

# Kombinierte Gründung eines Autobahnzubringers aus CMC-Säulen und Geogittern

Dr.-Ing. Jan Retzlaff, GEOscope GmbH & Co. KG, Steinfurt

Dipl.-Ing. Gabriele Schulenburg, Amt für Straßen und Verkehr, Bremen

Dr.-Ing. Gerd von Bloh, Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH, Bremen

Dipl.-Ing. Franz Lucassen, Joachim Tiesler Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG, Elsfleth

Dipl.-Ing. Johannes Kirstein, Dipl.-Ing. Sandra Knoche, BVT DYNIV GmbH, Seevetal

Dipl.-Ing. Lars Vollmert, BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp

## Kurzfassung:

Das Bauen auf weichem und wenig tragfähigem Untergrund stellt immer wieder besondere Anforderungen an die Gründung von Bauwerken. Eine mögliche Lösung für den Bau von Verkehrsflächen bieten kombinierte Systeme aus lastverteilernder Schicht und pfahlartigen Traggliedern. Für die Umsetzung ausgedehnter Flächenbauwerke, z.B. im Verkehrswegebau, wurden effiziente Lösungen unter Verwendung von Geokunststoffen entwickelt, die mit Hilfe von analytischen und numerischen Methoden bemessen werden und teilweise Eingang in das aktuelle Regelwerk gefunden haben. Weitere Forschungen und Untersuchungen auf Baustellen ergänzen die derzeit von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) gegebenen Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO). Für die Umsetzung der hier beschriebenen Baumaßnahme wurde eine solche, erweiterte Variantendiskussion durchgeführt.

## 1 Einleitung

Die Verkehrssituation im Bereich des Autobahnanschlusses Arsten der BAB 1 in Bremen war sowohl für die Hansestadt als auch die niedersächsische Nachbargemeinde Weyhe unbefriedigend. Der 1. Bauabschnitt der 4-streifigen kommunalen Entlastungsstraße (KES) wurde bereits 1998 für den Verkehr freigegeben. Mittlerweile hat sich die Verkehrsbeanspruchung jedoch stark erhöht und wird mit ca. 30.000 Kfz/24 h prognostiziert. Damit führte das Nadelöhr um den Autobahnanschluss zu regelmäßigen Staus, unnötigem Schadstoffausstoß und Nachteilen für Anwohner und Gewerbebetriebe.

Die Baumaßnahme umfasst länderübergreifend ca. 1 km Straßenneubau. Auf Bremer Seite wurden dazu die vorhandenen Einmündungen Arster Hemm und Arster Heerstraße zu einem vierarmigen Knotenpunkt zusammengefasst. Dazu wurde die Arster Heerstraße teilweise verlegt. Ebenso wurde der Straßenneubau an die bestehende KES in Dreie im Gemeindegebiet Weyhe durch einen vierarmigen Knotenpunkt angeschlossen. Mit

neu errichteten, kombinierten Geh- und Radwegen wurde ein besonderes Augenmerk auf die sichere Nutzung des neuen Verkehrsweges durch Fußgänger und Radfahrer gelegt.

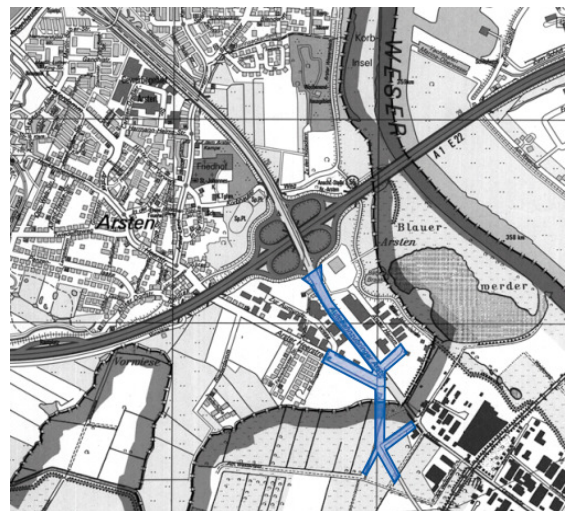


Abb. 1 Übersichtsplan der Maßnahme

## 2 Baugrund

Im Wesentlichen wurden Sandauffüllungen mit schluffigen Anteilen und darunter liegende humose Ton-/Schluffschichten erkundet und in [GLB-2008] beschrieben. Gefolgt von unterlagernden kiesigen Mittel- und Grobsanden, die im Gegensatz zu den darüber liegenden Weichschichten gut tragfähig und wasserdurchlässig sind.

