

Direkt befeuerte Dampfaushärtungstechnologie für Tunnelprojekt

■ Daniel Rafter, Kraft Curing Systems GmbH, Deutschland

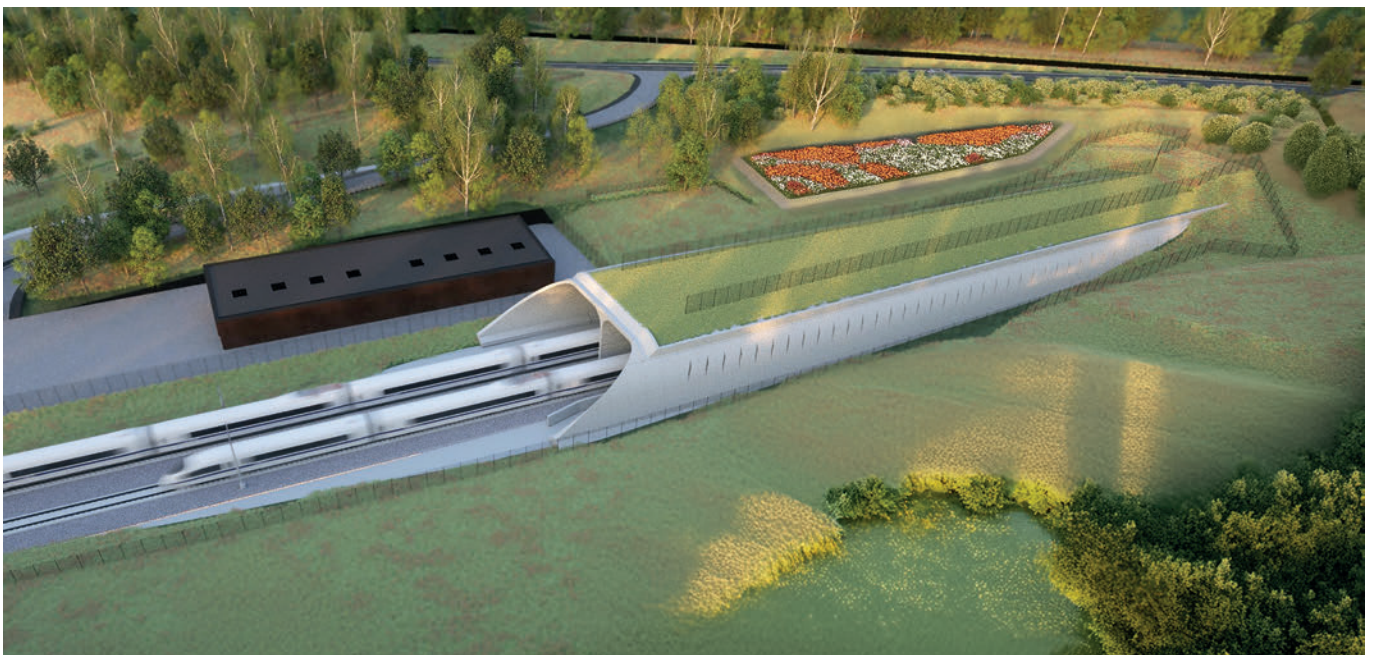
Nachdem Sateba UK den Auftrag zur Herstellung und Lieferung von drei Tunneln in offener Bauweise erhalten hatte, von denen der längste aus über 5.000 Einzelementen besteht, wandte sich das Unternehmen mit Sitz in Derbyshire an die Kraft Curing Systems GmbH, um eine maßgeschneiderte Lösung zu erhalten. Gefordert war, die Produktionszykluszeit durch eine beschleunigte Aushärtung der individuell geformten Betonfertigteiltunnelsegmente zu reduzieren. Ein Aushärtezyklus in zwei Schritten ermöglicht die unverzügliche Wiederverwendung der Schalungen, wobei zugleich die Festigkeitsentwicklung der Elemente über einen längeren Zeitraum hinweg kontrolliert werden kann, um den strengen Festigkeits- und Qualitätsstandards zu entsprechen.

