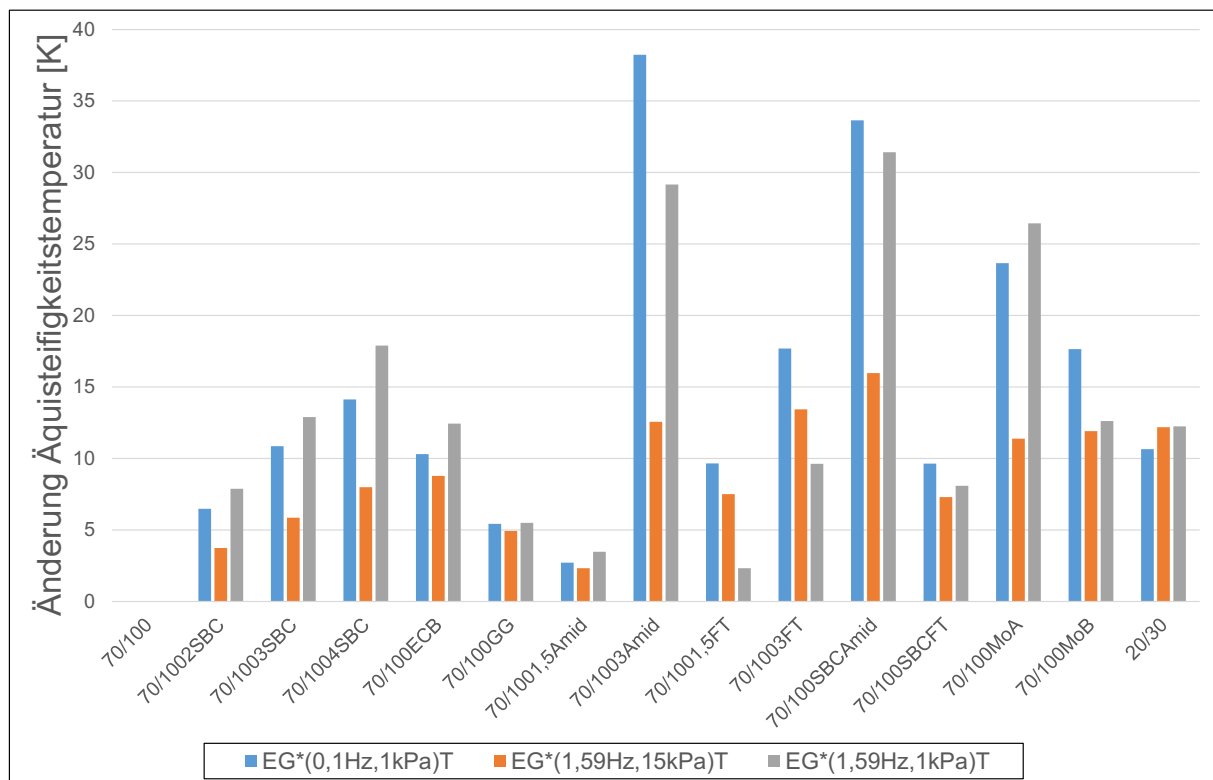


Abbildung A3.3: Änderung der Äquisteifigkeitstemperatur durch die Modifizierung anhand der frischen Bitumen 70/100 bei stufenweisem Aufheizen

Unabhängig von der Frequenz und der vorgegebener Steifigkeit sind deutliche Auswirkungen der Modifizierungen auf die Äquisteifigkeitstemperaturen festzustellen. Wie die um etwa 12 K höheren Äquisteifigkeitstemperaturen des 20/30_A zeigen, sind diese darüber hinaus entscheidend von der Steifigkeit des Basisbitumens abhängig. Dabei bewirkt eine unterschiedliche Steifigkeit des Basisbitumens etwa die gleiche Änderung bei allen Äquisteifigkeitstemperaturen. Bei den modifizierten Bitumen sind dagegen deutlich unterschiedliche Einflüsse bei den verschiedenen Frequenzen festzustellen.

Um diesen charakteristischen Einfluss der Modifizierungen (im Gegensatz zu unmodifizierten Bitumen) systematisch zu erfassen, ist es sinnvoll, das Materialverhalten bei unterschiedlichen Frequenzen zu untersuchen. Da aufgrund der größeren Momente bei der Frequenz von 1,59 Hz eine höhere Prozesssicherheit besteht, ist es somit zielführend, zunächst die Äquisteifigkeitstemperatur für 15 kPa zu bestimmen, und im Anschluss daran weitere Untersuchungen bei dieser Temperatur durchzuführen. Da die Messungen so bei relativ hohen Materialsteifigkeiten erfolgen, ist es für die weitergehenden Analysen bzw. die gezielte Bestimmung der Modifizierung nicht erforderlich, höhere Deformationen als 1,0 % zu wählen (siehe Amplitudentests).

Fazit für Bestimmung der Modifizierungsart: Äquisteifigkeitstemperatur bei 15 kPa / 1,59 Hz und weitere Kennwerte bei dieser Temperatur ermitteln.

Temperierungsrichtung

Der Einfluss der Temperierungsrichtung ist in Abbildung A3.4 anhand der durchschnittlichen Differenzen zwischen den Äquisteifigkeitstemperaturen und Phasenwinkeln in der Aufheiz- bzw. Abkühlphase veranschaulicht. Die Daten der Abbildung A3.4 beruhen auf den Ergebnissen der kontinuierlichen Temperierung und wurden als Mittelwert der drei Äquisteifigkeitstemperaturen und dazugehörigen Phasenwinkel bei 0,1 Hz und 1,59 Hz berechnet.

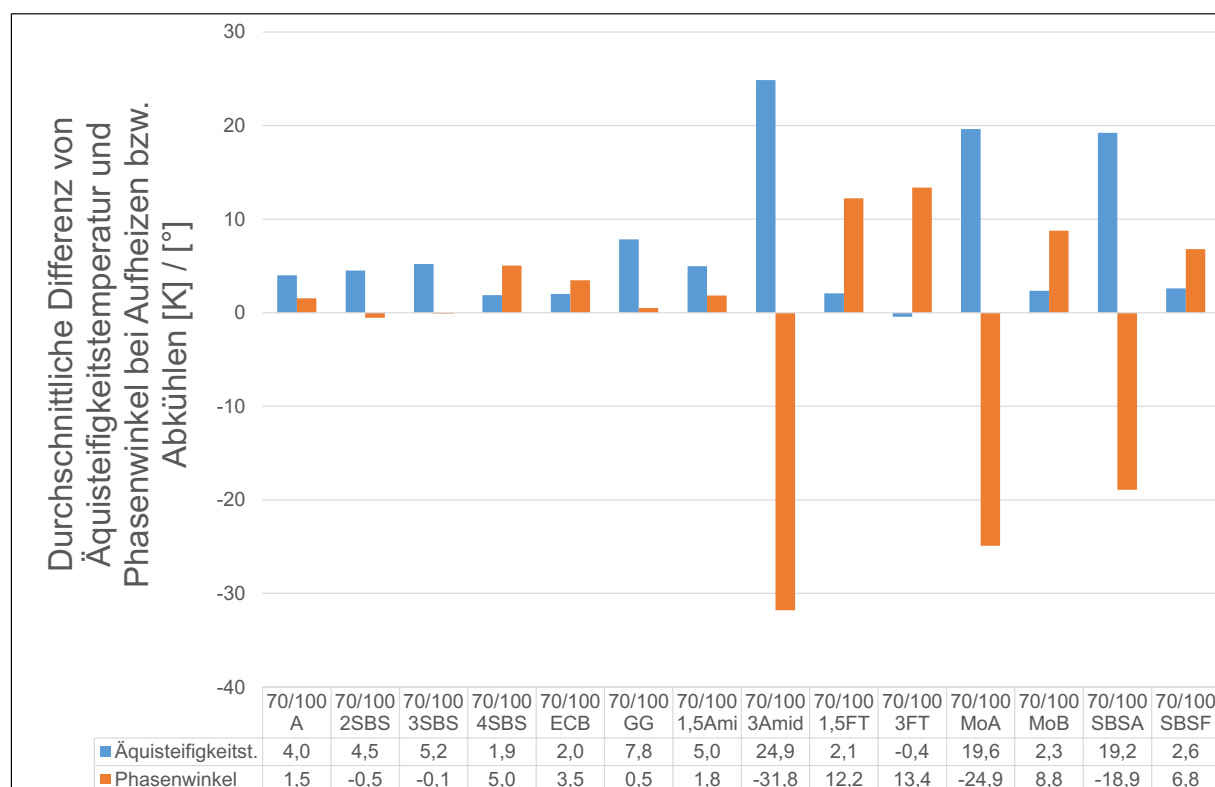


Abbildung A3.4: Durchschnittliche Differenz von Äquisteifigkeitstemperatur und Phasenwinkel beim Aufheizen bzw. Abkühlen bei kontinuierlicher Temperierung

Vor allem aufgrund der Strukturviskosität des Bindemittels und des Materialverlusts am Probenrand sind die Steifigkeiten während der Abkühlung geringer als jene während des Aufheizens. Daher sind auch die Äquisteifigkeitstemperaturen bei der Abkühlung geringer. Bei den betrachteten un-, Polymer- und Gummimodifizierten Bitumen beträgt diese Differenz im Mittel etwa 4,2 K. Da die Phasenwinkel nur durch die Strukturviskosität, nicht aber durch den Materialverlust beeinflusst werden, ist hierbei ein geringerer Unterschied festzustellen. Bei den un-, Polymer- und Gummimodifizierten Bitumen beträgt die Differenz der Phasenwinkel in der Aufheiz- bzw. Abkühlphase durchschnittlich etwa 1,7 °.

Die Kennwerte der wachsmodifizierten Bitumen sind dagegen in der Aufheiz- und der Abkühlphase signifikant unterschiedlich. Bei Modifizierungen mit Wachsen der VL-Gruppe werden bei weitestgehend gleichen Äquisteifigkeitstemperaturen in der Abkühlphase im Mittel niedrigere Phasenwinkel gemessen. Noch wesentlich ausgeprägter sind die Unterschiede zwischen den Kennwerten der Aufheiz- und Abkühlphase bei den wachsmodifizierten Bitumen der Gruppe VH. Bei diesen Varianten werden in der Abkühlphase deutlich niedrigere Äquisteifigkeitstemperaturen und deutlich höhere Phasenwinkel gemessen. Dies lässt darauf schließen, dass die in Abschnitt 5.3.2 vorgegebenen Deformationen zur Analyse der Wachsmodifikationen (vor allem der VH-Gruppe) während der Abkühlphase nicht geeignet sind.

Um ein einheitliches, prozesssicheres Vorgehen bei allen Modifizierungsarten anwenden zu können, wird empfohlen, die Äquisteifigkeitstemperatur während des Aufheizens der Proben zu bestimmen.

*Fazit für Bestimmung der Modifizierungsart: Äquisteifigkeitstemperatur bei **Erwärmung** ermitteln.*

Temperierungsart

Zwischen stufenweiser und kontinuierlicher Temperierung wurden keine gravierenden, auf die Temperierungsart zurückzuführenden Unterschiede der Messergebnisse festgestellt.

Bei den gewählten Versuchsparametern traten in der Erwärmungsphase bei dem kontinuierlichen Erhitzen im Mittel geringfügig höhere Äquisteifigkeitstemperaturen (Durchschnitt ca. 1 K) und Phasenwinkel (Durchschnitt ca. 1 °) auf. Diese Unterschiede sind praktisch unabhängig von der Bindemittelmodifizierung, sodass die Bewertung der Bindemittel bei beiden Temperierungsarten annähernd identisch ausfällt.

Da zur gezielten Bestimmung der Modifizierung empfohlen wird, bei der Äquisteifigkeitstemperatur weitere Parameter zu ermitteln, ist die Bestimmung der Äquisteifigkeitstemperatur bei kontinuierlicher Erwärmung praktikabel. Den Auswirkungen des fehlenden Temperaturgleichgewichts in der Probe wird im Folgenden nachgegangen.

*Fazit für Bestimmung der Modifizierungsart: Äquisteifigkeitstemperatur bei **kontinuierlicher Erwärmung** ermitteln.*

*Die bei kontinuierlicher Erwärmung ermittelte Äquisteifigkeitstemperatur bei 15 kPa / 1,59 Hz wird als **EG*T** definiert.*

Einfluss der Temperierung bei EG*T

Zum Zeitpunkt des Erreichens der Äquisteifigkeitstemperatur EG*T wird definitionsgemäß ein komplexer Schermodul von 15 kPa gemessen. Nach einer zehnmütigen Temperierungsphase bei EG*T beträgt der mittlere komplexe Schermodul der in Abbildung A3.6 betrachteten, unterschiedlich modifizierten, frischen, gealterten bzw. rückgewonnenen Bindemittel noch

13,67 kPa. Durch das Einstellen des Temperaturgleichgewichts in der Probe, was aufgrund der Messung von EG*T während des Aufheizens einer Erhöhung der mittleren Temperatur entspricht, nimmt der komplexe Schermodul somit durchschnittlich um 8,9 % ab. Der geringste gemessene Steifigkeitsrückgang beträgt dabei 2,7 %, während der deutlichste Steifigkeitsrückgang mit einer gemessenen Abnahme des komplexen Schermoduls von 19,3 % gemessen wurde. Präzise, für die ermittelte Äquisteifigkeitstemperatur EG*T repräsentative Kennwerte können somit erst nach einer zehninütigen Temperierungsphase bei EG*T gemessen werden.

Fazit für Bestimmung der Modifizierungsart: Kennwerte bei EG*T erst nach zehninütiger Temperierung ermitteln.

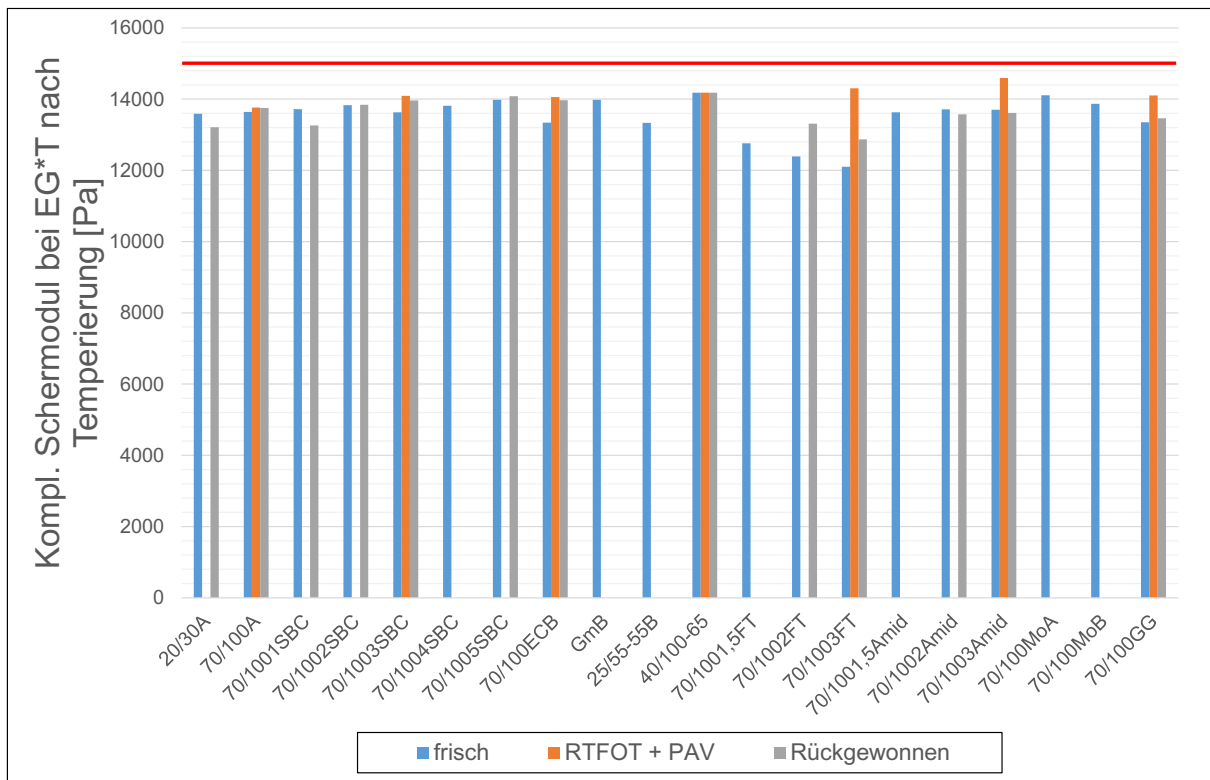


Abbildung A3.6: Kompl. Schermodul bei EG*T nach 10 minütiger Temperierung der frischen, gealterten und rückgewonnenen Bindemittel

Belastungsart:

Für den Vergleich zwischen den Temperaturen EG*T und $T_{(BTSV)}$ sowie den dazugehörigen Phasenwinkeln wurden die Proben 70/100_{3SBC_PAV}, 70/100_{3Amid_PAV}, BK 2 und BK P5 gewählt.

Die beiden Polymermodifizierten Bitumen wurden einbezogen um zu überprüfen, ob die Polymere (vor allem bei niedrigeren Temperaturen bei weggeregelter Untersuchung) möglicherweise einen die Ergebnisse beeinflussenden „Schaden“ erleiden.

Das wachsmodifizierte 70/100_{3Amid_PAV} wurde gewählt, da Wachsmodifizierungen bei Temperaturen im Bereich von EG*T und $T_{(BTSV)}$ außerhalb des LVE-Bereichs beansprucht werden. Hierdurch sollte überprüft werden, ob dies zu signifikanten Unterschieden bei den Ergebnissen führt.

Zudem handelt es sich bei allen Proben um sehr stark gealterte Bindemittel. Dies gilt sowohl für die Labor- als auch für die Praxisproben.

Die beiden Laborproben wurden darüber hinaus gewählt, um einen möglichen Rückgang des Modifizierungsgrades durch die Extraktion/Bindemittelrückgewinnung zu vermeiden, da durch einen solchen Rückgang die Wirkung der Additive nachlassen könnte.

In Abbildung A3.7 sind die Untersuchungsergebnisse graphisch dargestellt.

Die Proben 70/100_{3SBC_PAV}, BK 2 und BK P5 weisen mit Unterschieden von 0,1 bis 0,3 K nahezu identische EG*T und $T_{(BTSV)}$ auf. Gleiches gilt für die zugehörigen Phasenwinkel, die Unterschiede von 0,2 bis 0,5 ° haben. Ein Einfluss der Deformation (bei niedrigen Temperaturen) auf die Untersuchungsergebnisse kann folglich an den stark gealterten ggf. Polymermodifizierten Bitumen nicht festgestellt werden.

Bei der Probe 70/100_{3Amid_PAV} liegen mit einem Temperaturunterschied von 0,6 K und einer Differenz der Phasenwinkel von 2,7 ° die deutlichsten Abweichungen vor. Da eine mögliche „Schädigung“ des Bindemittels aufgrund zu großer Deformationen eine Reduzierung der Temperatur (EG*T bzw. $T_{(BTSV)}$) und eine Erhöhung der Phasenwinkel verursachen würde, kann somit eine weniger präzise Bewertung durch EG*T nicht festgestellt werden.