Durch die erforderlichen Auffüllungen treten abhängig von den Mächtigkeiten der unterlagernden humosen Ton-/Schluffschichten und der jeweiligen Auffüllungshöhe Setzungen auf. Um die zu erwartenden Setzungen auf ein verträgliches Maß zu reduzieren, wurde in Teilbereichen ein Teilbodenaustausch mit Vorbelastung im Überschüttverfahren empfohlen.

In den Bereichen, wo ein ausreichender Zeitraum zur Vorbelastung nicht zur Verfügung stand, wurde in [GLB-2008] empfohlen, die Fahrbahnverbreiterung auf einer geokunststoff-

bewehrten Tragschicht mit der Lastabtragung über Betonsäulen in die unteren Sande vorzunehmen. Diese Maßnahme bietet auch Vorteile bei der Fahrbahnerweiterung direkt an Bestandsfahrbahnen, die während der Bauzeit verkehrlich genutzt werden.

Die Lastabtragung sollte über hydraulisch gebundene Säulen (Betonsäulen) erfolgen, da der Einbau von ungebundenen Säulen wegen der eingeschränkten Tragwirkung der humosen Ton-/Schluffschichten nur eine geringe seitliche Stützung erhält. Ferner war das Einbringen der Baugrundverbesserung erschütterungsfrei durchzuführen, um eine Beschädigung bzw. Versackung der Bestandsfahrbahn und vorhandener Kanäle zu vermeiden.

Eine detaillierte Baugrundbeschreibung war für den gesamten Planungsbereich erforderlich um die folgende Variantendiskussion der Bemessungsansätze durchführen zu können. Die Abb. 2 zeigt einen Teilbereich dessen.

