

# Pfahlgründung mit Fertigteil-Rammpfählen unter schwierigen Randbedingungen beim Ausbau der BAB A6 Heilbronn-Mannheim

Dipl.-Ing. U. Plohmann Centrum Pfähle GmbH

Dipl.-Ing. D. Maierhöfer Regierungspräsidium Karlsruhe

## 1. Einleitung

Im Zuge des sechs-spurigen Ausbaues der Bundesautobahn (BAB) A 6 in Baden-Württemberg auf ca. 40 km zwischen Heilbronn und dem Walldorfer Kreuz müssen mehrere Brückenbauwerke, u.a., die Überführungen der B 292 bei Sinsheim und der B 39 bei Kirchhardt verbreitert und ausgebaut werden. Die bestehenden Bauwerke müssen zum Teil erst abgebrochen werden um dann, beim Neubau der Verbreiterung einen gemeinsamen Überbau zu erhalten. Sämtliche Arbeiten müssen bei voller Aufrechterhaltung des fließenden Verkehrs bei dieser, als eine der wichtigsten Ost-West Verbindungen geltenden, Strassenverkehrsader ausgeführt werden.



Abbildung 1 Lageplan der Baustellen

Die Gesamtbaumaßnahme mit einem Auftragsvolumen von ca. 50 Mio. € wird von der Leonhard Weiss GmbH & Co. KG im Auftrag der Strassenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg unter der Bauoberaufsicht des Regierungspräsidiums Karlsruhe ausgeführt.

Die Bauwerke liegen in der Flußaue der Elsenz mit oberflächlich überwiegend bindigen Talauesedimenten, der tiefere, tragfähige Untergrund wird von mehr oder weniger verwitterten, stark wechselnden Tonmergelsteinen des „Gipskeupers“, des „Unteren Keupers“ und des „Oberen Muschelkalkes“ gebildet.

## **2. Die Aufgabe**

Die bestehenden Kunstbauten des Streckenabschnittes waren in den späten 60-iger Jahren gebaut und auf Ortbeton-Rammpfählen  $\varnothing$  51 cm tiefgegründet worden, die Entwurfsplanung für die Verbreiterung stammte aus den Jahren 2002 und 2003. Für die Vorbemessung der Pfahlgründung, geplant mit 39 Ortbetonpfählen (BW 502) gleichen Durchmessers, waren geschätzte Bodenkennwerte von in der Nähe gelegenen Bohrungen verwendet worden, für die Ausführungsplanung standen veränderte Angaben zum Baugrund aus neueren Untersuchungen zur Verfügung. Auch waren die seit der Entwurfsplanung eingetretenen Änderungen verschiedener Bauvorschriften, insbesondere der DIN 1054 2005 zu berücksichtigen. Bereits in einer sehr frühen Phase der Ausführungsplanung für BW 502 wurde klar, dass bestimmte Annahmen aus der Entwurfsplanung nicht einzuhalten waren, insbesondere das Rammen von Neubaupfählen  $\varnothing$  51 cm zwischen die Bestandspfähle war als besondere Schwierigkeit erkennbar. Im Nachfolgenden wird beispielhaft Achse 10 der Brücke BW 502 betrachtet, weil hier aufgrund der Örtlichkeit besonders schwierige Verhältnisse zu bewältigen waren.

