

Umbau der Muiderbrücke bei Amsterdam mit CEM III/A 52,5 N

Von Werner Remarque, Dortmund, Hans de Vries und Nico Dollee, Utrecht/NL, sowie Frenklin den Haan, Amsterdam/NL

1 Einleitung

Die Verkehrslasten auf den europäischen Autobahnen sind seit dem Öffnen der innereuropäischen Grenzen stark angestiegen und werden sicherlich in Zukunft weiter zunehmen. Dies hat zur Folge, dass vor allem Brückenbauwerke, die im vergangenen Jahrhundert gebaut wurden, den heutigen Verkehrslasten nicht mehr gewachsen sind – sowohl vom Verkehrsaufkommen als auch von den Achslasten her. Vor allem der zunehmende Schwerlastverkehr kann die Lebensdauer von Brücken reduzieren [1].

Auch in den Niederlanden rechnet man für die kommenden Jahre mit einem starken Zuwachs bei den Verkehrslasten und auch bei der Anzahl der einzelnen Transporte [2]. Die deutliche Zunahme des Verkehrsaufkommens führt oftmals zu Staus, was sich besonders im täglichen Be-

rufsverkehr bemerkbar macht. Aus diesem Grunde ist eine Anpassung des Straßennetzes, vor allem des Autobahnnetzes, unumgänglich.

Wo es möglich ist, werden so genannte „Spitsstroken“ angelegt. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um den Seitenstreifen, der in Zeiten mit dem höchsten Verkehrsaufkommen als weitere Fahrspur für den Verkehr freigegeben wird, um das Risiko eines Staus zu mindern. Eine weitere Option ist das Anlegen einer „Wisselbaan“, einer Fahrspur, die in beide Richtungen befahrbar ist. Geöffnet wird sie in der Regel zur Hauptverkehrszeit in die dann am stärksten befahrene Richtung.

Bei bestehenden Brückenbauwerken ist die Einrichtung zusätzlicher Fahrbahnen jedoch oftmals nicht möglich, da sie nicht über die erforderliche Breite und Tragfähigkeit verfügen. In diesem Fall ist ein Neubau

oder eine Ertüchtigung des Brückenbauwerks notwendig.

Eine solche Baumaßnahme wurde an der Muiderbrücke durchgeführt, die zwischen Muiden und Amsterdam gelegen ist. Da eine detaillierte Beschreibung der Konstruktion und der Bauausführung bereits in [3], [4] und [5] veröffentlicht wurde, konzentriert sich dieser Beitrag in erster Linie auf die betontechnologischen Aspekte bei der Erstellung der Pylone.

2 Das Projekt

Die Muiderbrücke führt die Autobahn A 1 über den Amsterdam-Rhein-Kanal. Sie wurde zu Beginn der 1970er Jahre als Stahlträgerbrücke mit einer Spannweite von 300 m Länge erbaut (Bild 1) und verfügt über zwei mal drei Fahrspuren sowie eine Parallelbahn für den Ortsverkehr.

Ständige Verkehrsüberlastung und erste Ermüdungserscheinungen der Brücke machten es notwendig, die Konstruktion der Brücke zu überdenken. Aufgrund des geringen Alters der Brücke kam ein Neubau nicht in Frage. Da es sich bei der A1 in den Niederlanden um eine der Hauptverkehrsadern handelt, hätte dies darüber hinaus zu starke Beeinträchtigungen des Verkehrs mit sich gebracht. Also wurde der Entschluss gefasst, die notwendige Instandsetzung der Brücke mit einer Erweiterung zu verbinden.

Zur Einrichtung einer zusätzlichen Fahrspur, die als „Wisselbaan“ genutzt werden kann, war jedoch eine Verbreiterung und damit einhergehend eine Verstärkung der bestehenden Brückenkonstruktion nötig. Gleichzeitig sollte die Brücke angehoben werden, um dem wachsenden



Foto: Hollandia BV, Krimpen a/d IJssel, Niederlande

Bild 1: Der ursprüngliche Zustand der Muiderbrücke



Foto: Rijkswaterstaat

Bild 2: Montage des letzten Segments am zweiten Pylon

Binnenschiffahrtverkehr Rechnung zu tragen. Es wurde eine Lösung entwickelt, bei der es möglich war, die Brücke bei laufender Verkehrsnutzung umzubauen.

