

Straßengründung in extrem schwierigen Baugrundverhältnissen

Werner Brieke

1 Bauaufgabe

Im Verlauf der Bundesstraße 1 zwischen den Städten Brandenburg und Genthin wurde im Bereich der Ortschaft Plaue wegen des stark angestiegenen Verkehrsaufkommens eine Ortsumfahrung erforderlich. Unter Beachtung der örtlichen Zwangspunkte sowie zur Minimierung von unvermeidbaren Eingriffen in ökologisch sensible Bereiche wurde eine ca. 2,6 km lange Trasse gewählt, die nördlich der Ortschaft vorbeiführt (Bild 1). Der Ausbau erfolgte als zweistreifige Straße mit einer Befestigungsbreite von 7,5 bzw. 8,0 m.

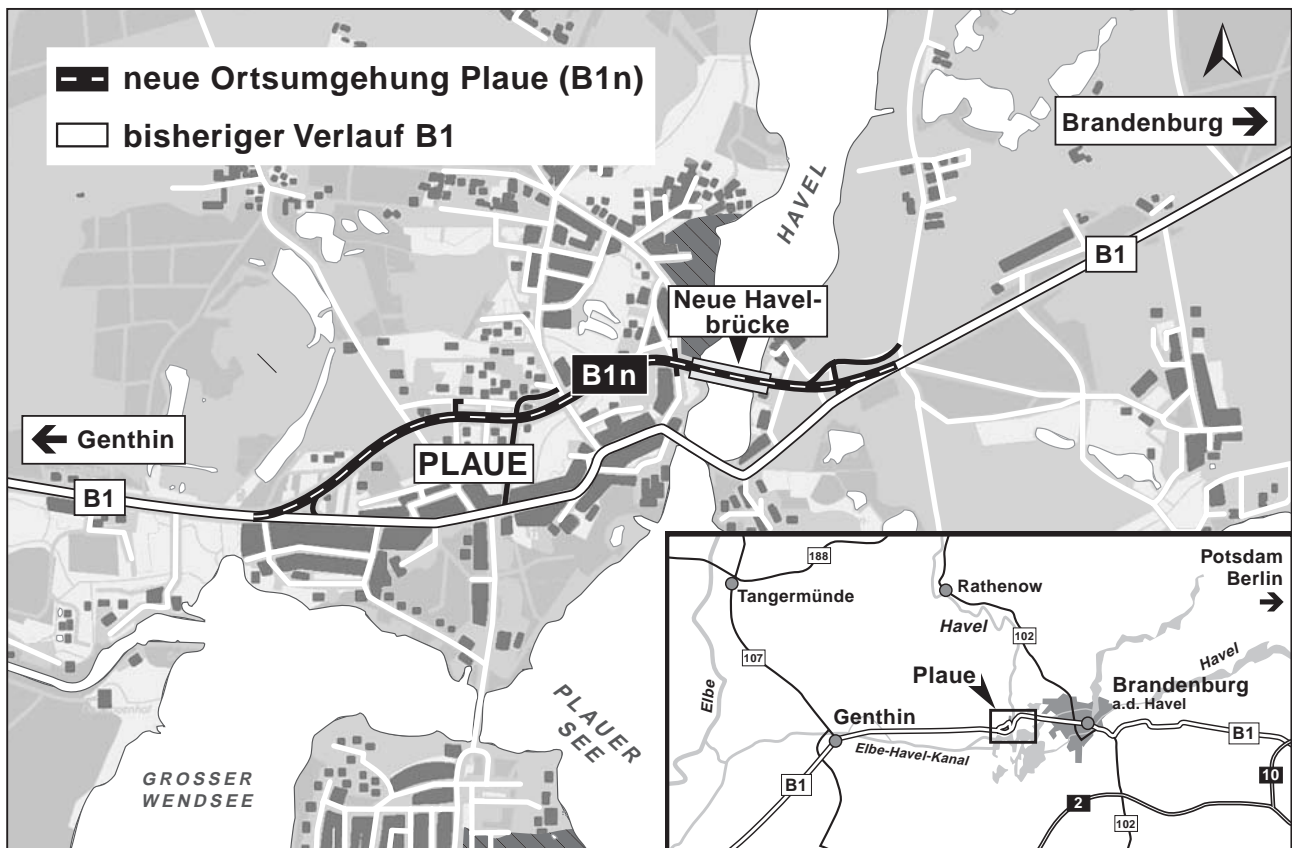


Bild 1: Lageplan Ortsumgehung Plaue

Im Verlauf der Trasse standen sehr wechselhafte Baugrundbedingungen an. Charakteristisch waren zum einen Talsande mit vereinzelt eingelagerten Beckenton, Wiesenkalk und Torf, zum anderen zwei mächtige Niedermoorbereiche aus Torf- und Torfmuddeablagerungen, bei denen es sich um verlandete Altarme der Havel handelte. Im Bild 2 ist ein Längsschnitt der Baugrundverhältnisse in den Moorbereichen dargestellt. Berechnungskennwerte für die

Torf-/Torfmuddeschichten und Sande gibt Bild 3 an. Die c_u -Werte der organischen Weichschichten wurden noch spezifiziert. Für die oberflächennahen Bereiche von GOK bis 2,5 m Tiefe wurden 15–30 kN/m², von 2,5–3,5 m Tiefe Werte von 12–15 kN/m² angegeben. Eine Messung in 4 m Tiefe hatte einen c_u -Wert von 4 kN/m² ergeben.