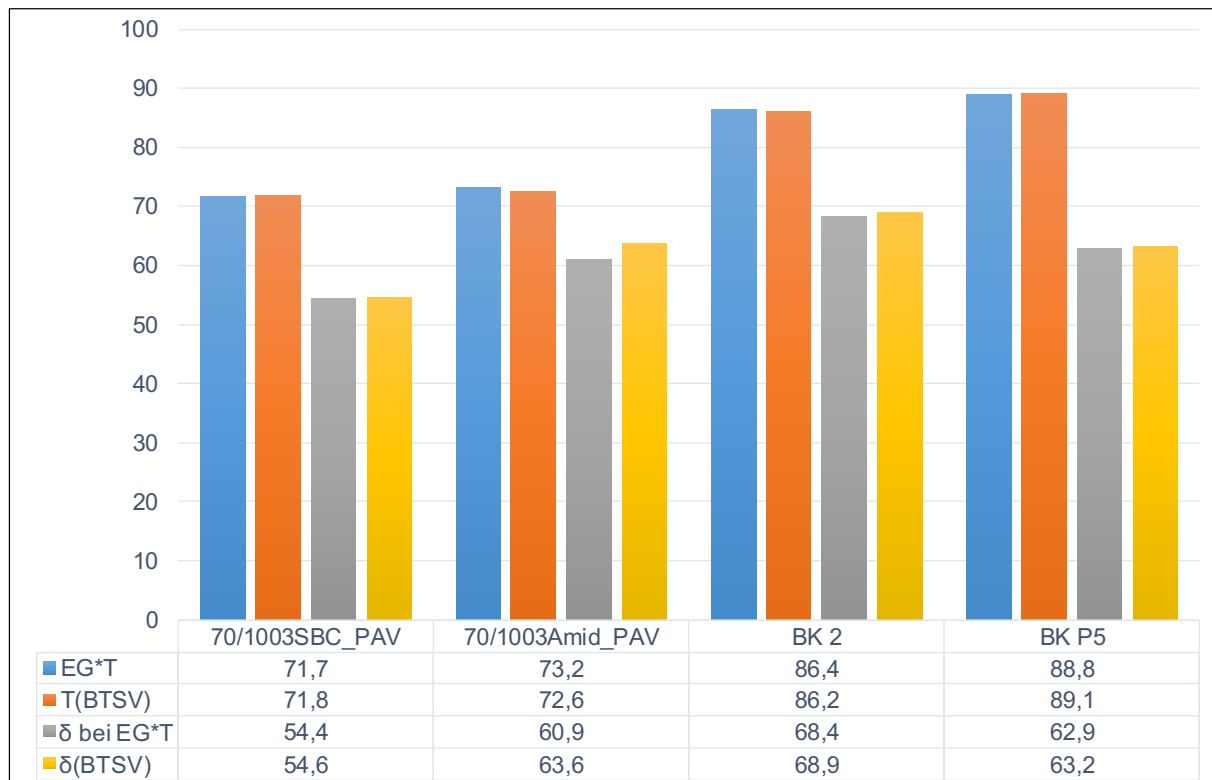


Abbildung A3.7: EG*T bzw. $T_{(BTSV)}$ und die dazugehörigen Phasenwinkel

Fazit für Bestimmung der Äquisteifigkeitstemperatur: EG*T kann durch *weggesteuerte Beanspruchung mit 1,0 % Deformation* ausreichend präzise ermittelt werden.

A.3.4 Charakteristische Eigenschaften der Modifizierungsarten

Amplitudentests:

70/100 _A			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,104	1.255	0,1	4.477
0,134	1.269	0,1393	4.479
0,1787	1.272	0,1933	4.476
0,2383	1.269	0,2681	4.474
0,3178	1.270	0,3719	4.481
0,4238	1.272	0,5158	4.495
0,5652	1.272	0,7154	4.517
0,7537	1.274	0,9921	4.544
1,005	1.276	1,376	4.555
1,34	1.275	1,908	4.552
1,787	1.273	2,647	4.553
2,383	1.272	3,671	4.540
3,178	1.272	5,091	4.529
4,238	1.272	7,061	4.509
5,652	1.270	9,793	4.478
7,537	1.268	13,58	4.417
10,05	1.265	18,84	4.326
13,4	1.259	26,12	4.183
17,87	1.250	36,23	3.979
23,83	1.237	50,25	3.708
31,78	1.215		
42,38	1.184		
56,52	1.136		
75,36	1.051		
98,93	864,1		

70/100 _{2BSC}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	357,7	0,1	5.734
0,134	359,2	0,1393	5.735
0,1787	359,2	0,1933	5.736
0,2384	359,2	0,2681	5.740
0,3179	359,0	0,3719	5.744
0,4239	359,2	0,5157	5.757
0,5652	359,3	0,7153	5.776
0,7538	359,5	0,9921	5.795
1,005	359,6	1,376	5.799
1,34	359,9	1,908	5.771
1,787	360,0	2,647	5.766
2,384	359,9	3,671	5.762
3,179	360,0	5,091	5.757
4,239	359,9	7,061	5.737
5,652	359,8	9,793	5.707
7,537	359,4	13,58	5.651
10,05	358,9	18,84	5.558
13,4	357,9	26,12	5.415
17,87	355,8	36,23	5.207
23,84	352,3	50,25	4.941
31,79	347,2		
42,39	340,4		
56,52	332,3		
75,38	323,0		
100,5	311,9		

70/100 _{3SBC}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	6.287	0,1	6.354
0,134	6.302	0,1393	6.371
0,1787	6.331	0,1932	6.352
0,2383	6.303	0,2682	6.344
0,3178	6.305	0,3718	6.355
0,4238	6.300	0,516	6.362
0,5651	6.290	0,7149	6.377
0,7536	6.280	0,9927	6.388
1,005	6.274	1,375	6.405
1,34	6.287	1,91	6.393
1,787	6.315	2,645	6.398
2,383	6.326	3,672	6.391
3,178	6.314	5,088	6.384
4,238	6.300	7,062	6.367
5,651	6.301	9,798	6.333
7,536	6.283	13,58	6.269
10,05	6.263	18,83	6.173
13,4	6.225	26,12	6.013
17,87	6.170	36,22	5.791
23,83	6.083	50,27	5.503
31,78	5.956		
42,38	5.780		
56,27	5.530		
74,71	5.138		
99,06	4589		

70/100 _{5SBC}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1038	8.532	0,1	7.517
0,134	8.551	0,1393	7.528
0,1787	8.555	0,1933	7.532
0,2383	8.554	0,2681	7.534
0,3178	8.556	0,3718	7.548
0,4238	8.567	0,5157	7.559
0,5651	8.579	0,7153	7.578
0,7536	8.597	0,992	7.598
1,005	8.612	1,376	7.609
1,34	8.624	1,908	7.595
1,787	8.631	2,647	7.597
2,383	8.637	3,67	7.589
3,178	8.636	5,091	7.577
4,238	8.625	7,06	7.548
5,651	8.620	9,792	7.508
7,536	8.604	13,58	7.425
10,05	8.580	18,84	7.297
13,4	8.535	26,12	7.105
17,87	8.466	36,23	6.834
23,83	8.362	50,25	6.501
31,78	8.207		
42,37	7.995		
56,5	7.730		
74,92	7.391		
99,73	6.981		

40/100-65 A			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	5.843	0,1	7.687
0,134	5.856	0,1393	7.698
0,1787	5.854	0,1933	7.701
0,2383	5.848	0,2681	7.706
0,3178	5.843	0,3719	7.725
0,4238	5.834	0,5157	7.761
0,5651	5.820	0,7153	7.816
0,7536	5.801	0,992	7.876
1,005	5.783	1,376	7.911
1,34	5.766	1,908	7.908
1,787	5.757	2,647	7.919
2,383	5.742	3,67	7.893
3,178	5.738	5,091	7.883
4,238	5.738	7,06	7.850
5,652	5.725	9,792	7.799
7,536	5.715	13,58	7.694
10,05	5.695	18,83	7.542
13,4	5.661	26,12	7.301
17,87	5.606	36,23	6.969
23,83	5.526	50,25	6555
31,78	5.405		
42,38	5.241		
56,51	5.023		
74,62	4.668		
98,87	4028		

70/100_{1,5FT}	
frisch	
Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]
0,1039	3.711
0,1238	3.731
0,1525	3.719
0,188	3.694
0,2316	3.658
0,2854	3.623
0,3516	3.589
0,4332	3.557
0,5338	3.520
0,6578	3.485
0,8105	3.453
0,9987	3.421
1,231	3.378
1,516	3.319
1,868	3.247
2,302	3.168
2,836	3.086
3,495	2.998
4,306	2.909
5,306	2.815
6,538	2.717
8,056	2.618
9,927	2.514
12,23	2.406
15,07	2293

70/100 _{2FT}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1	4.666	0,1	4.421
0,1393	4.588	0,1393	4.398
0,1933	4.519	0,1933	4.352
0,2681	4.406	0,2681	4.294
0,3719	4.275	0,3719	4.224
0,5158	4.130	0,5158	4.150
0,7153	3.974	0,7153	4.068
0,9921	3.811	0,9921	3.978
1,376	3.641	1,376	3.874
1,908	3.459	1,908	3.752
2,647	3.293	2,647	3.634
3,671	3.124	3,671	3.508
5,091	2.947	5,091	3.382
7,061	2.757	7,061	3.249
9,793	2.554	9,793	3.103
13,58	2.341	13,58	2.936
18,84	2.122	18,84	2.744
26,12	1.897	26,13	2.525
36,23	1.672	36,24	2.281
50,25	1.443	50,26	2.016

70/100 _{3FT}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1	6.531	0,09999	6.379
0,1393	6.373	0,1393	6.309
0,1933	6.174	0,1933	6.221
0,2681	5.922	0,2681	6.104
0,3719	5.635	0,3719	5.968
0,5157	5.319	0,5157	5.810
0,7153	4.988	0,7153	5.621
0,992	4.656	0,9921	5.417
1,376	4.326	1,376	5.198
1,908	4.007	1,908	4.977
2,647	3.690	2,647	4.733
3,671	3.369	3,671	4.477
5,091	3.044	5,091	4.182
7,061	2.710	7,061	3.864
9,793	2.376	9,793	3.497
13,58	2.053	13,58	3.127
18,84	1.753	18,84	2.765
26,13	1.481	26,13	2.405
36,24	1.239	36,24	2.052
50,26	1.023	50,25	1.713

70/100_{1,5}Amid	
frisch	
Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]
0,1039	5.349
0,1238	5.389
0,1525	5.357
0,1879	5.311
0,2316	5.252
0,2853	5.179
0,3516	5.105
0,4332	5.015
0,5338	4.932
0,6577	4.843
0,8104	4.755
0,9986	4.656
1,23	4.541
1,516	4.403
1,868	4.259
2,302	4.099
2,836	3.951
3,495	3.803
4,306	3.648
5,306	3.489
6,538	3.327
8,056	3.154
9,927	2.981
12,23	2.804
15,07	2620

70/100 ₂ Amid	
rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]
0,1	5.743
0,1393	5.681
0,1933	5.591
0,2681	5.483
0,3719	5.362
0,5157	5.221
0,7153	5.067
0,9921	4.913
1,376	4.772
1,908	4.646
2,647	4.511
3,671	4.359
5,091	4.210
7,061	4.053
9,793	3.874
13,58	3.670
18,84	3.425
26,12	3.145
36,23	2.823
50,25	2.470

70/100 ₃ Amid			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1038	9.997	0,1	5.040
0,134	9.912	0,1393	5.019
0,1787	9.699	0,1933	4.968
0,2383	9.436	0,2681	4.905
0,3178	9.143	0,3721	4.824
0,4237	8.828	0,5154	4.736
0,5651	8.500	0,7153	4.618
0,7535	8.156	0,9921	4.481
1,005	7.807	1,376	4.343
1,34	7.444	1,908	4.214
1,787	7.031	2,647	4.097
2,383	6.559	3,671	3.999
3,178	6.070	5,091	3.894
4,238	5.600	7,061	3.783
5,651	5.157	9,793	3.656
7,536	4.714	13,58	3.503
10,05	4.282	18,84	3.314
13,4	3.847	26,12	3.094
17,87	3.408	36,23	2.832
23,83	2.966	50,25	2.535
31,78	2.531		
42,38	2.110		
56,51	1.715		
75,36	1.360		
100,5	1050		

70/100 _{GG}			
frisch		rückgewonnen	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	5.317	0,1	4.613
0,134	5.326	0,1393	4.620
0,1787	5.326	0,1933	4.617
0,2383	5.327	0,2681	4.620
0,3178	5.331	0,3719	4.624
0,4238	5.336	0,5158	4.632
0,5651	5.346	0,7153	4.645
0,7536	5.359	0,9921	4.657
1,005	5.374	1,376	4.657
1,34	5.385	1,908	4.638
1,787	5.381	2,647	4.635
2,383	5.379	3,671	4.633
3,178	5.378	5,091	4.625
4,238	5.367	7,061	4.611
5,652	5.355	9,793	4.574
7,536	5.332	13,58	4.508
10,05	5.292	18,84	4.409
13,4	5.223	26,13	4.254
17,87	5.121	36,23	4.045
23,83	4.969	50,25	3.785
31,78	4.759		
42,38	4.490		
56,51	4.155		
74,97	3.707		
98,28	2835		

GmB	
frisch	
Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]
0,1039	8.289
0,134	8.280
0,1787	8.219
0,2383	8.140
0,3178	8.050
0,4237	7.947
0,5651	7.841
0,7535	7.724
1,005	7.590
1,34	7.385
1,785	7.094
2,381	6.712
3,18	6.402
4,236	6.065
5,651	5.690
7,54	5.299
10,04	4.890
13,4	4.469
17,86	4.033
23,83	3.591
31,8	3.146
42,37	2.712
56,27	2.296
75,28	1.917
99,57	1581

Frequenztests:

20/30					
frisch			rückgewonnen		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	13.590	83,4	1,59	14.340	80,5
1,07	9.393	84,2	1,24	11.240	81,2
0,721	6.473	84,9	0,962	8.849	81,9
0,486	4.447	85,5	0,748	6.975	82,5
0,327	3.045	86,1	0,581	5.503	83,1
0,22	2.080	86,7	0,452	4.337	83,7
0,148	1.418	87,3	0,352	3.417	84,3
0,1	969,6	87,7	0,273	2.689	84,8
			0,213	2.115	85,3
			0,165	1.662	85,8
			0,129	1.305	86,3
			0,1	1.026	86,7

20/30 _{3Amid}		
frisch		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	14.480	66,1
1,07	10.980	65
0,721	8.442	63,5
0,486	6.545	61,9
0,327	5.148	60,1
0,22	4.061	58,4
0,148	3.237	56,7
0,1	2.626	54,8

70/100						
Frequenz	frisch		gealtert		rückgewonnen	
	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.640	84,7	13.760	66,4	13.750	70,2
1,07	9.392	85,3	10.290	67,7	10.100	71,3
0,721	6.450	85,8	7.643	69	7.382	72,6
0,486	4.421	86,3	5.641	70,5	5.360	74
0,327	3.024	86,7	4.135	72	3.868	75,3
0,22	2.064	87,2	3.008	73,6	2.771	76,7
0,148	1.407	87,5	2.121	75,1	1.976	78,1
0,1	963	87,9	1.461	76,6	1.406	79,3

70/100 _{1SBC}				
	frisch		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.720	73,6	13.260	69,7
1,07	9.938	74,1	9.765	70,5
0,721	7.186	74,6	7.163	71,4
0,486	5.182	75,2	5.231	72,4
0,327	3.726	75,9	3.802	73,4
0,22	2.671	76,6	2.751	74,4
0,148	1.909	77,4	1.984	75,5
0,1	1.365	78,1	1.429	76,5

70/100 _{2SBC}				
	frisch		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.830	68,6	13.840	65
1,07	10.270	69	10.410	65,6
0,721	7.599	69,5	7.811	66,3
0,486	5.607	70,1	5.848	67
0,327	4.120	70,9	4.363	67,9
0,22	3.013	71,8	3.241	68,8
0,148	2.198	72,6	2.399	69,7
0,1	1.602	73,4	1.774	70,7

70/100 _{3SBC}						
	frisch		gealtert		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.630	63,7	14.090	55,4	13.960	62,2
1,07	10.320	63,6	11.080	55,6	10.650	62,7
0,721	7.819	63,5	8.705	55,8	8.105	63,3
0,486	5.926	63,6	6.830	56,2	6.149	64
0,327	4.492	63,7	5.349	56,7	4.647	64,9
0,22	3.401	64	4.181	57,3	3.499	65,8
0,148	2.574	64,3	3.261	58	2.626	66,8
0,1	1.950	64,7	2.547	58,9	1.969	67,8

70/100_{4SBC}		
frisch		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	13.810	58,7
1,07	10.710	58,7
0,721	8.310	58,9
0,486	6.429	59,2
0,327	4.961	59,6
0,22	3.820	60
0,148	2.933	60,5
0,1	2.254	60,9

70/100_{5SBC}				
	frisch		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.980	53	14.080	58
1,07	11.120	53	10.930	58,2
0,721	8.843	53,1	8.485	58,5
0,486	7.031	53,3	6.577	59
0,327	5.569	53,7	5.091	59,5
0,22	4.401	54,1	3.928	60,2
0,148	3.473	54,6	3.022	61
0,1	2.738	55,2	2.331	61,8

25/55-55 A		
frisch		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	13.330	73,2
1,07	9.656	73,7
0,721	6.975	74,2
0,486	5.025	74,6
0,327	3.611	74,9
0,22	2.592	75
0,148	1.861	74,9
0,1	1.343	74,7

40/100-65 A						
	frisch		gealtert		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	14.180	59,1	14.180	46,2	14.180	57,1
1,07	10.920	59	11.630	45,7	11.050	57,3
0,721	8.416	58,8	9.563	45,3	8.605	57,6
0,486	6.490	58,5	7.882	45	6.699	58
0,327	5.008	58	6.507	44,9	5.208	58,4
0,22	3.873	57,4	5.376	45,1	4.042	59,1
0,148	3.006	56,7	4.439	45,5	3.130	59,9
0,1	2.351	55,8	3.665	46,1	2.425	60,8

70/100 _{5ECB}						
	frisch		gealtert		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.340	73,8	14.060	61,6	13.970	67,8
1,07	9.610	75,3	10.750	63	10.350	69,5
0,721	6.872	76,8	8.148	64,7	7.602	71,2
0,486	4.882	78,2	6.129	66,4	5.540	72,9
0,327	3.445	79,5	4.567	68,2	4.005	74,6
0,22	2.419	80,6	3.371	70,1	2.872	76,2
0,148	1.688	81,7	2.469	71,9	2.046	77,6
0,1	1.179	82,5	1.800	73,7	1.454	78,9