3 Konstruktion

Zur Entlastung der bestehenden Brückenpfeiler wurden zwei Pylone errichtet und dadurch die Brücke von einer Stahlträgerbrücke in eine Schrägseilbrücke umgebaut (**Bild 2**). Die Höhe jedes Pylonen liegt bei 70 m. Für einen schnelleren Baufortschritt wurden sie als Betonfertigteile hergestellt. Lediglich der Sockel der Pylone wurde vor Ort gefertigt.

Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da so der Verkehr am wenigsten beeinflusst wurde. Jeder Pylon besteht aus elf Betonfertigteilen, die im rund 100 km entfernten Dordrecht hergestellt und auf dem Wasserweg zur Baustelle transportiert wurden. Die Höhe jedes einzelnen Segments beträgt 5,10 m. In einer Höhe von 14 m wurden die Fertigteile auf die Sockel montiert. Im Segment 8 sind die Ankerplatten für die Tragseile montiert. Die Elemente



Foto: Rijkswaterstaat

Bild 3: Teilansicht der handgefertigten Innenschalung für ein Segment

9 bis 11 wurden aus architektonischen Gründen auf die Pylone gesetzt. Die Pylone verjüngen sich mit zunehmender Höhe, wodurch jedes

der elf Segmente individuell geformt ist. Die Formen waren aufgrund der mechanischen und statischen Anforderungen äußerst komplex (**Bild 3**).

4 Betontechnologische Aspekte

Die Anforderungen an den Beton wurden für dieses Projekt recht einfach beschrieben. Die dichte Anordnung der Bewehrung in den Fertigteilen der Pylone erforderte einen gut zu verarbeitenden Beton mit einem Größtkorn von 16 mm (Bild 4). Darüber hinaus sollte der Beton die Farbe „Weiß“ haben und im Alter von 56 Tagen der Festigkeitsklasse C53/65 (nach niederländischer Norm NEN 8005) entsprechen. Als weiteres Kriterium wurde die Expositionsklasse XF4 festgelegt. Diese Expositionsklasse kann in den Niederlanden in zwei Varianten ausgeführt werden:

- Variante 1: Mindestzementgehalt 300 kg/m³, maximaler w/z-Wert 0,50 und Einhaltung von Mindestluftgehalten (Verwendung von LP-Mittel)
- Variante 2: Mindestzementgehalt 320 kg/m³, maximaler w/z-Wert 0,45 ohne LP-Mittel

Die in Abhängigkeit von der Expositionsklasse einzuhaltenden Anforderungen sind in **Tafel 1** aufgeführt.



Foto: ABC Mortel

Bild 4: Fertige Bewehrung für ein Betonfertigteil

Expositionsklasse, Konsistenz und Festigkeit von Beton sind in der EN 206 und der jeweiligen landesspezifischen Ergänzung, in den Niederlanden die NEN 8005, geregelt. Die Farbe des Betons wird dem Auge des Betrachters, in diesem Falle des Architekten bzw. des Auftraggebers überlassen.

Die Farbe „Weiß“ gibt es in vielen Nuancen und vor allem bei Beton hängt das Ergebnis von vielen Faktoren ab. Zum einen sicherlich von dem eingesetzten Zement, zum anderen aber auch von den verwendeten Gesteinskörnungen sowie vom w/z-Wert.

Es liegt nahe, bei der Herstellung von weißem Beton auch weißen Zement zu verwenden. Bei Weißzement handelt es sich sehr oft um Portlandzement oder in manchen Fällen auch um Portland-Kompositzement bzw. Portland-Kalksteinzement. Die Verwendung eines solchen Zements wurde auch seitens des ausführenden Konsortiums zunächst für die Pylone der Muiderbrücke in Betracht gezogen. Hier wurden jedoch vom Auftraggeber Bedenken bezüglich der Dauerhaftigkeit hinsichtlich AKR (Alkali-Kieselsäure-Reaktion) und Chlorideindringwiderstand angemeldet. In diesem Punkt erschien die Verwendung eines Hochofenzements zielführender, da

Tafel 1: Expositionsklassen nach NEN 8005

Expositions-klasse	Höchstzulässiger w/z-Wert	Mindestzementgehalt	Mindestluftgehalt	Größtkorn der Gesteinskörnung
		kg/m ³	Vol.-%	mm
XF1	0,55	300	-	-
XF2	0,55	300	3,0	63
			3,5	31,5
			4,0	16
			5,0	8
XF2	0,45	300	-	-
XF3	0,50	300	-	-
XF4	0,50	300	3,0	63
			3,5	31,5
			4,0	16
			5,0	8
XF4	0,45	320	-	-

aufgrund des dichteren Zementsteingefüges von Betonen mit Hochofenzement weniger Fremdionen in den Beton eindringen können als bei Betonen mit Portland- bzw. Portlandkompositzementen (Bild 5). Der Gedanke, den weißen Beton mit Weißzement herzustellen, wurde daher schnell verworfen.