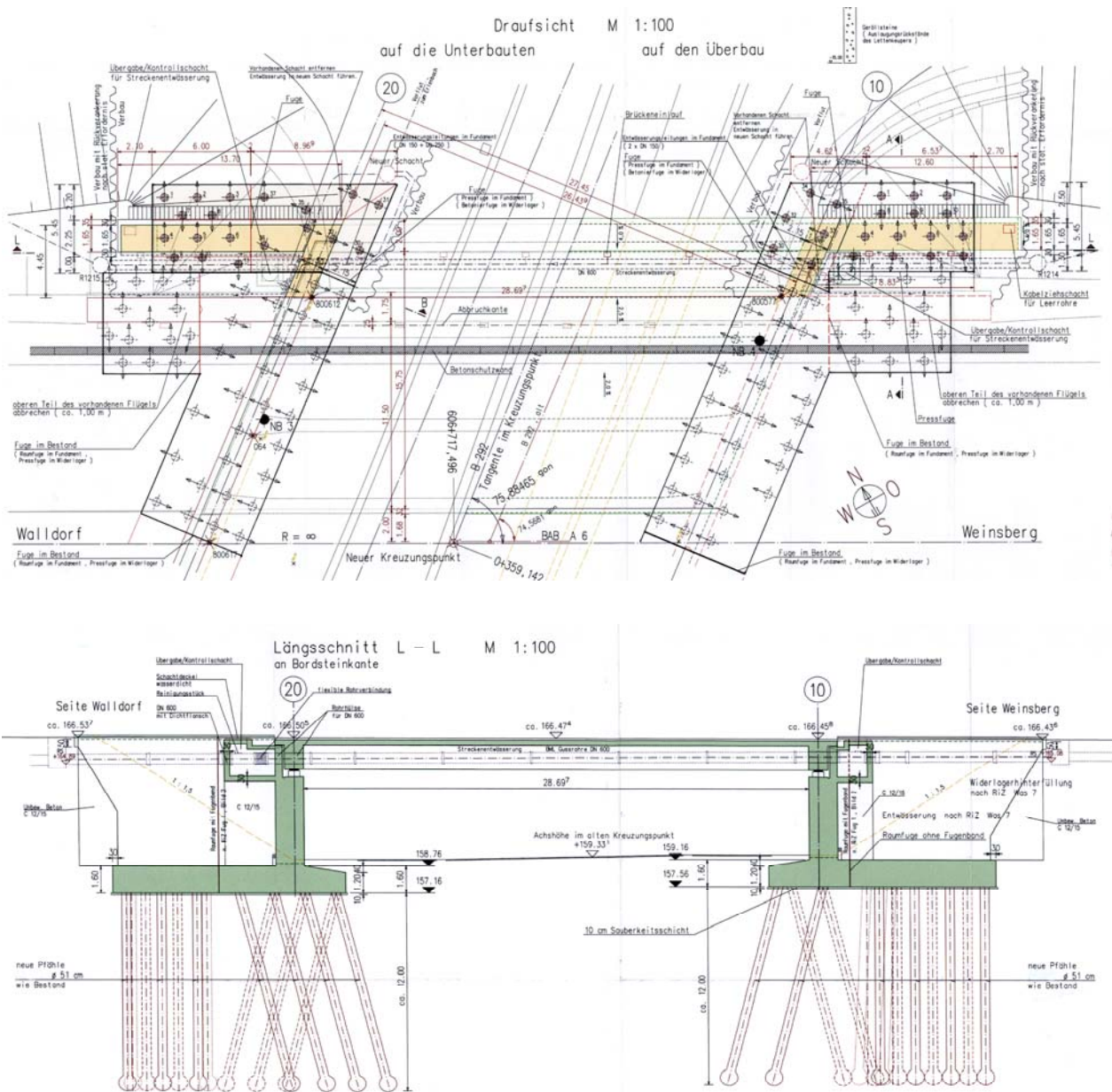


Abbildung 2 Draufsicht und Längsschnitt

Um die Gefahr der Kollision mit Bestandspfählen möglichst gering zu halten und um die vorhandenen Lücken optimal nutzen zu können, wurde für die Ausführung mit Fertigteil-Rammpfählen System CENTRUM Querschnitt 35x35 cm entschieden, aus statischen Gründen waren zunächst von einer Verdopplung der Pfahlanzahl ausgegangen. In Abb. 3 „Flügelquerschnitt A – A“ der Entwurfsplanung mit Ortbetonpfählen  $\varnothing 51$  cm ist teilweise das „Ineingreifen“ von bestehenden Pfählen des Bestandsflügels mit den neu herzustellenden Pfählen des Anbaues zu erkennen. Gemäß Pfahlplan waren für

BW 502 in jeder Achse 47 Stahlbetonpfähle 35x35 cm zu rammen, dafür wurde, wegen der engen Verhältnisse, eine besonders wendige Hydraulik-Ramme vom Typ Banut 700 ausgewählt (siehe auch Bild 8).

