

Ein **Endbericht mit Endabrechnung** ist am Ende des Förderzeitraums (inkl. Fristerstreckungen) zu erstellen und innerhalb von 3 Monaten an die FFG, Bereich Basisprogramme zu übermitteln. Der Endbericht soll über die im gesamten Förderzeitraum (laut Vertrag) durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse berichten. Bei mehrjährigen Projekten ist nach jedem Förderabschnitt (meist ein Jahr) ein Endbericht mit Endabrechnung zu erstellen.

Ein Endbericht soll umfangreicher als ein Zwischenbericht sein und auch eine Bewertung der Ergebnisse beinhalten. Als grober Richtwert kann ein Umfang von ca. 10 DIN A4 Seiten angegeben werden. Bitte schicken Sie Ihre Berichte einfach und ungebunden!

Hinweise: Dieses Formular ist ausschließlich für per Post übermittelte Endberichte gedacht. Für EFRE-geförderte Projekte gibt es ein eigenes Formular.

Projekttitle:	Optimierung Weisse Wanne West – WWW
Projektnummer:	831194
Firmenname:	ÖBV-GmbH
Förderzeitraum:	01.02.2011 – 31.12.2011
Berichts- und Abrechnungszeitraum:	01.02.2011 – 31.12.2011
Ersteller des Berichts:	Baurat h.c. Dr. Helmut Huber, DI Michael Pauser
Datum und Unterschrift:	16.12.2011

Kostenzusammenfassung

Tabellenbefüllung per Doppelclick aktivieren!

	Genehmigte Kosten	IST - Kosten	IST / genehmigt
Personalkosten	1.100	1.764	160%
F&E-Infrastruktur - Nutzung	0	0	-
Sach- und Materialkosten	0	0	-
Leistungen Dritter	74.000	76.800	104%
Reisekosten	0	0	-
Patentanmeldekosten	0	0	-
Gesamt	75.100	78.564	105%

1. Arbeiten und Termine

AP 1 : Optimierung der Betonzusammensetzung zur Reduktion der Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme

AP 2 : Langzeitmessungen in der Wand des Großversuches zur Feststellung der jahreszeitlichen Einflüsse

AP 3 : Anpassung der FE Rechenmodelle zur Berechnung von Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme:

AP 4 : BVH Gramatneusiedl, erste praktische Umsetzung

AP 1: Optimierung der Betonzusammensetzung zur Reduktion der Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme

Aufbauend auf den Ergebnissen des 1. Forschungsjahres wurden weitere Betonversuche an Labormischungen und Prüfungen von 2 Baustellenbetonen des ÖBB BVH Gramatneusiedl mit unterschiedlichen Anteilen an AHWZ (aufbereitete hydraulisch wirksame Zusatzstoffe) mit dem Ziel durchgeführt, das Bindemittel unter Einhaltung der geforderten Betoneigenschaften zu optimieren. Zusätzlich sollte der Einfluss der Petrografie der Gesteinskörnung (West: kalzitische Gesteinskörnungen, Ost: kristalline Gesteinskörnungen) und das Verhältnis von Spaltzugfestigkeit zu zentraler Zugfestigkeit im jungen Alter untersucht werden.

In der MVA Strass wurden insgesamt sieben Labormischungen und auf der Baustelle Gramatneusiedl zwei Betonzusammensetzungen mit unterschiedlichen AHWZ-Gehalten untersucht. Es wurden als Grundlage für ein FE-Parameterstudium (Rechenwerte) der zeitliche Verlauf der Druckfestigkeit, der Spaltzugfestigkeit (Umrechnung auf zentrale Zugfestigkeit), E-Modul sowie die adiabatische Temperaturerhöhung geprüft (siehe Anhang AP 1-1: Bericht MVA Strass sowie Anhang AP 1-2: Betontechnologische Untersuchungen Gramatneusiedl). Für den optimierten Baustellenbeton BS1COPT (Beton B1) mit 35% AHWZ-Anteil wurden in der Erstprüfung alle geforderten Betoneigenschaften einschließlich XC4 und die Luftporenkennwerte für XF4 nachgewiesen (siehe Anhang AP 1-3: Erstprüfung BS1COPT von MAPEI-Betontechnik). Die Ergebnisse der Labor- und Baustellenprüfungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Laborversuche zeigen einen starken Einfluss des jeweils verwendeten Zementes CEM I C₃A frei und des Kiesvorkommens auf die Betoneigenschaften, vor allem auf die Druckfestigkeit, bei der die Werte in der Regel weit über der üblichen Festigkeitsklasse C25/30 liegen. Die unterschiedliche Petrografie der Gesteinskörnungen wirkt sich für die untersuchten Vorkommen (West: Sulzau, Slzbg, Ost: Markgrafneusiedl, NÖ) nur geringer als erwartet bei der Berechnung der Rissicherheit aus (siehe AP3), wobei bei kalzischen Gesteinskörnungen, die höhere Zugfestigkeit und die niedrigere Wärmedehnzahl eine etwas günstigere Rissicherheiten ergeben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass auch die Betone mit AHWZ Gehalten von 35% und 48% alle Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und Gebrauchseigenschaften bei deutlich verringerter Wärmeentwicklung (siehe adiabatische Temperaturerhöhung nach 1 Tag) erfüllen. Die Bewertung einer optimierten Betonzusammensetzung hinsichtlich

Verringerung der Zwangsspannungen erfolgt in Verbindung mit der FE Modellierung (siehe AP3).

Für 4 Laborbetone wurde durch vergleichende Prüfungen nach 3 und 7 Tagen das Verhältnis von Spaltzugfestigkeit zur zentrischen Zugfestigkeit als Rechenwert für die FE Modellierung mit 0,75 ermittelt. In der Literatur wird für 28 Tage ein Faktor von 0,8 – 0,9 angegeben.