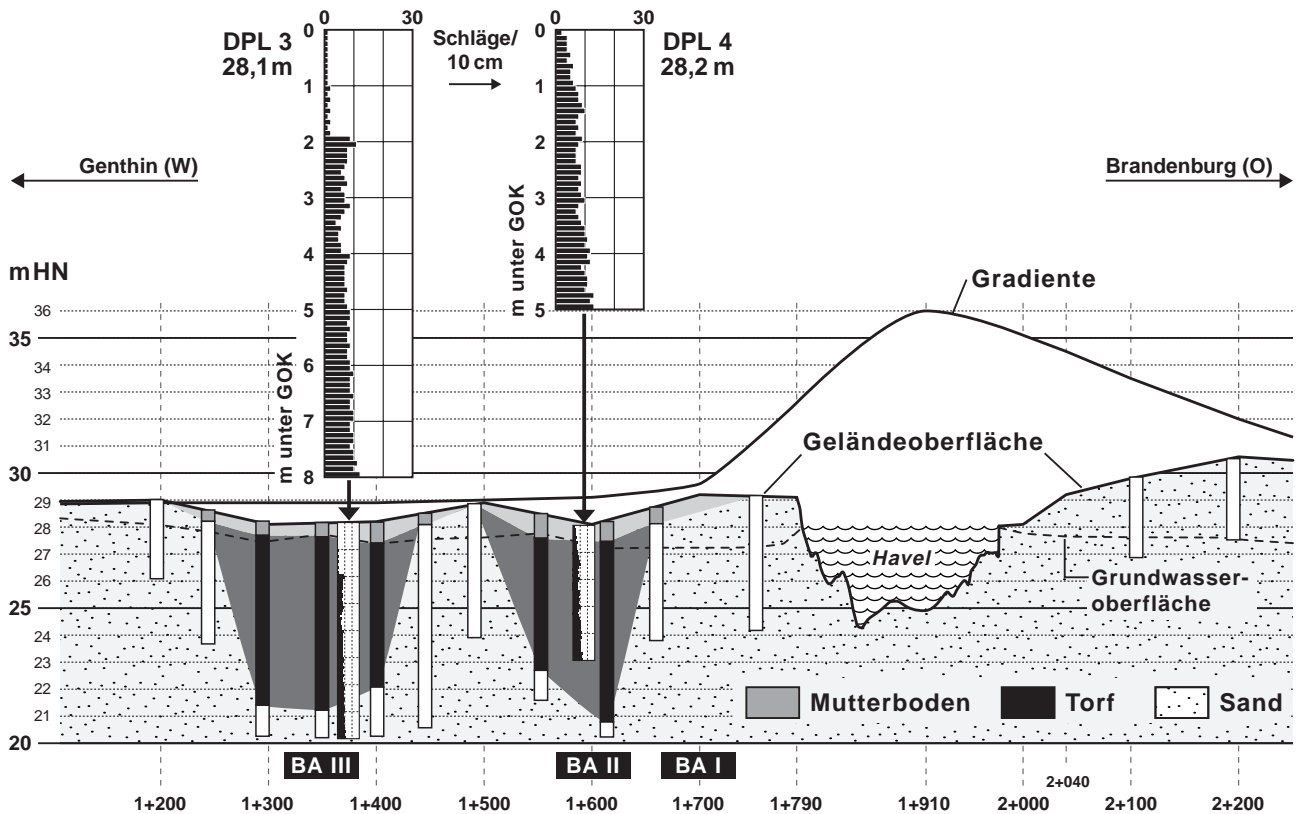


Bild 2: Baugrundsituation lt. Ausschreibung

		Torf/Torfmudde	Sande
Reibungswinkel	ϕ'	$\approx 8^\circ$	$= 33^\circ$
Kohäsion	c'	$\approx 1 \text{ kN/m}^2$	$= 0 \text{ kN/m}^2$
undrainierte Scherfestigkeit	c_u	$\approx 30 \text{ kN/m}^2$	
Wichte	γ_n'	$\approx 1 \text{ kN/m}^3$	$= 10 \text{ kN/m}^3$
Verformungsmodul	E_s	$< 2 \text{ MN/m}^2$	$= 30 \text{ MN/m}^2$

Bild 3: Bodenkennwerte lt. Ausschreibung

Der Ausbau der Trasse war in den Niedermoorbereichen als geogitterbewehrter Straßendamm auf vermörtelten Säulen ausgeschrieben. Einen Regelquerschnitt zeigt Bild 4.