Als weitere Möglichkeit, die Pylone der Brücke weiß erscheinen zu lassen, wurde ein Anstrich mit Mineralfarbe in Erwägung gezogen. So wäre es möglich gewesen, den Beton durch einen Schutzanstrich vor Witterungseinflüssen zu schützen. Aus Kostengründen wurde aber auch dieser Gedanke schnell verworfen. Darüber hinaus müssten die so genannten „Schutzanstriche“ in regelmäßigen Abständen erneuert werden, was wiederum zur Beeinträchtigung des Verkehrs führen würde.

Aufgrund der oben angeführten Argumente wurden die Pylone schließlich aus Beton mit Hochofenzement gebaut. Die gewünschte Farbgebung des Betons wurde durch die zusätzliche Verwendung von Titandioxid als Farbpigment erzielt. Zum Einsatz kam ein Hochofenzement CEM III/A 52,5 N mit einem Hüttensandanteil von > 50 M.-%. Der fein gemahlene Hüttensand verleiht dem Zement eine sehr helle Farbe, was sich

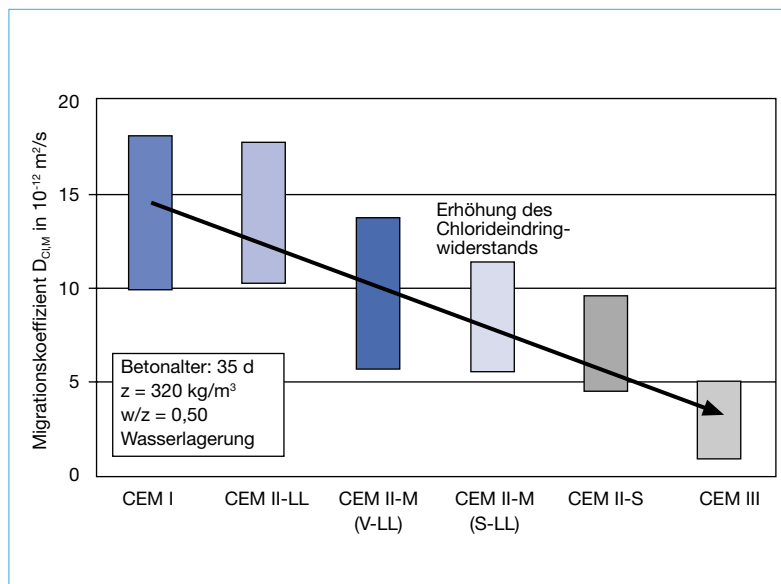


Bild 5: Einfluss der Zementart auf den Chlorideindringwiderstand, geprüft mittels Schnelltest [6]

auch in normalem Beton bereits bemerkbar macht. Die Zementeigenschaften des CEM III/A 52,5 N sind in Tafel 2 dargestellt.

In Vorversuchen wurden im Transportbetonwerk Farbmuster mit verschiedenen Dosierungen des Weißpigments hergestellt und dem Auftraggeber in Form von großformatigen Blöcken zur Begutachtung vorgelegt (Bild 6). Für das Bauvorhaben wurde letztendlich eine Dosierung von 6 M.-% Titandioxid bezogen auf den Zementgehalt des

Betons ausgewählt. Die Betonzusammensetzung ist in Tafel 3 aufgeführt, die Ergebnisse der Eignungsprüfung zeigt Tafel 4.