Tabelle 1: Ergebnisse der Betonversuche -
Laborversuche und Baustellenbetone Gramatneusiedl

Betonbez. Endbericht	WW1	WW2	WW3	WW4	WW5	WW6	WW7	WW8	WW9
Arbeitsbez. Betonsorte	1a	3	C1	2	A	B	C	A1	B1
	Labor Groß-Versuchs. 1	Labor	Labor	Labor Groß-Versuchs. 2	Labor	Labor	Labor	BVH Gram BS1C RL	BVH Gram BS1C OPT
Bindemittel kg/m ³	320	320	320	320	320	320	320	350	340
Zement kg/m ³								280	220
AHWZ %	13	18	35	48	18	35	35	20	35
Gesteinsk. Zement Lieferung	West 1 1	West 1 2	West 1 3	West 1 4	Ost 1 5	Ost 1 5	West 2 5	Ost 2 6	Ost 2 6
Druckfestigkeit [N/mm²]									
1d	17,5	14,5		7,3		9,2	11,3		
3d	28,8	26,2	15,8	16		13,9	17,7		
7d	33,2	47,3	20,6	21		17,1	20,7	41,5	37
28d	42,2	59,8	32,7	33,3	31,7	27,4	32,6	56,3	56,1
56d	46,3	64,3		42		30,6	36,8	60	62
90d	49,3	63		44,5					
330d (Bohrkern)				46,8					
zentrische Zugfestigkeit [N/mm²] (0,85*Spaltzugfestigkeit)									
1d	1,5	1,8		0,7		0,8			
3d	2,4	2,7	1,8	1,5	1,9	1,6	1,6	2,4	2,3
7d	2,6	3,2	2,5	1,9	2,2	1,8	2,1	3,4	3,1
28d	3,2	4	3	2,8		2,3	2,5	4,2	3,9
330d (Bohrkern)				3,5					
E-Modul [kN/mm²]									
3d	29,5	31,5	25,9	25,3	25	23,5	23,5	29	28
7d	33,5	34,5	29,2	28	27	25	25	31	31
28d	35,8	36,5	33,5	34,1	33	29	29,5	35	35
56d	34			34,5					
330d (Bohrkern)				42,5					
Adiabatische Temperaturerhöhung [K]									
1d	34	22	20	14	22	19	19		
3d	38	31	30	24	31	29	29		
Gesamt	40	34	34	35	34	32	32		
Temperaturerhöhung nach ONR 23303									
	19,5	15,8		9,8	15,8	12,5	14,4	19,6	15,9

AP 2: Langzeitmessungen in der Wand des Großversuches zur Feststellung der jahreszeitlichen Einflüsse

Eine ausführliche Beschreibung und Auswertung der Messdaten sind in Anhang AP 2-1 zu finden. Abbildung 1 zeigt auszugsweise die Auswertung der Verzerrungen der Langzeitmessung des Versuchskörpers „Obersamer – Lindlbauer“ der 2. Betonage.

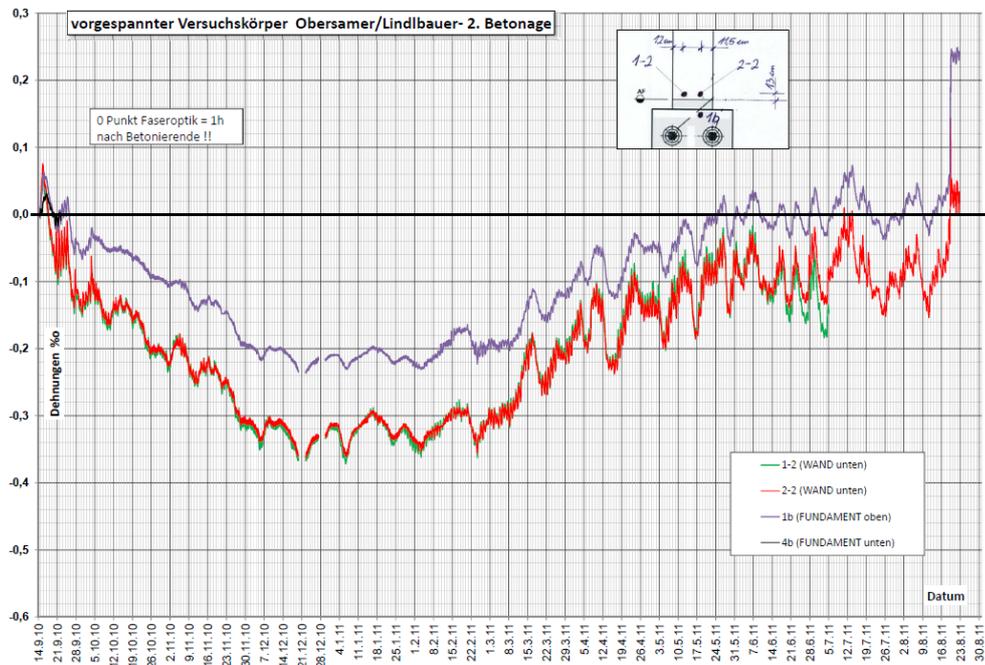


Abb. 1: Langzeitmessung: Betonage 2; Verzerrungen Versuchskörper „Obersamer – Lindlbauer“

Tabelle 2: Vergleich der Temperaturen und Verzerrungen Versuchskörper „Obersamer – Lindlbauer“; Betonage 1 und 2

	Zeitintervall nach Betonage ca.	Wand unten				Fundament oben		Bemerkung
		F4		F2		VF1b		
		ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	
1. Betonage	0 - 19h (inkl. Nacht)	19,0	0,180	18,5		5,5	0,050	Erhärtung (Betonage bis max Temperatur)
	19h - 5d	-13,2	-0,195	-12,5		-3,0	-0,033	Abkühlung annähernd linearer Verlauf bis erster Tagesgang
	5d - 9 d	-6,9	-0,118	-7,3		-5,2	-0,052	Verlauf bis Entspannen
	Entspannen	0,0	0,090	0,0		0,0	0,105	
	Schneiden horizontal	0,6	-0,100	0,8		0,5	0,070	mit Sägeblatt
	Zeitintervall nach Betonage ca.	Wand unten				Fundament oben		Bemerkung
		1-2		2-2		VF1b		
		ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	ΔT [°C]	$\Delta \epsilon$ [‰]	
2. Betonage	0 - 1d 10h (inkl. Nacht)	7,7	0,060	8,3	0,075	5,0	0,020	Erhärtung (Betonage bis max Temperatur)
	1d 10h - 5,5 d	-9,2	-0,125	-10,3	-0,135	-3,3	-0,035	Abkühlung annähernd linearer Verlauf bis erster Tagesgang
	5,5d - 9d	-1,5	-0,025	-1,4	-0,020	0,3	-0,007	weiterer Verlauf bis Schneiden
	Schnitt vertikal	0,0	-	-0,1	-	-0,7	-	mit Seilsäge