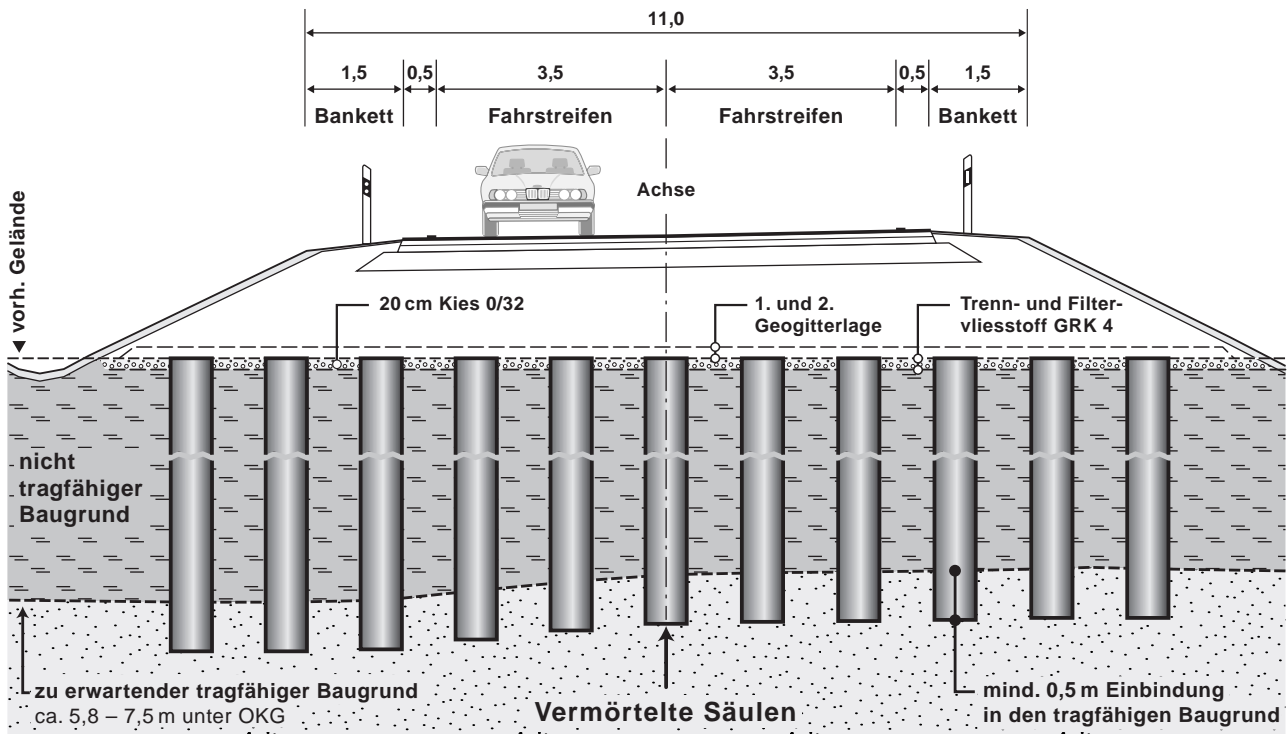


Bild 4: Geplanter Straßenquerschnitt

2 Geplante Bauausführung

Die Bodenverbesserungsmaßnahmen wurden mit der Herstellung von Ortbetonrüttelsäulen (ORS) im Bauabschnitt I vor dem westlichen Widerlager der neuen Havelbrücke begonnen. Den Herstellungsprozess zeigt Bild 5. Die Arbeiten verliefen planmäßig. Als anschließend

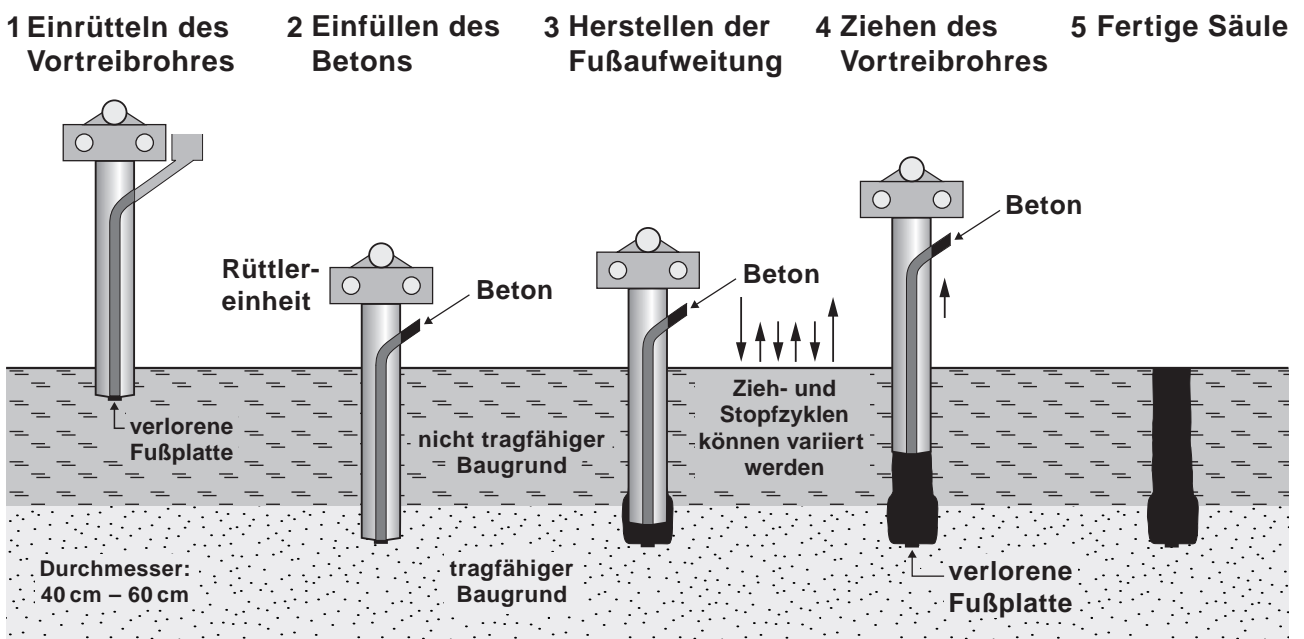
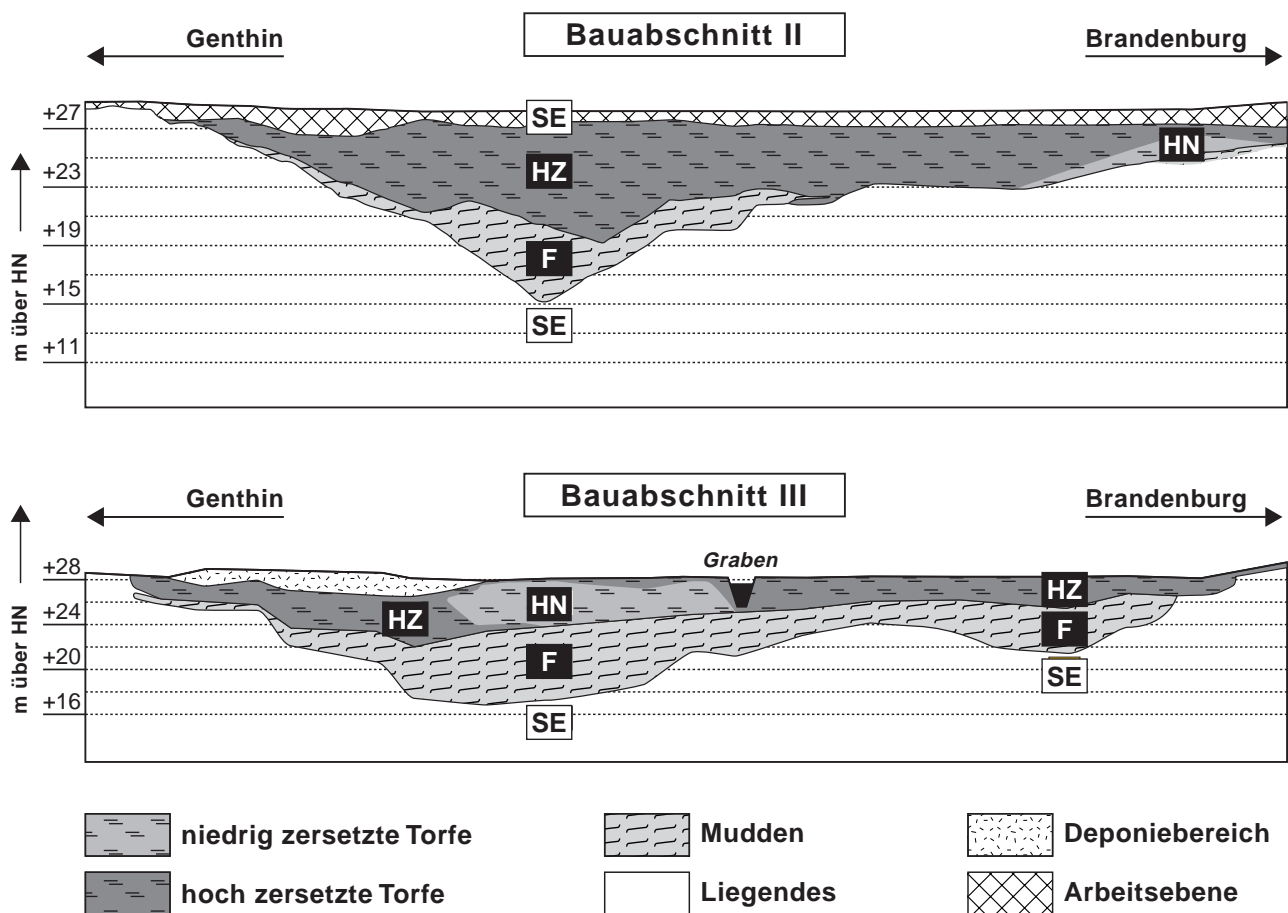


