

**Vergleichende Untersuchungen zum Abbinden im Vicat-Ring und in der HASIT-  
Ultraschall-Messzelle (Kunststoffzelle) am Beispiel des Kalk-Gips-Putzes 150  
– Reproduzierbarkeitsbetrachtungen –**

### Zusammenfassung

Im Jahr 1999 wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. BC-Export Kauer GmbH ein automatisches Ultraschallmessverfahren entwickelt, das das Abbinden und Erhärten von Frischmörtel erfasst (Ber.-Nr. 554-1999). Dieses bislang im Zentrallabor genutzte Verfahren wird mit dem Erwerb preiswerterer Ultraschallmesstechnik von der Fa. Schleibinger GmbH Ende des Jahres 2005 zur automatischen Erfassung des Abbindens derzeit in die Werkskontrolle eingeführt. Es wird das manuelle Verfahren zur Ermittlung des Abbindens mit der Eindringtiefe ablösen.

Es bestand die Aufgabe die Genauigkeit des Ultraschall-Messverfahrens (US-M) mit der des Abbindens im Vicat-Ring (AB-VR) am Beispiel des KGP 150 Kissing zu prüfen und das US-M am AB-VR zu eichen. Damit wird die Interpretation der Messergebnisse des neuen US-M ermöglicht.

Wiederholungsmessungen am selben Frischmörtel mit dem US-M und AB-VR führen zu Mittelwertkurven (und ihren Standardabweichungen) sowie zu Beziehungen zwischen den Messwerten beider Messverfahren (Tabelle 1, 2 und Bilder 1 bis 4).

Nimmt man für einen Filzputz als orientierende Fixpunkte für die Putzfertigstellung ein Eindringmaß von 15 mm (grobes Filzen mit dem roten Schwammbrett) und 5 mm (feines Filzen mit weißem Schwammbrett) nach dem AB-VR an, dann ergeben sich für die Verfahren folgende prozentuale Abweichungen (Fehler):

<b>AB - VR - Eindringtiefe</b>		<b>US - M - Ultraschallgeschwindigkeit</b>	
<b>mm</b>	<b>% - Abweichung</b>	<b>m/s</b>	<b>% - Abweichung</b>
15 ± 4	± 27	100 ± 20	18
5 ± 2	± 40	250 ± 45	18

Das automatische US-M ist gegenüber dem AB-VR genauer.

Für jede Rezeptur und Mörtelkonsistenz muss nach der im Bericht dargestellten Weise des US-M am AB-VR geeicht werden.

### 1 – Vorbemerkung, Aufgabe

Bei der Suche nach einfachen, kostengünstigen und automatischen Messverfahren für die Werkskontrolle wurde im Jahr 1999 im Zentrallabor ein Ultraschallmessverfahren zur Ermittlung des Abbindens entwickelt und getestet (vgl. Ber.-Nr. 559-1999). Es entstand in Zusammenarbeit mit der Firma BC-Export M. Kauer GmbH. Das Messprinzip besteht darin, dass der Frischmörtel

zwischen zwei Ultraschallköpfen (Sender und Empfänger; 500 V, 54 kHz, gepulst mit 10 Impulsen pro Sekunde) abbildet. Der durchschallte Frischmörtel verändert mit dem Abbinden (Erstarren, Erhärten) die Impuls-Laufzeit (und bei festem Abstand der Messköpfe die Impuls-Laufgeschwindigkeit<sup>1</sup>).

Zum Zeitpunkt erster Kontaktierung des sich bildende Bindemittelsteins im Mörtel wächst die Ultraschallgeschwindigkeit an. Ist die Gefügegrundstruktur im Mörtel erreicht, sind die Geschwindigkeitsänderungen kleiner und verlaufen nahezu waagrecht zur Zeitachse bis die Verdichtung des Gefüges weiter ansteigt.

Im Zentrallabor wurde das Ultraschall-Messverfahren wiederholt eingesetzt, da hinausgehend über das Erstarren weitergehende Aussagen zur frühen Erhärtung möglich sind (vgl. u. a. Ber.-Nr. 969-2006).

Ende des Jahres 2005 wurden Mittel bereitgestellt, um ein entsprechendes preiswertes Ultraschall-Messverfahren für die Werksproduktionskontrolle einzusetzen<sup>2</sup>.

Mit der z. Z. laufenden Einführung des Ultraschall-Messverfahrens bestand die Aufgabe, die Wiederholungsgenauigkeit (Reproduzierbarkeit) des Verfahrens zu beurteilen und mit der des Abbindens im Vicat-Ring (Abbindekonus) zu vergleichen. Die Untersuchungen waren mit dem Kalk-Gips-Putz 150 aus dem Werk Kissing durchzuführen.

## 2 – Untersuchungen, Ergebnisse

Von einem Prüfer wurde fünfmal der 150-er im Laber-Mörtelmischer mit einem Wasser-Feststoff-Wert von 0,365 gemischt. Der Frischmörtel wurde in den Vicat-Ring und in die Ultraschall-Messzelle gegeben. Es wurde die zeitliche Veränderung der Eindringtiefe (Vicat-Ring) und der Ultraschallgeschwindigkeit (US-Messzelle) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Messung sind in den Tabellen 1 und 2 (sowie den Bildern 1, 2a, 2b, 3 und 4) erfasst.

Der Mittelwert und die Standardabweichung beim Ausbreitmaß betragen  $16,6 \pm 0,3$  cm (Maximalwerte 16,2 bis 17,0 cm).

Die Abbindezeiten bei einer Eindringtiefe der „Konus-Nadel“ in dem Abbindeering von 5 mm (Abbindeende) betrug  $251 \pm 22$  Minuten (Maximalwerte 220 bis 276 Minuten; vgl. Bild 1).

Die Wiederholungsmessungen zum Abbinden und Erhärten mit der Ultraschall-Messzelle sind im Bild 2 aufgeführt.

In dem Bild 3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für beide Messverfahren (Vicat-Ring und Ultraschallmesszelle) zu ersehen (vgl. Tabelle 2).

Nach einer Abbindezeit von 260 Minuten werden bestimmt:

Eindringtiefe	$(4 \pm 2)$ mm
Ultraschallgeschwindigkeit	$(280 \pm 52)$ m/s

Im Bild 4 ist die ermittelte Beziehung zwischen der Eindringtiefe und Ultraschallgeschwindigkeit dargestellt.