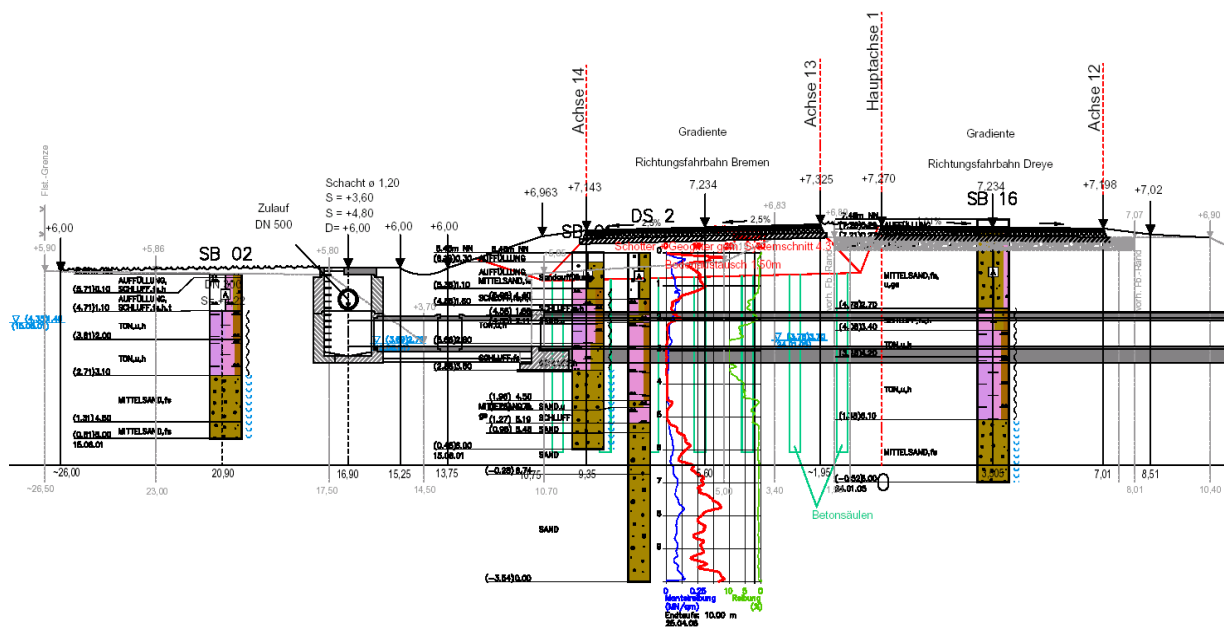


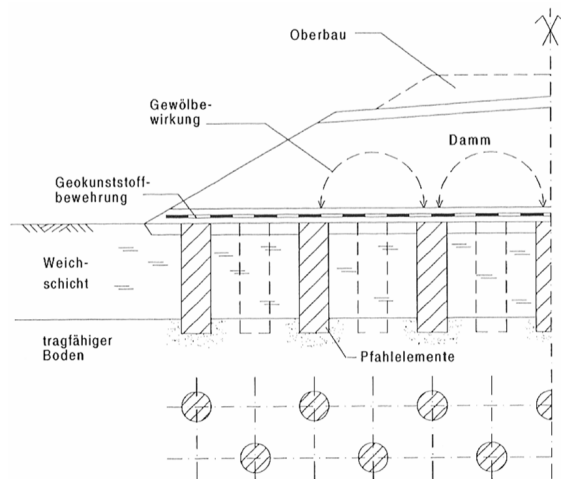
Abb. 2: Baugrundsituation für einen Bereich mit aufgeweitetem Säulennaster [GLB-2008]

## 3 Tragsystem

Das angewendete Gesamtsystem besteht im Sinne der EBGEO [DGGT-2009] aus punktförmigen vertikalen Traggliedern auf die ein ein- oder mehrlagig bewehrter Verbund-

körper aus Boden und Geokunststoffen gebaut wird. Der bewehrte Erdkörper sorgt dabei für eine Lastverteilung indem er die zwischen den Traggliedern befindlichen, wenig tragfähigen Bereiche überbrückt und die Lasten in die

Tragglieder einleitet. Diese sind in den anstehenden Boden bis in tiefere standfeste Bodenschichten eingebunden und stützen den bewehrten Erdkörper aufgrund ihrer Festigkeit. Das grundsätzliche Prinzip ist in Abb. 3 dargestellt.



**Abb. 3** Prinzipskizze des Tragsystems [Zaeske-2001]

### 3.1 CMC-Säulen

Der Einteilung der Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ der DGGT (EA-Pfähle) [DGGT-2007] folgend, handelt es sich bei den in Bremen und Dreye zum Einsatz gekommenen Controlled Modulus Columns (CMC) um Verdrängungspfähle nach DIN EN 12699, deren Einbau zu keiner relevanten Bodenförderung führt. Als Vollverdrängungspfähle sind es Schraubpfähle, die durch gleichzeitiges Drehen und Drücken des CMC-Fertigers aus Beton vor Ort hergestellt werden.

Der für die Herstellung der Säulen notwendige Betondruck wird durch die Betonpumpe erzeugt und durch eine elektronische Steuerung überwacht und angepasst.

CMC-Säulen werden üblicherweise mit Durchmessern von 25 bis 60 cm und Längen von bis zu ca. 30 m hergestellt.



**Abb. 4** Herstellung der CMC-Säulen (Betonmischer, -pumpe und Fertiger)

Für die beschriebene Baumaßnahme wurde seitens der ausführenden BVT DYNIV GmbH den statischen Erfordernissen nach ein Durchmesser von 35 cm gewählt. Daraus ergab sich eine Tragfähigkeit von 250 kN/Säule, die für die gewählten Beanspruchungszustände und den standardmäßigen Abstand der Pfahlachsen von 1,50 m ausreichend war. Die Pfähle im Standardraster wurden unbewehrt hergestellt.



**Abb. 5** Leichte Aufwölbung des Bodens an der Oberfläche

### 3.2 Lastverteilende Schicht

Für die lastverteilende Schicht wurde ein bewehrter Verbundkörper aus Boden und NAUE Secugrid 80/80 Q6 für einen nominellen Achsabstand von 1,50 m vorgeschlagen. Je nachdem, welche Überdeckung über den Pfahlköpfen bzw. der Bewehrungsebene zur Verfügung steht, ist zwischen einer starren und einer schlaffen Lastverteilungsschicht auszugehen. Dies greifen verschiedene Modelle auf. Bei ausreichender Überdeckung kommt das Gewölbemodell mit der Membranwirkung und einer Bemessung nach der Seiltheorie zum Tragen.