Auswertung des Freischneidens

Im Zuge des zweiten Großversuches des Forschungsvorhabens wurde wie unter [4] beschrieben der Versuchskörper durch eine Seilsäge in 3 Versuchskörper getrennt. Im Bereich des alten Fundaments „Huber“ sowie im ca. 1m breiten Mittelstück wurde die Wand durch einen Horizontalschnitt vom Fundament getrennt. Im Bereich des vorgespannten Fundaments „Obersamer-Lindlbauer“ wurde auf diesen Horizontalschnitt verzichtet. Stattdessen wurde eine Langzeitmessung, sowohl der Temperatur als auch der Dehnungen (durch die FSO-Sensoren), durchgeführt. Festlegung der Zeitpunkte:

Tab. 3: Bezeichnung der Zeitpunkte

Zeitpunkt	Δ Zeit [d]	Datum	
t ₀	0	14.09.2010	Betonieren der Wände
t ₁	8	22.09.2010	Vertikalschnitte
t ₂	9	23.09.2010	Horizontalschnitt; Mittelstück, Fundament Huber
t ₃	9	23.09.2010	Beginn der Langzeitmessung – Obersamer-Lindlbauer
t ₄	330	19.08.2010	Entspannen der Litzen Horizontalschnitt; Obersamer-Lindlbauer
t ₅			Ende der Langzeitmessung

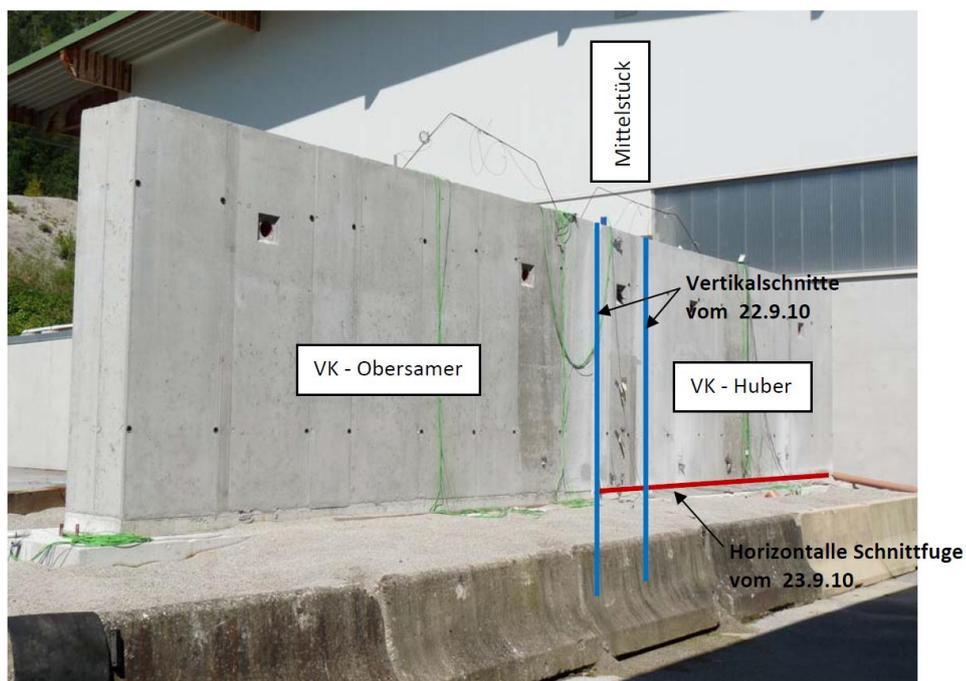


Abb. 2: Darstellung der Versuchskörper

Abbildung 2 zeigt die Darstellung der Versuchskörper vor dem Entspannen des Fundaments und dem Freischneiden der Versuchswand. Zur Erhöhung der Zwängungen bzw. zur realistischeren Darstellung wurden die Fundamente nach dem Freischneiden des Mittelstücks bzw. Wand Huber (23.09.2010) seitlich eingeschüttet.

Betonfestigkeiten

Zur Auswertung der zum Zeitpunkt des Durchschneidens vorherrschenden Betonfestigkeiten wurden Bohrkern entnommen. Die genauen Versuchsergebnisse sind in Anhang AP 1-1 ersichtlich. Laut der Bohrkernprüfung kommt es sowohl bei der Zugfestigkeits-, als auch bei der Druckfestigkeitsentwicklung zu praktisch keiner Nacherhärtung. Die Werte liegen hier annähernd im Bereich der 90 Tage Festigkeiten. Beim E-Modul kommt es in Folge der Nachhärtung jedoch zu einer beträchtlichen Steigerung von $\approx 34500 \text{ N/mm}^2$ nach 56 Tagen auf $\approx 42500 \text{ N/mm}^2$ nach 330 Tagen.

Lage der Sensoren

Um eine größere Anzahl an Messwerten für das Entspannen der Litzen sowie das Durchschneiden der Wand zu erhalten, wurden analog zur ersten Versuchsserie Dehnmessstreifen (DMS) appliziert. Diese Messeinrichtung eignet sich nicht für Langzeitmessungen und wurde daher erst am Vortag des Entspannens bzw. des Schneidens installiert.

Entspannen des Fundaments

Vorgespannt wurde nur der Fundamentquerschnitt des Versuchskörpers „Obersamer – Lindlbauer“ der ersten Versuchsserie. Im Anschluss wurden die Fundamente der ersten Versuchsserie um ein 2 m langes Zwischenstück ergänzt und durch eingebaute Steckeisen miteinander verbunden. Eine genaue Beschreibung ist in [4] zu finden. Nach dem Herstellen der Vertikal- bzw. Horizontalschnitte im September 2010 wurde mit der Langzeitmessung des noch nicht geschnittenen Versuchskörpers „Obersamer – Lindlbauer“ begonnen.



Abb.6: Entspannen des Fundaments

Entspannt man den Querschnitt aus Fundament und Wand, so werden die Druckspannungen im Fundament abgebaut. In der Wand entstehen jedoch Zugspannungen durch das Ablassen der Vorspannkraft. Diese stellen eine zusätzliche Belastung zu den bereits vorhandenen Zugspannungen in Folge Zwang dar. Das Entspannen erfolgte am 19.08.2011. Um den bereits bei Versuchsserie 2 festgestellten Einfluss der täglichen Temperaturschwankungen und direkten Sonneneinstrahlung auf

die Messergebnisse zu minimieren, wurde mit dem Entspannen der Litzen um 4:30 begonnen. Das Entspannen erfolgte Litze für Litze.