<sup>1</sup> bei der HASIT-Messzelle entspricht der Abstand der Messköpfe der Höhe des Vicat-Ringes von 40 mm.

<sup>2</sup> Zweikanal-Messgerät von der Fa. Schleibinger GmbH

Bei einer Ultraschallgeschwindigkeit von 0 m/s ist bereits eine Erhöhung des Eindringwiderstandes zu messen (38 mm nach einer Abbindezeit von 120 Minuten – siehe Bild 3).

Geht man orientierend davon aus, dass ein Filzputz ab einer Eindringtiefe von ca. 15 mm mit den roten Schwammbrett (grobes Filzen) und bei einer Eindringtiefe von ca. 5 mm mit dem weißen Schwammbrett (feines Filzen) abgerieben und fertig gestellt wird, dann lassen sich diesen Eindringtiefen nachstehende Ultraschallgeschwindigkeiten für den in Wiederholungsprüfungen untersuchten 150er zuordnen (Bild 4):

Eindringtiefe		Ultraschallgeschwindigkeit	
mm	% - Abweichung	m/s	% - Abweichung
15 ± 4	27	100 ± 20	18
5 ± 2	40	250 ± 45	18

Die prozentuale Abweichung (prozentualer Fehler) ist bei der Messung abhängig von der Eindringtiefe und beträgt für die Fixpunkte der Putzfertigstellung 27 % bis 40 % (Ursache dafür ist die abflachende Messkurve). Für die Ultraschallgeschwindigkeit liegt die prozentuale Abweichung bei 18 % (Ursache ist die Linearität der Messkurve der Ultraschallgeschwindigkeit im Zeitraum der Putzfertigstellung).

Das Ultraschall-Messverfahren ist somit genauer als die Messung der Eindringtiefe im Vicat-Ring. Die Geräteanschaffungskosten sind beim Ultraschall-Messverfahren größer, dafür ist aber der Zeitaufwand beim Messen mit der Ultraschallmesszelle kleiner und objektiver.

Neben den Reproduzierbarkeitsuntersuchungen wurden auch Kalk-Gips-Putze aus der Produktion Regensburg und Kissing geprüft (vgl. Tabelle 3 sowie die Bilder 5 und 6).

Der Kissinger 150-er wurde mit einem geringen Wasser-Feststoff-Wert von 0,355 (Ausbreitmaß 15,5 cm) und der Regensburger 150er mit einem w/F-Wert von 0,38 (Ausbreitmaß 17,4 cm) verarbeitet.

Überraschend ist, dass beim 150-er aus Kissing erst nach Eintauchtiefen von  $\leq 19$  cm (180 Minuten) eine Ultraschallgeschwindigkeit zu messen ist. Eine durchgehende Ultraschalleitung im entstehenden Bindemittelgefüge baut sich später auf als bei den 150er Wiederholungsprüfungen. Das Kristallwachstum ist vermutlich bei geringerem w/F-Wert und kleinerem Ausbreitmaß verzögert.

Der 150-er aus Regensburg, mit größerer Wassermenge angemischt, zeigt in etwa nach 170 Minuten erste Veränderungen sowohl in der Eindringtiefe als auch in der Veränderung der Ultraschallgeschwindigkeit.

Die Zuordnung zu den Eindringtiefen von 15 mm und 5 mm ergibt folgende Ultraschallgeschwindigkeiten:

Eindringtiefe mm	Ultraschallgeschwindigkeit m/s	
	150er Kissing w/F = 0,355 AM = 15,5 cm	150er Regensburg w/F = 0,38 AM = 17,4 cm
15	55	130
5	210	305

Während der 150-er aus Regensburg noch mit den Standardabweichungen der Wiederholungsprüfungen erfasst wird, ist dies beim 150-er Kissing bei der Eindringtiefe von 15 mm nicht mehr der Fall.

Für die Umstellung der Abbindemessung mit dem Vicat-Ring (Eindringtiefe) auf die zunächst noch ungewohnte Ultraschallmessung ist es erforderlich, wie bei den hier vorgenommenen Reproduzierbarkeitsuntersuchungen, für jede Rezeptur die Verarbeitungskonsistenz über das Ausbreitmaß einzustellen und dann mit feststehenden Wasser-Feststoff-Wert die Frischmörtel sowohl mit dem Vicat-Ring als auch mit der Ultraschall-Messzelle zu messen. Mit 5 bis 7 Messungen (vgl. Bilder 1 und 2 sowie Tabelle1) ist die Beziehung zwischen Eindringtiefe und Ultraschallgeschwindigkeit einschließlich ihrer Standardabweichung zu ermitteln (Bild 3 a).

Für zu wählende Eindringtiefen (z. B. Orientierung an der Filzputz-Fertigstellung mit rotem Schwamm – 15 mm - und weißem Schwamm – 5 mm) sind für die Abbindebeurteilung Ultraschallgeschwindigkeiten mit den dazugehörigen Zeittoleranzen vorzugeben (Bild 3 b). Aus diesen Zeittoleranzen folgen die zum Mittelwert der Ultraschallgeschwindigkeiten gehörenden Toleranzen der Ultraschallgeschwindigkeit.

Liegt ein zu prüfender Mörtel im Abbinden nach einer vorgegebenen Zeit im vorgegebenen Toleranzbereich der Ultraschallgeschwindigkeit, dann ist er als gut zu beurteilen. Sind die Abweichungen größer, dann ist die Konstanz der Mörtelqualität nicht gegeben. Es müssen dann die Ursachen und die Auswirkungen der Mörtelveränderung ermittelt werden. Das Mörtelprodukt ist zu sperren, darf also nicht ausgeliefert werden.