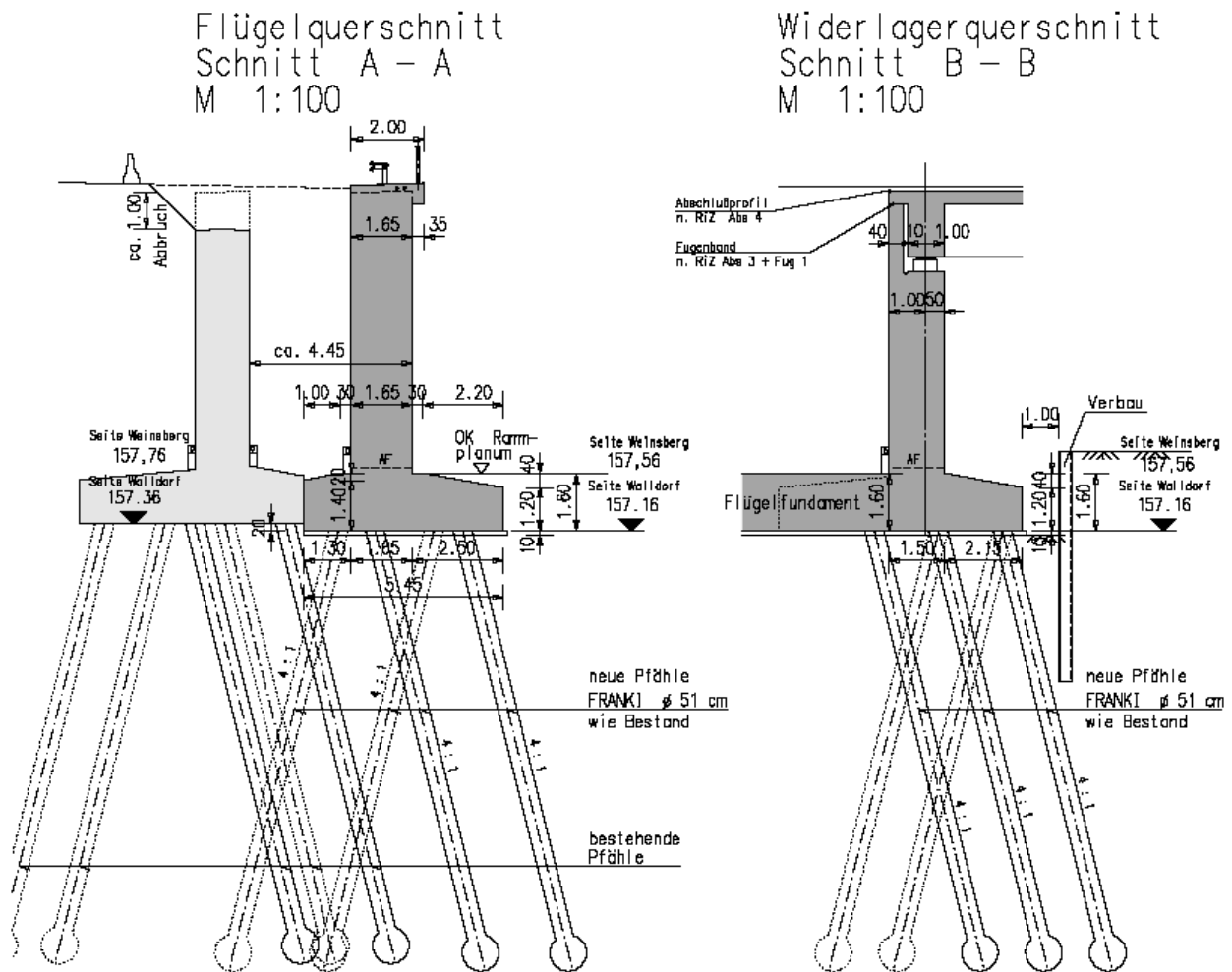


Abbildung 3 Flügelquerschnitt und Widerlagerquerschnitt (Entwurfsplanung)

### 3. Baugrundverhältnisse

Laut Statik waren vertikale Pfahllasten von ca. 600 KN/Pfahl abzutragen, Horizontallasten pro Achse in der Größenordnung von insgesamt 3000 KN wurden teilweise durch Bettung, zum größten Teil durch entsprechende Pfahneigungen aufgenommen.

Der anstehende Baugrund bei BW 502 stellte sich, gemäß dem nebenstehenden Bohrprofil, ab UK Fundament (ca. 2 m u. Gel.) folgendermaßen dar :