Um den Einfluss der Biegung im Grundriss durch einseitiges Entspannen zu minimieren, wurde nach den ersten 4 Litzen auf einer Seite und im Anschluss alle 7 Litzen die Seite des Entspannens gewechselt.

Auswertung der DMS

Abbildung 7 zeigt die gemessenen Dehnungen infolge des Entspannens des Fundaments. Das litzenweise Entspannen ist deutlich zu erkennen. Beim Entspannen der 32. Litze, dies entspricht ca. einer Laststufe von 5000 kN, zeigt sich ein deutlicher Sprung in den gemessenen Dehnungen. Dieser ist auf beiden Seiten des Versuchskörpers, sowohl in der Wand als auch im Fundament messbar.

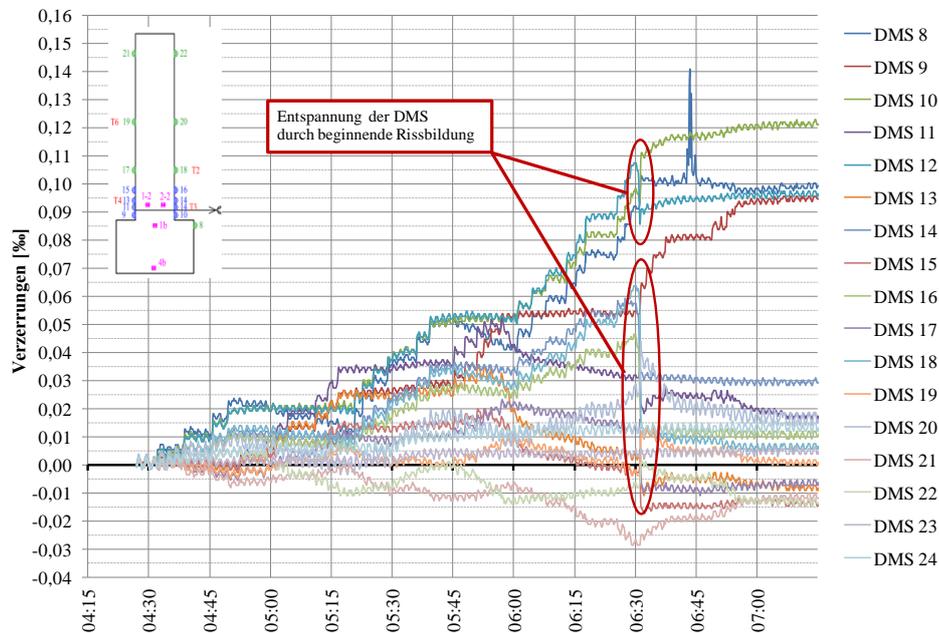


Abb.7: Dehnungen infolge Entspannen des Fundaments

Die Auswertung dieser sprunghaften Änderung der Verzerrungen (siehe Abbildung 8) ergibt eine Entspannung der DMS im unteren Bereich der Wand, sowie eine Dehnungszunahme im oberen Bereich der Wand und im Fundament. Diese Entspannung im unteren Bereich der Wand ist auf eine beginnende Rissbildung links oder rechts der DMS zurückzuführen. Dieses Entspannen im unteren Bereich der Wand führt zu einer Dehnungszunahme im Fundament sowie im oberen Bereich der Wand. Es zeigt sich somit eine Umlagerung der Kräfte in der Wand. Durch die noch aus der Vorspannung vorhandene Druckspannung im Fundament kann die Rissbildung nicht im Fundament stattfinden. Dies zeigt sich auch bei der Auswertung. Des Weiteren zeigt sich, dass die größte Entspannung im Bereich der DMS 17 und 18 gemessen wurde. Durch die Interaktion der Wand im dem Fundament über die Steckeisen bzw. der Betonfuge kann sich die Wand im unteren Bereich nicht frei bewegen. Die gemessenen Werte stimmen somit auch mit der Literatur überein, wonach die beginnende

Rissbildung in einer Höhe vom 1 bis 1,5 fachen der Dicke stattfindet. Die beginnende Rissbildung war mit freiem Auge, trotz regelmäßiger Befeuchtung der Oberfläche, nicht erkennbar.

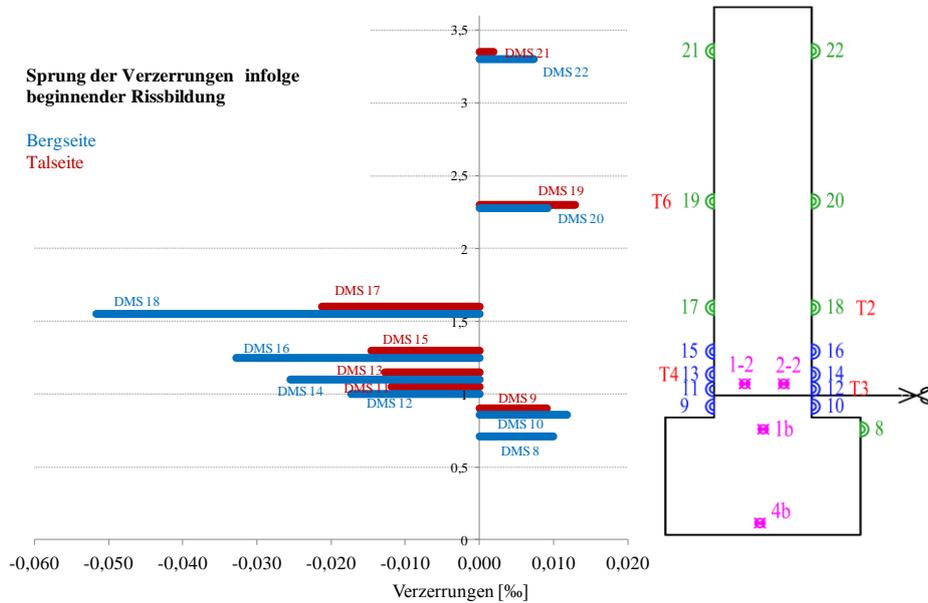


Abb.8:

Auswertung der sprunghaften Dehnungsänderung (Zeitpunkt ca.6:30)

1.1 Vergleich DMS / FSO

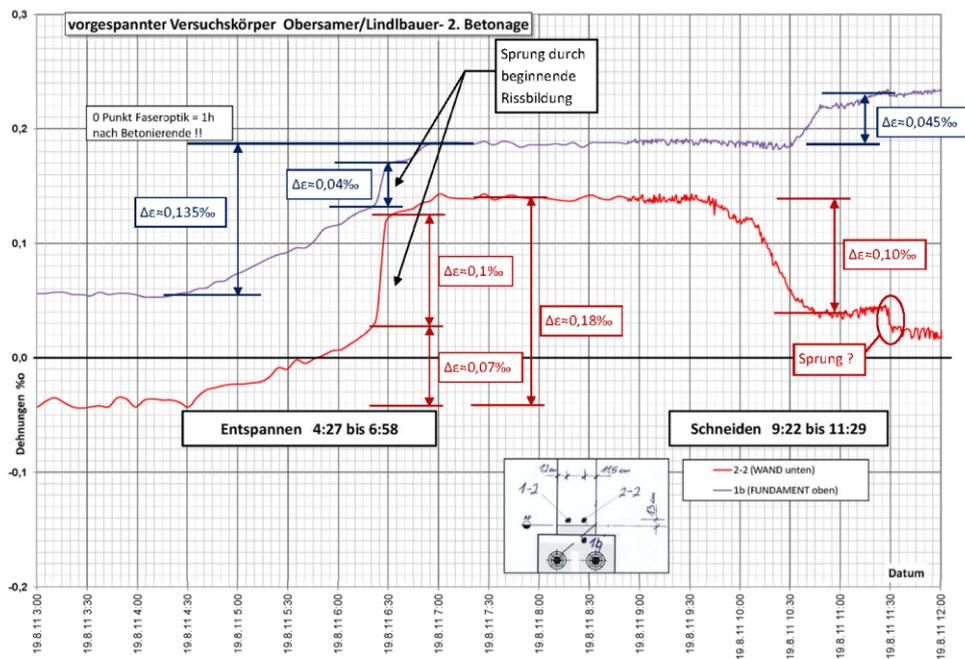


Abb.9: FSO Sensoren

Die Auswertung der faseroptischen Sensoren zum Zeitpunkt des Entspannens wurde zum Vergleich herangezogen. Der Sprung in den Verzerrungen (ca. 6:30 Uhr) zeigt sich hier ebenfalls. In der Wand (FSO-Sensor 2-2) zeigt sich jedoch im Vergleich zu den entsprechenden DMS (11 bis 15) ein Dehnungssprung. Dies deutet darauf hin, dass die beginnende Rissbildung im Bereich des Sensors stattgefunden hat.

In Folge der unterschiedlichen Messlängen lassen sich die Werte zw. DMS und FSO durch die beginnende Rissbildung nur bedingt miteinander vergleichen.

Auswertung der Rissbildung

Laut der Auswertung der entnommenen Bohrkerne betrug die Zugfestigkeit f_{ct} zum Zeitpunkt des Durchschneidens im Mittel $3,5\text{N/mm}^2$. Die durch das Entspannen eingeleitete Zugspannung beträgt bei 32 Litzen rechnerisch rund $2,9\text{N/mm}^2$ im unteren Bereich der Wand. Die laut FSO 2-2 gemessene Dehnung betrug $\Delta\varepsilon=0,07\%$. Mit einem E-Modul von 42.500N/mm^2 ergibt sich eine gemessene zusätzlich eingeleitete Zugspannung von $3,0\text{N/mm}^2$. Dies würde eine bereits vorhandene Zugspannung von rund $0,5-0,6\text{ N/mm}^2$ ergeben.

Schneiden der Wand

Aussagen über die vor dem Schneiden der Wand vorhandenen Zugspannungen über die Auswertung der Rückverformung durch das Schneiden der Wand, sind durch die Umlagerung der Kräfte durch die beginnende Rissbildung im unteren Bereich der Wand nicht möglich.

AP 3 : Anpassung der FE Rechenmodelle zur Berechnung von Zwangsspannungen aus abfließender Hydratationswärme:

Die FE Modellierung wurde mit dem Programm TEMPIRISS der Fa. Bilfinger Berger durchgeführt. Für die FE Berechnung wurden die Ergebnisse der Betonprüfungen (Tabelle 1) herangezogen. Als Grundlage für zukünftige FE Berechnungen sind die Rechenwerte gemäß Tabelle 3 zu bestimmen.

FE Nachrechnung des Großversuches 1

Detaillierte Angaben zur Berechnung der Zwangsspannungen, wie theoretische Grundlagen, thermomechanische Materialeigenschaften usw., sowie eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse sind in Anhang AP 3-1 zu finden.

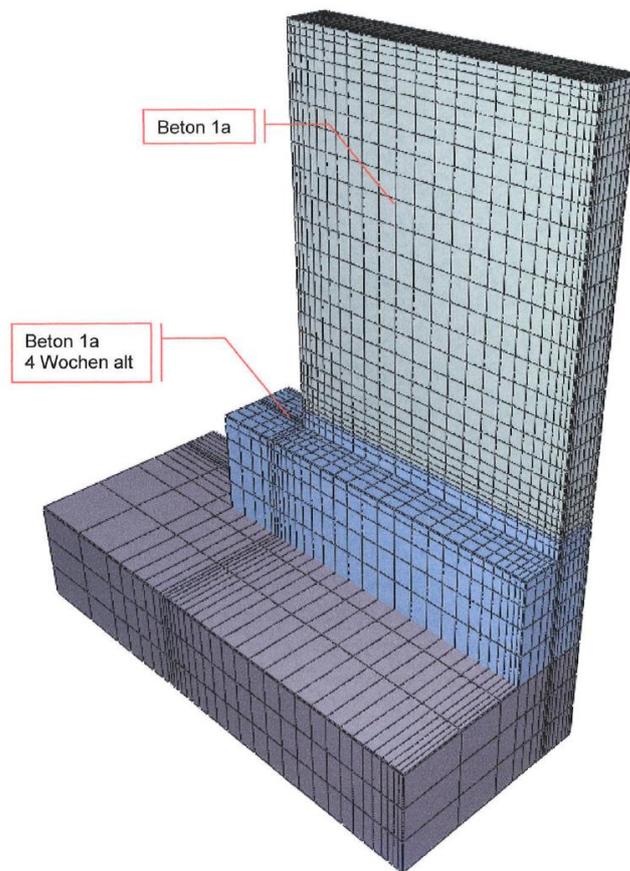


Abb. 10: modellierte Geometrie als symmetrisches Viertelsystem

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Ergebnisse

	Vergleich der Ergebnisse (Großversuch 1, Sulzau)		
	FE - TEMPRISS	Versuche	
		VK "Huber"	VK "Obersamer - Lindlbauer"
max. Bauteiltemperatur [°C]	50	50,5	48
Zeitpunkt der max. Temp . nach Betonierbeginn [h]	25	22	22
Hydratationswärme vollkommen abgeflossen [h]	192	168	168
max. Zwangsspannung [N/mm ²]	1,5	1,1	1,1