Für jede Rezeptur und Konsistenz muss für die Interpretation der Messwerte, die mit der Ultraschallmesszelle erhalten wurde, eine Eichung über das Abbinden mit dem Vicat-Ring (Eindringtiefe) in folgenden Schritten vorgenommen werden:

- Herstellung eines Frischmörtels mit vorgegebener Konsistenz (Ausbreitmaß) und Ermittlung des w/F-Wertes;
- Messwernerfassung desselben Frischmörtels im Vicat-Ring (Eindringtiefe) und Ultraschallmesszelle (US-Geschwindigkeit);
- Fünf- bis siebenmalige Wiederholung dieser Messung zu unterschiedlichen Zeiten (w/F-Wert konstant);
- Darstellung der Messwerte in Abhängigkeit von der Zeit und der Mittelwertkurve und Standardabweichung (vgl. Bilder 1 bis 3 a);
- Für festzulegende Punkte der Eindringtiefe (z. B. für einen Filzputz 15 mm – „roter Schwamm“ – und 5 mm – „weißer Schwamm“ – werden Ultraschallgeschwindigkeiten und Toleranzen bei Vorgabe der Abbindezeit festgelegt (vgl. Bild 3 b);
- Produktkontrolle mit Ultraschallmesszelle gemäß Vorgaben.

<b>Tabelle 1:</b> Reproduzierbarkeitsuntersuchung zum Abbinden und Erhärten mit Abbindekonus und Ultraschallmesszelle am Beispiel des Kalk-Gips-Putzes 150 ( Werk Kissing) bei einem Wasser-Feststoff-Wert von 0,365							
<b>Abbinden im Konus</b>							
Konus-Eindringtiefe mm	Abbindezeiten in Minuten bei Versuch					Mittelwert/ Standardabweichung Minuten	maximale Werte Minuten
	A	B	C	D	E		
35	120	126	132	133	136	129/6,4	120 - 136
30	128	140	142	146	150	141/8,3	128 - 150
25	135	156	160	160	180	158/15	135 - 180
20	154	167	171	180	190	172/14	154 - 190
15	166	178	194	200	204	188/16	166 - 204
10	188	216	214	235	230	217/18	188 - 235
5	220	240	250	268	276	251/22	220 - 276
2	255	275	280	290	300	280/17	255 - 300
Ausbreitmaß in cm	16,2	16,6	17	16,6	16,7	16,6/0,3 cm	16,2-17 cm
<b>Erhärten in der Ultraschall-Messzelle</b>							
US-Geschwindigkeit m/s	Erhärtungszeiten in Minuten bei Versuch					Mittelwert/ Standardabweichung Minuten	maximale Werte Minuten
	A	B	C	D	E		
50	135	125	140	153	150	141/11,4	125 - 153
100	170	175	185	195	195	184/11,4	170 - 195
150	195	203	210	225	225	212/13,3	203 - 225
200	210	225	230	240	245	230/13,6	210 - 245
400	275	280	305	315	320	391/18,5	275 - 320
600	335	355	380	390	395	371/25,3	335 - 395
700	380	400	425	450	450	421/30,9	380 - 450
800	525	510	560	565	570	546/26,8	510 - 570

<b>Tabelle 2:</b> Wiederholungsprüfungen zum Abbinden (Eindringtiefe) und zum Erhärten (Ultraschallgeschwindigkeit) nach gleichen Abbinde- bzw. Erhärtungszeiten							
<b>Abbinden im Konus</b>							
Zeit in Minuten	Eindringtiefe in mm bei Versuch					Mittelwert/ Standardabweichung mm	maximale Werte mm
	A	B	C	D	E		
120	35	38	38	39	40	38/2	35 - 40
140	24	30	31	31	34	30/3,7	24 - 34
160	17	23	25	25	28	24/4,1	17 - 28
180	11	14	17	19	24	17/4,9	11 - 24
200	8	13	13	15	16	13/3,1	8 - 16
220	5	9	8	13	12	9/3,2	5 - 13
240	3	5	6	8	6	6/2,1	3 - 8
260	2	3	4	6	7	4/2,1	2 - 7
280	0,5	2	2	3	4	2,3/1,3	0,5 - 4
300	0	1	1	2	2	1,2/0,8	0 - 2
320	0	0	0,5	0	1	0,3/0,4	0 - 1
340	0	0	0	0	0	0	0
<b>Erhärten in der Ultraschall-Messzelle</b>							
Zeit in Minuten	Ultraschallgeschwindigkeit in m/s bei Versuch					Mittelwert/ Standardabweichung m/s	maximale Werte m/s
	A	B	C	D	E		
120	0	0	0	0	0	0	0
140	70	60	0	0	0	26/36	0 - 70
160	80	75	70	60	60	69/9	60 - 80
180	125	105	95	75	75	95/21	75 - 125
200	170	140	125	105	105	129/27	105 - 170
220	230	185	165	140	140	172/38	140 - 230
240	290	245	220	180	180	223/47	180 - 290
260	360	300	270	235	235	280/52	235 - 360
280	430	370	325	290	290	341/60	290 - 430
300	500	435	390	350	350	405/64	350 - 500
320	555	500	450	400	400	461/70	400 - 550
340	615	555	505	460	460	519/66	460 - 610