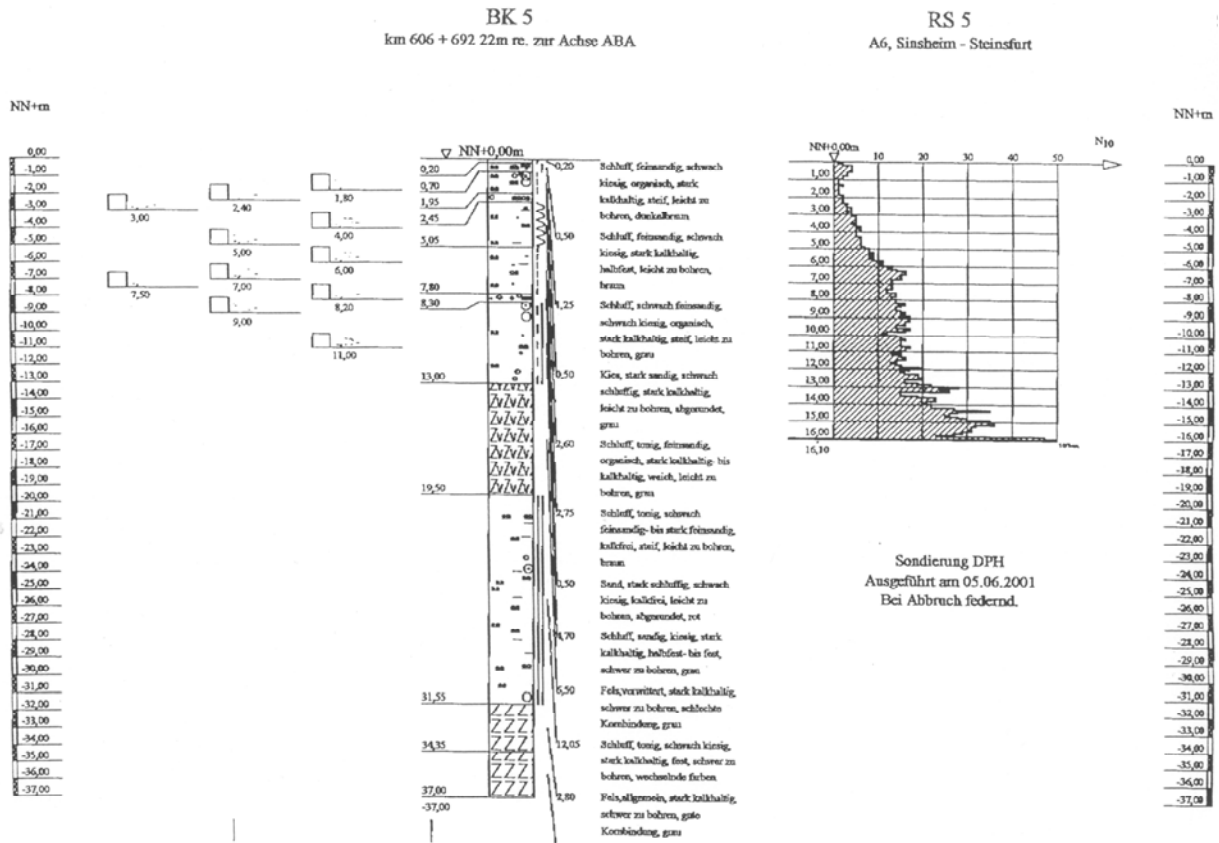


Abbildung 4 Bodenprofil BK 5 und Sondierung RS 5

### Baugrundbeschreibung unter UK Fundament

- bis ca. - 3 m Schluff, feinsandig, schwach kiesig (Auelehme)
- bis ca. - 6 m Schluff, tonig, feinsandig, kalkhaltig (Auelehme)
- bis ca. -11 m Schluff sandig, kiesig, stark kalkhaltig (Auelehme, umgelagert)
- darunter Tonmergel (Gipskeuper) oberflächlich verwittert, stark kalkhaltig

Die mehr oder weniger verwitterten Schichten des Gipskeuper werden als „veränderlich feste Gesteinsarten“ bezeichnet. Aufgrund der Ergebnisse von in der Nähe ausgeführten

Sondierungen mit der „Schweren Rammsonde“ (DPH/RS 5) waren (für BW 502) Pfahllängen von zwischen 14 m und 16 m zu erwarten, durch Probepfähle wurde eine einheitliche Pfahllänge von 15 m bestätigt.

#### **4. Problemstellung bei der Planung**

Pfahlstatik und Pfahlpläne wurden im Auftrag der CENTRUM PFÄHLE GmbH durch die Hamburger Ingenieurgesellschaft HCE mbH erstellt. Im Unterschied zu, normalerweise „im freien Feld“ stehenden Brückenkonstruktionen, stellten Planung und Berechnung der Pfahlanordnung insgesamt sowie Rammrichtung und Neigung der Pfähle unter Berücksichtigung der äußeren Umstände und Hindernisse bei diesem „Anbau“ eine besondere Herausforderung für die Konstrukteure dar.

So wurde zunächst für jede Achse ein Grundkonzept erstellt, dass die Aufnahme der Schnittkräfte auf UK Fundamente und deren Abtrag über die Pfähle in den tragfähigen Baugrund vorsah. Danach wurde überprüft, ob berechnete Pfahlquerschnitte, Pfahlneigungen und Neigungsrichtungen maschinentechnisch überhaupt möglich waren, oder ob aufgrund von äußeren Behinderungen z.B., durch Baugrubenverbau, Bestandspfähle oder Verkehrsführung auf den angrenzenden Strassen und der A 6 andere Lösungen gefunden werden mussten. Eine besondere Schwierigkeit ergab sich dabei durch die relative Empfindlichkeit der Pfahlkonstruktion gegen, selbst geringfügige Systemänderungen, die immer wieder neue Rechengänge zum Nachweis des statischen Gleichgewichts erforderlich machten. So musste bei BW 502, in einem Fall während der bereits angelaufenen Ausführungsarbeiten, die gesamte Planung der Achse 10 überarbeitet werden, weil im Bereich des bestehenden Widerlagers ein Leitungsverlauf nicht den Bestandsplänen entsprach und die betreffende Leitung kurzfristig nicht verlegt werden konnte.

Die auf diese Weise für insgesamt vier Bauwerksachsen der Brücken BW 502 und BW 515 letztendlich ermittelte und gerechnete Pfahlstellung ist, am Beispiel der Achse 10 von BW 502, dreidimensional in Fig. 1 dargestellt.

