

Fortschritt in der Betonnachbehandlung am Jagdbergtunnel Jena

Antje Kuhnert, T. Pfalz

Seit 2008 wird der Jagdbergtunnel zwischen den Anschlussstellen Magdala und Jena/Göschwitz als neuer Autobahnabschnitt der A4 Eisenach–Görlitz gebaut. Die beiden dreispurigen Tunnelröhren mit einer Länge von je 3,1 km werden voraussichtlich ab Ende 2012 fertiggestellt sein. Im folgenden Beitrag betrachten wir im Besonderen die Betonnachbehandlung.

Zwischen der Anschlussstelle Magdala und der Anschlussstelle Jena/Göschwitz wird seit 2008 der Jagdbergtunnel als neuer Autobahnabschnitt der A4 Eisenach–Görlitz gebaut. Die beiden dreispurigen Tunnelröhren mit einer Länge von je 3,1 km werden voraussichtlich ab Ende 2012 fertiggestellt werden. Die langen Steigungsstrecken führen bis dato täglich zu enormen Behinderungen des Verkehrsflusses. Daher wird mit dem Bau des Tunnels durch das Leutra tal eine starke Entlastung einher gehen.

Auf Grundlage der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) wurden die beiden Tunnelröhren von Westen und Osten her gleichzeitig in den Berg getrieben, um die Bauzeit möglichst kurz zu halten. Der beim maschinellen Tunnelvortrieb mit Bohrungen und Sprengungen entstehende Bau schutt wird aus dem Tunnel abtransportiert und in den Außenbereichen z. B. für Lärmschutzwälle eingebaut. Der Wandinnenaufbau des Tunnels erfolgt zweischalig, d. h. auf die Außenschale mit Spritzbeton und Anker folgt eine 40 bis 60 cm dicke Innenschale aus Stahlbeton.

Abgesehen von den Bereichen am Ost- und Westportal, wo die offene Bauweise ausgeführt wird, erfolgt die Betonierung im Tunnel in geschlossener Bauweise. In der Tunnelsohle werden Schienen verlegt, auf denen der Betonier-

Advances in concrete curing for the Jagdberg Tunnel, Jena

Antje Kuhnert, T. Pfalz

The Jagdberg Tunnel, a new section of the A4 Eisenach to Görlitz Highway located between the Magdala and Jena/Göschwitz junctions, has been under construction since 2008. Completion of the two three-lane tunnel bores, each 3.1 km in length, is expected as from early 2013. The following article focuses in particular on the curing of concrete

The Jagdberg Tunnel, a new section of the A4 Eisenach to Görlitz Highway located between the Magdala and Jena/Göschwitz junctions, has been under construction since 2008. Completion of the two three-lane tunnel bores, each 3.1 km in length, is expected as from early 2013. The long gradients otherwise encountered have in the past resulted in enormous daily hindrance to traffic, with the result that completion of the tunnel through the Leutra valley will provide extremely welcome relief.

The two bores have been headed into the rock from east and west simultaneously, using the New Austrian Tunnelling method (NATM), in order to keep project completion time as short as possible. The muck generated in mechanical tunnelling with drilling and blasting (D&B) is conveyed out of the tunnel and used on the surface for the

creation, for instance, of noise barriers. The tunnel will have a double-shell inner support lining, since an inner lining of reinforced concrete of 40 to 60 cm in thickness is to be applied on to the outer shotcrete/rock-bolt shell.

With the exception of the zones around the east and west portals, where cut-and-cover is to be used, concreting in the tunnel employs underground tunnelling methods. Rails, on which the concreting car and its back-up systems can enter, are laid on the floor of the tunnel. A

Dipl.-Ing. (FH) Antje Kuhnert,
Vertrieb Ost-/Norddeutschland,
Pfalz-Technik, Görlitz/Tauchritz/D
Dipl.-Ing. Thomas Pfalz,
Geschäftsführer, Pfalz-Technik,
Görlitz/Tauchritz/D

Dipl.-Ing. (FH) Antje Kuhnert,
Vertrieb Ost-/Norddeutschland,
Pfalz-Technik, Görlitz/Tauchritz/D
Dipl.-Ing. Thomas Pfalz,
Geschäftsführer, Pfalz-Technik,
Görlitz/Tauchritz/D

wagen und die ihm folgende Technik einfahren kann. Auf den Untergrund mit Spritzbeton wird eine Folie befestigt, danach folgt der Einbau der Bewehrung. Das Stahlgerüst wird mit Beton verfüllt, der in den darauf folgenden drei Tagen nachbehandelt werden muss und dabei unter Feuchtigkeitszufuhr langsam und kontrolliert erhärtet.