Angesichts der engen Fristen konnte Sateba nicht warten, bis die maßgeschneiderte 150 m lange Produktionshalle fertiggestellt war, bevor die Betonierarbeiten begannen. Bis Ende des Jahres 2021 wurde daher ein provisorischer Be-

tonierbereich im Freien mit zehn Schalungen in einer Reihe fertiggestellt. Angesichts des bevorstehenden Winters wurde ein System benötigt, um die Zykluszeiten zu verkürzen und so die Betonierleistung aufrechtzuerhalten, ohne die Qualität der fertigen Elemente zu beeinträchtigen. Kraft schlug als beste Methode im Hinblick auf Effektivität und Kapitalkosten die Nutzung von direkt befeuertem Dampf vor, der von dem bewährten Vapor-Generator von Kraft produziert wird. Dieser Dampf ist ein Gemisch aus Dampf, Verbrennungsprodukten und heißer Luft – eine sehr gute Mischung für die Aushärtung von Betonprodukten. Ohne Abgasabzug kann praktisch die gesamte im Verbrennungsprozess des Vapor-Generators erzeugte Wärmeenergie zum Aushärten genutzt werden. Das ist grüner Dampf für grüne Tunnel.

Projektüberblick

Nachdem die Schalungen im provisorischen Betonierbereich in Position gebracht worden waren, konnte das Team



Nach der Errichtung der grünen Tunnel wird der Erdaushub wieder aufgefüllt, und es werden neue Bäume und Sträucher gepflanzt, um den Tunnel in die umgebende Landschaft zu integrieren und die Verbindung zwischen den Lebensräumen der Wildtiere entlang seines Verlaufs zu fördern.

von Kraft mit der mechanischen und elektrischen Installation beginnen. Trotz einer verkürzten Vorlaufzeit war Kraft in der Lage, eine komplette Lösung zur Dampfaushärtung mit einem containerisierten Vapor-Generator, einem System aus Dampfverteilungsrohren unter den Schalungen, einziehbaren Aushärtegehäusen sowie dem innovativen AutoCure-System zur Steuerung des Aushärtezyklus zu liefern. Die Anforderungen des Endkunden erforderten einen primären Aushärtezyklus, um ein schnelles Entschalen zu ermöglichen, sowie einen sekundären Aushärtezyklus, um die Reifebedingungen zu steuern und eine stabile, warme und feuchte Umgebung für bis zu 48 Stunden zu schaffen und eine kontrollierte Abkühlphase zu gewährleisten. Der primäre Aushärtezyklus konnte mit von Kraft gelieferten Aushärteplanen erfolgen, wobei das noch in der Form befindliche Element durch die latente Kondensationswärme indirekt durch die Metallform erwärmt wird. Die Aushärteanforderungen an den primären Aushärtezyklus sahen 50-55 Grad Celsius für etwa 12 Stunden vor, mit einem Temperaturanstieg von 10-15 Grad Celsius pro Stunde.

Nach Abschluss des primären Aushärtezyklus wird die Plane entfernt, die Form geteilt und das Element entschalt. Das noch heiße Element kann nun zur Nachbehandlung in den sekundären Aushärtebereich transportiert werden. Die Bedampfung sollte diesmal innerhalb der einziehbaren Gehäuse von Kraft erfolgen. Diese zeltartigen Konstruktionen lassen sich auf 30 % ihrer Gesamtlänge zusammenklappen, um das Einlegen der Betonelemente mit dem Brückenkran zu ermöglichen.

Die sekundäre Aushärtung benötigt etwa 40-48 Stunden, wiederum bei 50-55 Grad Celsius. Eine kontrollierte Abkühlungsphase dient dazu, die Temperatur der Elemente allmählich auf die Umgebungstemperatur abzusenken, ohne dass es zu einem Temperaturschock kommt. Nach Abschluss des sekundären Aushärtungsprozesses kann das fertige Element ins Lager gebracht werden.

Im Frühling des Jahres 2022 war die neue permanente Produktionsstätte so gut wie fertig. Neue Formen waren bereits geliefert worden und wurden in dem neuen Gebäude installiert. Als die Betonier- und Aushärtungsarbeiten vorübergehend pausierten, kehrte Kraft auf die Baustelle zurück, um mit dem Abbau des Betonierbereichs im Freien zu beginnen und transportierte alle Materialien den kurzen Weg zum neuen Gebäude. Die Dampfleitungen waren so konzipiert, dass für jeden Abschnitt der vorhandenen Rohre bereits eine bestimmte Position im neuen Gebäude vorgesehen war. Auch die Aushärtegehäuse wurden teilweise abgebaut und ins Gebäude verlegt. Im Rahmen dieser Phase 2 der Installation war eine Erweiterung des Aushärtesystems erforderlich. Zusätzlich zu den bereits in Phase 1 gelieferten Geräten und Materialien wurden zehn weitere Gehäuse sowie zusätzliche Dampfventile, Rohrleitungen und Sensoren geliefert. Kraft übernahm vertragsgemäß auch den Einbau und stellte vor Ort einen Montageleiter sowie etwa zehn Mechaniker und zwei Elektriker zur Verfügung, um die Umstellung zügig abzuschließen.