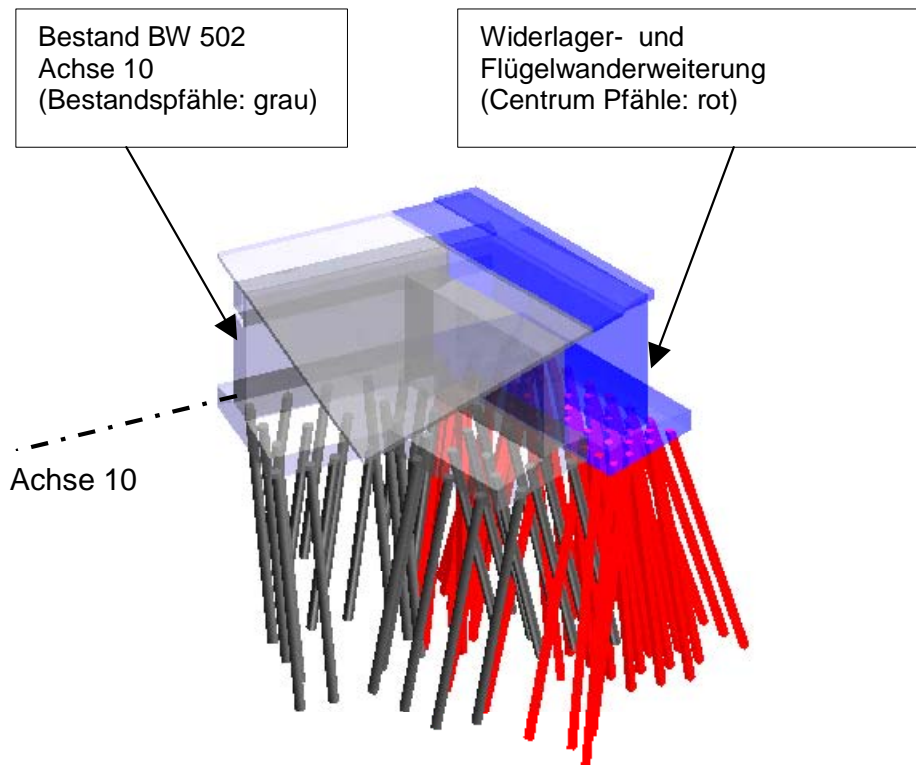


Fig. 1 3 – D Darstellung

## 5 . Ausführung

Für die Bauausführung der Pfahlgründungen stand pro Achse ein von der HCE Ingenieurgesellschaft mbH entwickelte und gezeichnete sowie vom Auftraggeber freigegebene Pfahlplan (Abb. 6 BW 502, Achse 10) als Grundlage zur Verfügung. In diesen Plan für die herzustellende Pfahlgründung wurden sowohl die neu zu rammenden, als auch die im betreffenden Abschnitt vorhandenen Bestandspfähle nach Durchmesser, Lage und Neigung mit ihrem jeweiligen Kopf- und Fußpunkt eingezeichnet. Ziel dieser Maßnahme war, beim eventuellen Antreffen von Bestandspfählen während der Ausführung schnell reagieren und alternative Möglichkeiten festlegen zu können.