## 4 Bemessungsansätze für die lastverteilende Schicht

### 4.1 EBGEO [DGGT-2009]

Die Empfehlungen der [DGGT-2009] gehen bei der Überbrückung der wenig tragfähigen Böden zwischen den Traggliedern von einer Membranwirkung der Bewehrung aus. Dies ist an sehr geometrische Vorgaben geknüpft. Diese werden unter anderem am Verhältnis zwischen der Überdeckungshöhe und dem lichten Pfahlabstand, dem Verhältnis zwischen Säulendurchmesser und Achsabstand sowie der resultierenden Höhe der Bewehrungslagen über den Pfahlköpfen festgemacht.

Der zum Zeitpunkt der Planung vorliegende Entwurf zum Kap. 6.9 der EBGEO aus 2004 wies einige zu kritisierende Aspekte auf und konnte nach Einschätzung der Autoren für die spezifische Projektsituation keine befriedigende Lösung liefern. Zwischenzeitlich wurden für die Neufassung [DGGT-2009] Ergänzungen aufgenommen, die insbesondere eine differenzierte Bewertung der Bettung erlauben.

### 4.2 Geduhn & Vollmert [Geduhn-2005]

Für eine Berücksichtigung der Bodenreaktion sind die zu erwartenden Differenzsetzungen zwischen den Traggliedern und dem umlagernden Boden essentiell für die Kräfteinleitung in die Geokunststoffbewehrungen. Um hier im Vergleich zum Entwurfsstand der EBGEO aus 2004 eine befriedigende Lösung anbieten zu können,

wurde von der der erweiterte Ansatz von [Geduhn-2005] angewandt.



**Abb. 6 Aufbau der geokunststoffbewehrten Tragschicht neben der Bestandsfahrbahn**

Die dabei verwendete erweiterte Differentialgleichung zur Bestimmung der Dehnung in den horizontal verlegten Geokunststoffen erlaubt sowohl die Berücksichtigung des Einflusses einer Entlastung der Weichschicht durch die Geokunststoffbewehrung als auch die Setzungen der Tragglieder. Diese Vorgehensweise bot eine angemessene mathematische Beschreibung des komplexen Tragsystems und führte zu einer ökonomischen Lösung für die ausgedehnten Lastverteilungsschichten im Anschlussbereich der Kommunalen Entlastungsstraße.

### 4.3 Kempfert [Kempfert-1997]

Der Ansatz [Geduhn-2005] wurde für den gesamten Bereich des Achsabstandes zwischen den Traggliedern bis  $1,5 \times 1,5 \text{ m}^2$  verwendet. Da er aber auf der Membrantheorie beruht, wurde dabei nur der Bruch des Gewölbes im Scheitel als maßgebliches Versagenskriterium untersucht. Bei der geringen zu Verfügung stehenden Überdeckung von maximal 1,5 m war für Bereiche, in denen bestehende und neu zu bauende Leitungen bis DN 900 das Baufeld kreuzten eine Aufweitung des Säulenrasters



auf bis zu  $3,5 \times 1,50 \text{ m}^2$  Achsabstand erforderlich, so dass die vollständige Ausbildung eines tragenden Gewölbes nicht zu erwarten war. Hier bot auch die Iteration zur Lösung der Differentialgleichungen von Vollmert & Geduhn erwartungsgemäß keine sinnvolle Lösung. Es wurde deshalb auf das Verfahren nach [Kempfert-1997] zurückgegriffen.