Bild 5: Herstellung von Ortbetonrüttelsäulen (ORS)

die Säulenherstellung weiter nach Westen im BA II fortgeführt wurde, brach das ca. 40 to schwere Trägergerät in die nach bauseitigen Vorgaben hergestellte Arbeitsebene ein. Auch die Verlegung von Baggermatrazen führte nicht zu einer ausreichenden Stabilisierung der Arbeitsebene. Die Herstellung der Ortbetonrüttelsäulen war nicht mehr wie geplant möglich und die Arbeiten mussten eingestellt werden.

Zur Ergründung der Ursachen wurden in der Folgezeit zahlreiche weitere Baugrunduntersuchungen durchgeführt. Diese ergaben für die Torfe und Mudden erheblich ungünstigere Werte. Die Ergebnisse sind in Bild 6 zusammengestellt. Bedingt durch die sehr niedri-



Bodenkennziffern	
Bodengruppe nach DIN 18196	Rechenwerte für undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]
HN	6 ... 9
HZ	5 ... 7
F	1,5 ... 2,0

Bild 6: Ergebnisse der nachträglichen Baugrunduntersuchungen

gen c_u -Werte von nur 5–9 kN/m² im oberflächennahen Bereich ergaben sich für die Arbeitsebene erhebliche Probleme. Eine ausreichende Dimensionierung für ein 40 to schweres Gerät, wie für die geplante Tiefgründung erforderlich, war bereichsweise gar nicht bzw. nur mit enormem wirtschaftlichen Aufwand möglich. Da die Baugrunduntersuchungen außerdem ausgedehnte und mehrere Meter mächtige Muddebereiche (Lebermudde) mit undrainierten Scherfestigkeiten von nur noch 1,5–2,0 kN/m² ergaben, konnten die geplanten vermörtelten Säulen ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen auch nicht mehr ausgeführt werden. Die Mächtigkeit der organischen Schichten reichte bis zu 13,1 m. Es stellte sich weiterhin heraus, dass die unterhalb der Torfe und Mudden anstehenden Sande überwiegend nur locker gelagert waren.

3 Ausgeführte Gründung

Auf der Grundlage der neuen Erkenntnisse wären folgende Gründungsmaßnahmen denkbar gewesen:

- Sandsäulen mit Geotextilumhüllung
- Ortbetonrüttelsäulen mit Geotextilumhüllung
- Fertigrammpfähle aus Stahlbeton
- Ausbetonierte Stahlrohrpfähle

Die eingeschalteten Sachverständigen des Bauherrn empfahlen, grundsätzlich auf das Einrütteln von Gründungselementen zu verzichten, um nicht eine vollständige Zerstörung der bereits sehr geringen Scherfestigkeiten zu verursachen.

Nach intensiven Beratungen aller Beteiligten und unter Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Aspekte entschied sich der Bauherr schließlich für eine Gründung mit ausbetonierten Stahlrohrpfählen. Mit ein ausschlaggebender Vorteil dieses Systems war das niedrige Gerätegewicht von nur ca. 10 to und den daraus folgenden günstigen Konsequenzen für die Arbeitsebene. Die Herstellung eines Stahlrohrpfahls zeigt Bild 7. Bei diesem System muss nicht das komplette Rohr in einem Zuge aufgenommen und eingebracht werden, sondern der Pfahl wird aus einzelnen, nacheinander eingerammten Rohrschüssen zusammengesetzt. Untereinander werden die Rohrschüsse verschweißt. In den Bildern 8 und 9 ist die Baustellensituation und die Pfahlherstellung vor Ort dargestellt.

Die Stahlrohre mit einem Durchmesser von 0,324 m wurden in einem Raster 1,75 x 1,75 m bis in die liegenden Sandschichten gerammt und anschließend ausbetoniert. Zur Lasteinleitung erhielten die Pfähle eine Kopfplatte aus Stahl mit einem Durchmesser von 0,8 m. Darüber wurde ein geotextilbewehrter Damm hergestellt. Ein Regelquerschnitt ist in Bild 10 dargestellt.