70/100 _{1,5FT}		
frisch		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	12.760	72,4
1,07	9.279	72,2
0,721	6.763	71,8
0,486	4.945	71,2
0,327	3.627	70,3
0,22	2.681	69,2
0,148	1.996	67,9
0,1	1.507	66,4

70/100_{2FT}				
	frisch		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	12.390	70,1	13.310	71,1
1,07	9.111	69,7	9.726	71,8
0,721	6.723	69,1	7.089	72,4
0,486	4.989	68,3	5.156	73
0,327	3.726	67,3	3.745	73,3
0,22	2.801	66,1	2.717	73,6
0,148	2.127	64,9	1.974	73,6
0,1	1.633	63,5	1.442	73,4

70/100_{3FT}						
	frisch		gealtert		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	12.100	66,9	14.300	63,8	12.870	63,8
1,07	9.044	66,2	10.800	65	9.765	64,6
0,721	6.807	65,3	8.109	66,2	7.412	65,3
0,486	5.157	64,3	6.053	67,5	5.623	65,8
0,327	3.938	63,1	4.495	68,8	4.273	66,3
0,22	3.034	61,7	3.319	70,1	3.252	66,6
0,148	2.363	60,1	2.442	71,4	2.482	66,7
0,1	1.863	58,5	1.790	72,5	1.916	67,2

70/100_{1,5Amid}		
frisch		
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]
1,59	13.630	68,3
1,07	10.130	67,8
0,721	7.558	67,1
0,486	5.671	66,2
0,327	4.281	65
0,22	3.256	63,6
0,148	2.500	62,1
0,1	1.944	60,3

70/100 ₂ Amid				
	frisch		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.710	71,4	13.570	70,8
1,07	10.040	71,2	9.958	71,7
0,721	7.361	71	7.284	72,6
0,486	5.407	70,7	5.307	73,6
0,327	3.984	70,2	3.846	74,6
0,22	2.947	69,6	2.773	75,5
0,148	2.192	68,8	1.992	76,3
0,1	1.643	67,9	1.432	77

70/100 ₃ Amid						
	frisch		gealtert		rückgewonnen	
Frequenz	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel	Schermodul	Phasenwinkel
[Hz]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]	[Pa]	[°]
1,59	13.700	60,2	14.590	62,2	14.400	63,5
1,07	10.670	58,8	11.180	62,4	10.930	64
0,721	8.410	57,1	8.570	62,5	8.289	64,5
0,486	6.722	55,2	6.582	62,4	6.284	64,8
0,327	5.440	53,1	5.073	62,1	4.763	64,9
0,22	4.452	50,9	3.924	61,6	3.611	64,8
0,148	3.705	48,6	3.053	60,8	2.744	64,6
0,1	3.133	46,2	2.398	59,8	2.108	64

Probe	EG*T	$\delta_{(1,59 \text{ Hz})}$	$G'_{(0,1 \text{ Hz})}$	$G'_{(EG^*T)}$
	°C	°	Pa	Pa/°C
20/30 _A	57,4	83,4	39	0,7
20/30 _{A_Rück}	65,8	80,5	63	1,0
70/100 _A	44,7	84,8	35	0,8
70/100 _{A_PAV}	71,0	69,4	339	4,8
70/100 _{A_Rück}	62,9	75,2	172	2,7
70/100 _{2ECB}	49,0	78,0	105	2,1
70/100 _{3,5ECB}	51,4	75,9	119	2,3
70/100 _{5ECB}	55,1	73,8	154	2,8
70/100 _{ECB_PAV}	75,0	61,6	505	6,7
70/100 _{ECB_Rück}	66,3	67,9	280	4,2
70/100 _{GG}	53,8	76,7	169	3,1
70/100 _{GG_PAV}	71,9	66,9	354	4,9
70/100 _{GG_Rück}	60,5	70,4	272	4,5
70/100 _{1SBC}	50,0	73,6	281	5,6
70/100 _{1SBC_Rück}	59,8	69,7	334	5,6
70/100 _{2SBC}	52,3	68,7	458	8,8
70/100 _{2SBC_Rück}	63,2	65,0	586	9,2
70/100 _{3SBC}	53,8	63,8	833	15,5
70/100 _{3SBC_PAV}	71,0	55,4	1316	18,5
70/100 _{3SBC_Rück}	65,2	62,2	744	11,4
25/55-55	56,1	72,4	354	6,4
70/100 _{4SBC}	54,9	58,7	1096	20,0
70/100 _{5SBC}	58,7	53,0	1563	26,6
70/100 _{5SBC_Rück}	65,6	58,0	1102	16,8
40/100-65	48,0	59,1	1321	27,5
40/100-65 <sub_pav< sub=""></sub_pav<>	66,7	46,2	2541	38,1
40/100-65 <sub_rück< sub=""></sub_rück<>	62,9	57,1	1183	18,8
70/100 _{1,5FT}	56,0	72,4	603	10,8
70/100 _{2FT}	57,2	70,1	729	12,7
70/100 _{2FT_Rück}	62,1	71,1	412	6,6
70/100 _{3FT}	59,6	66,9	973	16,3
70/100 _{3FT_PAV}	73,4	63,8	538	7,3
70/100 _{3FT_Rück}	73,4	63,8	743	10,1
70/100 _{1,5Amid}	53,6	68,3	963	18,0
70/100 _{2Amid}	51,1	71,4	618	12,1
70/100 _{2Amid_Rück}	58,9	70,8	322	5,5
70/100 _{3Amid}	57,2	60,2	2169	37,9
70/100 _{3Amid_PAV}	71,0	62,2	1206	17,0
70/100 _{3Amid_Rück}	60,2	63,5	924	15,3
70/100 _{MoA}	57,8	59,4	1521	26,3
70/100 _{MoB}	58,5	63,4	1144	19,6

MSCR-Tests

70/100 _A							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	11,230	13,478	2,248	13,407	2,178
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	13,407	15,655	2,248	15,585	2,177
	0	20					
3	3,200	21	15,585	17,837	2,252	17,766	2,181
	0	30					
4	3,200	31	17,766	20,021	2,255	19,951	2,185
	0	40					
5	3,200	41	19,951	22,202	2,251	22,132	2,181
	0	50					
6	3,200	51	22,132	24,383	2,252	24,313	2,182
	0	60					
7	3,200	61	24,313	26,563	2,249	26,492	2,179
	0	70					
8	3,200	71	26,492	28,737	2,245	28,666	2,174
	0	80					
9	3,200	81	28,666	30,914	2,248	30,844	2,178
	0	90					
10	3,200	91	30,844	33,092	2,248	33,022	2,178
	0	100					

70/100 _{PAV}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,080	6,565	1,485	6,148	1,069
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	6,148	7,638	1,490	7,223	1,074
	0	20					
3	3,200	21	7,223	8,717	1,494	8,304	1,081
	0	30					
4	3,200	31	8,304	9,802	1,498	9,390	1,086
	0	40					
5	3,200	41	9,390	10,891	1,501	10,479	1,089
	0	50					
6	3,200	51	10,479	11,984	1,505	11,573	1,093
	0	60					
7	3,200	61	11,573	13,079	1,506	12,667	1,094
	0	70					
8	3,200	71	12,667	14,173	1,506	13,761	1,094
	0	80					
9	3,200	81	13,761	15,267	1,506	14,855	1,094
	0	90					
10	3,200	91	14,855	16,362	1,507	15,950	1,095
	0	100					

70/100 ₅ ECB_PAV							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	3,914	5,238	1,324	4,802	0,888
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	4,802	6,136	1,334	5,701	0,899
	0	20					
3	3,200	21	5,701	7,039	1,338	6,607	0,906
	0	30					
4	3,200	31	6,607	7,949	1,342	7,517	0,910
	0	40					
5	3,200	41	7,517	8,862	1,345	8,432	0,915
	0	50					
6	3,200	51	8,432	9,780	1,348	9,350	0,918
	0	60					
7	3,200	61	9,350	10,701	1,352	10,272	0,922
	0	70					
8	3,200	71	10,272	11,628	1,356	11,199	0,927
	0	80					
9	3,200	81	11,199	12,559	1,360	12,130	0,931
	0	90					
10	3,200	91	12,130	13,493	1,362	13,064	0,934
	0	100					

70/100 _{1SBC}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,9988265	7,772	1,773	7,248	1,250
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	7,248	9,024	1,775	8,493	1,245
	0	20					
3	3,200	21	8,493	10,273	1,779	9,741	1,248
	0	30					
4	3,200	31	9,741	11,524	1,783	10,993	1,252
	0	40					
5	3,200	41	10,993	12,778	1,785	12,246	1,253
	0	50					
6	3,200	51	12,246	14,029	1,783	13,498	1,252
	0	60					
7	3,200	61	13,498	15,280	1,782	14,750	1,252
	0	70					
8	3,200	71	14,750	16,531	1,781	16,002	1,252
	0	80					
9	3,200	81	16,002	17,783	1,781	17,256	1,253
	0	90					
10	3,200	91	17,256	19,035	1,779	18,508	1,253
	0	100					

70/100 _{3SBC}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	1,6519454	2,940	1,288	2,005	0,353
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	2,005	3,287	1,282	2,303	0,299
	0	20					
3	3,200	21	2,303	3,583	1,279	2,573	0,269
	0	30					
4	3,200	31	2,573	3,850	1,278	2,821	0,248
	0	40					
5	3,200	41	2,821	4,097	1,277	3,053	0,232
	0	50					
6	3,200	51	3,053	4,329	1,276	3,272	0,219
	0	60					
7	3,200	61	3,272	4,547	1,276	3,480	0,208
	0	70					
8	3,200	71	3,480	4,755	1,276	3,678	0,199
	0	80					
9	3,200	81	3,678	4,954	1,276	3,869	0,191
	0	90					
10	3,200	91	3,869	5,145	1,275	4,053	0,184
	0	100					

70/100 _{5SBC}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	0,6812129	1,633	0,951	0,843	0,161
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	0,843	1,791	0,948	0,975	0,132
	0	20					
3	3,200	21	0,975	1,922	0,947	1,093	0,118
	0	30					
4	3,200	31	1,093	2,039	0,946	1,202	0,109
	0	40					
5	3,200	41	1,202	2,147	0,946	1,303	0,102
	0	50					
6	3,200	51	1,303	2,248	0,945	1,399	0,096
	0	60					
7	3,200	61	1,399	2,344	0,945	1,491	0,092
	0	70					
8	3,200	71	1,491	2,435	0,944	1,578	0,088
	0	80					
9	3,200	81	1,578	2,522	0,944	1,662	0,084
	0	90					
10	3,200	91	1,662	2,606	0,943	1,744	0,081
	0	100					

70/100 _{3FT}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	15,848651	22,249	6,401	21,889	6,040
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	21,889	29,068	7,179	28,748	6,859
	0	20					
3	3,200	21	28,748	36,535	7,787	36,252	7,504
	0	30					
4	3,200	31	36,252	44,570	8,318	44,319	8,067
	0	40					
5	3,200	41	44,319	53,071	8,752	52,846	8,526
	0	50					
6	3,200	51	52,846	61,993	9,147	61,797	8,951
	0	60					
7	3,200	61	61,797	71,305	9,508	71,134	9,337
	0	70					
8	3,200	71	71,134	80,954	9,821	80,800	9,666
	0	80					
9	3,200	81	80,800	90,915	10,115	90,783	9,983
	0	90					
10	3,200	91	90,783	101,181	10,398	101,063	10,280
	0	100					

70/100 _{3FT_PAV}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,9085493	7,701	1,793	7,285	1,376
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	7,285	9,119	1,834	8,703	1,418
	0	20					
3	3,200	21	8,703	10,572	1,870	10,156	1,453
	0	30					
4	3,200	31	10,156	12,063	1,907	11,646	1,490
	0	40					
5	3,200	41	11,646	13,586	1,940	13,168	1,522
	0	50					
6	3,200	51	13,168	15,136	1,968	14,717	1,549
	0	60					
7	3,200	61	14,717	16,711	1,994	16,291	1,575
	0	70					
8	3,200	71	16,291	18,312	2,021	17,892	1,600
	0	80					
9	3,200	81	17,892	19,937	2,045	19,516	1,624
	0	90					
10	3,200	91	19,516	21,577	2,061	21,157	1,641
	0	100					

70/100 ₃ Amid							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,9190497	8,782	2,863	8,372	2,453
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	8,372	11,595	3,223	11,181	2,810
	0	20					
3	3,200	21	11,181	14,699	3,517	14,280	3,098
	0	30					
4	3,200	31	14,280	18,000	3,720	17,581	3,302
	0	40					
5	3,200	41	17,581	21,453	3,872	21,036	3,455
	0	50					
6	3,200	51	21,036	25,029	3,994	24,619	3,583
	0	60					
7	3,200	61	24,619	28,725	4,106	28,320	3,701
	0	70					
8	3,200	71	28,320	32,527	4,207	32,127	3,807
	0	80					
9	3,200	81	32,127	36,422	4,294	36,028	3,901
	0	90					
10	3,200	91	36,028	40,421	4,393	40,034	4,006
	0	100					

70/100 ₃ Amid_PAV							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	4,5884575	6,544	1,956	6,128	1,540
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	6,128	8,164	2,036	7,752	1,624
	0	20					
3	3,200	21	7,752	9,868	2,115	9,458	1,705
	0	30					
4	3,200	31	9,458	11,647	2,189	11,235	1,777
	0	40					
5	3,200	41	11,235	13,484	2,249	13,070	1,835
	0	50					
6	3,200	51	13,070	15,355	2,286	14,940	1,870
	0	60					
7	3,200	61	14,940	17,253	2,313	16,837	1,897
	0	70					
8	3,200	71	16,837	19,176	2,339	18,761	1,923
	0	80					
9	3,200	81	18,761	21,118	2,357	20,702	1,941
	0	90					
10	3,200	91	20,702	23,071	2,369	22,658	1,956
	0	100					

70/100 ₃ Amid_rück							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	4,2061543	5,814	1,608	5,397	1,191
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	5,397	7,026	1,629	6,613	1,216
	0	20					
3	3,200	21	6,613	8,268	1,655	7,859	1,246
	0	30					
4	3,200	31	7,859	9,543	1,684	9,133	1,275
	0	40					
5	3,200	41	9,133	10,848	1,714	10,436	1,303
	0	50					
6	3,200	51	10,436	12,178	1,741	11,765	1,328
	0	60					
7	3,200	61	11,765	13,526	1,761	13,110	1,345
	0	70					
8	3,200	71	13,110	14,882	1,772	14,464	1,355
	0	80					
9	3,200	81	14,464	16,244	1,779	15,826	1,361
	0	90					
10	3,200	91	15,826	17,613	1,787	17,194	1,368
	0	100					

70/100 _{SBC/FT}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	6,3892302	8,539	2,150	7,962	1,573
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	7,962	10,180	2,218	9,594	1,631
	0	20					
3	3,200	21	9,594	11,862	2,269	11,272	1,678
	0	30					
4	3,200	31	11,272	13,583	2,311	12,988	1,716
	0	40					
5	3,200	41	12,988	15,332	2,344	14,734	1,745
	0	50					
6	3,200	51	14,734	17,100	2,367	16,500	1,766
	0	60					
7	3,200	61	16,500	18,889	2,389	18,287	1,787
	0	70					
8	3,200	71	18,287	20,703	2,416	20,098	1,811
	0	80					
9	3,200	81	20,098	22,535	2,437	21,928	1,830
	0	90					
10	3,200	91	21,928	24,382	2,454	23,774	1,846
	0	100					

70/100 _{SBC/FT_PAV}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	2,120	3,165	1,045	2,578	0,457
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	2,578	3,629	1,052	3,030	0,453
	0	20					
3	3,200	21	3,030	4,089	1,059	3,487	0,456
	0	30					
4	3,200	31	3,487	4,553	1,066	3,949	0,463
	0	40					
5	3,200	41	3,949	5,023	1,073	4,418	0,469
	0	50					
6	3,200	51	4,418	5,497	1,079	4,893	0,475
	0	60					
7	3,200	61	4,893	5,977	1,084	5,372	0,479
	0	70					
8	3,200	71	5,372	6,459	1,088	5,854	0,482
	0	80					
9	3,200	81	5,854	6,945	1,091	6,340	0,485
	0	90					
10	3,200	91	6,340	7,432	1,093	6,827	0,488
	0	100					

70/100 _{SBC/FT_rück}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,510	7,171	1,661	6,691	1,181
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	6,691	8,370	1,679	7,891	1,200
	0	20					
3	3,200	21	7,891	9,586	1,695	9,108	1,218
	0	30					
4	3,200	31	9,108	10,823	1,714	10,344	1,236
	0	40					
5	3,200	41	10,344	12,078	1,734	11,599	1,255
	0	50					
6	3,200	51	11,599	13,350	1,751	12,868	1,269
	0	60					
7	3,200	61	12,868	14,632	1,764	14,148	1,280
	0	70					
8	3,200	71	14,148	15,922	1,774	15,438	1,290
	0	80					
9	3,200	81	15,438	17,221	1,783	16,736	1,298
	0	90					
10	3,200	91	16,736	18,529	1,793	18,043	1,307
	0	100					

70/100 _{SBC/Amid}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	1,215	2,570	1,355	1,706	0,491
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	1,706	3,063	1,357	2,124	0,418
	0	20					
3	3,200	21	2,124	3,489	1,365	2,510	0,386
	0	30					
4	3,200	31	2,510	3,883	1,373	2,877	0,367
	0	40					
5	3,200	41	2,877	4,261	1,385	3,233	0,356
	0	50					
6	3,200	51	3,233	4,631	1,398	3,583	0,350
	0	60					
7	3,200	61	3,583	4,996	1,413	3,931	0,348
	0	70					
8	3,200	71	3,931	5,359	1,429	4,278	0,347
	0	80					
9	3,200	81	4,278	5,723	1,445	4,626	0,348
	0	90					
10	3,200	91	4,626	6,087	1,461	4,977	0,350
	0	100					

70/100 _{SBC/Amid_rück}							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	2,743	3,969	1,226	3,418	0,675
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	3,418	4,645	1,228	4,083	0,666
	0	20					
3	3,200	21	4,083	5,315	1,232	4,752	0,668
	0	30					
4	3,200	31	4,752	5,991	1,239	5,426	0,674
	0	40					
5	3,200	41	5,426	6,672	1,247	6,106	0,680
	0	50					
6	3,200	51	6,106	7,361	1,256	6,792	0,687
	0	60					
7	3,200	61	6,792	8,057	1,265	7,485	0,693
	0	70					
8	3,200	71	7,485	8,758	1,273	8,183	0,698
	0	80					
9	3,200	81	8,183	9,463	1,280	8,886	0,703
	0	90					
10	3,200	91	8,886	10,171	1,285	9,592	0,706
	0	100					

A.3.5 Bestimmung der Modifizierungsarten (Praxisproben)