Tabelle 4 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der FE-Modellierung mittels TEMPRISS sowie der gemessenen Werte. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Zu den Ergebnissen der maximalen Zwangsspannungen bleibt festzuhalten, dass diese im Programm für den maximalen Querschnittspunkt ermittelt wurden. Die aus den Versuchen gemessenen Werte ergeben sich jedoch aus einer über den Querschnitt gemittelten Zwangsspannung in der Höhenlage der Sensoren. Diese Lage entspricht nicht exakt der Lage der rechnerisch maximalen Zwangsspannung.

AP 4: BVH Gramatneusiedl, erste praktische Umsetzung

Von Seiten der ÖBB wurde es im Zuge des BVH Gramatneusiedl ermöglicht, den optimierten Beton WW9 (Arbeitsbezeichnung BS1C OPT) in einer aufgehenden Wand einer Weißen Wanne einzubauen. Die hierzu durchgeführten betontechnologischen

Untersuchungen wurden bereits in AP 1 beschrieben. Sämtliche Messungen, sowohl auf der Baustelle als auch im Labor, wurden für den optimierten WW9 (BS1C OPT), sowie für den standardmäßig eingesetzten WW 8 (BS1C), der einem klassischem Weiße Wanne Beton nach Richtlinie entspricht, durchgeführt.

Darstellung der Situation:

Bei dem BVH Gramatneusiedl handelt es sich um eine Unterführung der ÖBB in Weißer Wannan Ausführung. Wie in Abbildung 11 dargestellt besteht, die Baugrubensicherung aus aufgelösten Bohrpfählen mit dazwischenliegenden DSV-Säulen. Die Bodenplatte ist über eingestemte Konsolen mit diesen fix verbunden. Die Wände werden direkt an Pfähle anbetoniert und können daher als vollkommen gezwängt angesehen werden. Diese sicherlich für Frührissbildung ungünstigen Randbedingungen wurden in der FE-Analyse berücksichtigt.



Abb. 11: BVH Gramatneusiedl

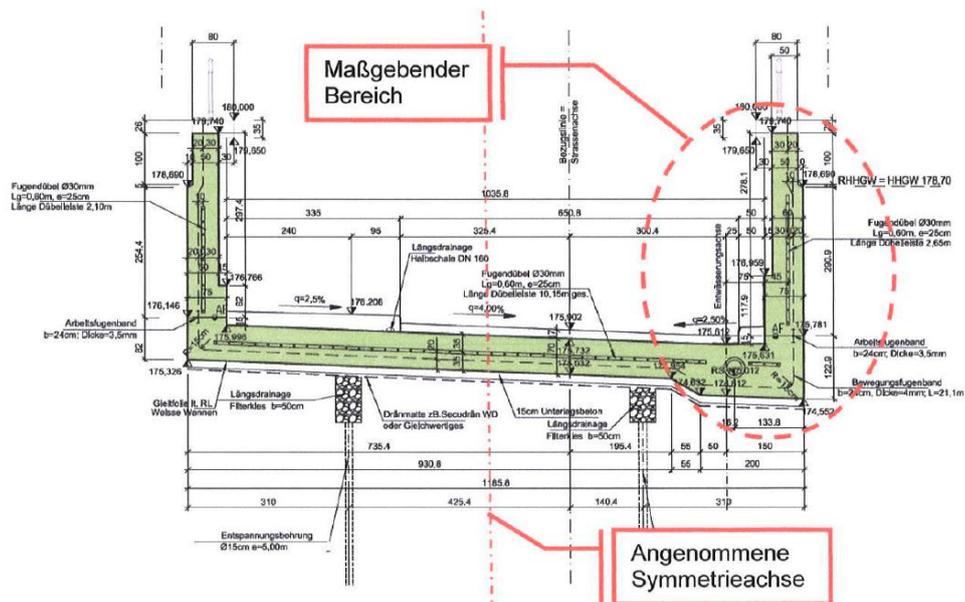


Abb. 12: Querschnittsdarstellung sowie modellierter Bereich

Die FE-Modellierung mittels TEMPRISS wurde ebenfalls für das BVH Gramatneusiedl durchgeführt. Um einen Vergleich der Betonsorten zu ermöglichen, wurden jedoch nicht nur die beiden zum Einsatz gekommenen Beton modelliert. Das Arbeitsprogramm umfasste die Betone WW1, WW2, WW4, WW6, WW7, WW8 und WW9. Detaillierte Ergebnisse sind in Anhang AP 4-1 zu finden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: Ergebnisse der FE Modellierung -Laborversuche und Baustellenbetone Gramatneusiedl (siehe auch Anhang AP 4-1)

Betonbez. Endbericht	WW1	WW2	WW3	WW4	WW5	WW6	WW7	WW8	WW9
Arbeitsbez. Betonsorte	1a	3	C1	2	A	B	C	A1	B1
	Labor Groß-Versuchs. 1	Labor	Labor	Labor Groß-Versuchs. 2	Labor	Labor	Labor	BVH Gram BS1C RL	BVH Gram BS1C OPT
Bindemittel kg/m ³	320	320	320	320	320	320	320	350	340
Zement kg/m ³								280	220
AHWZ %	13	18	35	48	18	35	35	20	35
Gesteinsk. Zement Lieferung	West 1	West 1	West 1	West 1	Ost 1	Ost 1	West 2	Ost 2	Ost 2
	1	2	3	4	5	5	5	6	6
maximale Temperatur FE-Modellierung									
	48	41	38	34	--	38	38	51	39
maximale Zwangsspannung [N/mm ²]									
	3,45	3,3	2,6	1,85	--	2,67	2,24	4,13	2,62
Rissindex Kern									
	1,12	0,85	0,94	0,71	--	1,21	0,91	1	0,69