Sowohl der Beton für die Fertigteile als auch der Beton für den Sockel wurden jeweils in einem nahe gelegenen Transportbetonwerk hergestellt und mit Fahrmischern zum Bestimmungsort transportiert. Die werkseigene Produktionskontrolle des Betons erfolgte im Transportbetonwerk durch den jeweiligen Betontechnologen vor Ort. Die Trans-

Tafel 2: Kennwerte des Hochofenzements CEM III/A 52,5 N, Jahresmittelwerte 2008

Zementeigenschaft		Eigenüberwachung CEM III/A 52,5 N (Mittelwerte 2008)
Wasseranspruch	%	34
Erstarrungsbeginn	min	220
Spez. Oberfläche (Blaine)	cm ² /g	5.900
Hüttensandgehalt	%	52
Na ₂ O-Äquivalent	M.-%	0,79
Druckfestigkeit nach		
2 Tagen	N/mm ²	24
7 Tagen	N/mm ²	45
28 Tagen	N/mm ²	68



Bild 6: Herstellung der Probelöcke für den weißen Beton

portzeit zu den beiden Einbauorten betrug jeweils ca. 30 Minuten. Da es sich bei dem CEM III/A 52,5 N nicht um einen typischen Zement für die Anwendung im Transportbeton handelt, wurde die Konsistenz vor dem Einbau in die Fertigteile überprüft und gegebenenfalls mit einem Fließmittel auf ein Ausbreitmaß von ≥ 550 mm korrigiert, um Fehlstellen zu vermeiden. Die Be-

tonage der einzelnen Segmente für die Pylone erstreckte sich von März 2008 über den Sommer bis Dezember 2008. Das Fördern und Einbringen des Betons erfolgte mittels mobiler Betonpumpe, verdichtet wurde mit an der Schalung befestigten Außenrüttlern.

Durch die gute und sorgfältige Überwachung des Betons sowie eine

durchdachte Nachverdichtung sind alle Fertigteile für die Pylone auf Anhieb gelungen. Doch Betone mit Hochofenzement erfordern auch eine gute Nachbehandlung. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Optik des Betons und auch an die Dauerhaftigkeit der Pylone wurden die einzelnen Elemente für die Pylone vier Tage in der Schalung belassen.

Nach erfolgreicher Betonage und guter Nachbehandlung hatten Architekt und ausführendes Unternehmen erwartet, dass die Betonfertigteile in einem strahlenden Weiß leuchten würden, sobald die Schalung entfernt wird. Die erwartete Farbgebung wurde jedoch durch ein tiefes Blau übertönt (Bild 7). Bei dieser „Blaufärbung“ handelte es sich um eine bekannte temporäre Erscheinung [7], die sich im Laufe der Zeit zurückbildet und die eigentliche Farbe des Betons wieder erscheinen lässt.

Nach sieben Tagen wurden die Pylone in das vorgesehene „Zwischenlager“ umgesetzt. Die Montage erfolgte im Sommer 2009, also rund ein halbes Jahr nach Herstellung des letzten Segments für die Pylone.

Tafel 3: Betonzusammensetzung

Betonfestigkeitsklasse		C53/65
Expositionsklasse		XF4
Konsistenzklasse		F4
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM III/A 52,5 N
Zementgehalt z	kg/m ³	410
Wassergehalt w	kg/m ³	180
w/z-Wert		0,45
Gesteinskörnung		
Sand 0/4	kg/m ³	708
Splitt 4/22	kg/m ³	1.045
Zusatzstoff		
Art		Titandioxid
Gehalt	kg/m ³	24,6
Zusatzmittel		
Art		Fließmittel
Gehalt	kg/m ³	6,56

Tafel 4: Ergebnisse der Eignungsprüfung

Setzmaß s ₁₀	mm	200
Setzmaß s ₄₅	mm	160
Ausbreitmaß a ₁₀	mm	530
Ausbreitmaß a ₄₅	mm	510
Frischbetontemperatur	°C	21
Luftgehalt	Vol.-%	1,9
Frischbetonrohddichte	kg/dm ³	2,4
Druckfestigkeit nach		
3 Tagen	N/mm ²	40
7 Tagen	N/mm ²	52
28 Tagen	N/mm ²	74
56 Tagen	N/mm ²	82
56 Tagen*	N/mm ²	73