BK 1		BK 2	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	2.936	0,1039	4.875
0,134	2.952	0,134	4.896
0,1787	2.953	0,1787	4.900
0,2383	2.951	0,2383	4.898
0,3178	2.953	0,3178	4.904
0,4238	2.958	0,4238	4.912
0,5652	2.964	0,5651	4.921
0,7537	2.971	0,7536	4.931
1,005	2.979	1,005	4.941
1,34	2.978	1,34	4.946
1,787	2.969	1,787	4.946
2,383	2.965	2,383	4.947
3,178	2.967	3,178	4.947
4,238	2.966	4,238	4.940
5,652	2.960	5,652	4.929
7,536	2.952	7,536	4.913
10,05	2.936	10,05	4.884
13,4	2.908	13,4	4.830
17,87	2.867	17,87	4.747
23,83	2.804	23,83	4.622
31,78	2.715	31,78	4.444
42,38	2.593	42,38	4.206
56,51	2.417	56,51	3.889
74,54	2.056	74,96	3.351
97,65	1.503	97,68	2.354

BK P1		BK P2		BK P3	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	5.344	0,1039	5.260	0,1039	6.880
0,1341	5.367	0,134	5.277	0,134	6.888
0,1786	5.349	0,1787	5.279	0,1787	6.884
0,2383	5.351	0,2383	5.280	0,2383	6.880
0,3178	5.352	0,3178	5.286	0,3178	6.873
0,4238	5.353	0,4238	5.298	0,4238	6.861
0,5655	5.354	0,5651	5.310	0,5651	6.841
0,7532	5.360	0,7536	5.329	0,7536	6.814
1,005	5.361	1,005	5.349	1,005	6.784
1,341	5.352	1,34	5.365	1,34	6.759
1,786	5.335	1,787	5.377	1,787	6.755
2,384	5.325	2,383	5.386	2,383	6.747
3,178	5.329	3,178	5.386	3,178	6.739
4,237	5.335	4,238	5.379	4,238	6.739
5,651	5.328	5,651	5.380	5,651	6.717
7,535	5.328	7,536	5.368	7,536	6.689
10,05	5.317	10,05	5.350	10,05	6.637
13,39	5.292	13,4	5.314	13,4	6.550
17,86	5.259	17,87	5.261	17,87	6.432
23,83	5.203	23,83	5.173	23,83	6.258
31,78	5.116	31,78	5.039	31,78	6.028
42,38	4.985	42,38	4.849	42,37	5.753
56,2	4.777	56,51	4.600	56,51	5.450
74,44	4.448	75,35	4.277	74,69	5.109
98,66	3.876	98,45	3.728	99,14	4.644

BK P4		BK P5	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	6.974	0,1039	6.338
0,134	6.986	0,134	6.357
0,1787	6.990	0,1787	6.361
0,2383	6.995	0,2383	6.361
0,3178	7.006	0,3178	6.366
0,4238	7.017	0,4238	6.373
0,5651	7.038	0,5651	6.380
0,7536	7.059	0,7536	6.392
1,005	7.073	1,005	6.401
1,34	7.072	1,34	6.399
1,787	7.057	1,787	6.383
2,383	7.045	2,383	6.377
3,178	7.044	3,178	6.385
4,238	7.031	4,238	6.389
5,651	7.008	5,651	6.379
7,536	6.976	7,536	6.373
10,05	6.919	10,05	6.349
13,4	6.827	13,4	6.301
17,87	6.698	17,87	6.235
23,83	6.513	23,83	6.128
31,78	6.268	31,78	5.967
42,37	5.974	42,38	5.741
56,51	5.651	56,51	5.452
74,73	5.296	75,35	5.091
99,18	4.849	98,76	4.513

BK W1		BK W2		BK W3	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	2.739	0,1039	2.433	0,1039	2.688
0,134	2.752	0,1238	2.449	0,1238	2.725
0,1787	2.757	0,1525	2.447	0,1525	2.722
0,2383	2.756	0,188	2.440	0,1879	2.706
0,3178	2.760	0,2316	2.426	0,2315	2.693
0,4238	2.766	0,2854	2.411	0,2855	2.676
0,5652	2.774	0,3516	2.398	0,3518	2.666
0,7537	2.786	0,4332	2.384	0,4333	2.652
1,005	2.795	0,5338	2.371	0,5336	2.639
1,34	2.797	0,6578	2.358	0,6572	2.628
1,787	2.788	0,8105	2.344	0,8106	2.618
2,383	2.784	0,9987	2.331	0,9986	2.606
3,178	2.788	1,231	2.313	1,231	2.590
4,238	2.787	1,516	2.289	1,516	2.562
5,652	2.783	1,868	2.259	1,867	2.523
7,536	2.779	2,302	2.228	2,301	2.483
10,05	2.769	2,836	2.197	2,835	2.441
13,4	2.750	3,495	2.162	3,493	2.390
17,87	2.724	4,306	2.125	4,304	2.338
23,83	2.681	5,306	2.084	5,308	2.282
31,78	2.613	6,538	2.042	6,533	2.225
42,38	2.515	8,056	1.998	8,06	2.163
56,51	2.376	9,926	1.950	9,924	2.101
75,35	2.160	12,23	1.898	12,23	2.036
97,79	1.687	15,08	1.839	15,08	1.964

BK W4		BK W5		BK W6	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	3.526	0,1039	4.310	0,1039	4.555
0,1238	3.549	0,1238	4.336	0,1238	4.582
0,1525	3.528	0,1525	4.328	0,1525	4.579
0,1879	3.495	0,188	4.306	0,1879	4.568
0,2316	3.449	0,2316	4.274	0,2316	4.550
0,2853	3.403	0,2853	4.245	0,2853	4.527
0,3516	3.352	0,3516	4.215	0,3516	4.500
0,4332	3.297	0,4332	4.182	0,4332	4.469
0,5338	3.242	0,5338	4.145	0,5338	4.434
0,6577	3.184	0,6578	4.106	0,6578	4.395
0,8104	3.125	0,8105	4.064	0,8105	4.354
0,9986	3.065	0,9986	4.013	0,9986	4.313
1,23	3.001	1,23	3.953	1,23	4.270
1,516	2.931	1,516	3.882	1,516	4.223
1,868	2.855	1,868	3.809	1,868	4.169
2,302	2.770	2,302	3.733	2,302	4.097
2,836	2.679	2,836	3.662	2,836	4.006
3,495	2.595	3,495	3.602	3,495	3.910
4,306	2.504	4,306	3.538	4,306	3.804
5,306	2.411	5,306	3.468	5,306	3.698
6,538	2.316	6,538	3.398	6,538	3.581
8,056	2.223	8,056	3.326	8,056	3.456
9,926	2.127	9,926	3.246	9,926	3.324
12,23	2.029	12,23	3.156	12,23	3.182
15,07	1.929	15,07	3.055	15,07	3.028

BK W2							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	9,842	12,316	2,474	12,083	2,241
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	12,083	14,640	2,556	14,413	2,329
	0	20					
3	3,200	21	14,413	17,029	2,616	16,806	2,393
	0	30					
4	3,200	31	16,806	19,466	2,661	19,245	2,440
	0	40					
5	3,200	41	19,245	21,930	2,685	21,712	2,467
	0	50					
6	3,200	51	21,712	24,421	2,709	24,208	2,496
	0	60					
7	3,200	61	24,208	26,943	2,735	26,733	2,525
	0	70					
8	3,200	71	26,733	29,487	2,754	29,280	2,547
	0	80					
9	3,200	81	29,280	32,058	2,778	31,854	2,573
	0	90					
10	3,200	91	31,854	34,649	2,796	34,450	2,597
	0	100					

BK W3							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	9,378	11,832	2,454	11,570	2,192
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	11,570	14,113	2,543	13,858	2,288
	0	20					
3	3,200	21	13,858	16,464	2,606	16,211	2,354
	0	30					
4	3,200	31	16,211	18,867	2,656	18,617	2,405
	0	40					
5	3,200	41	18,617	21,303	2,687	21,054	2,438
	0	50					
6	3,200	51	21,054	23,766	2,712	23,520	2,466
	0	60					
7	3,200	61	23,520	26,267	2,747	26,027	2,506
	0	70					
8	3,200	71	26,027	28,800	2,774	28,563	2,536
	0	80					
9	3,200	81	28,563	31,360	2,798	31,127	2,564
	0	90					
10	3,200	91	31,127	33,949	2,822	33,718	2,591
	0	100					

BK W4							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	9,521	12,311	2,790	12,026	2,505
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	12,026	15,025	2,999	14,755	2,729
	0	20					
3	3,200	21	14,755	17,921	3,167	17,660	2,906
	0	30					
4	3,200	31	17,660	20,950	3,290	20,695	3,034
	0	40					
5	3,200	41	20,695	24,066	3,371	23,818	3,123
	0	50					
6	3,200	51	23,818	27,262	3,444	27,020	3,203
	0	60					
7	3,200	61	27,020	30,516	3,496	30,283	3,262
	0	70					
8	3,200	71	30,283	33,830	3,547	33,602	3,319
	0	80					
9	3,200	81	33,602	37,192	3,591	36,973	3,371
	0	90					
10	3,200	91	36,973	40,625	3,652	40,411	3,439
	0	100					

BK W5							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	8,381	10,525	2,144	10,292	1,912
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	10,292	12,484	2,192	12,255	1,962
	0	20					
3	3,200	21	12,255	14,481	2,226	14,252	1,997
	0	30					
4	3,200	31	14,252	16,496	2,244	16,269	2,017
	0	40					
5	3,200	41	16,269	18,527	2,258	18,300	2,031
	0	50					
6	3,200	51	18,300	20,567	2,267	20,342	2,041
	0	60					
7	3,200	61	20,342	22,611	2,269	22,387	2,045
	0	70					
8	3,200	71	22,387	24,662	2,276	24,439	2,052
	0	80					
9	3,200	81	24,439	26,724	2,285	26,502	2,064
	0	90					
10	3,200	91	26,502	28,791	2,289	28,570	2,068
	0	100					

BK W6							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	8,987	11,633	2,647	11,275	2,288
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	11,275	14,074	2,799	13,721	2,447
	0	20					
3	3,200	21	13,721	16,643	2,921	16,295	2,574
	0	30					
4	3,200	31	16,295	19,321	3,026	18,977	2,682
	0	40					
5	3,200	41	18,977	22,081	3,104	21,739	2,762
	0	50					
6	3,200	51	21,739	24,906	3,167	24,567	2,827
	0	60					
7	3,200	61	24,567	27,788	3,222	27,450	2,883
	0	70					
8	3,200	71	27,450	30,706	3,257	30,370	2,921
	0	80					
9	3,200	81	30,370	33,660	3,290	33,325	2,955
	0	90					
10	3,200	91	33,325	36,634	3,309	36,300	2,975
	0	100					

BK G1		BK G2	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	3.928	0,1038	5.304
0,134	3.941	0,1238	5.321
0,1787	3.946	0,1525	5.320
0,2383	3.944	0,1879	5.315
0,3178	3.948	0,2316	5.301
0,4238	3.952	0,2853	5.294
0,5652	3.958	0,3516	5.282
0,7537	3.966	0,4332	5.271
1,005	3.976	0,5338	5.263
1,34	3.987	0,6577	5.251
1,787	3.999	0,8104	5.238
2,383	4.006	0,9986	5.225
3,178	4.004	1,23	5.208
4,238	3.997	1,516	5.183
5,652	3.996	1,868	5.147
7,536	3.985	2,302	5.099
10,05	3.972	2,836	5.043
13,4	3.945	3,495	4.983
17,87	3.906	4,306	4.922
23,83	3.845	5,306	4.862
31,78	3.754	6,538	4.796
42,38	3.625	8,055	4.719
56,51	3.449	9,926	4.635
75,35	3.208	12,23	4.534
98,81	2.779	15,07	4.411

BK G2							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,665	7,389	1,724	6,959	1,294
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	6,959	8,709	1,749	8,277	1,318
	0	20					
3	3,200	21	8,277	10,051	1,773	9,618	1,340
	0	30					
4	3,200	31	9,618	11,411	1,793	10,977	1,359
	0	40					
5	3,200	41	10,977	12,785	1,808	12,350	1,373
	0	50					
6	3,200	51	12,350	14,166	1,816	13,731	1,381
	0	60					
7	3,200	61	13,731	15,547	1,816	15,113	1,381
	0	70					
8	3,200	71	15,113	16,930	1,817	16,496	1,383
	0	80					
9	3,200	81	16,496	18,315	1,820	17,882	1,386
	0	90					
10	3,200	91	17,882	19,704	1,822	19,270	1,388
	0	100					

BK PW1		BK PW2	
Deformation	Speichermodul	Deformation	Speichermodul
[%]	[Pa]	[%]	[Pa]
0,1039	5.541	0,1039	5.514
0,1238	5.553	0,1238	5.527
0,1525	5.551	0,1525	5.526
0,1879	5.550	0,1879	5.526
0,2316	5.545	0,2316	5.524
0,2853	5.543	0,2853	5.525
0,3516	5.531	0,3516	5.525
0,4332	5.521	0,4332	5.525
0,5338	5.505	0,5338	5.526
0,6577	5.481	0,6577	5.529
0,8104	5.454	0,8104	5.531
0,9986	5.425	0,9986	5.531
1,23	5.400	1,23	5.520
1,516	5.388	1,516	5.490
1,868	5.385	1,868	5.447
2,302	5.371	2,302	5.409
2,836	5.349	2,836	5.376
3,495	5.344	3,495	5.328
4,306	5.326	4,306	5.271
5,306	5.299	5,306	5.187
6,538	5.262	6,538	5.094
8,055	5.218	8,055	4.982
9,926	5.157	9,926	4.848
12,23	5.080	12,23	4.691
15,07	4.979	15,07	4.505

BK PW1							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	4,846	6,499	1,653	5,914	1,069
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	5,914	7,582	1,668	6,990	1,076
	0	20					
3	3,200	21	6,990	8,672	1,682	8,077	1,087
	0	30					
4	3,200	31	8,077	9,773	1,696	9,177	1,100
	0	40					
5	3,200	41	9,177	10,888	1,711	10,289	1,112
	0	50					
6	3,200	51	10,289	12,015	1,726	11,415	1,126
	0	60					
7	3,200	61	11,415	13,151	1,737	12,550	1,136
	0	70					
8	3,200	71	12,550	14,295	1,744	13,692	1,142
	0	80					
9	3,200	81	13,692	15,443	1,751	14,840	1,148
	0	90					
10	3,200	91	14,840	16,598	1,758	15,994	1,154
	0	100					

BK PW2							
Nr. Zyklus	Last [kPa]	Kumulierte Zeit [s]	ϵ_0	ϵ_c	ϵ_1	ϵ_r	ϵ_{10}
1	0	0	5,630	7,593	1,963	7,207	1,577
	3,200	1					
	0	10					
2	3,200	11	7,207	9,227	2,020	8,854	1,647
	0	20					
3	3,200	21	8,854	10,914	2,059	10,549	1,695
	0	30					
4	3,200	31	10,549	12,640	2,091	12,284	1,735
	0	40					
5	3,200	41	12,284	14,395	2,111	14,045	1,761
	0	50					
6	3,200	51	14,045	16,169	2,124	15,823	1,778
	0	60					
7	3,200	61	15,823	17,962	2,139	17,621	1,798
	0	70					
8	3,200	71	17,621	19,770	2,149	19,432	1,811
	0	80					
9	3,200	81	19,432	21,588	2,157	21,254	1,822
	0	90					
10	3,200	91	21,254	23,419	2,165	23,086	1,832
	0	100					

A.4. Untersuchungsergebnisse – FTIR

Tieferegehende Ausführungen zu den statistischen Auswertemethoden

Faktorenanalyse

Aus mathematischer Sicht handelt es sich bei der Faktorenanalyse um die Lösung eines Eigenwertproblems, weshalb sowohl die Ausgangsdaten als auch die ermittelten Daten der Faktoren üblicherweise in Matrixschreibweise angegeben sind. Als Ausgangspunkt dient dabei die Grundgleichung der Faktorenanalyse $\mathbf{Z} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}^T + \mathbf{E}$, die zusätzlich in Abbildung A.4.1 dargestellt ist.

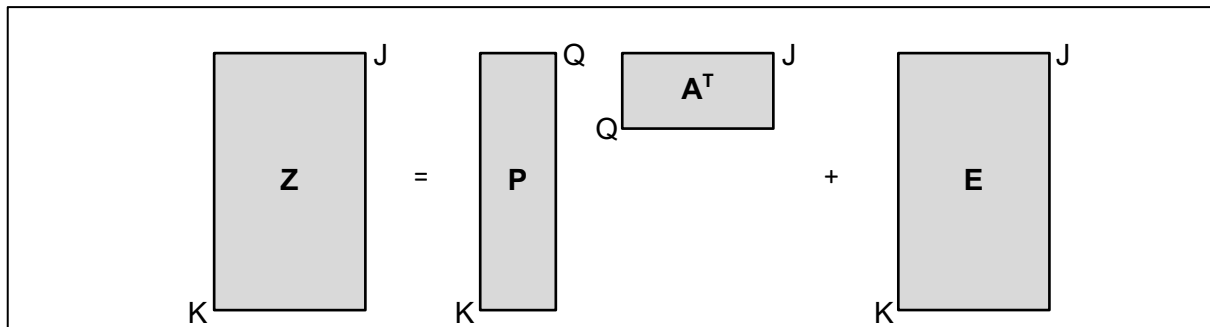


Abbildung A.4.1: Grundgleichung der Faktorenanalyse mit J für die Anzahl der Variablen, K für die Anzahl der Objekte bzw. Proben und Q für die Anzahl der Faktoren (nach [BACKHAUS et al., 2011; BÜHNER; 2006; KESSLER, 2007])

Nach dieser Gleichung lässt sich die Matrix der Ausgangsdaten \mathbf{Z} mithilfe von Faktoren beschreiben, wobei sich die Faktoren wiederum aus sogenannten *Faktorwerten* (Matrix \mathbf{P}) und *Faktorladungen* (Matrix \mathbf{A}) zusammensetzen. Die Residuenmatrix \mathbf{E} beschreibt zusätzlich die Streuung der Ausgangsdaten, die mithilfe der gefundenen Faktoren nicht erklärt werden kann. Nach dieser Gleichung lassen sich die Werte der Ausgangsvariablen somit durch die folgende Linearkombination aus mehreren Faktoren in Form von Faktorwerten und -ladungen beschreiben [BACKHAUS et al., 2011; BÜHNER; 2006; KESSLER, 2007]:

$$z_{kj} = p_{k1} \cdot a_{j1} + p_{k2} \cdot a_{j2} + \dots + p_{kQ} \cdot a_{jQ} + e_{kj} = \sum_{q=1}^Q p_{kq} \cdot a_{jq} + e_{kj}$$

mit:

z_{kj}	Standardisierter Wert der Variablen j für Objekt bzw. Probe k
a_{jq}	Faktorladung der Variablen j auf den Faktor q
p_{kq}	Faktorwert des Objekts bzw. der Probe k auf dem Faktor q
e_{kj}	Restfehler nach Q Faktoren

Diskriminanzanalyse

Die Grundlage der DA ist entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 5.3.3 die Bildung einer Linearkombination, mit der die Diskriminanzvariable Y bestimmt wird. Mithilfe der einzelnen Diskriminanzvariablen lassen sich wiederum die Zentroide der einzelnen Gruppen nach folgender Gleichung berechnen [BACKHAUS et al., 2011; JANSSEN, LAATZ, 2013]:

$$\bar{Y}_g = \frac{1}{K_g} \sum_{k=1}^K Y_{gk}$$

mit: \bar{Y}_g Zentroid der Gruppe g
 Y_{gk} Diskriminanzvariable des Objekts bzw. der Probe k aus der Gruppe g
 K_g Anzahl der Objekte bzw. Proben k in Gruppe g

Die zur Bewertung eines Diskriminanzmodells verwendete, an χ^2 angenäherte Variable berechnet sich nach folgender Gleichung [BACKHAUS et al., 2011; JANSSEN, LAATZ, 2013]:

$$\chi^2_{\text{Näherung}} = - \left[K - \frac{J + G}{2} - 1 \right] \ln \Lambda$$

mit: K Anzahl der Objekte bzw. Proben
 J Anzahl der Variablen
 G Anzahl der Gruppen
 Λ Wilks' Lambda

Bestimmung von Kalibrier- und Validierdatenset

Die Festlegung von Kalibrier- und Validierdatenset erfolgte für eine gleichmäßige Verteilung der Spektren über den betrachteten Datenraum entsprechend der Empfehlungen von [KESSLER 2007] mithilfe der Faktorenanalyse. In dieser Faktorenanalyse wurden jeweils die Mittelwertspektren aller mittels FTIR-Spektroskopie untersuchten Proben betrachtet, für die wiederum die relevanten Bereiche zwischen 3.700 und 2.500 cm^{-1} und 1.800 und 600 cm^{-1} nach einer SNV-Standardisierung und der Bildung der 1. Ableitung herangezogen wurden. Die Festlegung des Kalibrierdatensets erfolgte dabei über die Faktorwerte der ersten zehn Faktoren, wofür diese der Größe nach sortiert wurden. Anschließend wurden zunächst die Proben mit dem minimalen und dem maximalen Faktorwert jedes Faktors für das Kalibrierdatenset gewählt, während die weiteren Proben gleichmäßig über die einzelnen Faktoren gewählt wurden. Die verbliebenen Proben wurden anschließend in das Validierdatenset aufgenommen (nach [KESSLER 2007]).