Durch chemische Reaktionen im Frischbeton werden Temperaturen von bis zu 50°C erzeugt, was zur verstärkten Verdunstung von Wasser und damit zur Bildung von Rissen führt. Aus Sicherheits- und Qualitätsgründen ist es unbedingt erforderlich, diesem Prozess aktiv entgegen zu wirken.

Als entsprechende Maßnahme sind an den Betonierwagen drei Nachbehandlungswagen angekoppelt, welche durch eine Art zweite Haut entlang des Frischbetons vor einer zu schnellen Verdunstung des Wassers schützen (Bild 1).

Die drei Nachbehandlungswagen sind jeweils durch aufblasbare Luftpolster räumlich voneinander getrennt und schaffen so schmale Lufträume zwischen Betonwand und Nachbehandlungswagen (Bild 2). Täglich rückt die Maschine um 10 m weiter, so dass jeder Betonabschnitt drei Tage nachbehandelt wird.

Bis zum Herbst 2009 gab es im Jagdbergtunnel eine vorläufige Befeuchtungseinrichtung, die auf den Außenseiten der Nachbehandlungswagen Wasser in den Luftraum einsprüht. Dies ist eine technisch sehr einfache Variante, welche nicht zum erwünschten Ergebnis geführt und auch einige störende Folgen mit sich gebracht hat. Die verwendeten Sprühdüsen produzierten sehr große Tropfen, welche ohne Rücksicht auf Menge, Sprühdauer willkürlich in den Luftraum eingetragen wurden.



1 Betonierwagen mit angekoppeltem Nachbehandlungswagen

1 Concreting car coupled to a curing car



2 Luftpolster schaffen Abgrenzung zwischen Frischbeton und Nachbehandlungswagen

2 Air cushions separate the green concrete and the curing car

Durch den Wasserstrahl gab es oft oberflächliche Beschädigungen und damit einhergehende aufwändige Nacharbeiten am Beton. Durch das Abfließen des Wassers aus den Nachbehandlungswagen wurden die

film is fixed to the shotcrete substrate, after which the reinforcement is installed. The steel framework is then filled with concrete, which requires curing for the following three days, setting slowly and under con-

trolled conditions with the addition of moisture.

Chemical reactions in the green concrete generate temperatures of up to 50°C, accelerating the evaporation of water and thus potentially causing cracks. It is vitally necessary, for both safety and quality reasons, to counteract this process proactively.

Three curing cars, which protect against excessively rapid evaporation of water by means of kind of second skin over the green concrete, are coupled to the concreting car as a corresponding countermeasure (Fig. 1).

The three curing cars are separated from each other by means of inflatable air cushions and thus create narrow air spaces between the concrete wall and themselves (Fig. 2). This array advances 10 m every day, and each sector of the concrete is therefore cured for three days.

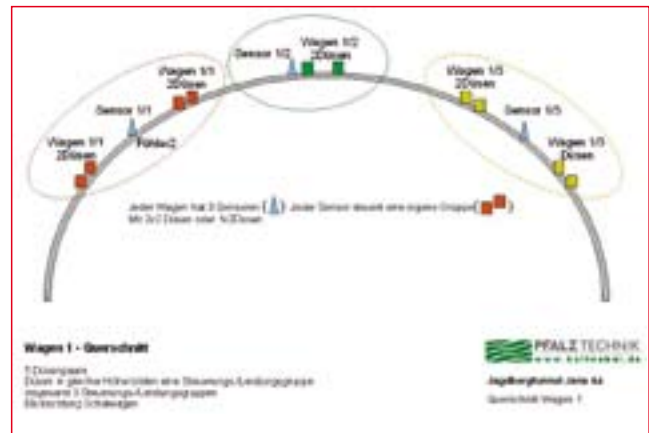
Until autumn 2009, a provisional humidification system, which sprayed water into the air gap on the exterior sides of the curing cars, was in use in the Jagdberg Tunnel. This, however, was an extremely basic technical arrangement which failed to achieve the desired results and, indeed, also caused a number of problematical consequences. The spray nozzles used, for example, generated extremely large drops, which were transmitted at random into the air gap with no control of spraying rate, direction or time. The jet of water frequently caused surface damage to the concrete, and thus necessitated time-consuming and costly repairs. Run-off of the water from the curing cars also greatly hindered other work in the tunnel, with mud forming on vehicle routes and water dripping from the roof.