**Abb. 7 Teilbereich mit Kopfaufweitung**

Dieses rein analytische Verfahren beschreibt die grundsätzlichen Verhältnisse des Tragsystems und berücksichtigt sowohl den Fall des Versagens für den Fall des Bruchs des Schüttmaterials im Gewölbescheitel als auch im Gewölbeaufleger. Dadurch ist auch die Bemessung einer horizontal verlegten Geokunststoffbewehrung möglich, ohne dass sich ein vollständiges Gewölbe ausbilden muss. Nachteil dieses Verfahrens ist, dass es sich allein auf den Bruchzustand beschränkt und keine unmittelbaren Rückschlüsse auf zu

erwartende Verformungen zulässt. Diese können nur indirekt über den Ausnutzungsgrad der Geokunststoffe bei der Eingabe abgeschätzt werden. Für diese Abschätzung gab es aber Anhaltswerte aus in-situ Messungen aus [Vollmert-2006], die eine gute Übereinstimmung der zu erwartenden Verformungen mit den gewählten Eingabewerten erwarten lassen.

Da im Ergebnis der Berechnungen eine Gewölbewirkung nicht berücksichtigt werden konnte, musste wegen der Zwangspunkte für die Traggliedabstände mit Hilfe einer Kopfaufweitung auf  $0,6 \text{ m}$  (Abb. 7) der lichte Säulenabstand verringert werden. Darüber hinaus führte das asymmetrische Raster zu einer Biegebeanspruchung der CMC-Säulen. Diese wurden deshalb mit Bewehrungskörben versehen, die gleichzeitig als konstruktive Anbindung der Kopfaufweitung verwendet wurden.

Dadurch war es möglich den rechnerischen Nachweis für den Einsatz von zwei Lagen Secugrid 400/40 R6 zu erbringen, wenn diese quer zu den Leitungsachsen in Richtung des aufgeweiteten Achsabstandes verlegt wurden. Die durch das Überspannen der Leitungen in den horizontal verlegten Geokunststoffen eingetragenen Kräfte wurden durch die Verankerung über die bewehrten Pfähle mit Kopfaufweitung und beidseitig in die zwei jeweils dahinter liegenden Pfahlreihen abgeleitet.

## 5 Zusammenfassung

Der bundesländerübergreifende Bau der Kommunalen Entlastungsstraße zwischen Bremen und Weyhe an die BAB 1 wurde planmäßig realisiert. Dazu beigetragen hat vorrangig das Hand in Hand zwischen Auftraggeber und Bauausführenden auf der Baustelle aber auch die konstruktive Zusammenarbeit an baustellenspezifischen Lösungen von Problemen, die bei so einer komplexen Maßnahme immer wieder auftreten. In diesen Rahmen passt auch die aufgezeigte Variantendiskussion für das Tragsystem, die unter Berücksichtigung der geotechnischen Verhältnisse zu einer

individuell abgestimmte Lösung geführt hat. Durch die intensive Koordination aller am Bau Beteiligten war so eine ökonomische Umsetzung der Planungen ohne einschneidende Kompromisse für den Bauablauf möglich.

## 6 Literatur

- [DGGT-2007] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik eV (Hrsg.): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ – EA-Pfähle. Berlin: Ernst & Sohn, 2007
- [DGGT-2009] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik eV (Hrsg.): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen. Entwurf: Ausgabe 02/2009
- [Geduhn-2005] Geduhn, M.; Vollmert, L.: Verformungsabhängige Spannungszustände bei horizontalen Geokunststoffbewehrungen über Pfahlelementen in der Dammbasis. Ernst & Sohn. Bautechnik 82 (2005), Heft 9, 657-662
- [GLB-2008] Grundbaulabor Bremen Ingenieurgesellschaft für Geotechnik mbH: Kommunale Entlastungsstraße, 28844 Weyhe-Freye b. Bremen, Geotechnischer Bericht Nr. 1, unveröffentlicht.
- [Kempfert-1997] Kempfert, H.-G.; Stadel, M.; Zaeske, D.: Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen. Ernst & Sohn: Bautechnik 74 (1997) Heft 12, 818-825
- [Vollmert-2006] Vollmert, L.; Kahl, M.; Giegerich, G.; Meyer, N.: Schleuse Neuer Hafen, Bremerhaven – In-situ-Verifizierung eines erweiterten Berechnungsverfahrens für geogitterbewehrte Gründungspolster über vertikalen Traggliedern.
- [Zaeske-2001] Zaeske, D.: Zur Wirkungsweise von unbewehrten und bewehrten mineralischen Tragschichten über pfahlartigen Gründungselementen. Schriftenreihe Geotechnik der Universität GH Kassel, Heft 10, Februar 2001