Zur Anwendung des Modells auf das Validierdatenset wurden die SNV-standardisierten und abgeleiteten Spektren der Validierdaten zunächst mithilfe des Mittelwerts und der Standardabweichung der Kalibrierdaten mittenzentriert, um diese auf das erarbeitete Modell anzupassen. Anschließend wurden mithilfe der mittenzentrierten Spektren die Faktorwerte der Proben ermittelt und mit diesen die jeweiligen Diskriminanzvariablen berechnet. Die Bewertung der Zuordnung einer Probe zu der jeweiligen Gruppe nach dem Entscheidungsbaum erfolgte mithilfe des Wahrscheinlichkeitskonzepts [BACKHAUS et al. 2015; WEIGEL 2018].

Partial Least Square Regression (PLSR)

Das zur Bewertung der PLSR-Modelle herangezogene Bestimmtheitsmaß R^2 berechnet sich wie folgt [KESSLER 2007]:

$$R^2 = \frac{\text{Erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} = \frac{\sum_{k=1}^K (\hat{y}_k - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^K (y_k - \bar{y})^2}$$

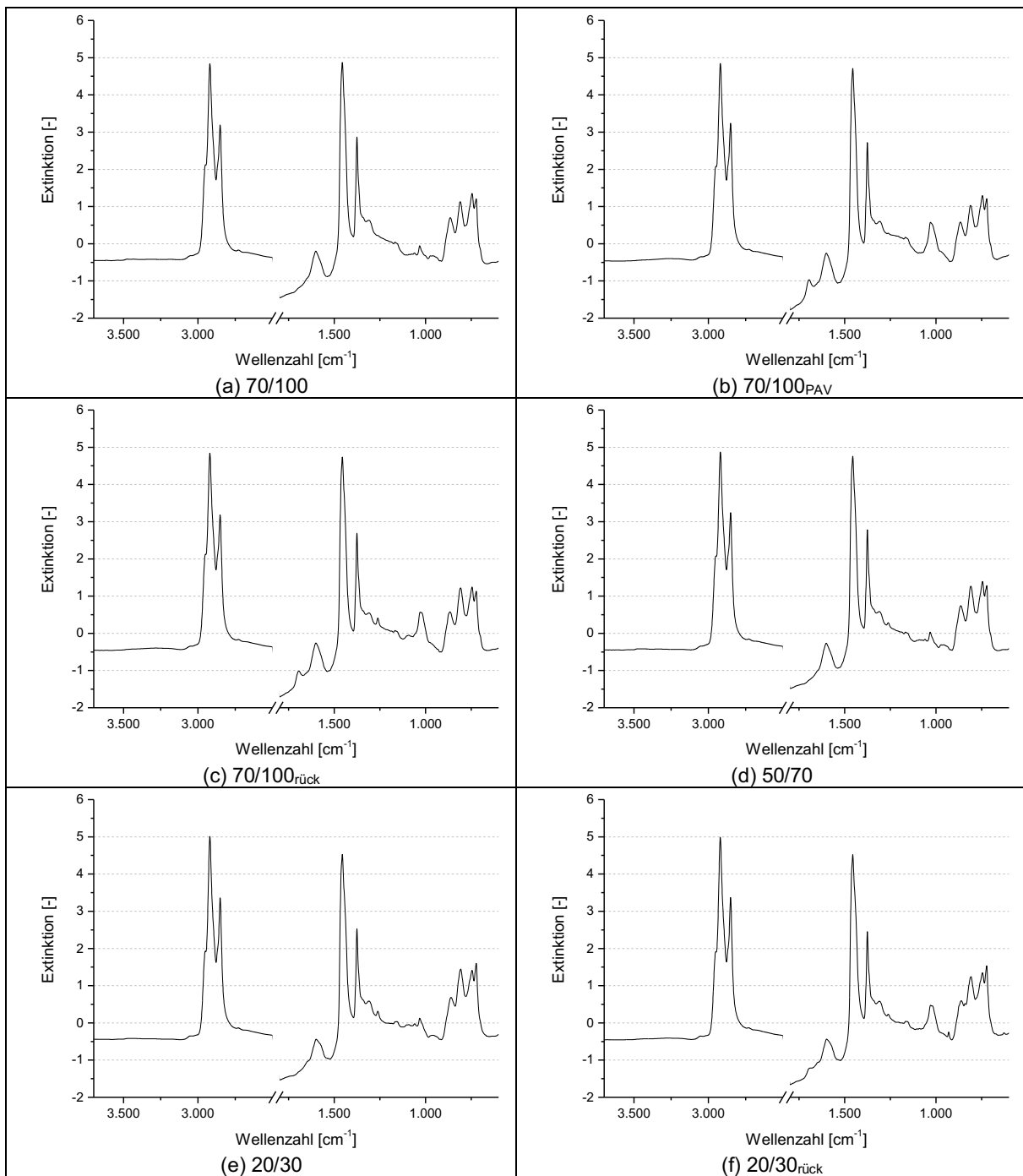
mit:	R^2	Bestimmtheitsmaß
	\hat{y}_k	Prognostizierte Zielgröße der Probe k
	y_k	Gemessene Zielgröße der Probe k
	\bar{y}_k	Mittelwert der Zielgröße über alle Proben K

Der mittlere Fehler RMSE lässt sich hingegen nach folgender Gleichung bestimmen [KESSLER 2007]:

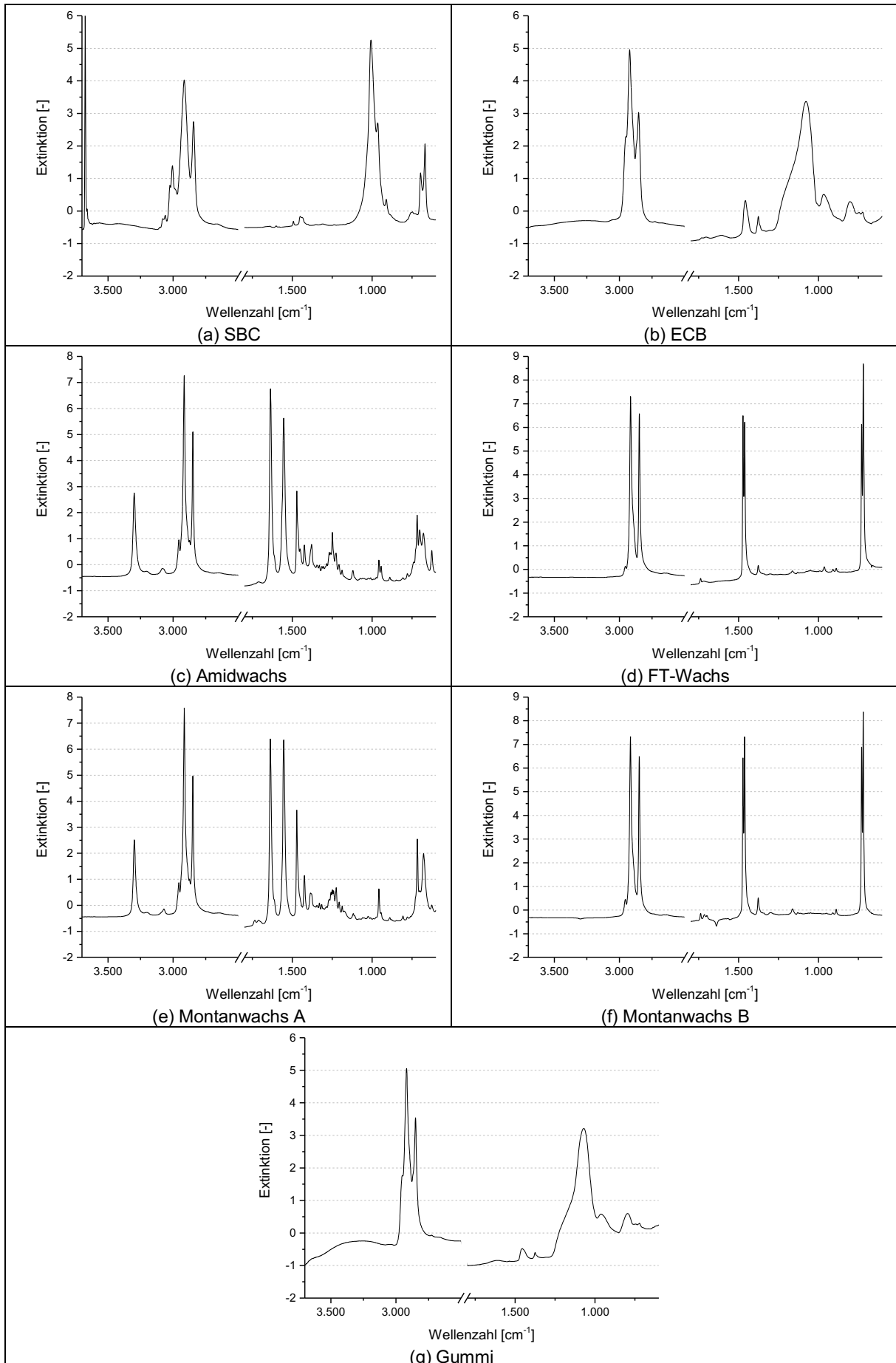
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (y_k - \hat{y}_k)^2}{K}}$$

mit:	RMSE	Mittlere Fehler
	\hat{y}_k	Prognostizierte Zielgröße der Probe k
	y_k	Gemessene Zielgröße der Probe k
	K	Anzahl der Proben