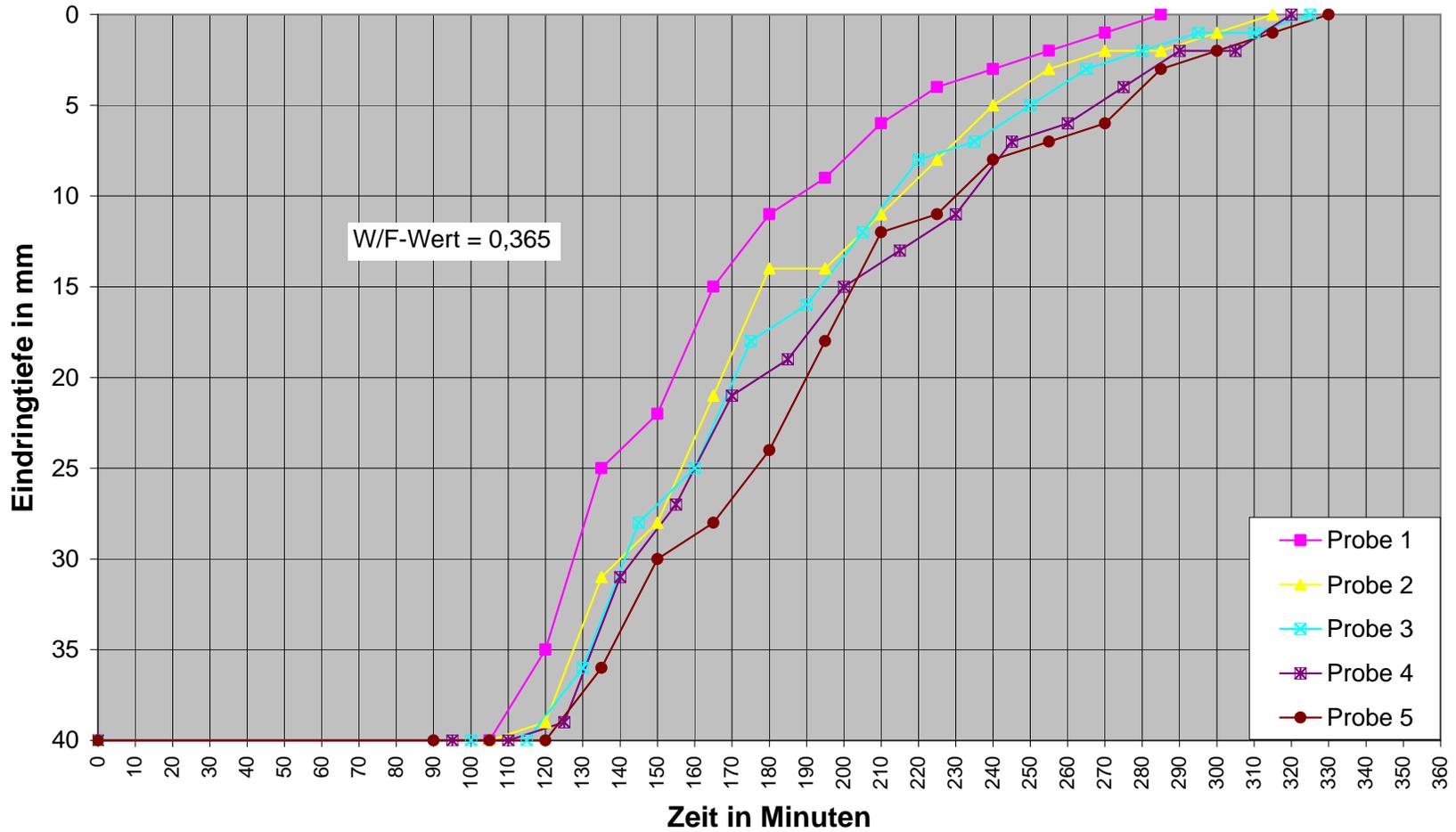
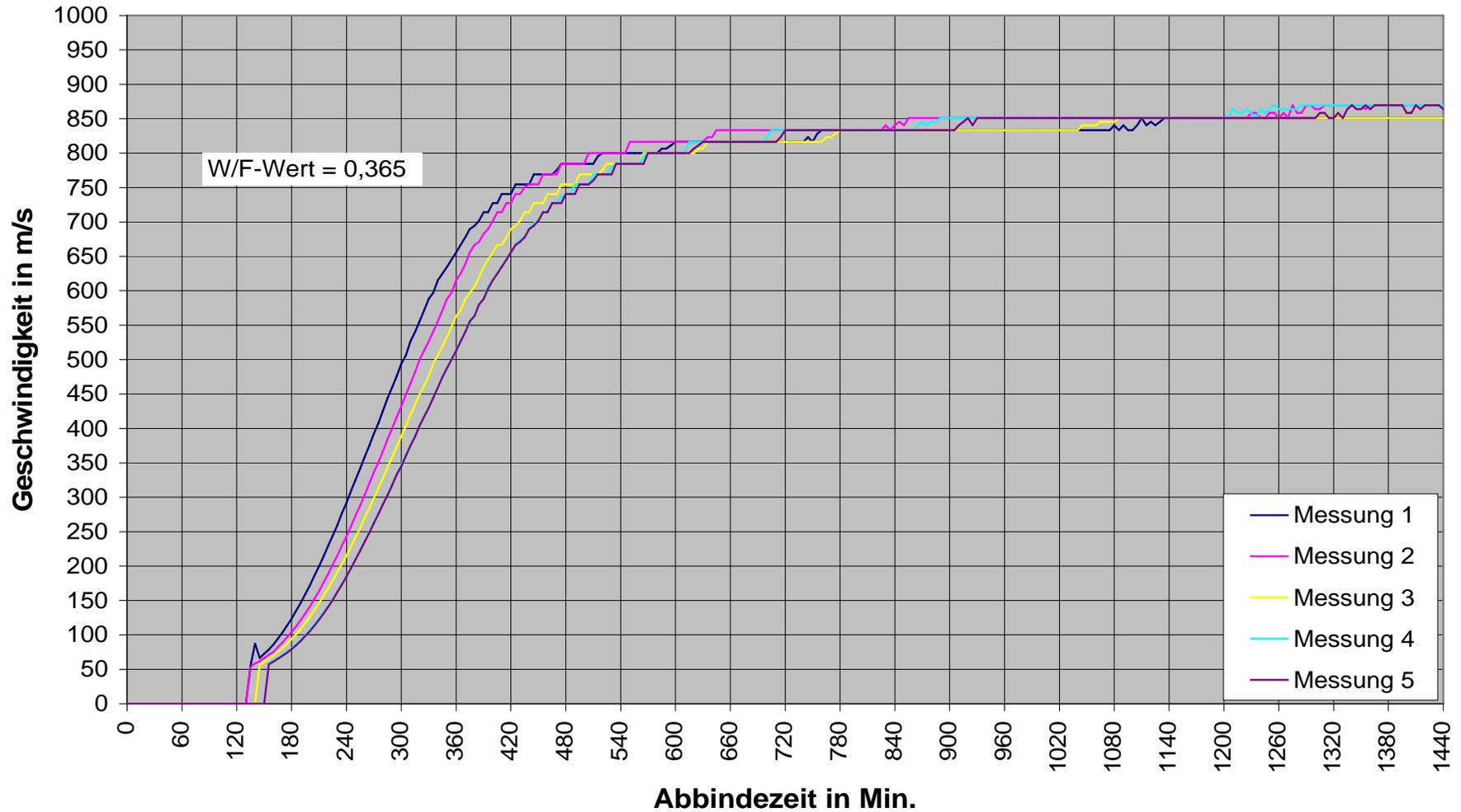
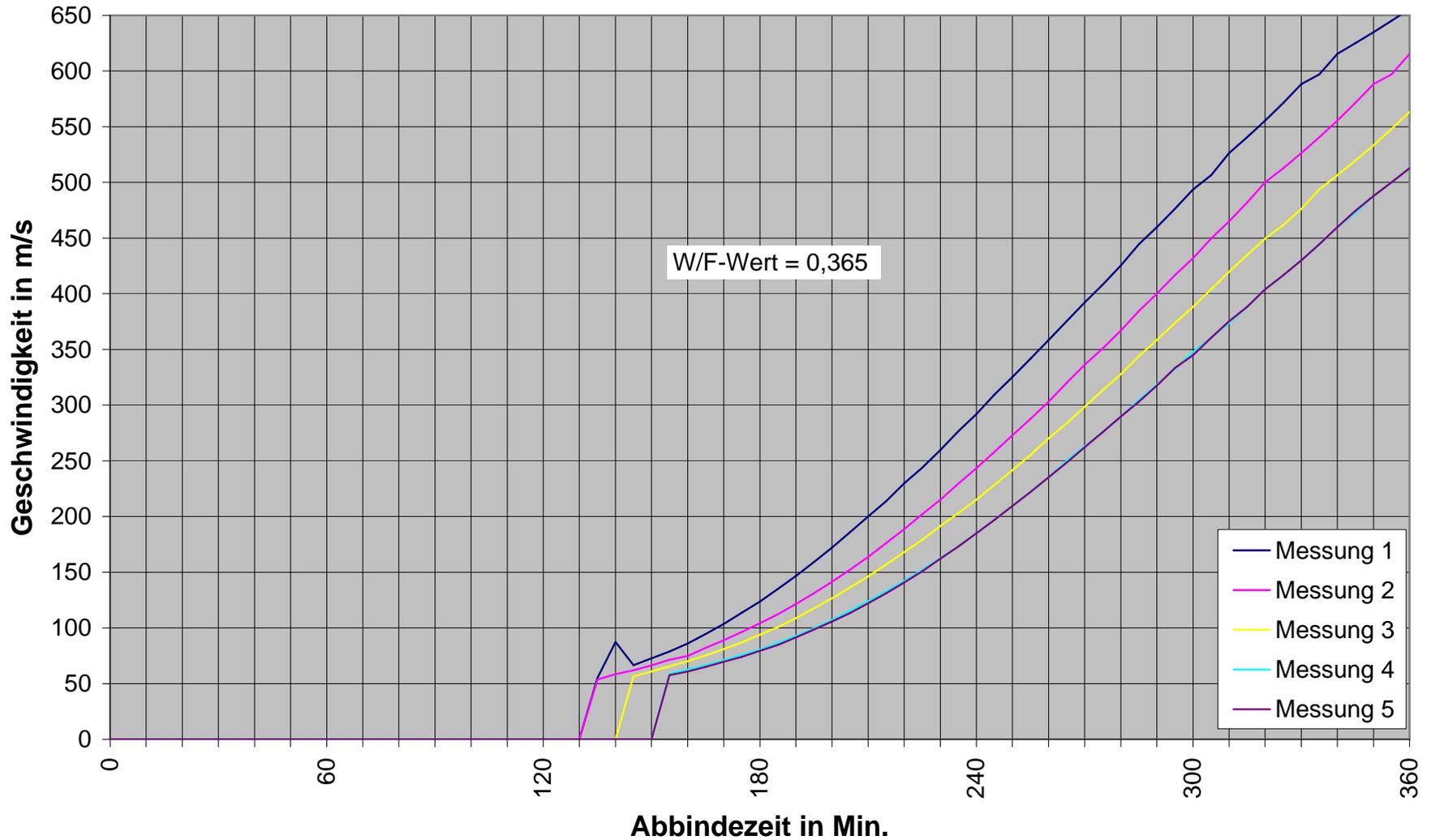