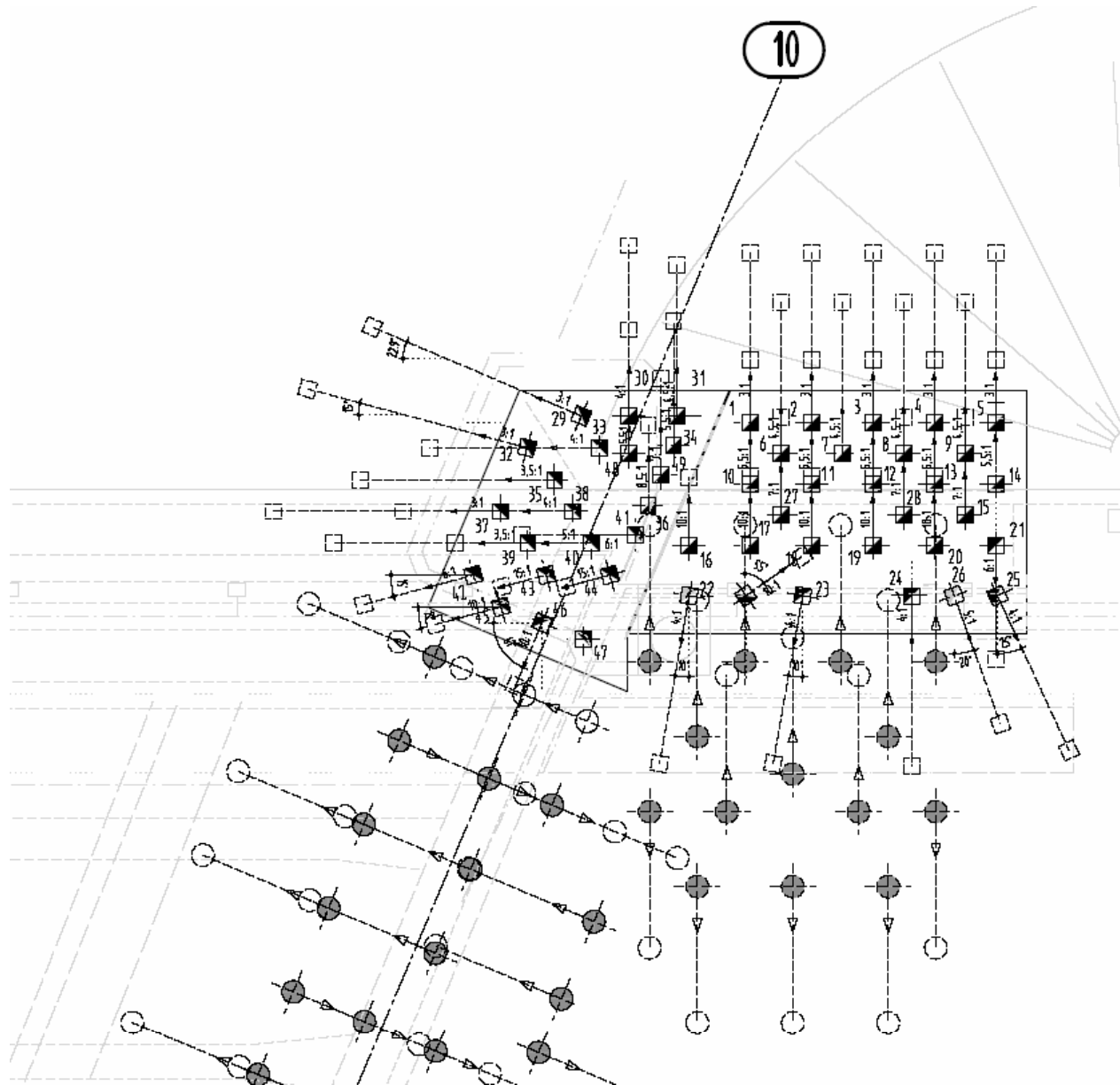


Abbildung 6 Auszug aus Pfahlplan am Beispiel BW 502 Achse 10

In Bild 7 sind die beengten Baustellenverhältnisse am Beispiel BW 502 gut zu erkennen, im Vordergrund setzt das Rammgerät einen Schrägfahl unmittelbar am Fundament der bestehenden Flügelwand, im Hintergrund ist die Baugrube der Achse 10 mit dem Verbau des Autobahndammes zu erkennen. Es ist ersichtlich, dass die Baugruben an drei Seiten durch Autobahn, Bundesstrasse B 292 und Spundwand des Autobahndammes begrenzt sind, nur eine offene Seite stand für Zufahrt, Pfahllieferung und eventuelle Wendemanöver zur Verfügung.



Die Abwicklung der gesamten Baumaßnahme erfolgt unter Aufrechterhaltung einer zwar eingeschränkten und geschwindigkeitsbegrenzten, aber dennoch 4 - spurigen Verkehrsführung auf der BAB A6 in Richtung Walldorfer Kreuz. Am oberen Bildrand ist eine LKW – Kolonne auf der rechten Fahrspur erkennbar, der Sicherheitsabstand zum fließenden Verkehr betrug mindestens 2 m (siehe auch Bild 9).



Bild 7 Gesamtansicht Erweiterung BW 502

Als ganz besonders kritisch bezüglich des auf der Autobahn unablässig fließenden Verkehrs erwies sich das Rammen von 5 Pfählen (Pfähle Nr. 11, 35, 36, 37 und 38) in Achse 20, die in der zweiten Pfahlreihe vom bestehenden Flügelfundament mit Neigungen von 5 : 1 bzw., 7,5 : 1 vom Bestand weg zu rammen waren. Bild 8 (Rammansatz von Pfahl Nr. 36) lässt erahnen, mit welcher Konzentration im Zusammenspiel zwischen Rammfahrer und Handmann gearbeitet werden musste, um jegliche Gefährdung der vorbeifahrenden Verkehrsteilnehmer (Im Bild ist ein vorbeifahrender Reisebus) zu vermeiden. Trotz des jederzeit eingehaltenen Sicherheitsabstandes zum Fahrbahnrand

der A 6 war zumindest solange größte Vorsicht geboten, bis sich Pfahlkopf und der immerhin ca. 5 m hohe und 6 to schwere Rammbar unterhalb des Fahrbahnrandes der Flügelwand befand.