Grundcharakterisierung

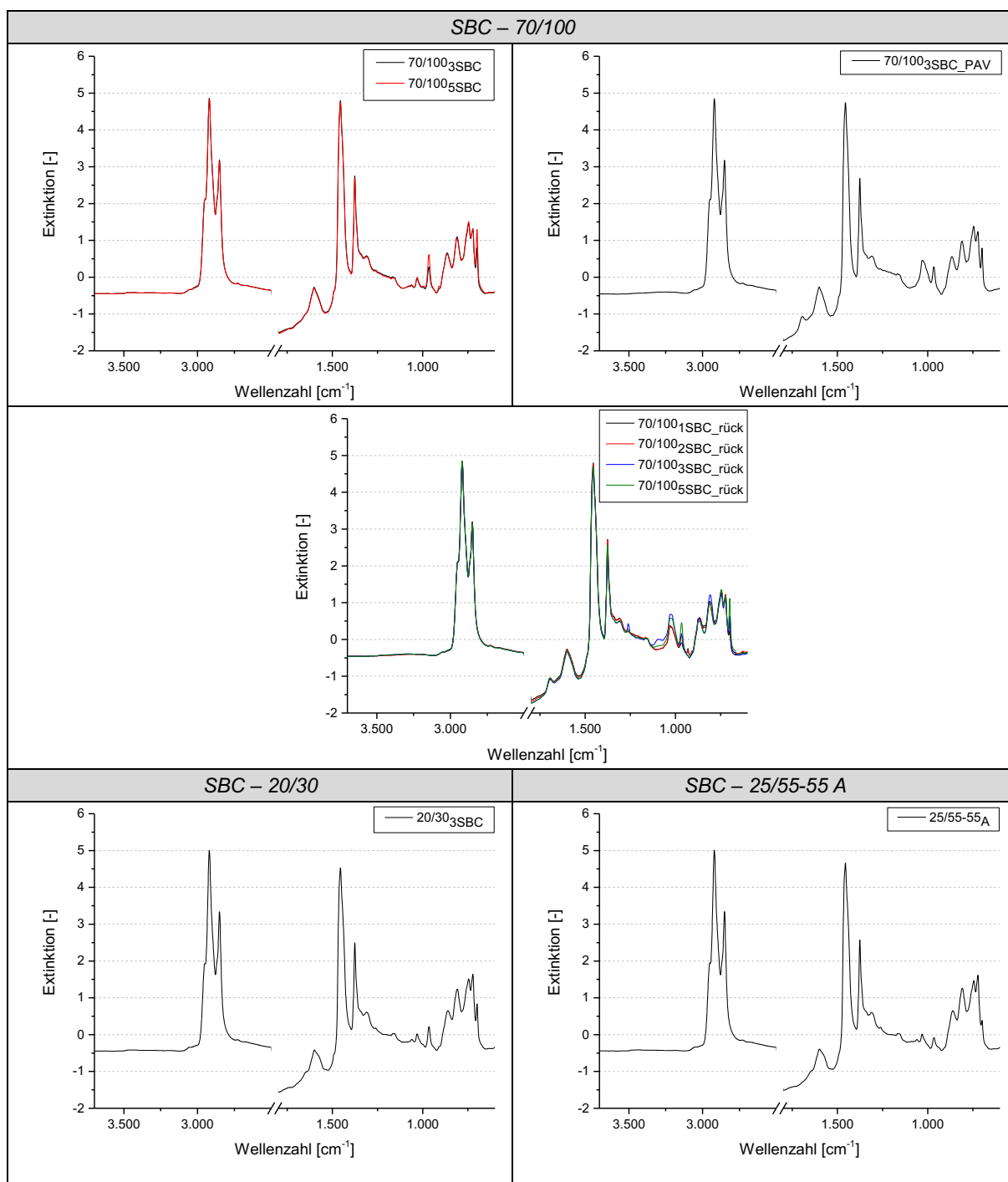


SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Ausgangsbitumen

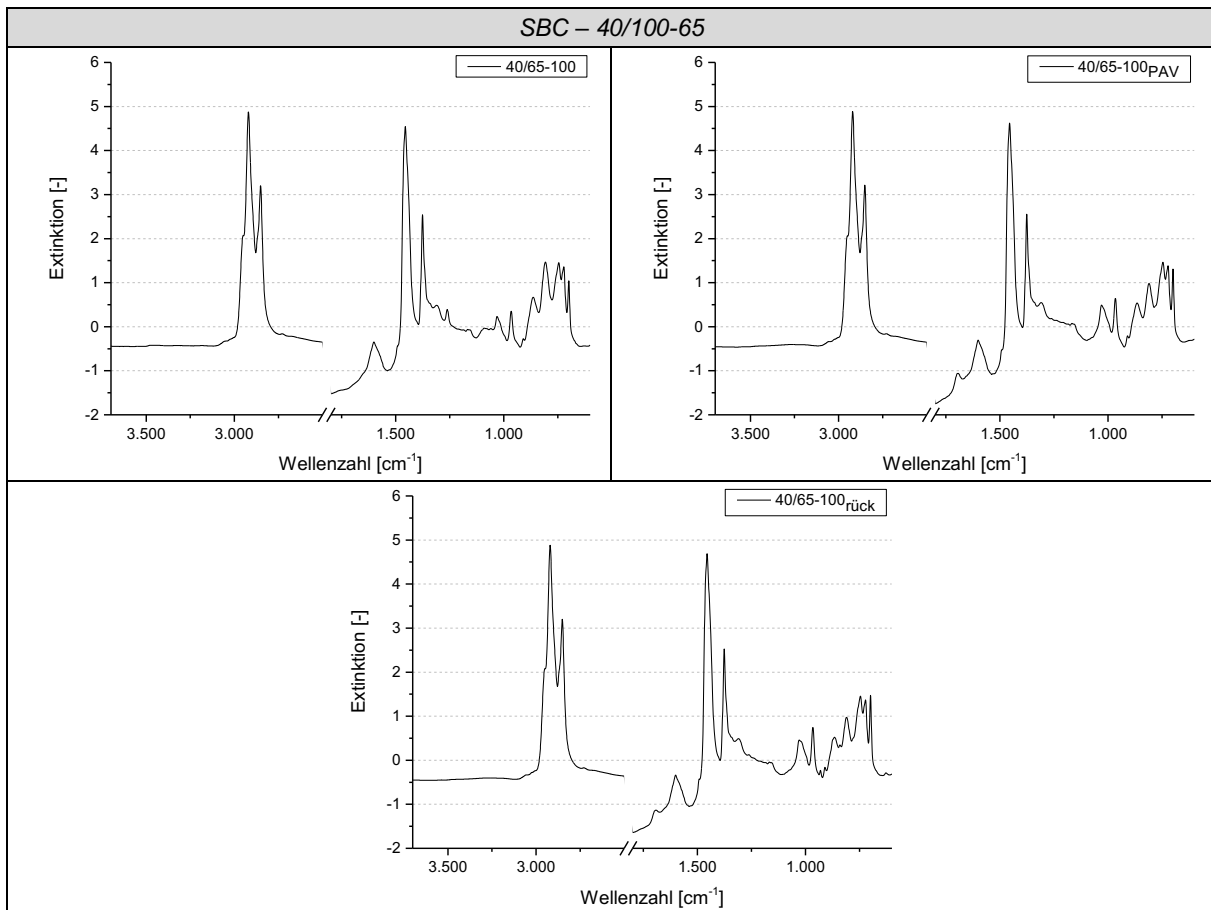


SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Additive

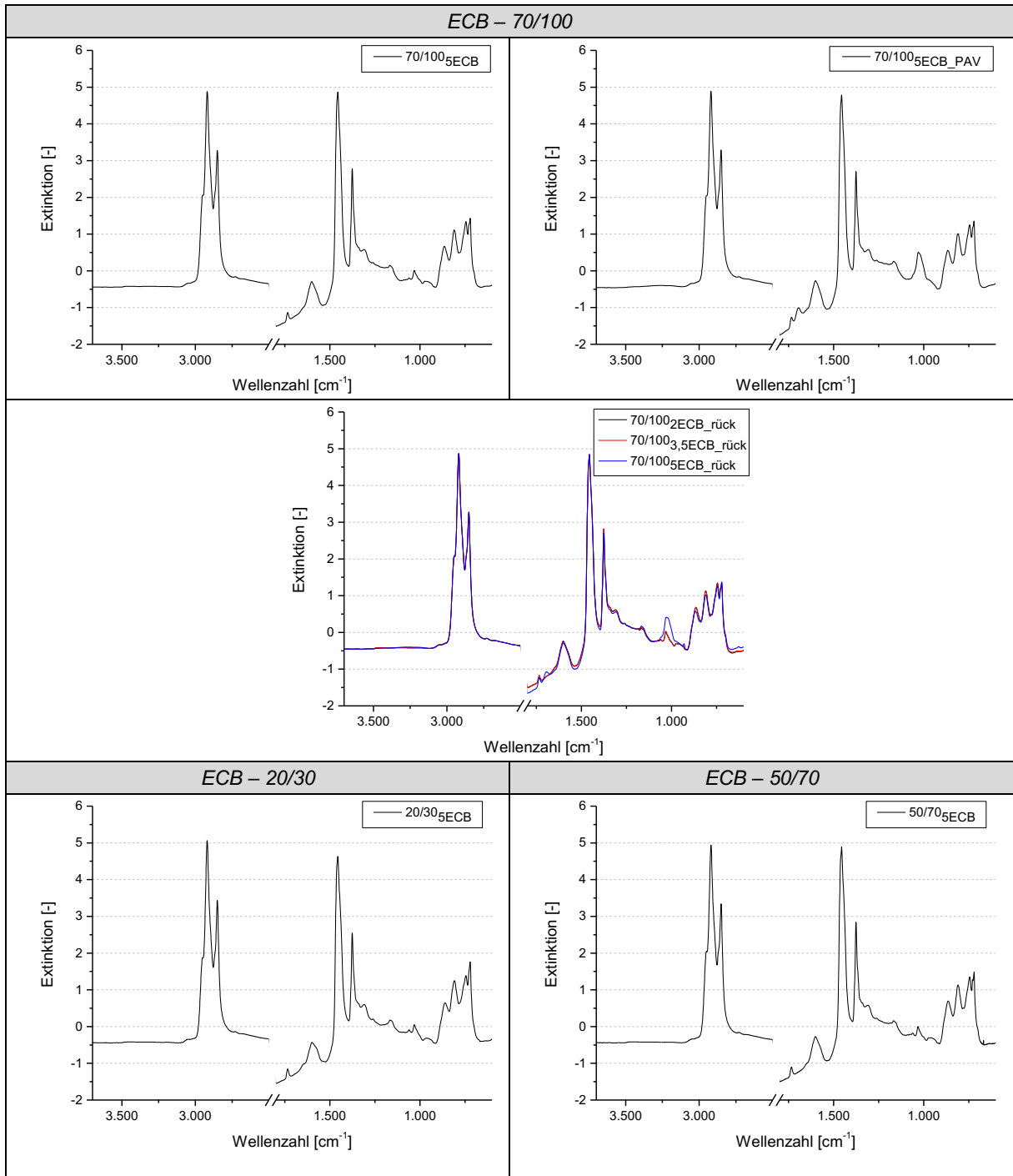
Polymermodifizierte Bitumen



SNV-standardisierte Mittelwertspektren der SBC-modifizierten Bitumen

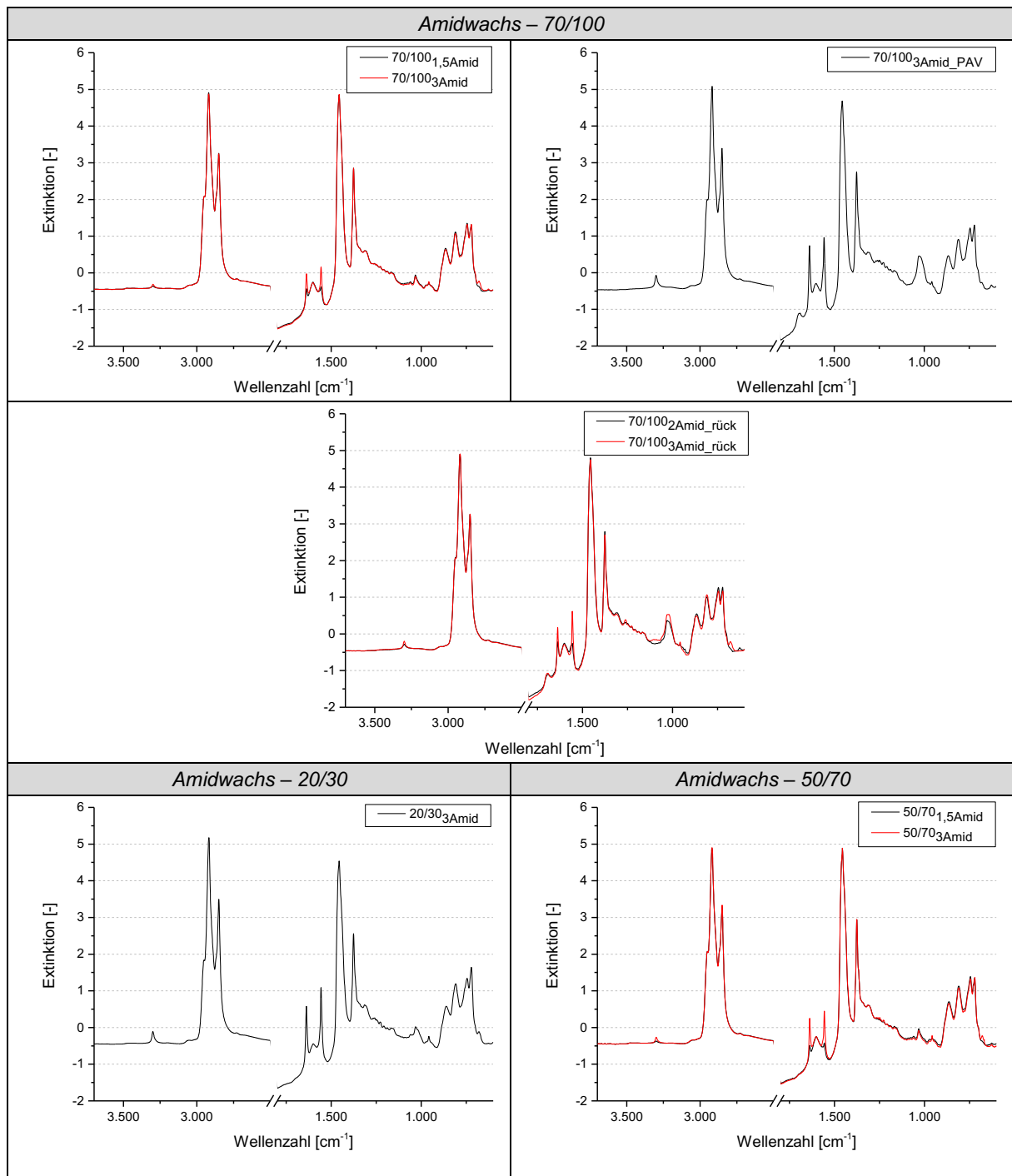


Fortsetzung SNV-standardisierte Mittelwertspektren der SBC-modifizierten Bitumen

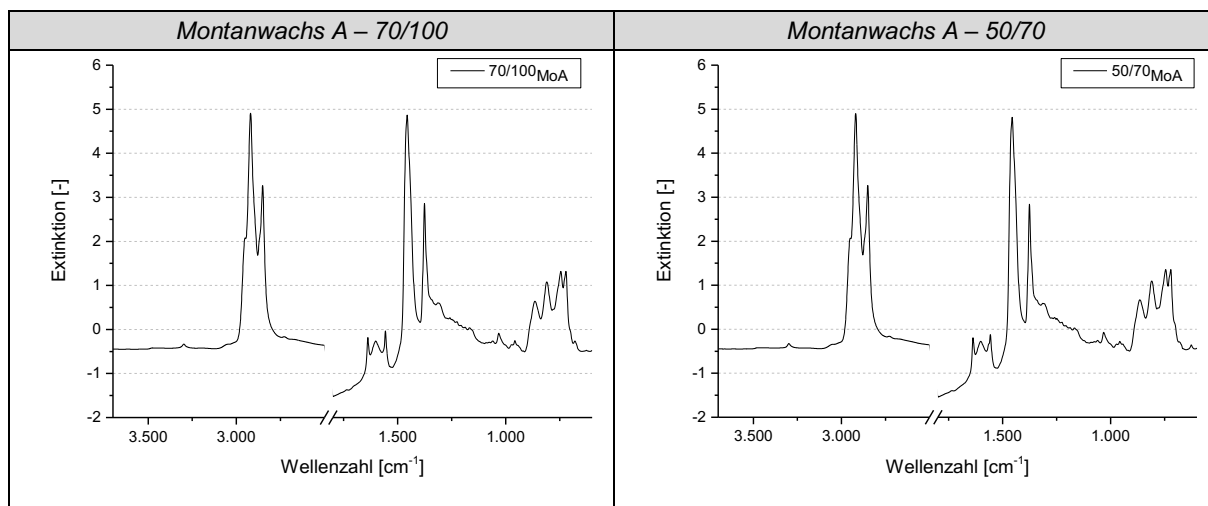


SNV-standardisierte Mittelwertspektren der ECB-modifizierten Bitumen

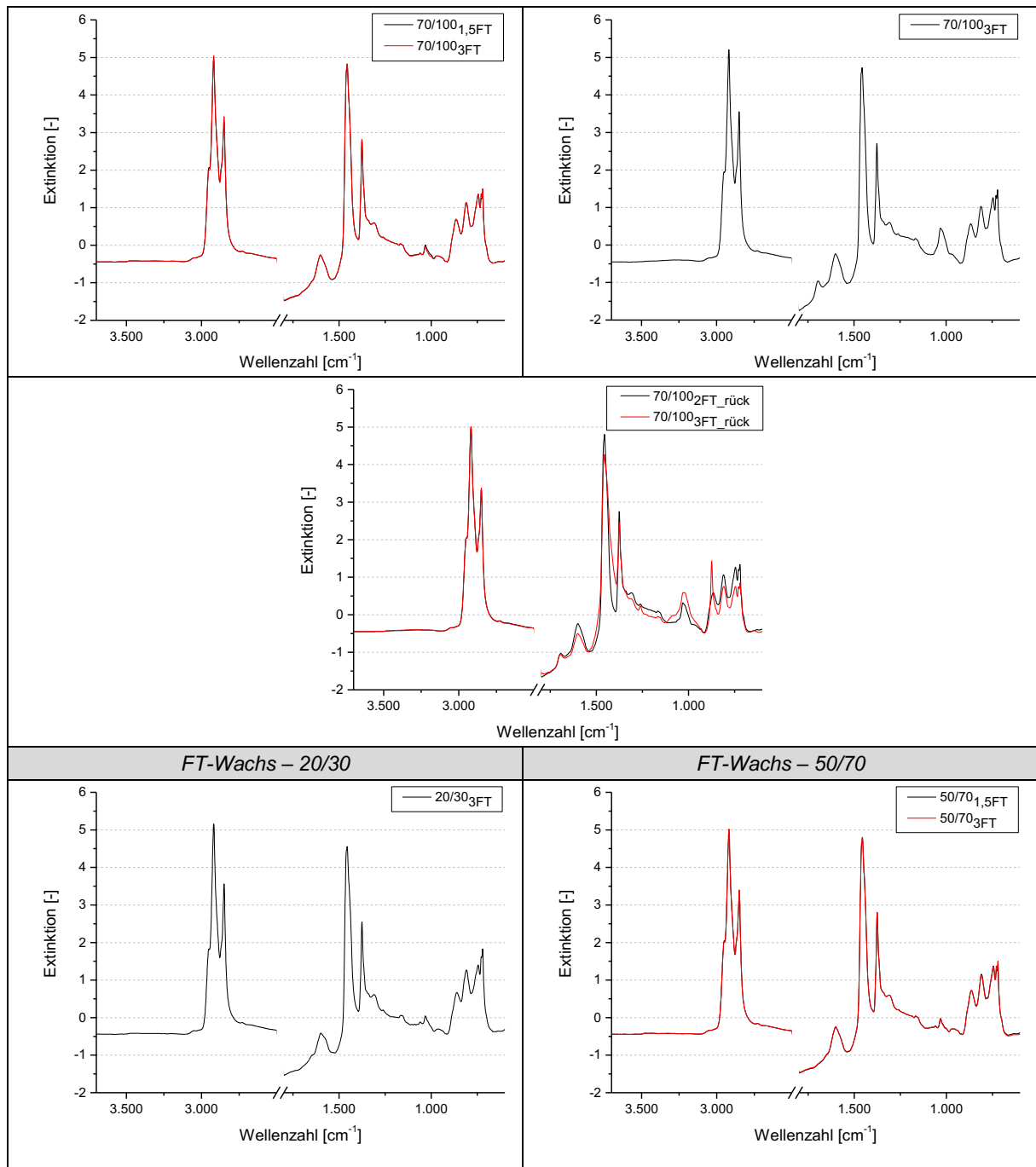
Wachsmodifizierte Bitumen



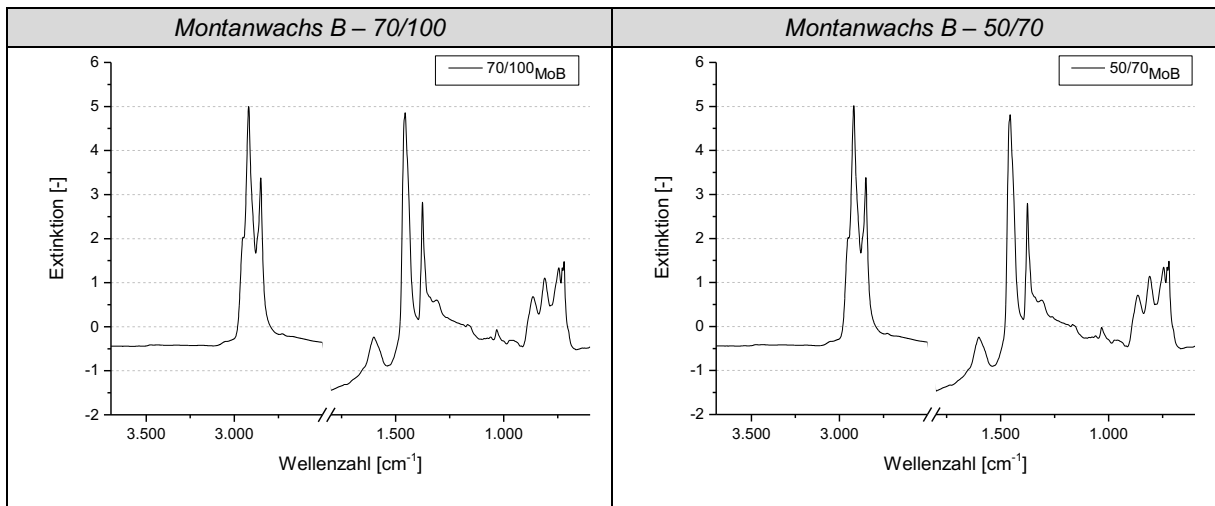
SNV-standardisierte Mittelwertspektrum der Bitumen mit Amidwachsmodifizierung



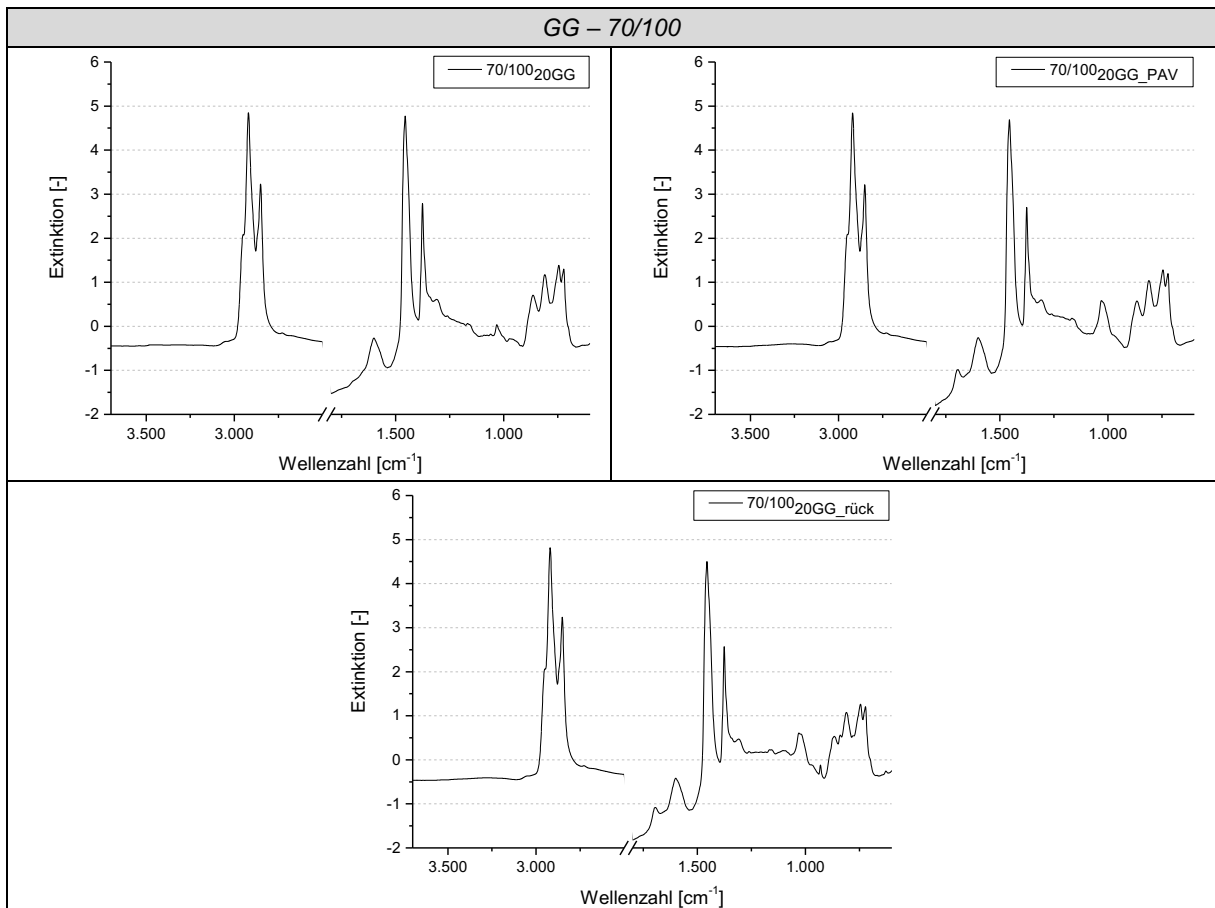
SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Bitumen mit Montanwachs A-Modifizierung