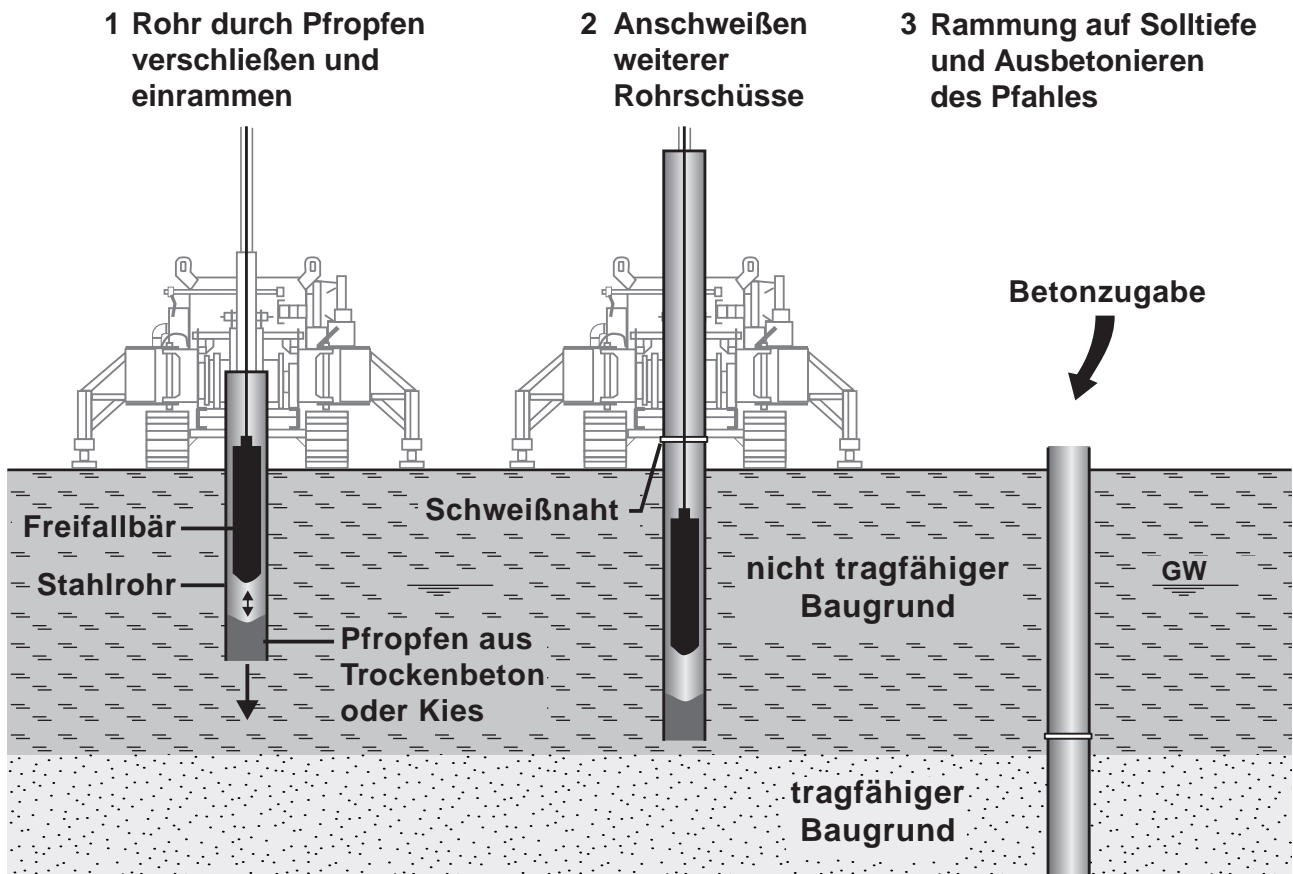


Bild 7: Schema Stahlrohrpfahlerstellung



Bild 8: Überflutetes Gelände im Trassenbereich



Bild 9: Pfahlherstellung auf der Baustelle

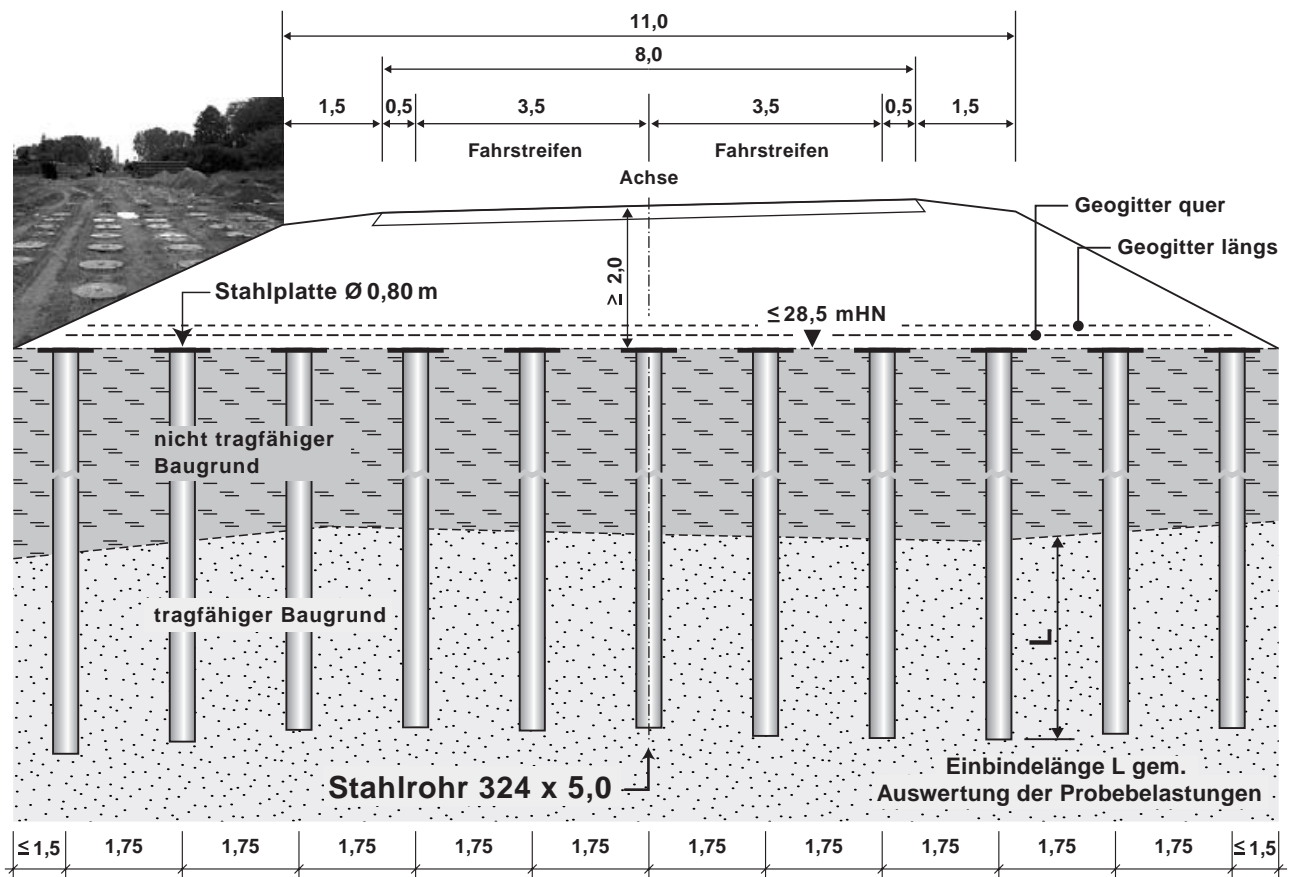


Bild 10: Regelquerschnitt Stahlrohrpfähle mit Kopfplatte

4 Nachweis der Pfahlwiderstände

Aus dem gewählten Raster ergaben sich für die Pfähle maximale Gebrauchslasten von 385 kN. Zur Optimierung der Pfahllängen wurden Probepfähle mit unterschiedlichen Einbindelängen in die liegenden, überwiegend nur locker gelagerten Sande hergestellt und statisch und dynamisch probebelastet. Die Rammtiefen der Probepfähle P1 bis P5 betrugen 17,5 m, 19,5 m, 20,5 m, 23,5 m und 25,5 m. Die Ergebnisse der Probebelastungen sind in den Bildern 11 bis 14 dargestellt. Die Versuche bestätigten die größtenteils nur lockere Lagerung der Sande, so dass für die Pfähle mit den geringeren Rammtiefen (P1, P2, P3) keine ausreichenden Pfahlwiderstände