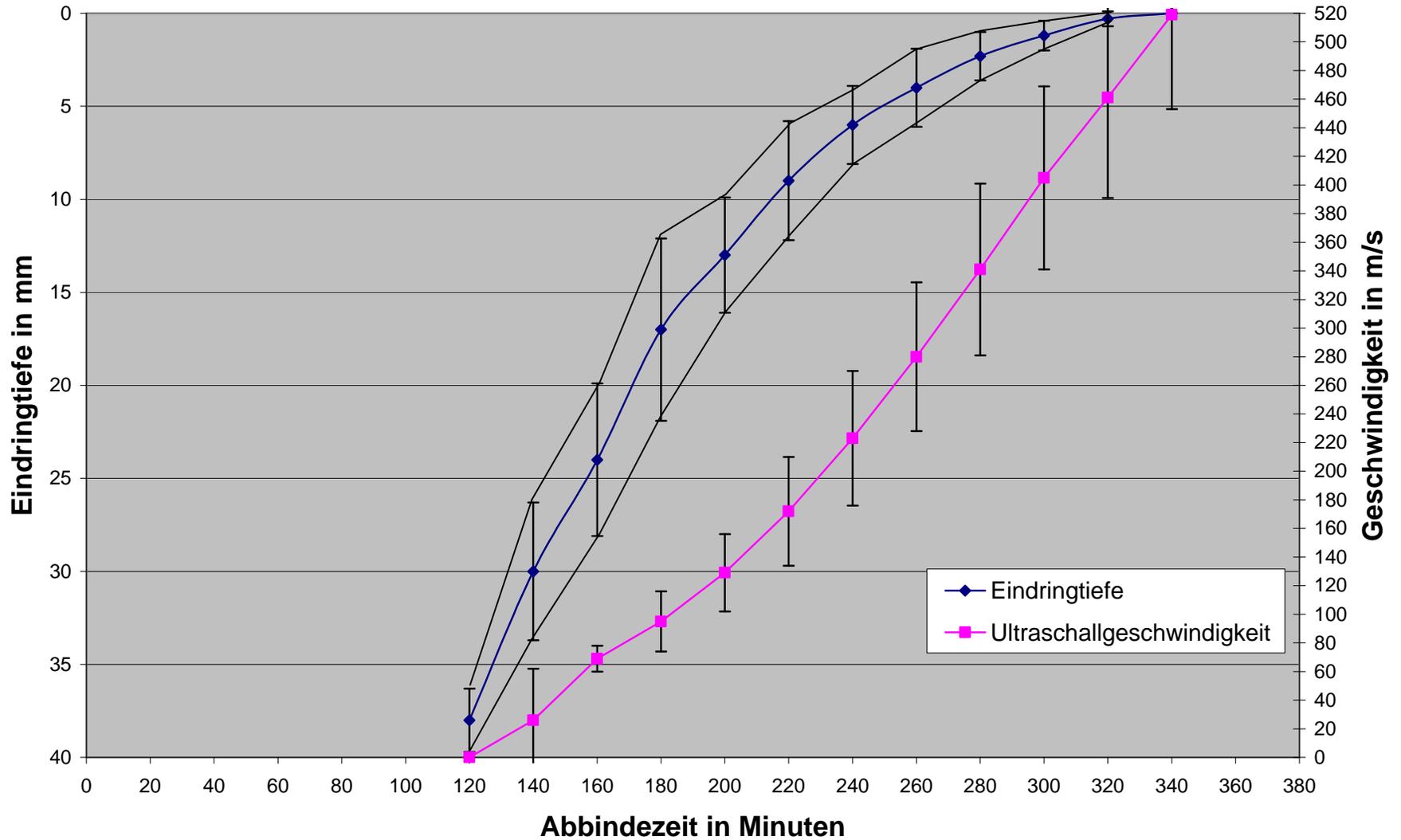
Bild 1: Reproduzierbarkeitsuntersuchungen zum Abbinden von Kalk-Gips-Putz 150 (Kissing) mit dem Abbindekonus