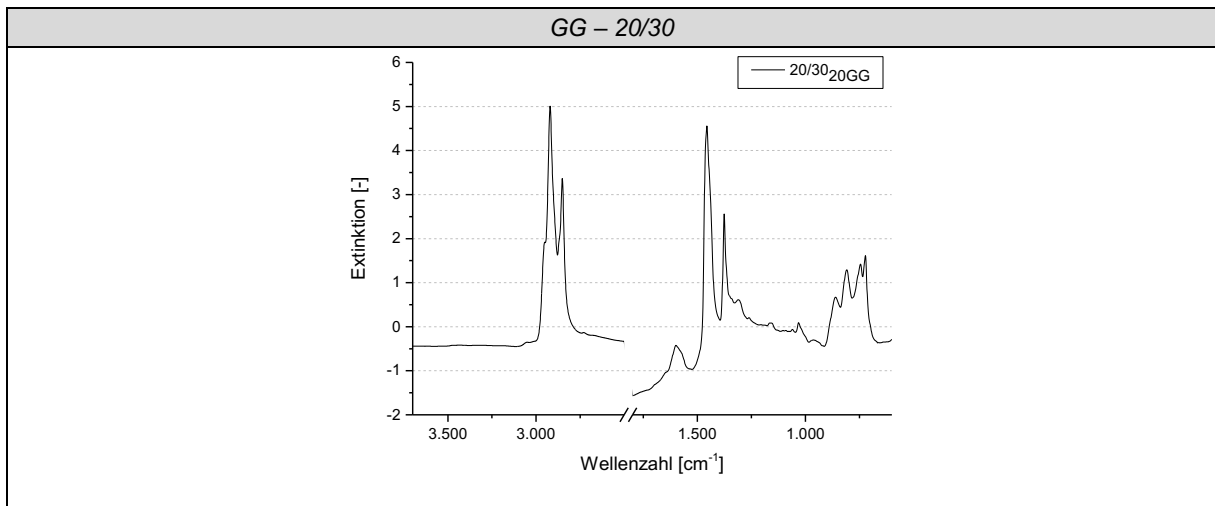


SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Bitumen mit FT-Wachsmodifizierung

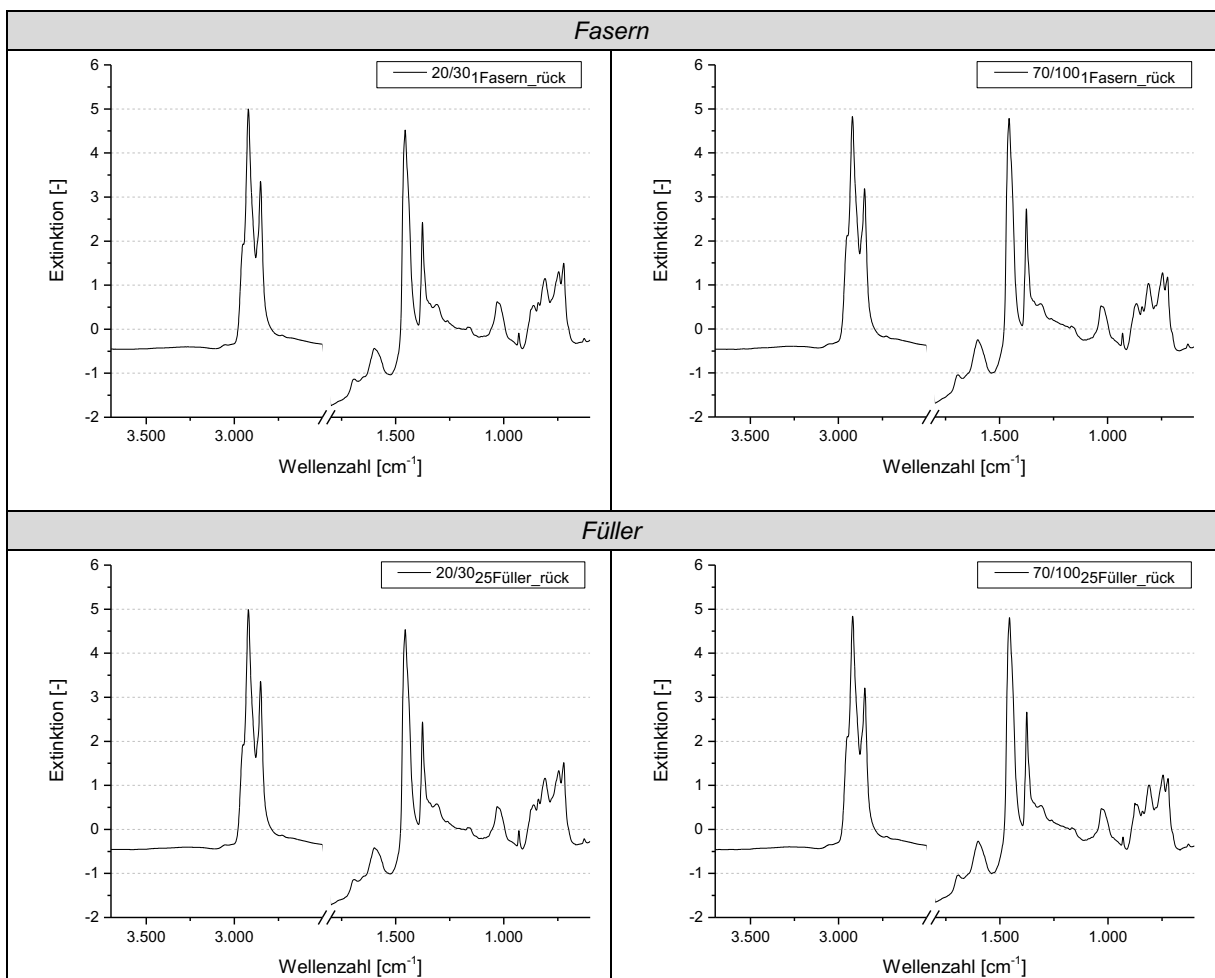


SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Bitumen mit Montanwachs B-Modifizierung

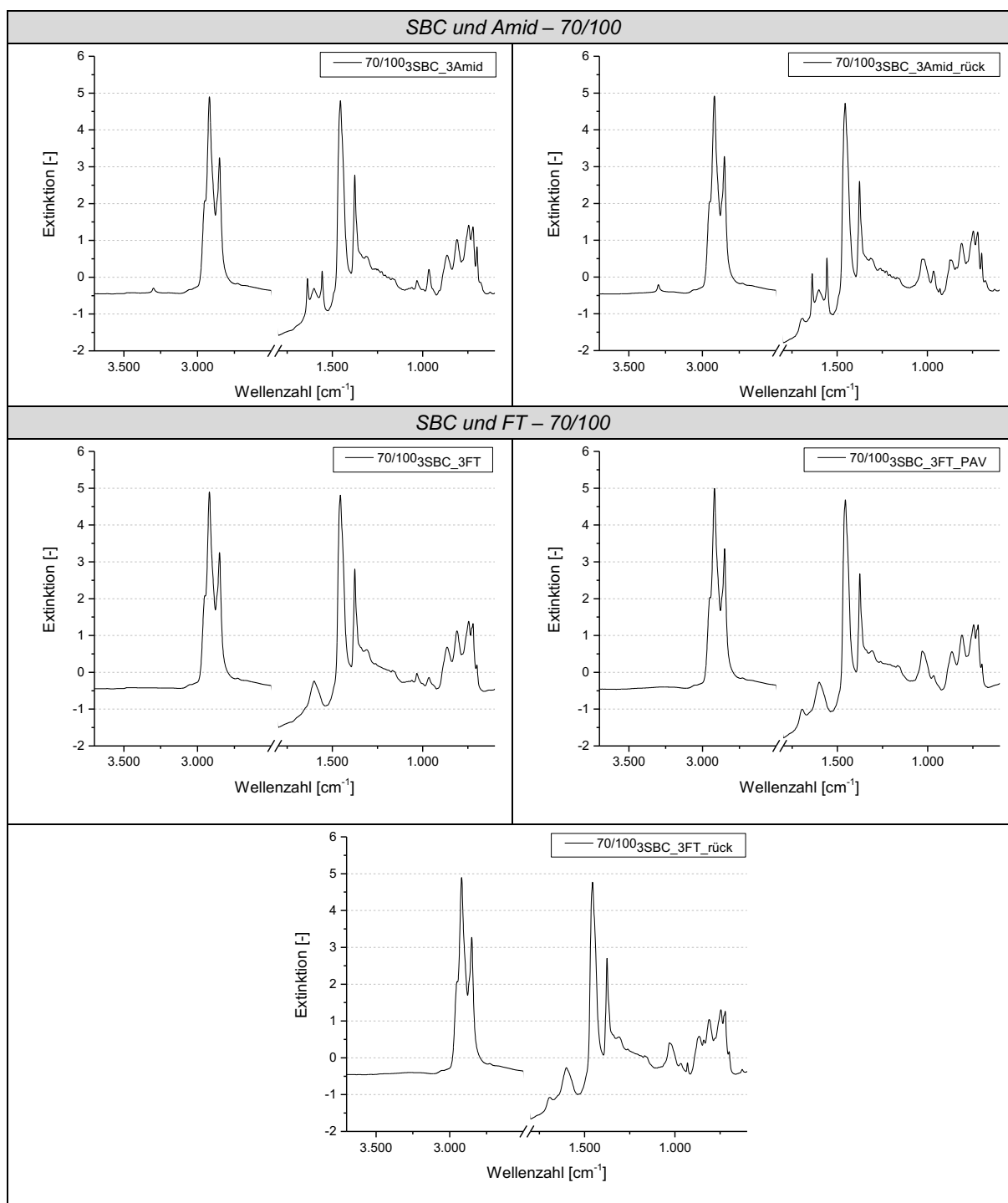
Gummimodifizierte Bitumen



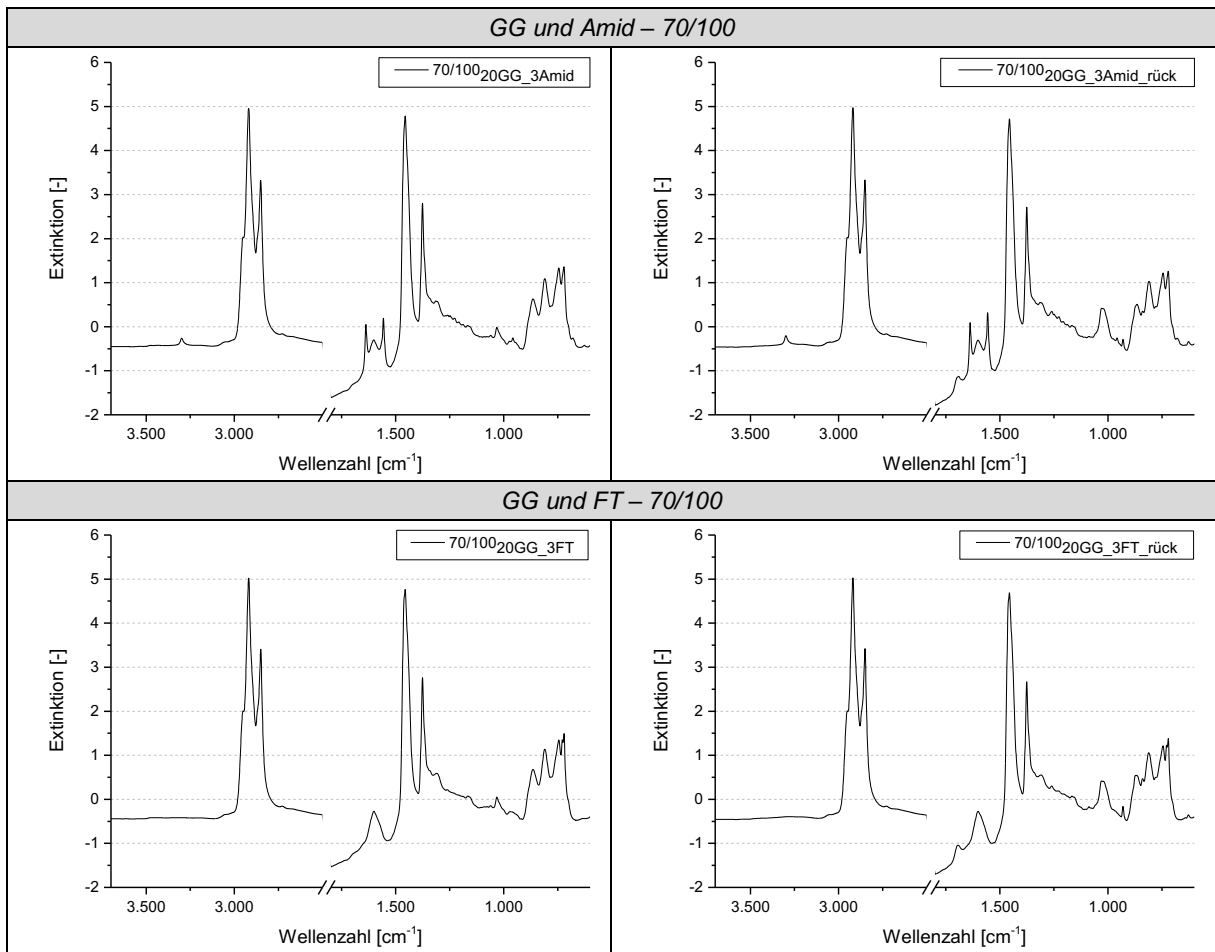
SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Bitumen mit Gummimodifizierung

Fasern und Füller

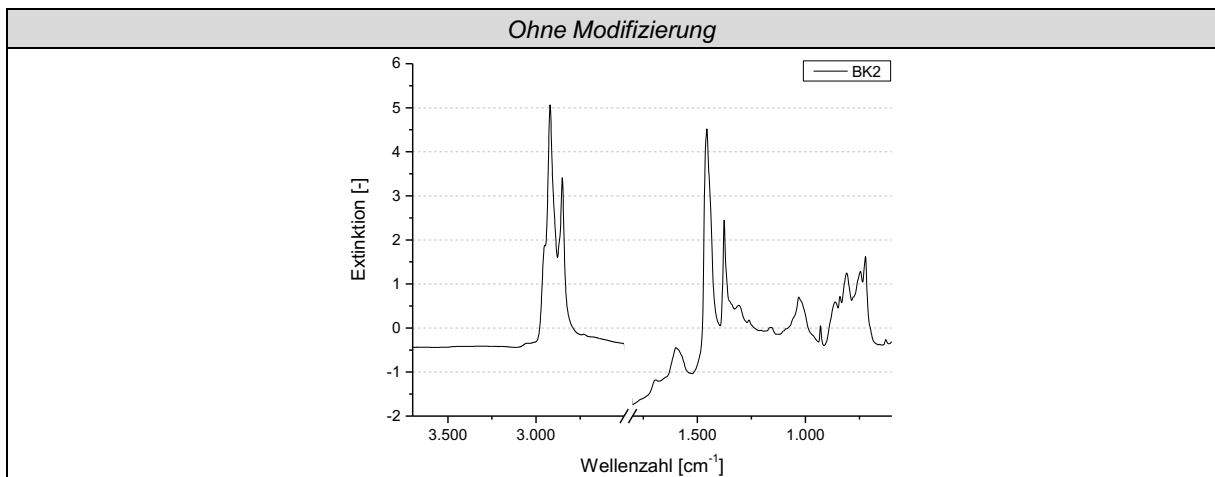
Mehrfachmodifizierung



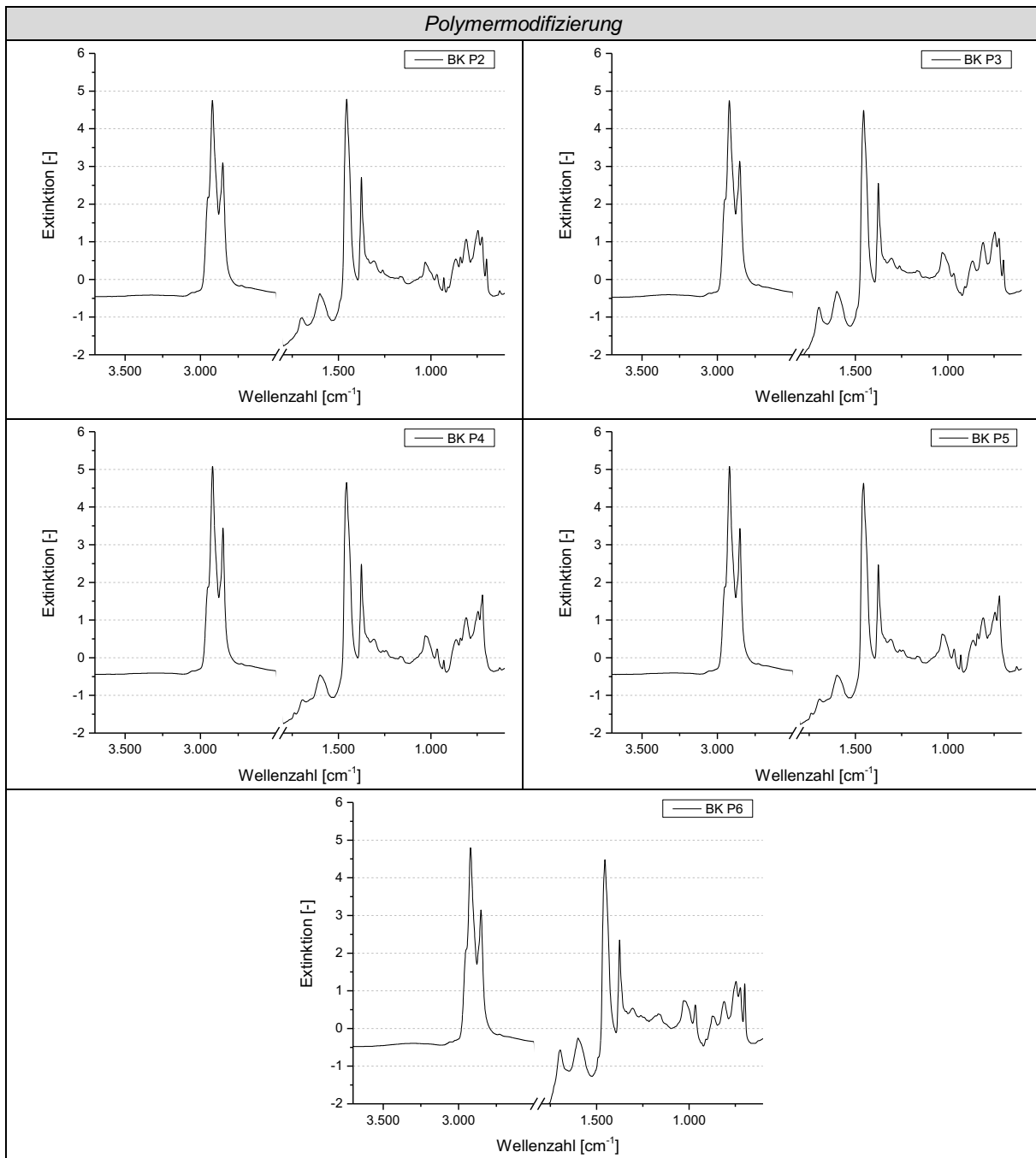
SNV-standardisierte Mittelwertspektren der mehrfachmodifizierten Spektren