Die Vorausberechnung der maximalen Bauteiltemperatur des BVH Gramatneusiedl erfolgte einerseits mit dem Programm Tempriss (siehe Tab. 5 bzw. Anhang AP 4-1), sowie mit dem Programm HEAT2 (durchgeführt von VÖZfi; siehe Anhang AP 1-2). Des Weiteren können diese Ergebnisse mit den Baustellbedingungen verglichen werden (siehe Anhang AP 1-2). Tabelle 6 liefert eine Gegenüberstellung der Ergebnisse. Es zeigt sich, dass die verwendeten Programme eine sehr gute Übereinstimmung der maximalen Bauteiltemperaturen erzielen.

Tabelle 6: max. Bauteiltemperatur: HEAT2 / TEMPRISS / Baustelle

	WW9 (BS1 OPT)			WW8 (BS1C)	
	HEAT 2	TEMPRISS	Baustelle	TEMPRISS	Baustelle
Frischbetontemperatur [°C]	21	22	22,4	22	21,2
Umgebungstemperatur [°C]	15,3	15-25	17 - 30	15-25	18-25
maximale Bauteiltemperatur [°C]	38,3	37,9	39,7	52,4	48,3
Betonalter beim Auftreten des Maximums [h]	23	33	33	24	37

Die Kontrolle der maximalen Bauteiltemperatur ermöglicht eine gute Kontrolle der für die Berechnung getroffenen Annahmen, infolge derer die maximalen Zwangsspannungen im Bauteil ermittelt werden. Tabelle 5 liefert einen Vergleich der maximalen Zwangsspannungen laut FE-Modellierung. Des Weiteren wird ein sogenannter Rissindex eingeführt. Dieser stellt das Verhältnis zwischen vorhandener Zwangsspannung und zugehöriger Zugfestigkeit des Betons dar und ist sicherlich eine Kennzahl für die Wahrscheinlichkeit einer Frührissbildung. Auch hier zeigt sich wiederum der positive Einfluss eines erhöhten AHWZ-Anteils.

Weitere Anmerkungen zum BVH Gramatneusiedl:

Das Bauwerk kann sicherlich als ein für Frührisssbildung ungünstiges Bauwerk (voller Zwang durch anbetonierte Wände an Bohrpfähle) angesehen werden. Das Betonieren der Wände erfolgte ab August 2011 und stellt infolge der sehr hohen Temperaturen ebenfalls ungünstige Verhältnisse dar, wobei festzuhalten bleibt, dass zum Zeitpunkt des Betonierens der untersuchten Wände bereits etwas günstigere Temperaturverhältnisse vorherrschten. Bis zum heutigen Zeitpunkt zeigen sich in beiden untersuchten Wänden, sowie im restlichen gesamten Bauwerk keinerlei Risse. Dieses Ergebnis konnte auch mit der FE-Modellierung nachgewiesen werden. Wobei der sogenannte Rissindex zwischen 1,0 bei WW8 (BSC1) sowie 0,69 bei WW9 (BSC OPT) liegt. Es bleibt somit festzuhalten, dass durch die Erhöhung des AHWZ Anteils eine Reduktion des Rissrisikos erzielt werden kann.

[1] Anhang AP 1-1; Bericht MVA Strass: AB 1228-4; 3 Seiten

[2] Anhang AP 1-2; Betontechnologische Untersuchungen Gramatneusiedl; VÖZFI; 32 Seiten

[2] Anhang AP 2-1; Beschreibung und Auswertung der Messdaten; 15 Seiten

[4] Anhang AP 6-2; Auswertung des Großversuches 2; Anhang zum Endbericht des Forschungsvorhabens Weisse – Wanne – West (1 Forschungsjahr)

[5] Anhang AP 3-1; FE – Modellierung Großversuche Sulzau; 28 Seiten

[6] Anhang AP 4-1; FE – Modellierung BVH Gramatneusiedl; 112 Seiten

2. Welche Ziele wurden erreicht

Die umfangreichen Betonuntersuchungen im Labor, im Großversuch und auf der ÖBB Baustelle Gramatneusiedl zeigen, dass für die Regelbetone BS1 von „Weißen Wannen“ eine Erhöhung des AHWZ-Anteils im Bindemittel von derzeit 20% auf 30 – 45% bei gleich bleibender oder auch reduzierter Bindemitteldosierung technologische, ökologische und wirtschaftliche Vorteile bei Einhaltung der geforderten Betoneigenschaften bringen kann.

Der Austausch von Zement durch Zusatzstoffe (AHWZ) aus Reststoffen wie Flugasche oder Hüttensand reduziert die Bindemittelkosten und den CO₂ - Anteil im Beton. Mit AHWZ-Anteilen von 30-45% im Bindemittel kann infolge der geringeren Wärmeentwicklung des Betons die maximale Bauteiltemperatur um bis zu 15K gesenkt und damit die Sicherheit gegen Rissbildung aus abfließender Hydratationswärme deutlich erhöht werden:

- Dieser Vorteil lässt für ungünstige Geometrie von Wänden (z.B. Wände an Bohrpfahlwände anbetoniert) auch bei ungünstigen Umgebungsbedingungen (z.B. hohe Sommertemperaturen) eine hohe Sicherheit gegen Rissbildung erwarten.

- Für günstige Geometrien von Wänden (z.B. freistehende Wände) könnte die geringere Wärmeentwicklung der Betone mit hohem AHWZ-Anteil durch eine Erhöhung der zulässigen Einbautemperatur um 2-3 K auf 24 bis maximal 25°C (Grenze für gute Verarbeitbarkeit) mit deutlich geringeren Kosten für die Frischbetonkühlung genützt werden. Wie schon in der ÖVBB-Richtlinie „Wasserundurchlässige Betonbauwerke-Weiße Wannen“ für Sohlebetone geregelt, müsste dafür in einem Betonkonzept der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Bauteiltemperatur von max. 45°C erbracht werden.
- Für günstige Geometrien erscheint auch eine Reduzierung der Zwangsbewehrung bzw. eine Ausführung nach dem nordeuropäischem Modell (Bauteile ohne Zwangsbewehrung) möglich. Dafür wäre der Nachweis eines niedrigen Rissindex (z.B. 0,8) in einer FE Modellierung unter Verwendung von praxisgerechten Rechenwerten, wie für das BVH Gramatneusiedl gezeigt, erforderlich.
- Die oben angeführten Vorteile lassen sich auf die wesentlich günstigere zwangungsfrei gelagerten Bodenplatten (Sauberkeitsschicht + PE Folien) übertragen.