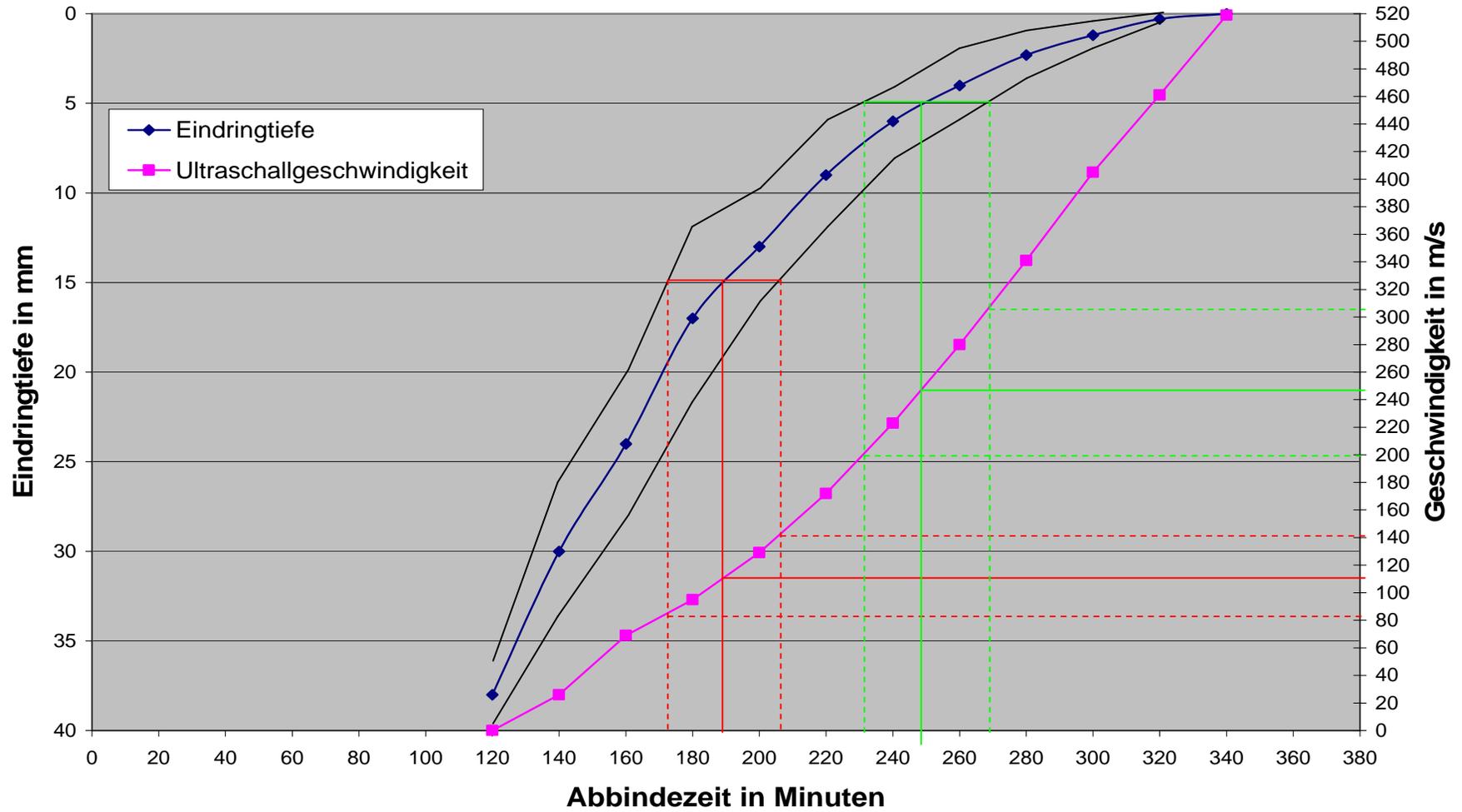
**Bild 2a: Reproduzierbarkeitsuntersuchungen zum Erhärten von Kalk-Gips-Putz 150 (Kissing) mit der Ultraschall-Messzelle (Kunststoff)**