Bild 8 Rammansatz von Pfahl Nr. 36 BW 502 Achse 20

Bild 9 zeigt die Baustelle BW 502 aus der Perspektive von Achse 10, in Achse 20 (Hintergrund) wird bereits die Flügelwand der Erweiterung betoniert. Die Anlieferung der Fertigteil-Rammpfähle erfolgte über eine Baustellenzufahrt der B 292, aus Platzmangel

konnte jeweils nur eine Tagesleistung von ca. 20 bis 25 Pfählen abgeladen und neben der Dammspundung (im Vordergrund teilweise sichtbar) gelagert werden. Das „Unter-die-Ramme-nehmen“ eines neuen Pfahles war jedes Mal mit einer Ausfahrt aus der Baugrube bei zum Teil mehreren Rangiervorgängen verbunden, in der Nähe der Baugrube vorhandene Grundleitungen mussten dabei mehrfach überfahren werden und wurden durch Abdeckung mit Baggerblechen geschützt.



Bild 9 BW 502 Achse 10 Blickrichtung Achse 20

Als größere Schwierigkeit wurde das Rammen von Schrägpfählen unter die bestehenden Flügelwand- (siehe Bild 10) bzw., Widerlagerfundamente (siehe Bild 11) gegen die Neigung und in die Zwischenräume der Bestandspfähle erwartet (vergl. Abb. 6 „Pfähllplan“). Anhand der Angaben im Entwurfsplan zur Lage der Bestandspfähle  $\varnothing 51$  cm wurde die Stellung und Neigung der Erweiterungspfähle so genau wie möglich eingepasst, die Planungsvorgaben erwiesen sich insgesamt als richtig, diesbezüglich waren in der

Ausführung keine Zwischenfälle zu vermeiden. Während des Aushubes der Baugrube und Freilegens der Fundamente ergaben sich jedoch unerwartete, zusätzliche Behinderungen. So wurden z.B. unterirdische Leitungen gefunden, die bestandsmäßig nicht erfasst waren, bzw., die nicht an der erwarteten Stelle angetroffen wurden. Um Beschädigungen beim Rammen der Pfähle auszuschließen, wurden alle vorhandenen Leitungen im Bereich der Pfahlgründung auf ihrer gesamten Länge freigelegt und markiert, Pfähle in unmittelbarer Nähe von Leitungen wurden zentimetergenau angesetzt (siehe Bild 11), flexible Leitungen wurden temporär umgelegt. Auch dieses Problem konnte erfolgreich bewältigt werden, alle Leitungen blieben heil und konnten wieder funktionstüchtig übergeben werden.



Bild 10 Ansetzen eines Pfahles beim Flügelfundament



Bild 11 Neigungspfahl unmittelbar neben Leitungen



Bild 12 Pfahlköpfe mit Sauberkeitsschicht bei BW 502 Achse 20

Wie eng es im Untergrund dabei teilweise zuing, wurde nach dem Freilegen der Pfahlköpfe und dem Betonieren der Sauberkeitsschicht, z.B. bei BW 502 Achse 20 (Bild 12) oder BW 515 Achse 20 (Bild 13) deutlich.



Bild 13 Aushub bei BW 515 Achse 20

Um die Schnittkräfte aus den Fundamenten in die Pfähle einzuleiten, wurden die Pfahlköpfe abgestemmt, die Pfahlbewehrung auf 1 m Länge freigelegt ( Bild 14) und später in die Fundamente eingebunden (Bild 15).



Bild 14 Kapparbeiten (Abstemmen der Pfahlköpfe) BW 515 Achse 20



Bild 15 Fundament in der Bewehrungsphase (rechts) mit Pfahlbewehrung

Die äußere Tragfähigkeit der Pfähle wurde gemäß Pfahlstatik anhand von Tabelle 3 der DIN 4026 nachgewiesen und daraus die zulässige vertikale Drucklast zu 700 kN pro Pfahl ermittelt. Die Annahmen der Statik bezüglich der Einbindung in den tragfähigen Baugrund wurden an mindestens 3 Pfählen pro Achse durch Erstellen eines „Großen Rammberichtes“ überprüft, von jedem einzelnen der übrigen Pfähle wurde gemäß DIN 4026/DIN EN 12699 ein „Kleiner Rammbericht“ erstellt. An mindestens drei weiteren Pfählen pro Achse wurde durch „Nachrammen“ („Beprobieren“) das sog. „Anwachsen“ (Zunahme der Mantelreibung und dadurch Erhöhung der Tragfähigkeit nach längerer Standzeit) der Pfähle überprüft und nachgewiesen.

Der Widerstand von Gründungspfählen im Grenzlastbereich lässt sich an Fertigteil-Rammpfählen mittels dynamischer Beanspruchung nach CASE besonders schnell und effektiv messen. Deshalb wurden zusätzlich dynamische Probelastungen an 3 Bauwerkspfählen von BW 515 zur Absicherung der nach DIN 4026 ermittelten, zulässigen Pfahllasten durchgeführt. Die Messergebnisse sowie alle relevanten Pfahl-

daten sind aus Tabelle 1 zu entnehmen. Die bei den getesteten Pfählen mit unterschiedlicher Länge, Endhitzen und Standzeiten gemessenen Grenzlaster belegen eindrucksvoll die oben genannten Rammkriterien und den stark wechselnden Verwitterungsgrad des Tonmergel am Beispiel von BW 515 zwischen Achsen 10 und 20.