Die FE-Modellierung der maximalen Bauteiltemperatur zeigt eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten. Dies stellt einen wesentlichen Punkt für die spätere Betrachtung von Bauwerken dar, da im Regelfall nicht die Zwangsspannungen sondern im Regelfall die Bauteiltemperatur gemessen werden kann. Somit stellt der Vergleich der Bauteiltemperatur infolge Hydratation aus Berechnung und Messung eine gute Kontrolle dar. In weiterer Folge ergibt sich aus der Berechnung eine Rissindex. Dieser stellt für die getroffenen Randbedingungen eine Maß für die Anfälligkeit auf Frührisbildung dar. Mit Hilfe dieser FE Analyse lassen sich somit jeweils die einzelnen Betonsorten mit den jeweiligen Randbedingungen vergleichen.

Folgende Laborkennwerte des Betons sind zu bestimmen und wie folgt als **Rechenwerte für die FE-Modellierung** anzuwenden:

1. Druckfestigkeit (gemäß ONR 23303, Pkt. 9.2., temperaturgesteuert)

1d, 3d, 7d, 28d, 56d
Rechenwert = Laborwert

2. Spaltzugfestigkeit (gemäß ONR 23303, Pkt. 9.4.; temperaturgesteuert)

1d, 3d, 7d, 28d
Rechenwert: Die einachsiale Zugfestigkeit wird aus $0,80 \times$ Spaltzugfestigkeit errechnet

3. Statischer E-Modul (gemäß ONR 23303, Pkt 9.7., temperaturgesteuert)

1d, 3d, 7d, 28d
Rechenwert: Wegen des Einflusses der unterschiedlichen Lagerung (Normlagerung unter Wasser, Bauwerk) wird aufgrund von Untersuchungen an Sperrbetonen der Rechenwert des statischen E-Moduls bis nach 3 Tagen mit 1,0 und ab 7 Tagen mit 1,1 x Laborwert eingesetzt

4. Schwinden (bestimmt in der Schwindrinne)

Verlauf bis 56d

Rechenwert: Wegen des starken Einflusses der Proben/Bauwerksgröße wird für Wände 60 cm der Rechenwert des Schwindens beginnend nach 24 Stunden mit 0,1 x Labor- Schwindwert eingesetzt.

5. Temperaturverlauf:

Temperaturverlauf gemäß Berechnung nach HEAT 2 oder vergleichbare Bauwerksmessungen

6. Wärmedehnungszahl:

Rechenwert: Laborbestimmung oder 9×10^{-6} für kalzitische Gesteinskörnungen
 11×10^{-6} für kristalline Gesteinskörnung

7. Thermische Kapazität: Rechenwert 2400 kJ(m³.K)

8. Thermische Leitfähigkeit: Rechenwert: 2,4 W/mK

9. Poisson`sche Zahl: Rechenwert 0,17

10. Kriechen, Relaxation :Relaxationsfaktor:0,8

3. Wirtschaftliche Verwertung

Im Wesentlichen stellen die unter Punkt 2 zusammengefassten erreichten Ziele auch die Wirtschaftliche Verwertung des Forschungsvorhabens dar.

Reduktion des CO₂ im Beton durch die Erhöhung des AHWZ-Anteils im Bindemittel.

Reduktion der Betonkosten durch die Erhöhung des AHWZ-Anteils im Bindemittel:
Einsparung durch die Veränderung der Bindemittelzusammensetzung – von ca. 5 €/m³.

Die Verringerung der Wärmeentwicklung in Betonen mit 30-40% AHWZ lässt eine Erhöhung der max. Einbautemperatur auf 25°C zu, bei der auch noch die einwandfreie Verarbeitbarkeit gewährleistet ist. Bei 25°C zulässiger Einbautemperatur ergeben sich im Betonwerk bei der Betonherstellung wesentliche Vorteile, weil dann in den meisten Fällen die einfach durchführbare Stickstoffkühlung des Zementes ausreichend sein wird und die zusätzliche, zeitaufwändige Stickstoffkühlung des Frischbetons im Fahrzeug entfällt. Für den Bauherrn bringt die Erhöhung der zulässigen Einbautemperatur mit der parallelen Erhöhung der Grenztemperatur die Ersparnis einer Verrechnung der Zusatzposition "Kühlung" in der Höhe von 20-25 €/m³ für 20 - 35 Tage in Abhängigkeit von der geografischen Lage und jahreszeitlichen Betonierung. Beispielsweise wäre in den Sommermonaten für einen 20m langen U-förmigen Weiße Wannenabschnitt eine Einsparung von 7.000 Euro möglich.

Ein weiteres Einsparungspotenzial liegt in der Reduzierung bzw. Entfall der Zwangsbewehrung für Frührisbildung. Vergleichsrechnungen für eines konventionelles „Weiße Wannen-Bauwerkes“ haben ergeben, dass der Wegfall einer risseverteilenden

Bewehrung zu einer 30%igen Reduktion der Gesamtbewehrung führt. Beispielsweise entspricht dies für einen 20m langen U-förmigen Weiße Wannenabschnitt einer Bewehrungseinsparung von ca. 12 to, bzw. 12.000 Euro. Die möglichen Einsparungen sind für jedes „Weiße Wannenbauwerk“ gesondert zu betrachten. Wobei die Einsparungen aus der reduzierten Bewehrung den Einsparungen durch die erhöhte Frischbetontemperatur gegenüberzustellen sind.

Abgesehen von den oben angeführten wirtschaftlichen Vorteilen ergeben sich durch eine Reduktion der Bewehrung auch Vorteile beim Einbau des Betons. Hier sind vor allem das Verdichten des Betons sowie das Vermeiden von Kiesnestern, und damit verbundenen Fehlstellen von Weißen Wannen erwähnt.

4.Endabrechnung

Siehe Anlage