* Prüfkörper drei Tage in Form, danach Freilager

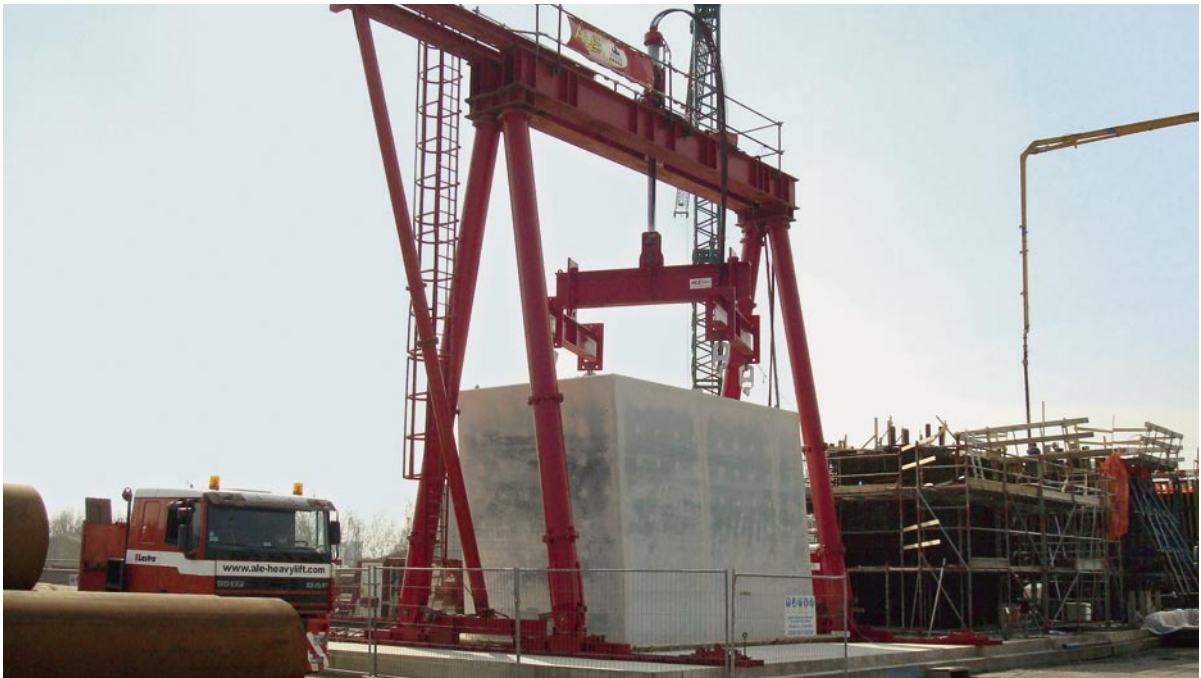


Foto: ABC Mortel

Bild 7: Ausgeschaltes Betonfertigteil mit blauer Oberfläche

Beim Montieren der einzelnen Fertigteile waren, bei Betrachtung aus nächster Nähe, hier und da noch leichte Blauverfärbungen zu erkennen. Mit etwas Abstand betrachtet strahlten die Pylone jedoch zu diesem Zeitpunkt bereits in einem schönen Weiß (Bild 2).

Insgesamt wurden rund 6.500 m³ Transportbeton beim Umbau der Muiderbrücke verarbeitet. Für das Ergebnis wurde dem ausführenden Konsortium im Rahmen des niederländischen Betontags 2009 der Betonpreis in der Kategorie Ausführung zugesprochen.

Bauschild

Bauherr / Tragwerksplanung	Rijkswaterstaat
Bauleitung / Bauausführung	CFE Beton en Waterbouw / Victor Buyck Steel Construction
Transportbeton	ABC Mortel
Fertigteile	CFE Beton en Waterbouw
Sicherheits- und Gesundheitschutzkoordination	Rijkswaterstaat / CFE Beton en Waterbouw / Viktor Buyck Steel Construction

5 Literatur

- [1] Ungehemmte Verkehrsentwicklung auf deutschen Straßen lässt Brücken schneller Altern. VDI Nachrichten, Ausgabe vom 7. August 2007
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat; Nota Toekomstverkenning vrachtverkeer over de weg, Eindrapport November 2007
- [3] Mortier, H. et al.: Tuiconstructie halveert overspanning, Cement (2010) H. 1
- [4] Mortier, H. et al.: Pylonen dragen Muiderbrug, Cement (2010) H. 2
- [5] Mortier, H. et al.: Precise vereist, Muiderbrug versterkt, verbreed, verhoogd, Cement (2010) H. 3
- [6] VDZ-Tätigkeitsbericht 2007-2009, Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf 2009
- [7] Ehrenberg, A.: Hüttensand, ein leistungsfähiger Baustoff mit Tradition und Zukunft, Beton-Informationen 46 (2006) H. 4