The formation of puddles of water in the tunnel is also any-



3 Düsen vernebeln 1 bis 2 l Wasser pro Stunde

3 Nozzles atomise 1 to 2 l of water per hour



4 Schematische Düsenanordnung

4 Schematic nozzle arrangement

Arbeiten im Tunnel sehr beeinträchtigt, da Fahrwege verschlammten und Wasser von oben herunter tropfte.

Das Entstehen von Wasserlachen im Tunnel ist auch aus bautechnischer Sicht alles andere als erwünscht, da ein trockener Baugrund zwingende Voraussetzung ist. Trotz der relativ hohen Wassermenge, die jeweils eingebracht wird, konnte der gewünschte Feuchtigkeitsgrad von 100 % am Frischbeton kaum erreicht werden. Die Tropfen sind zu groß, um in der Umgebungsluft zu schweben, was eine effektive Luftbefeuchtung jedoch bewirken müsste. Die bis dahin erforderliche An- und Abschaltung per Hand hatte sich in der Praxis bereits als ungenügend erwiesen. Entweder wird ständig viel zu viel Wasser eingebracht oder gar keines.

Die Arge Tunnelbau Jena suchte folglich dringend nach einer technischen Lösung mit ganz klaren Vorgaben: automatischer Betrieb gesteuert durch Feuchtigkeitssensoren, Genauigkeit der Messwerte, elektronische Datenaufzeichnung zur Dokumentation.

Als Hersteller von Vernebelungstechnik und automatisierten Anlagen widmete sich Pfalz Technik aus Görlitz dieser technologischen Herausforderung.



5 Zentralsteuerung mit Datenlogger

5 Central control panel, showing data logger

thing but desirable from a civil-engineering viewpoint, since a dry subgrade is a vital precondition. In addition, it was scarcely possible to achieve the required humidity of 100 % on the green concrete, despite the relatively high amounts of water fed in each case. The drops of water were too large to remain suspended in the ambient air – this, however, is the vital precondition for effective air humidification. Manual activation and deactivation of the system as necessary up to this time had already proved to be inadequate in practice – either far too much water was fed continuously, or none at all.

The Arge Tunnelbau Jena consortium therefore undertook an urgent search for a better technical solution, with clearly defined requirements: automated operation, with control based on humidity sensors, accurate measured data, and electronic data-recording for documentation purposes.

Pfalz Technik, of Görlitz, a manufacturer of horticultural cold fogging technology and automated systems, directed its attention to this challenge. The nozzles selected produced an extremely fine suspensible water mist, which effectively raised air humidity to 100 % in an

Die eingesetzten Düsen produzieren unter Einsatz von Druckluft sehr feinen schwebfähigen Wassernebel, der in kürzester Zeit effektiv die Luftfeuchtigkeit bis 100 % erhöht und somit die eine praktikable Lösung ist, um die geforderten Werte zu erreichen (Bild 3). Die Düsen sind wie auch die Sensoren an den Außenseiten der Nachbehandlungswagen befestigt und nebeln in den abgeschlossenen Luftraum (Bild 4). Dies geschieht solange bis die gewünschte Luftfeuchtigkeit erreicht ist. Diese wird vor Inbetriebnahme an der Zentralsteuerung eingestellt.

Seitens der Bauleitung wurden folgende Zielwerte vorgegeben: von 90 bis 100 % Feuchtigkeit im ersten Nachbe-



6 Anzeige der Temperatur- und Feuchtwerte im Display des Datenloggers

6 Data logger display of temperature and humidity readings

handlungswagen, 70 bis 80 % im Zweiten und 50 bis 60 % im dritten Wagen. Daraus ergab

extremely short time when compressed air was applied, and thus constituted a practica-

ble solution for the achievement of the required values (Fig. 3). Like the sensors, these nozzles are fixed to the exterior sides of the curing cars, and emit a water mist into the closed air space (Fig. 4). This operation continues up to the attainment of the required air humidity, which can be selected on the central control panel before the system is started.

The site management specified the following humidity targets: 90 to 100 % humidity for the first curing car, 70 to 80 % for the second, and 50 to 60 % for the third. These targets necessitated a specific number of nozzles on each car. Only 10 l of water per hour per car are necessary in order to attain the target humidity in the shortest

sich eine bestimmte Anzahl an Düsen je Wagen. Da das Wasser in feinste Tröpfchen vernebelt wird, sind durchschnittlich nur 10 l Wasser pro Stunde und Wagen erforderlich, um die SOLL-Feuchtigkeit in kürzester Zeit zu erreichen und zu halten.