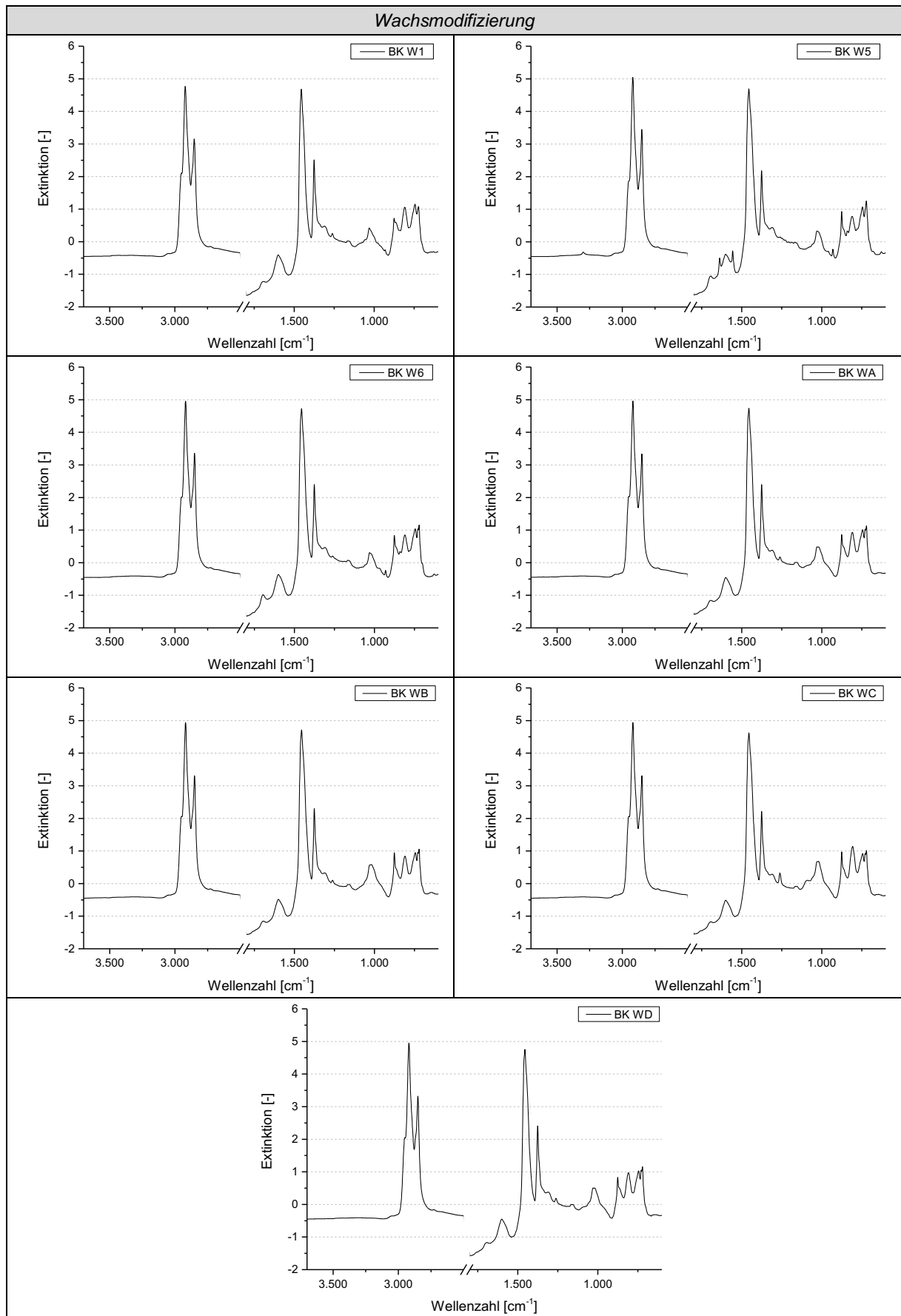
Fortsetzung SNV-standardisierte Mittelwertspektren der mehrfachmodifizierten Spektren

Bitumen aus Ausbaupasphalten

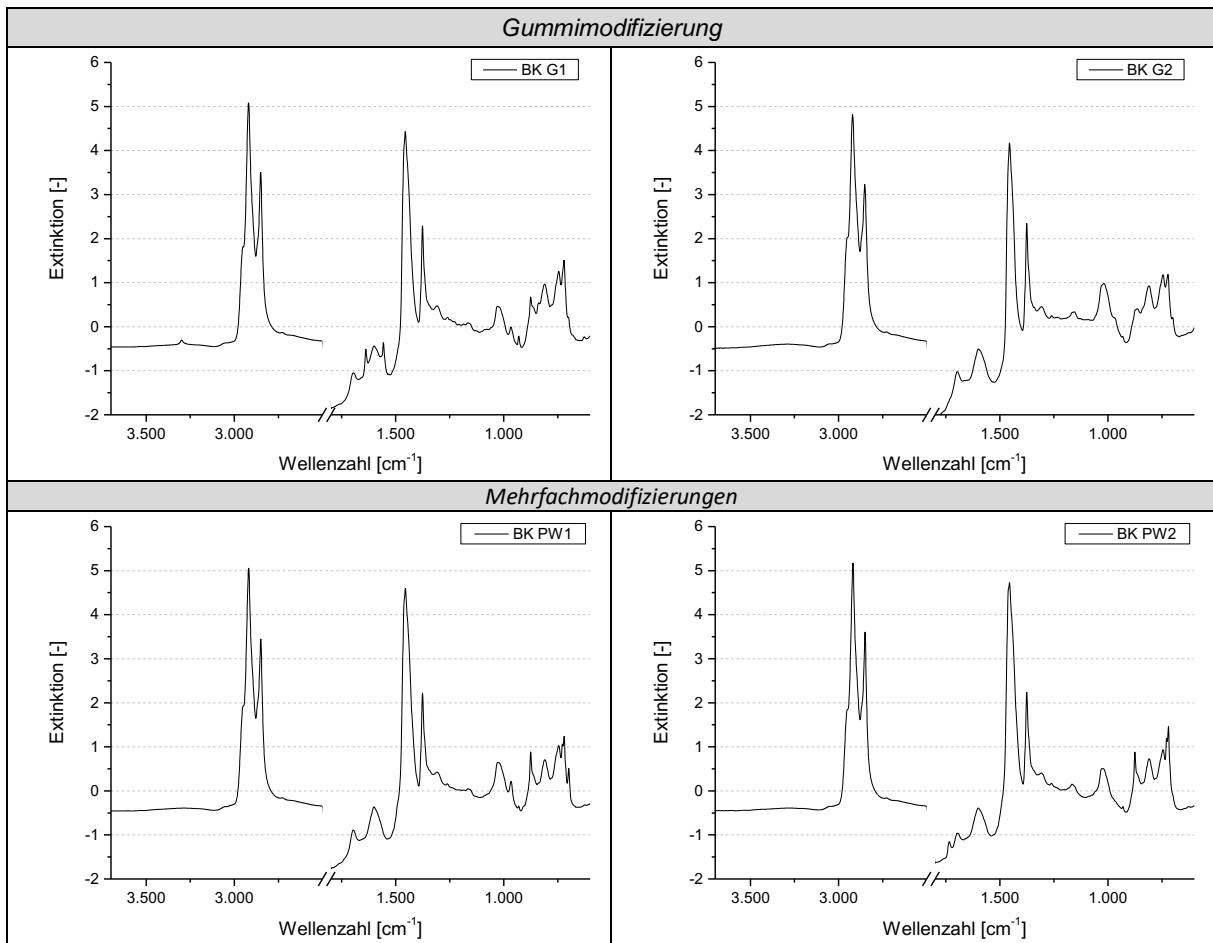
SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Spektren der Bitumen aus den Ausbaupasphalten



Fortsetzung SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Spektren der Bitumen aus den Ausbausphalten

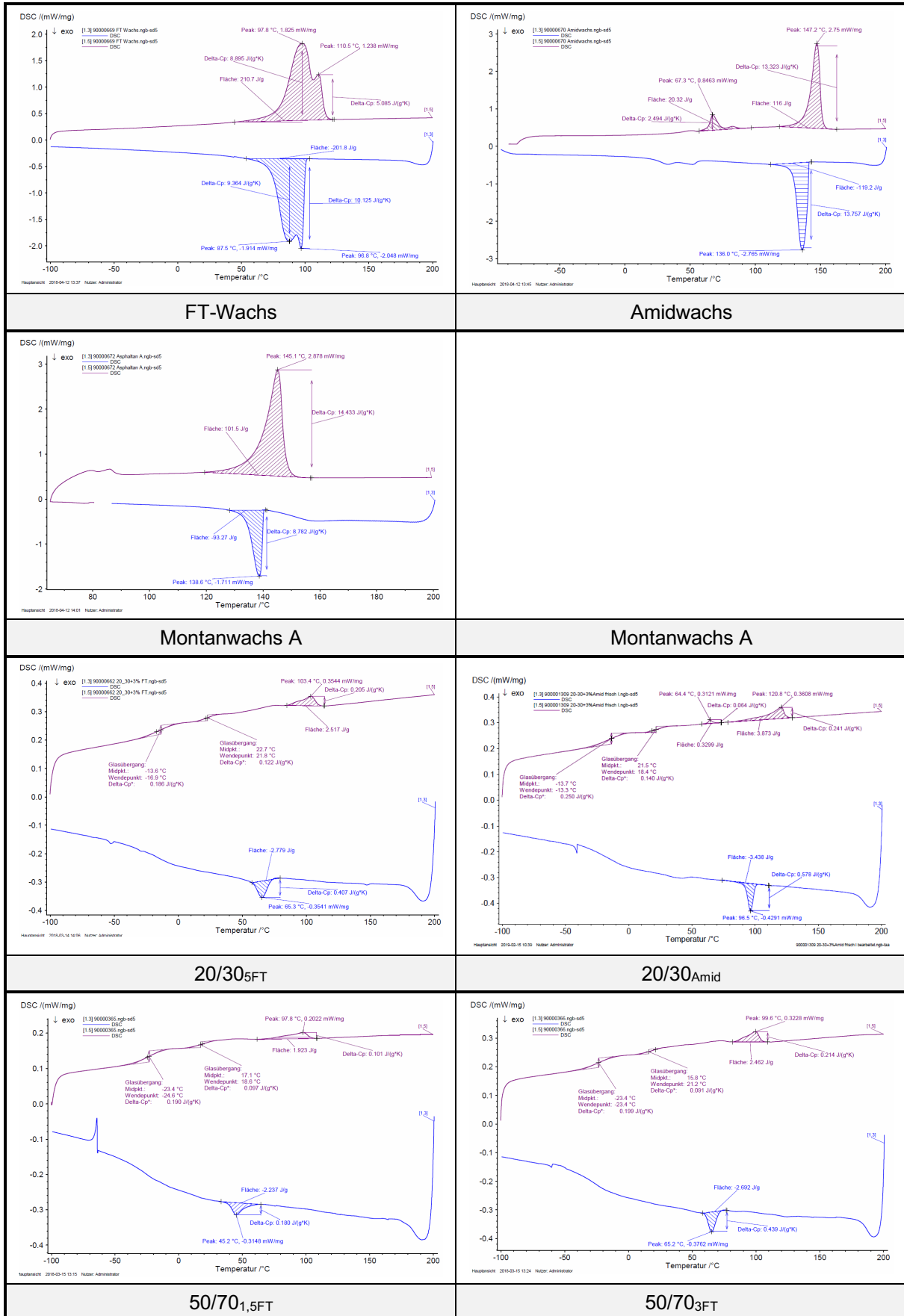


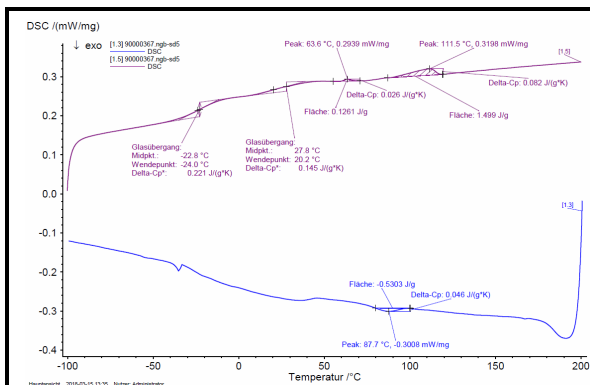
Fortsetzung SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Spektren der Bitumen aus den Ausbaupasphalten



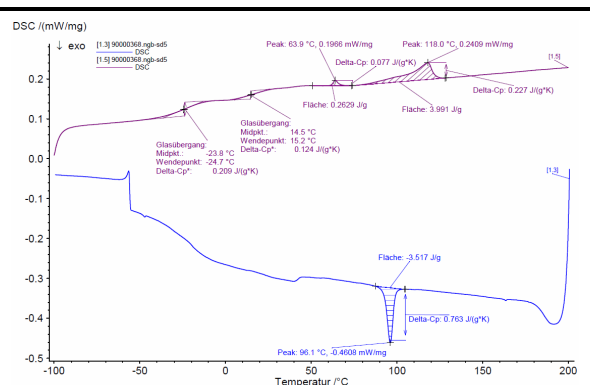
Fortsetzung SNV-standardisierte Mittelwertspektren der Spektren der Bitumen aus den Ausbausphalten

A.5. Untersuchungsergebnisse – DSC

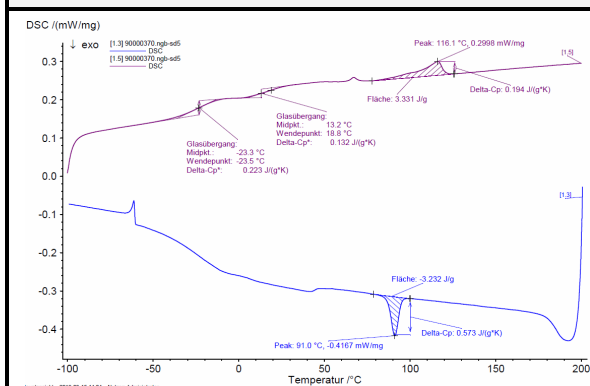




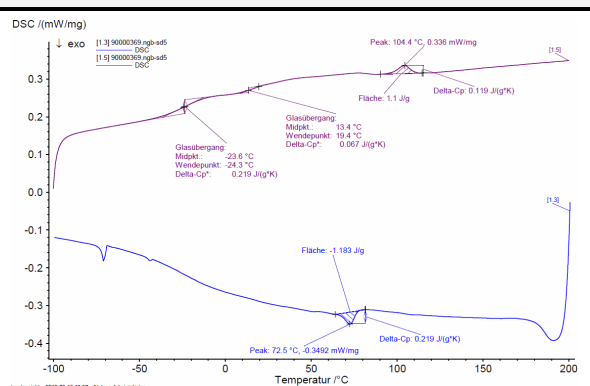
50/70_{1,5}Amid



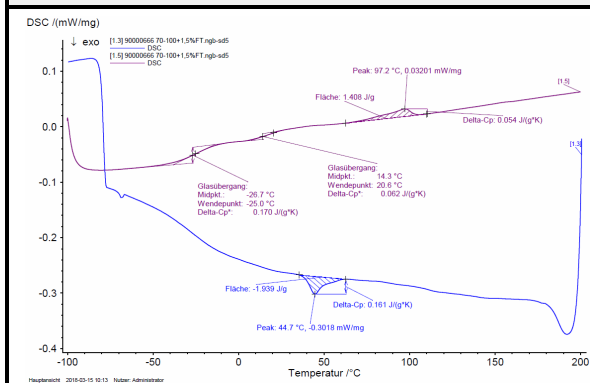
50/70₃Amid



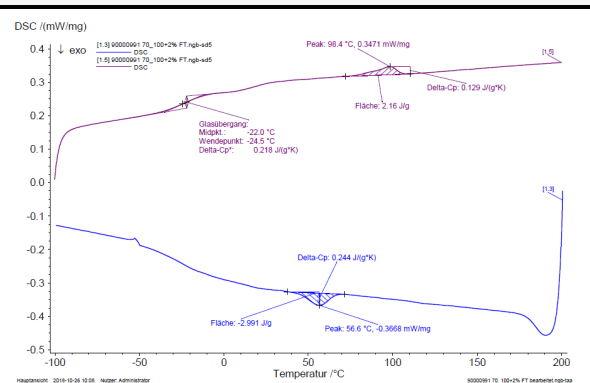
50/70MoA



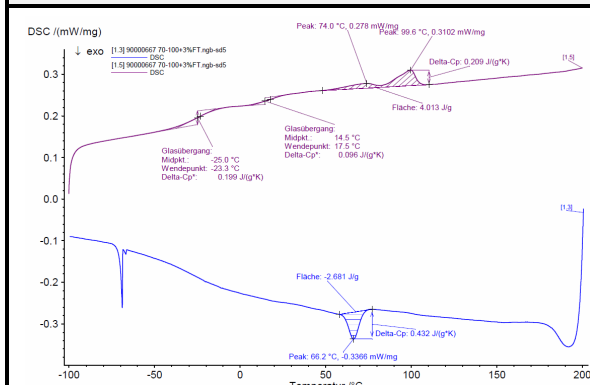
50/70MoB



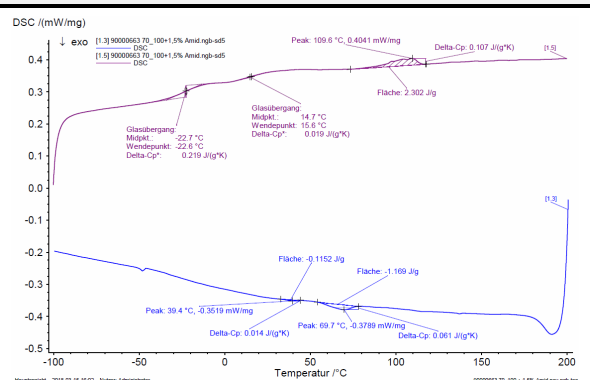
70/100_{1,5}FT



70/100₂FT



70/100₃FT



70/100_{1,5}Amid