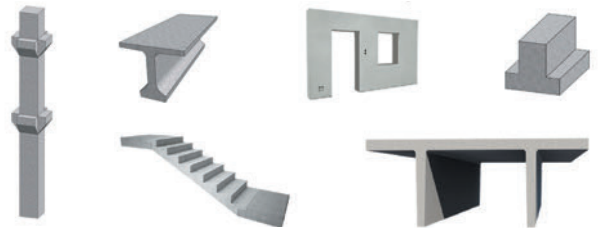


PROGRESS GROUP

Innovative Schalungssysteme

- Hohe Produktionsmenge
- Sehr gute Produktqualität
- Hoher Automatisierungsgrad

Tecnocom entwickelt und produziert Schalungs- und Fertigteilssysteme für den Wohn-, Industrie- und Straßenbau.



www.tecnocom.com





Der provisorische Betonierbereich im Freien erlaubte es dem Kunden, den Zeitplan des Projekts einzuhalten, während er auf die Fertigstellung der permanenten Produktionsstätte wartete.

Dampfverteilung und -steuerung

Egal, ob im Außen- oder Innenbereich betoniert wird – die Temperaturbeständigkeit spielt bei einem kontrollierten Aushärtensystem eine entscheidende Rolle. Die Kraft-Ingenieure mussten Hand in Hand mit dem Schalungshersteller und dem Kunden zusammenarbeiten, um die optimale Anordnung der Dampfverteilung zu gewährleisten. Da der Dampf heiß ist und tendenziell nach oben steigt, sollte er so nah wie möglich am Boden in die Aushärtegehäuse eingeleitet werden, um die Wärmeenergie bestmöglich zu nutzen können. Im ersten Betonierbereich sind mehrere Schalungsformen im Einsatz, für die jeweils eine individuelle Lösung gefunden



Eines der fünf einziehbaren Gehäuse (Zelte), die ursprünglich für den provisorischen Betonierbereich im Freien geliefert worden waren. Die Zelte konnten schnell abgebaut und nach der Fertigstellung der endgültigen Produktionsstätte dorthin transportiert werden. Weitere zehn Zelte wurden im Rahmen von Phase 2 geliefert.

werden musste, doch im Allgemeinen bestand das Konzept darin, mehrere kleinere Verteilerrohre zu verwenden, um den Dampf über die volle Länge der Form direkt unter die Konstruktion zu leiten. Das bedeutete auch, dass die Rohre den Betonierbetrieb nicht behindern dürfen.

Im Inneren der Aushärtegehäuse erfolgt die Dampfzufuhr über drei flexible Dampfschläuche von jeweils 2,5 Zoll, die in jeder beliebigen Position platziert werden können. Spezielle zylindrische Verteiler sorgen dafür, dass der Dampf vom Schlauch aus radial und horizontal über den Boden verteilt wird.

Trotz der großen Menge an Rohren, die für die Dampfverteilung in einer so großen Produktionsstätte mit über 40 einzelnen Verbrauchsstellen benötigt werden, ist das Rohrleitungsnetz kein dominierendes Merkmal im Produktionsbereich. Aufgrund der Planung des Produktionsgebäudes wurde die Mittellinie fast vollständig von Gitterstützen eingenommen. Dieser normalerweise tote Raum war ideal für die Unterbringung des gedämmten 8-Zoll-Hauptdampfsammelrohres geeignet. Mehrere Fahrzeugunterführungen oder Rohrbrücken wurden in die Rohrleitungen integriert, damit der Verkehr ungehindert von einer Gebäudehälfte in die andere fließen kann. Alle Dampfregelventile wurden an der Hauptleitung installiert – und damit weit entfernt vom Arbeitsbereich und jeglicher Kranaktivität. Die 6-Zoll-Abzweigrohre, die die einzelnen Heizzonen (Gehäuse oder Schalung) mit Dampf versorgen, wurden in Rohrgräben mit Schwerlast-Grabenabdeckungen verlegt. Kurzum, das komplette Dampfverteilersystem wurde so konzipiert, dass es den täglichen Betonierbetrieb so wenig wie möglich beeinträchtigt. Weitere wichtige Überlegungen galten der Rohrdämmung, die unerlässlich ist, um Wärmeverluste zu vermeiden, die zur Bildung von Kondensat und Dampfverlusten führen könnten. Das gesamte Rohrleitungssystem ist mit einer 80-mm-Schicht



Primäre Aushärtung in der endgültigen Produktionsstätte – Rohrgräben halten den Boden frei von Hindernissen. Der Dampf wird immer am Boden direkt unter der Form zugeführt, um eine optimale Temperaturbeständigkeit zu gewährleisten.