nachgewiesen werden konnten. Lediglich die tiefer gerammten Pfähle P4 und P5 erreichten mitteldicht gelagerte Sandschichten, was sich in höheren Einrammwiderständen widerspiegelte. Hierfür konnten die erforderlichen Gebrauchslasten mit deutlich mehr als zweifacher Sicherheit nachgewiesen werden. Mit Hilfe der Probebelastungsergebnisse konnten für die Bauwerkspfähle individuelle Herstellkriterien aufgestellt werden, wobei sowohl die Anzahl der Rammschläge auf dem letzten Rammmeter (Kriterium für den Spitzendruck) als auch die Summe aller Rammschläge im Sand (Kriterium für die Mantelreibung) bei der erforderlichen Einbindelänge jedes einzelnen Pfahls in die Tragschicht berücksichtigt wurden. Die detaillierten Rammkriterien sind in Bild 15 dargestellt.

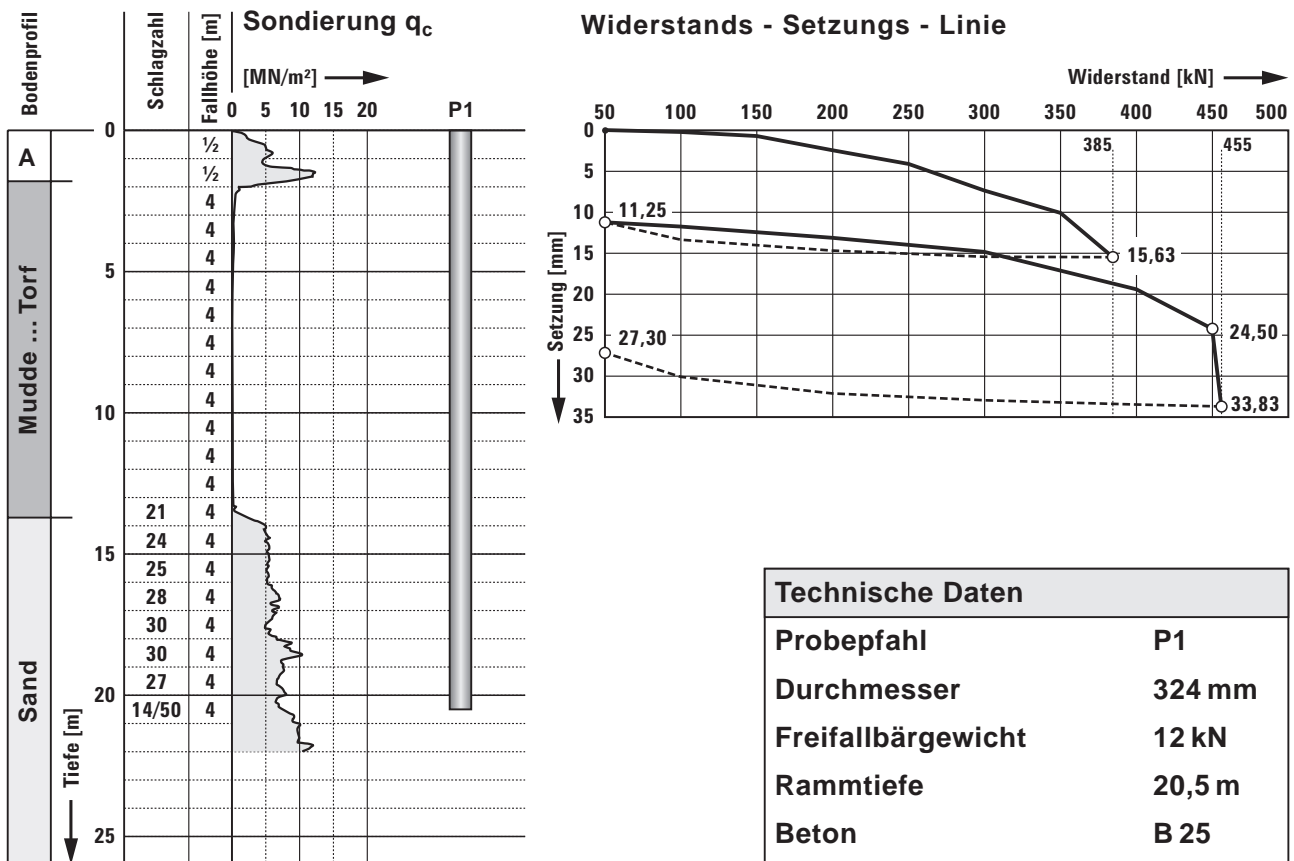


Bild 11: Statische Probebelastung P1

Probepfahl	P 1
Rammtiefe	20,5 m
Q _{max.}	= 480 kN
Q _{Schaft}	= 240 kN
Q _{Spitze}	= 240 kN
S _{max.}	= 27,2 mm