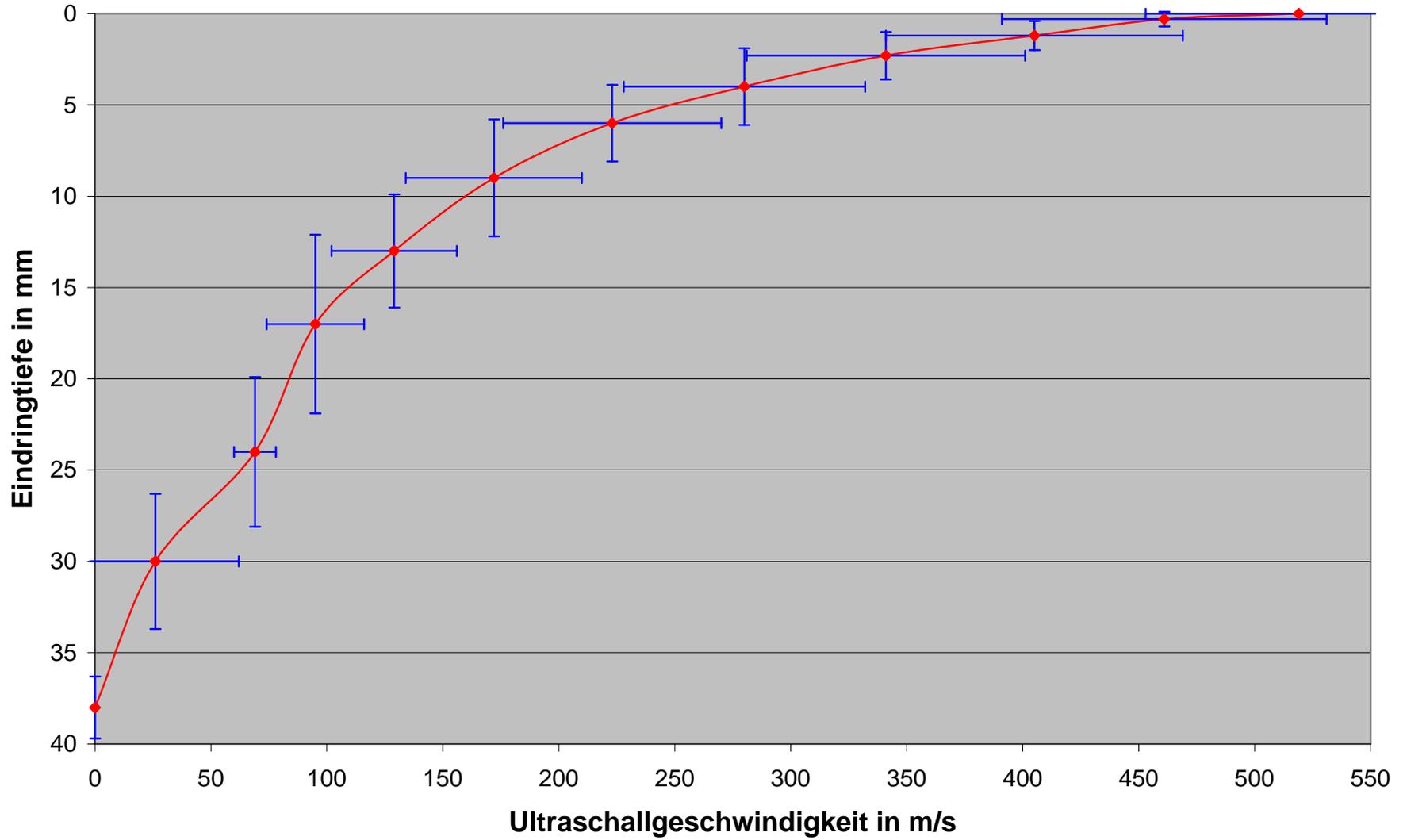
**Bild 2b: Reproduzierbarkeitsuntersuchungen (Ausschnitt) zum Erhärten von Kalk-Gips-Putz 150 (Kissing) mit der Ultraschall-Messzelle (Kunststoff)**



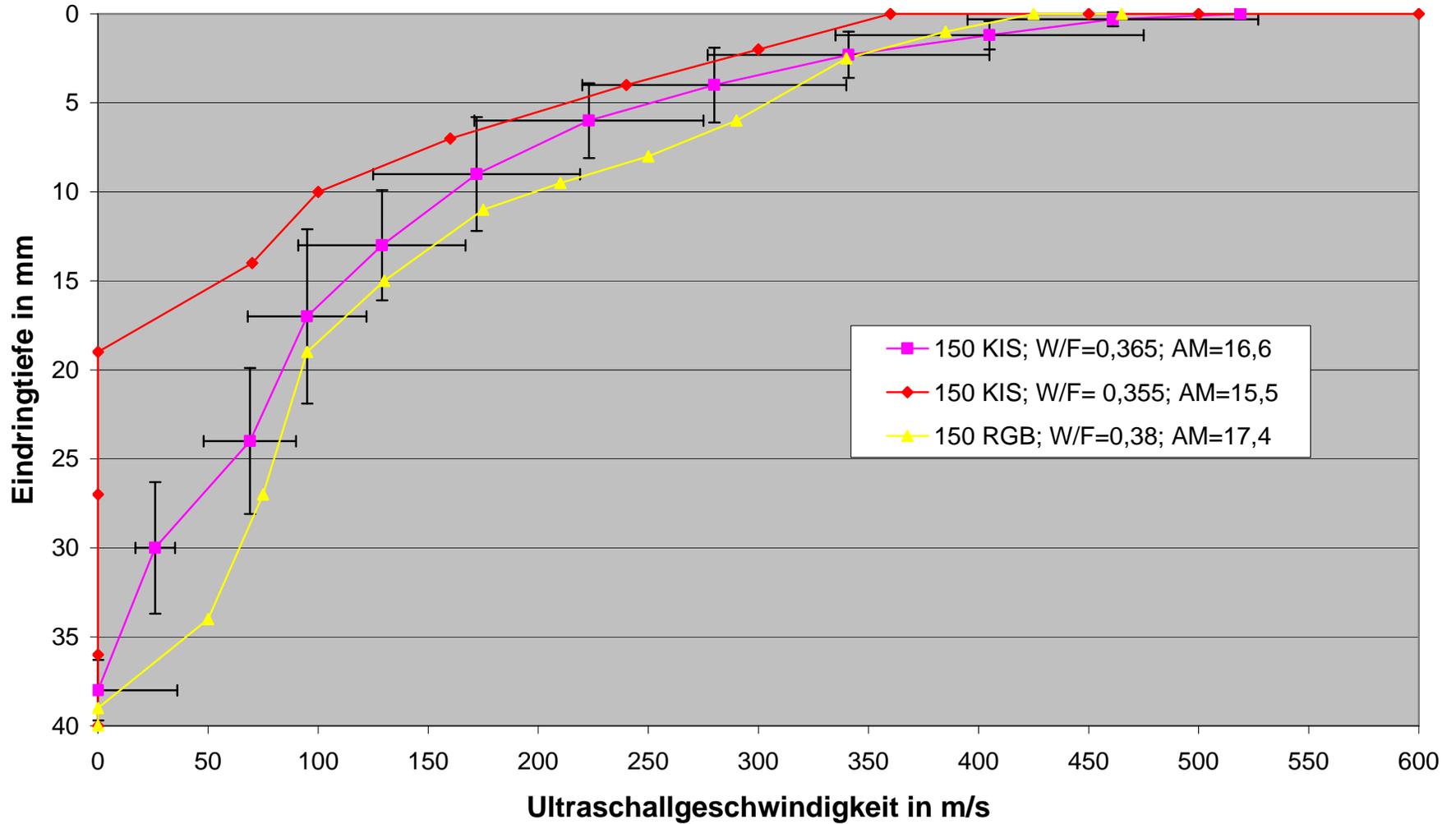
**Bild 3a: Zum Zusammenhang zwischen Abbinden (Eindringtiefe) und Erhärten (Ultraschallgeschwindigkeit) am Beispiel des 150er - Kissing**