Die Bilder zeigen, wie sich die sorgfältig geplante Anordnung der Dampfleitungen in den Produktionsbereich einfügt, um den Betonierbetrieb nicht zu beeinträchtigen.

Mineralwolle isoliert und mit einer verzinkten Ummantelung verkleidet. Automatische Kondensatabläufe leiten eventuell auftretendes Kondensat aus der Dampfleitung ab.

In Verbindung mit einer guten Konstruktion der Dampfleitungen ist eine kontrollierte Methode der Dampfzufuhr erforderlich. Kraft belieferte Sateba UK mit einer umfassenden Software zur Steuerung der Aushärtung, dem AutoCure-System. Dieses und die SPS messen die Betontemperatur mit einem

PT100-Tempersensord, der direkt in die Schalung eingeschraubt wird. Der Sensor ragt weit genug in die Schalung hinein, um die Temperatur direkt an der Betonoberfläche zu messen. Der jeweilige Temperaturwert wird direkt von der SPS gelesen, die wiederum ein Steuersignal an die automatische Dampfventile sendet. Mit diesen kann die Dampfzufuhr in die jeweilige Schalung gestartet oder gestoppt werden, um so die Betontemperatur zu regulieren.

MADE IN JAPAN

Fertigteilschalungen & Zubehör

- 53 Jahre Erfahrung
- Export in 20 Länder
- auf Knopfdruck schrumpfender innerer Schalungskern
- Individuelle Sonderanfertigungen
- Wasserdicht



TOYOTA FORMS

Molds for Precast Concrete

Vertretung in Deutschland und Österreich:

ROBUSTA-GAUKEL GMBH&CO.KG

Brunnenstr. 36 | 71263 Weil der Stadt

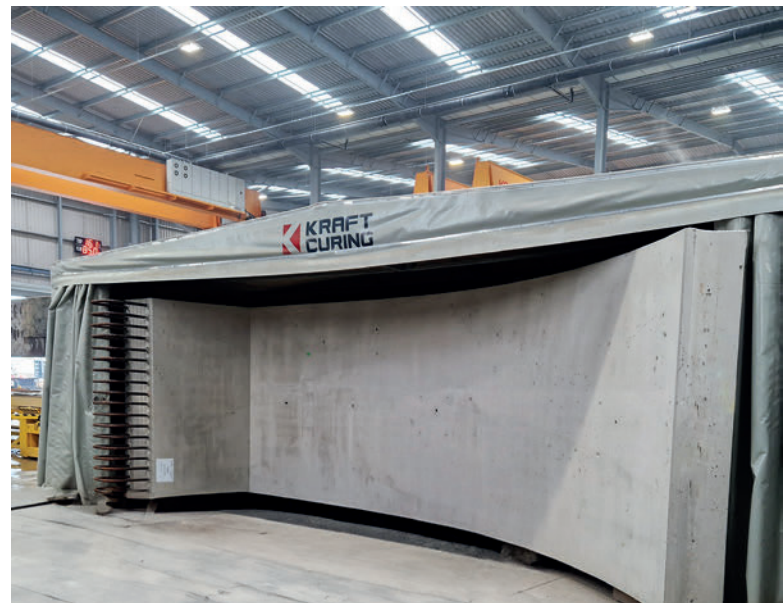
Tel.: +49 (0)7033 5371 10 | Fax: +49 (0)7033 5371 31

info@robusta-gaukel.com | www.robusta-gaukel.de





Einige der vielen einziehbaren Gehäuse im Sekundär-aushärtebereich. Jedes Gehäuse kann zwei Betonelemente aufnehmen.



Die Zelte reduzieren den Arbeitsaufwand und dienen zum schnellen Abdecken von zwei Elementen für den sekundären Aushärtezyklus.

Das AutoCure-Programm ist dafür ausgelegt, einer zuvor festgelegten Aushärtekurve zu folgen. Die Zeit- und Temperaturparameter können vom Kunden eingegeben werden, um die gewünschte Kurve zu erstellen. In der Industrie ist es üblich, dass sich die Kurve aus den folgenden Phasen zusammensetzt: Voreinstellen, Aufwärmen, Durchwärmen und kontrolliertes Abkühlen. Diese kontrollierte Methode gewährleistet die besten Ergebnisse ohne Beeinträchtigung der Qualität des Endprodukts. Ein nützliches Tool von Kraft für die laufende Qualitätssicherung ist das VaporWare-System. Dieses ist ein Datenaufzeichnungsgerät, das jeden individuellen Aushärtezyklus im PDF-Format erfassen und speichern kann. Es werden zwei Kopien des Diagramms erstellt, eine im manipulationssicheren PDF-Format, die normalerweise für den Endkunden bestimmt ist, und eine veränderbare Datei, die normalerweise für den internen Gebrauch des Herstellers bestimmt ist.