Die elektrische Steuerung der drei Nachbehandlungswagen erfolgt separat, d.h. es messen jeweils drei Sensoren die Feuchtigkeit und Temperatur. Gemäß den vorparametrierten Grenzwerten schalten die entsprechenden Düsengruppen zu oder ab, sodass diese Werte genau eingehalten werden können – und zwar vollautomatisch – ohne eine bedienende Person. Der integrierte Datenlogger zeigt die momentanen Messwerte auf und dokumentiert lückenlos die Aktivitäten der Befeuchtungsanlage (Bild 5 und 6).

Wegen der schwierigen klimatischen Bedingungen vor Ort sind spezielle Hochfeuchtesensoren eingesetzt worden, um zuverlässige Messwerte zu erhalten. Durch die enormen Temperaturunterschiede zwischen Frischbeton (~50 °C) und Umgebungstemperatur (~5 °C im Winter) müssen die Sensoren vor Störungen durch Kondenswasser geschützt sein. Handelsübliche Sensoren sind hingegen unter derartigen Bedingungen nicht einsetzbar.

Auf Grund der hohen Temperatur des Frischbetons kann kein kaltes Leitungswasser zur Befeuchtung verwendet werden, daher kommen Wasserboiler zum Einsatz. Somit ist eine nachteilige Beeinflussung auf die Betonhärtung ausgeschlossen. Auch hinsichtlich des hohen Wasserhärtegrades wird in Form einer Aufbereitungsanlage störenden Wartungsarbeiten in maximalem Umfang vorgebeugt.

Ein verantwortungsvoller Industriebereich wie der Tunnel-



7 Wassernebel zur Staubreduktion in Schutterbereichen

7 Water mist for dust reduction in muck clearing areas

bau kann sich nicht auf Schätzwerte verlassen, wenn es um Sicherheit und Qualitätssicherung bei der Bauausführung geht. Da die Vorgaben durch die Bauplanung immer strenger werden, sind hier kurzfristig genaue Regelungen zu erwarten.

Die Arge Tunnelbau A4 arbeitet heute in beiden Tunnelröhren mit einer automatisierten Befeuchtungsanlage aus dem Hause Pfalz Technik und gibt damit den neuen Stand der Technik in der Betonnachbehandlung vor – vollautomatische Technik mit genauen Messwerten und lückenloser Dokumentation.

Außerdem nutzt sie die Vielseitigkeit der Kaltnebeltechnik für weitere Einsatzbereiche im Tunnelbau. Bei Sprengungs- und Schutterarbeiten werden Hochleistungsdüsen eingesetzt, um Wasser zu vernebeln. Der entstehende Staub wird lokal gebunden und eine Ausbreitung im Tunnel gemindert. Dadurch ist die Baustelle in kürzester Zeit wieder betretbar und eine Brandgefahr durch Staubexplosion deutlich reduziert (Bild 7).



possible time and maintain it, since the water is atomised into ultra-fine droplets.

There is separate electrical control of the three curing cars, i.e., three sensors in each case measure humidity and temperature. The corresponding nozzle arrays switch in or out on the basis of the pre-parametered limits, making it possible to adhere precisely to these values – totally automatically, with no human intervention. The integrated data logger displays the instantaneous measured values and documents all activity by the curing system (Fig. 5 and 6).

Due to the difficult climatic conditions at this worksite, special high-humidity sensors have been used, in order to assure obtainment of reliable measured data. The enormous differences in temperature between the green concrete (~50 °C) and ambient temperature (~5 °C in winter) make it necessary to protect these sensors against malfunctions caused by condensed water. Commercially available sensors are not suitable for use under such conditions.

Due to the high temperature of the green concrete, cold mains water cannot be used for curing, and water boilers are therefore operated. Any detrimental effects on the setting of the concrete are therefore excluded. A water preparation installation also eliminates to the greatest extent possible disruptive servicing and maintenance work resulting from the high hardness of the available water.

A highly responsible industrial sector such as tunnel engineering cannot afford to rely on estimates where safety and quality assurance are concerned. Precise provisions may therefore be anticipated in the near future, since the requirements set by project planning are becoming ever more stringent.

The Arge Tunnelbau A4 consortium is now operating with an automated curing system from Pfalz Technik in both tunnel bores, and thus setting the latest state-of-the-art in concrete curing – fully automated technology backed up with precise measured data and all-in documentation.

This contractor is also exploiting the versatility of this cold-fogging technology for further tunnel engineering applications. High-performance nozzles are used for atomisation of water in the context of blasting and muck clearing work. The dust generated is locally captured, thus preventing its spread in the tunnel, assuring that the site can be re-entered in the shortest possible time, and significantly reducing the fire hazards resulting from a potential dust explosion (Fig. 7).