**Bild 3b: Zum Zusammenhang zwischen Abbinden (Eindringtiefe) und Erhärten (Ultraschallgeschwindigkeit) bei Eindringtiefen von 15 mm und 5 mm**



**Bild 4: Zusammenhang zwischen dem Abbinden (Abbindekonus) und Erhärten (Ultraschallmesszelle) nach gleichen Zeiten**



**Bild 5: Zusammenhang zwischen dem Abbinden (Abbindekonus) und Erhärten (Ultraschallmesszelle) nach gleichen Zeiten**

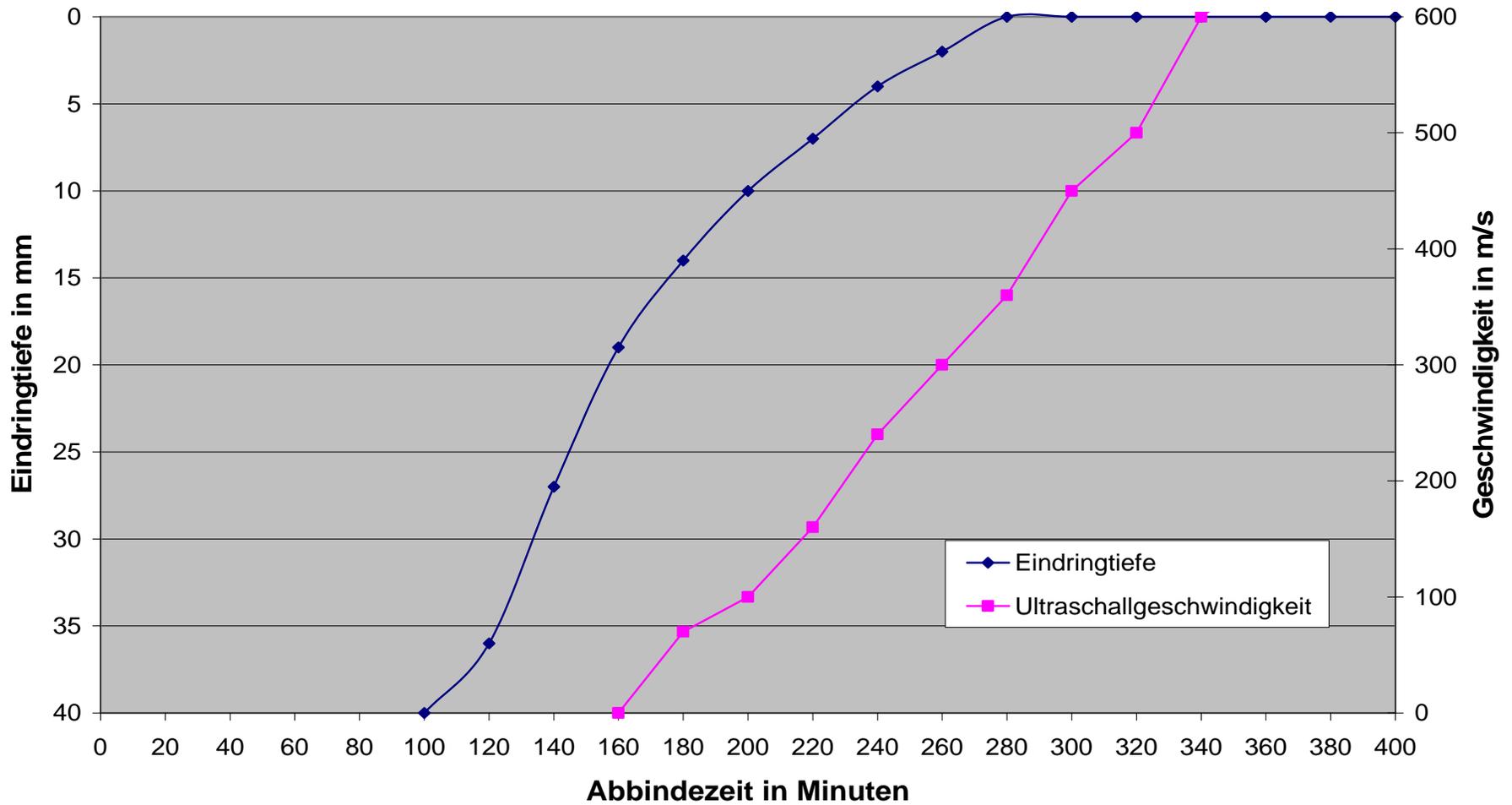


Bild 6: Abbinden und Erhärten vom 150er KIS mit W/F-Wert 0,355 und Ausbreitmaß 15,5 cm