Probepfahl	P 3
Rammtiefe	19,5 m
Q _{max.}	= 440 kN
Q _{Schaft}	= 285 kN
Q _{Spitze}	= 155 kN
S _{max.}	= 25,8 mm

Probepfahl	P 2
Rammtiefe	17,5 m
CASE - Auswertung:	
Q _{max.}	= 350 ÷ 410 kN

Alle Säulen-
durchmesser: 324 mm

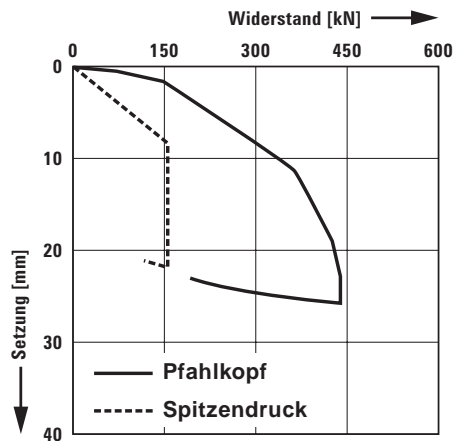
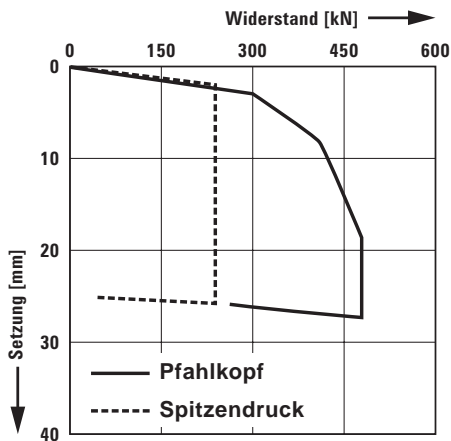
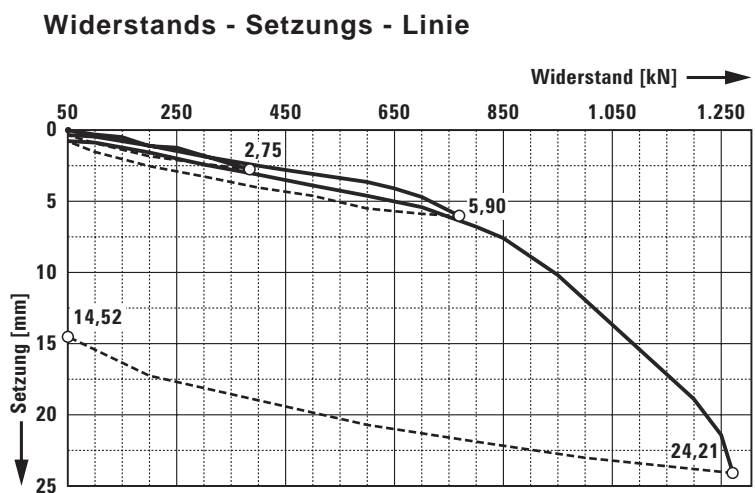
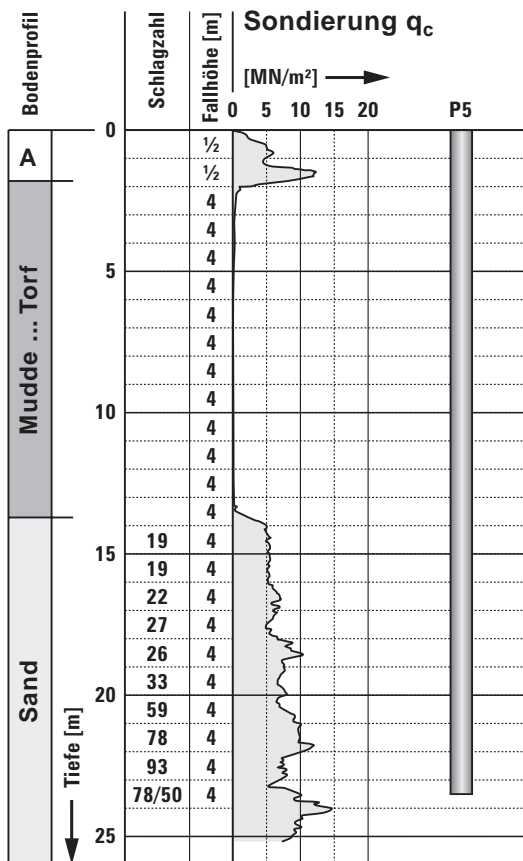


Bild 12: Dynamische Probelastungen P 1, P 2, P 3



Technische Daten	
Probepfahl	P5
Durchmesser	324 mm
Freifallbärgewicht	12 kN
Rammtiefe	23,5 m
Beton	B 25

Bild 13: Statische Probelastung P 5

Probepfahl	P4
Rammtiefe	25,5 m
Q _{max.}	= 950 kN
Q _{Schaft}	= 550 kN
Q _{Spitze}	= 400 kN
S _{max.}	= 15,3 mm

Probepfahl	P5
Rammtiefe	23,5 m
Q _{max.}	= 850 kN
Q _{Schaft}	= 400 kN
Q _{Spitze}	= 450 kN
S _{max.}	= 15,4 mm