Pfahl-Nr.	Querschnitt	Länge	Fallhöhe	Endhitzen [cm/Hitze]	Standzeit	Grenzlasterbereich
7 Achse 10	35x35 cm <sup>2</sup>	14 m	80 cm	10/10/10	1 Tag	1600 – 1800 kN
11 Achse 10	35x35 cm <sup>2</sup>	14 m	80 cm	13/13/13	6 Tage	1850 – 2050 kN
28 Achse 20	35x35 cm <sup>2</sup>	12 m	80 cm	2/2/2	7 Tage	3150 – 3400 kN

Tabelle 1 Ergebnisse der Pfahlprobepbelastungen

Die dynamischen Probepbelastungen an den Pfählen bei BW 515 wurden von unabhängigen Sachverständigen der DMT Gründungstechnik GmbH Hochdorf ausgeführt und beurteilt. Die Ergebnisse sind aufgrund der Vergleichbarkeit der anstehenden und durch Untersuchungen beurteilten Baugrundverhältnisse sowie durch die Ergebnisse der Großen und Kleinen Rammberichte auch auf BW 502 übertragbar. Die an den Probepfählen gemessenen Grenztragfähigkeiten lagen, selbst unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheiten, zum Teil erheblich über den Bauwerkslasten.

Auf Bild 16 ist der Vorgang einer Probepbelastung zum Zeitpunkt der Rammschläge festgehalten und ein Teil der Messeinrichtung erkennbar. Bild 17 zeigt eine Detailansicht der über dem Pfahlkopf befindlichen Rammhaube und der zur Erfassung der Messwerte am Pfahlschaft befestigten Instrumente.





Bild 16 Vorgang der Probelastung, Totale



Bild 17 Detailansicht Pfahlkopf mit Rammhaube

## 6. Zusammenfassung

Im Zuge des sechsspurigen Ausbaues der Bundesautobahn A6 zwischen Heilbronn und Mannheim mussten mehrere Brückenbauwerke verbreitert werden.

Die Verbreiterung der Autobahn um ca. 4 m am rechten Fahrbahnrand in Fahrtrichtung Mannheim erforderte, ebenfalls auf Pfählen tiefgegründete Anbauten, bestehend aus neuen Flügelwänden und verbreiterten Widerlagern. Die Ende der 60-iger Jahre erbauten Brücken BW 502 und BW 515 waren auf Ortbeton-Rammpfählen  $\varnothing$  51 cm gegründet worden. Die Tiefgründung der Anbauten erfolgte auf Stahlbeton-Fertigpfählen System CENTRUM. Eine Besonderheit der Pfahlgründung dieser Anbauten bestand darin, einige der Fertigteil-Rammpfähle zwischen den teilweise nach außen geneigten Ortbetonpfählen unter die bestehenden Fundamente zu rammen.

Um die Gefahr der Kollision mit den Bestandspfählen möglichst gering zu halten, die Pfahlabstände einzuhalten und die vorhandenen Lücken optimal ausnutzen zu können, wurde eine Pfahlgründung mit Fertigteil-Rammpfählen Querschnitt 35x35 cm mit Längen zwischen 12 m und 15 m ausgeführt.

Die beengten Platzverhältnisse in der durch Stahlspundwände gesicherte Baugruben und Pfahlneigungen bis 4 : 1 stellten eine besondere Herausforderung an die ausführenden Unternehmen dar. Schwierige Randbedingungen, wie z.B. Verkehrsführung auf den Autobahnbrücken und im Bereich der Unterführungen, im Bereich der Widerlager verlaufende Strom- und Telekommunikationsleitungen, Baugrubenverbau, Bestandspfähle, mussten berücksichtigt werden.

Im Zuge der Verbreiterung von zwei Brückenbauwerken wurden insgesamt 165 Fertigteil-Rammpfähle System CENTRUM mit einer Gesamtlänge von ca. 2400 lfdm eingebracht.

**Autoren:**

**Dipl.-Ing. Ulrich Plohmann**

Centrum Pfähle GmbH  
Hauptstrasse 33  
76344 Eggenstein

Tel.: 0721 / 78 15 711  
Fax: 0721 / 78 15 714  
Mobil 0173 – 24 70 653

plohmann@centrum.de

**Dipl.-Ing. Dieter Maierhöfer**

Regierungspräsidium Karlsruhe  
Waldhoferstrasse 100  
69123 Heidelberg - Weiblingen

Tel.: 06221 / 1375 – 147  
Fax: 06221 / 1375 – 179  
Mobil: 0160 – 50 85 284

dieter.maierhoefer@rpk.dwl.de