Einziehbares Gehäuse

Die einziehbaren Aushärtegehäuse (Zelte) haben sich für die Nutzung sowohl im Innen- als auch Außenbereich als ideale Lösung erwiesen und können zudem schnell abgebaut und versetzt werden. Abgesehen von einem planen Betonboden benötigen diese Konstruktionen kein spezielles Fundament. Die Zelte stellen eine flexible Option für den Kunden dar, da sie einfach versetzt oder entfernt werden können, so dass der Betonierbereich für unterschiedliche Projekte angepasst werden kann. Die durchdachte Faltkonstruktion ermöglicht das schnelle Abdecken von zwei Elementen in nur fünf Minuten, um sie für die Dampfaushärtung vorzubereiten. Die Konstruktion aus verzinktem Stahl und das vinylbeschichtete PVC-Material garantieren eine lange Nutzungsdauer in der heißen und feuchten Aushärteumgebung.

Containerisierter Dampferzeuger

Das Herzstück des Aushärtesystems bestand aus einem Niederdruck-Dampferzeuger des Typs KC 80-VS. Der erdgasbefeuerte 2.400-kWh-Dampferzeuger mit variabler Drehzahl wurde vorinstalliert in einem 20-Fuß-Schiffscontainer geliefert. Obwohl bei diesem Projekt Erdgas als Brennstoff gewählt



Die containerisierte Dampfaushärteeinheit mit Wasseraufbereitungssystem

wurde, ist der Betrieb auch mit Propan möglich. Der Container dient als sicherer, geschützter und staubfreier Anlagenraum für den Generator und die zugehörigen Komponenten. Der Container ist mit schalldämpfender Mineralwolle isoliert und mit Beleuchtung, Steckdosen, Belüftung, Wasseraufbereitungsanlage sowie einer elektrischen Heizung und einem Thermostat für den Frostschutz ausgestattet. Im Fall von Sateba wurde der Container außerhalb des Hauptbetonierbereiches aufgestellt; einige Kunden stellen ihn jedoch auch im Innenraum auf. Der Container ist mit Öffnungen versehen, durch die die Gas-, Wasser- und Dampfleitungen sowie das Stromkabel eingeführt und einfach angeschlossen werden können. Alle Systeme können ausgiebig im Werk von Kraft getestet werden, bevor sie an den Kunden geliefert werden. ■



Kraft Curing ermöglicht allen Lesern der BWI den kostenlosen Download dieses Artikels im pdf-Format. Besuchen Sie die Webseite www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing oder scannen Sie den QR-Code mit Ihrem Smartphone ein, um direkt auf diese Webseite zu gelangen.



WEITERE INFORMATIONEN

SATEBAUK=

Sateba UK
Littlewell Lane
Stanton-by-Dale, Ilkeston
Derbyshire, DE7 4QW, Großbritannien
www.sateba.uk

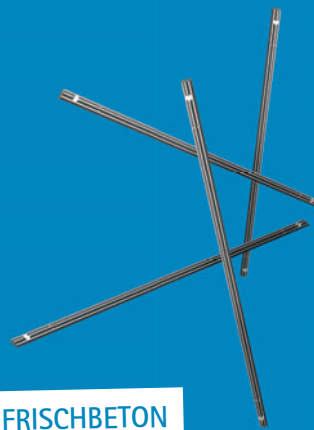


CONCRETE CURING SOLUTIONS - MADE IN GERMANY

Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2
49699 Lindern, Deutschland
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com
www.kraftcuring.com



FÜR FRISCHBETON
OHNE STAHLFASER-IGEL



STABILS Stahlfasern

Einfach effiziente Betonbauteile

Robustheit gegen Betonabplatzungen in den Ecken- und Kantenbereichen

Minimierung der Rissbreiten im Gebrauchszustand

Beschleunigte Produktionsprozesse durch Reduzierung konventioneller Bewehrung

Kosteneinsparung durch vereinfachte Produktionsprozesse



bilstein-steel fiber.de

 **BILSTEIN STEEL FIBER**