Alle Säulen-
durchmesser: 324 mm

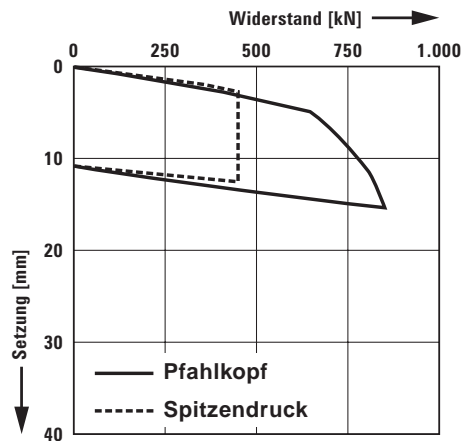
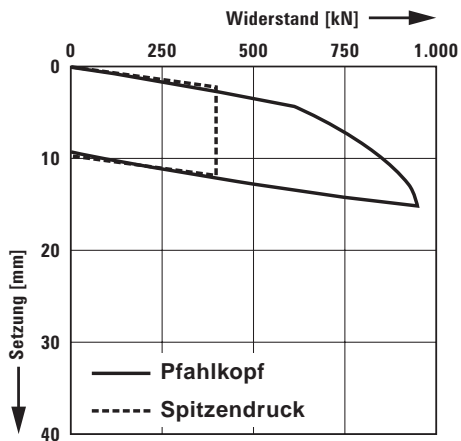


Bild 14: Dynamische Probelastungen P 4, P 5

erforderliche Schlagzahlen

Schläge auf letztem Meter	Schläge im Sand (ab 20 Schläge/m)
30	355
40	327
45	315
50	305
55	296
60	287
65	280
70	273
80	261

Kurve zur Kontrolle der Einbindelänge

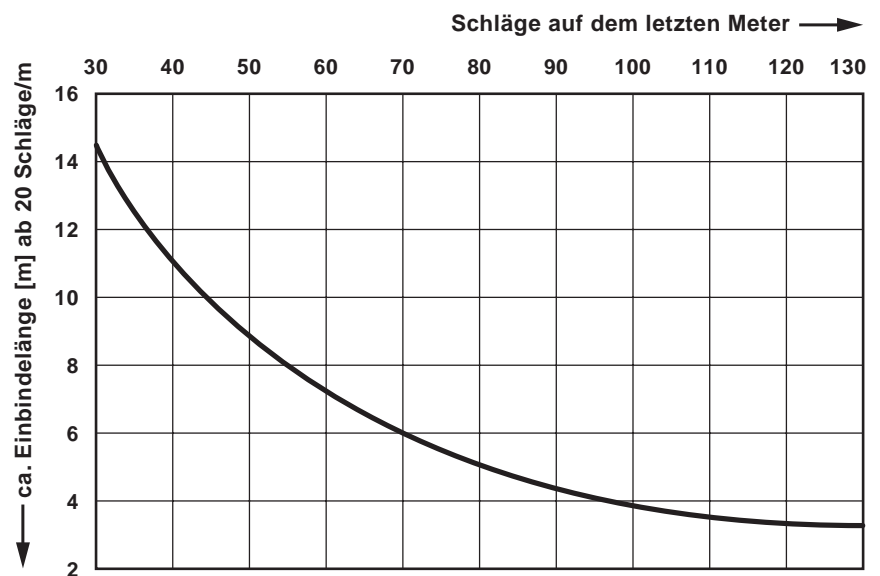


Bild 15: Rammkriterien für die Pfahlherstellung (Q = 380 kN)

5 Versuche mit geotextilumhüllten Ortbetonrüttelsäulen

Zum Ende der Baumaßnahme wurden von der Fa. FRANKI außerhalb der Trasse Versuche mit Ortbetonrüttelsäulen durchgeführt, die zur Stabilisierung des Frischbetons mit einer Geotextilumhüllung hergestellt wurden. Ziel der Versuche war, die grundsätzliche Machbarkeit solcher Säulen in den vorliegenden Baugrundverhältnissen nachzuweisen. Das Problem der Arbeitsebene wurde dadurch umgangen, dass die Säulen von einem gut tragfähigen Standort freireitend hergestellt wurden. Die Mächtigkeit der organischen Weichschicht betrug im Versuchsfeld ca. 5 m. Für die Säulenherstellung wurde ein Vortreibrohr mit einem Durchmesser von 0,42 m verwendet, das am unteren Ende halbkugelförmig ausgebildet war. Über das Vortreibrohr wurde ein Schlauch aus Geotextilgewebe (Durchmesser ca. 0,50 m) gezogen und die gesamte Einheit mit einem Aufsatzrüttler bis in die liegende Sandschicht abgeteuft. Anschließend wurde Beton eingepumpt und das Vortreibrohr wieder gezogen. Anders als bei geotextilumhüllten Sandsäulen, bei denen die Hülle die Stabilisierung des Säulenmaterials dauerhaft gewährleisten muss, ist diese Funktion bei Ortbetonrüttelsäulen nur über einen kurzen Zeitraum bis zum Erhärten des Betons erforderlich. Freigelegte ORS mit Geotextilhülle zeigen die Bilder 16 und 17. Die Versuche brachten den Nachweis, dass mit dem gewählten Verfahren die Geotextilhülle sicher bis in die liegende Sandschicht niedergebracht werden konnte und die Umhüllung die erforderliche Stabilisierung der Frischbetonsäule in der Weichschicht gewährleistete.



Bild 16/17: Freigelegte ORS mit Geotextilhülle

6 Zusammenfassung

Im Zuge der Realisierung der Ortsumgehung Plaue waren zwei Niedermoorbereiche mit erheblich ungünstigeren Festigkeitseigenschaften als ursprünglich geplant zu überqueren, so dass die vorgesehene Tiefgründung des Straßendamms auf vermörtelten Säulen nicht mehr ausgeführt werden konnte. Stattdessen wurde die Gründung mit über 1.700 Stück ausbetonierten Stahlrohrpfählen mit einem Durchmesser von 0,324 m und Einzellängen von 13 bis 21 m realisiert. Die Gesamtlänge der Pfähle betrug ca. 29.300 m. Mit ausschlaggebend für das gewählte Verfahren war das geringe Gerätegewicht von nur ca. 10 to. Im November 2002 wurde die neue Ortsumgehung Plaue für den Verkehr freigegeben. Seitdem rollen die Fahrzeuge sicher auch über die aus bautechnischer Sicht extrem schwierigen Niedermoorbereiche. Die Bewältigung der zahlreichen Probleme bei der Realisierung war nur durch die konstruktive Zusammenarbeit aller Beteiligten möglich. Hierfür möchten wir uns herzlich bedanken.

Dipl.-Ing. Werner Brieke
FRANKI Grundbau
Benrather Schlossallee 49–53
40597 Düsseldorf