

Die neue BAB A1 bei Leverkusen: Optimierte Durchquerung einer Altablagerung unter multiplem Einsatz von Geokunststoffen

Jörg Kranz, HEITKAMP Erd- und Straßenbau GmbH, Herne
Dimitter Alexiew, Alexiew Geoconsulting, Gescher
Thomas Raithel, Landesbetrieb Straßenbau NRW, Köln-Deutz

Ein Abschnitt der A1 bei Leverkusen muss im Zuge des Neubaus der neuen Rheinbrücke verlegt werden. Die neue Trasse durchquert eine alte Deponie. Diese enthält auch heterogene, unsortierte, nicht verdichtete Materialien, von denen einige umwelttechnisch problematisch sind. Die Altablagerung wurde vor mehr als zwanzig Jahren durch ein Abdichtungssystem gesichert und geschlossen. Die Oberflächenabdichtung wird nun durch die geplante Gradienten der neuen Trasse angeschnitten. Der Eingriff sollte soweit möglich minimiert werden. Es ergaben sich zwei kontroverse Anforderungen: der Autobahnaufbau sollte so dünn wie möglich sein, um Abfallkontakt zu vermeiden, aber gleichzeitig auch verformungsarm genug.

Als eine mögliche Lösung erschien die Anwendung von dehnsteifen Geokunststoffbewehrungen zur Versteifung des Systems. Es wurden multivariante analytische Studien durchgeführt. Insgesamt wurden vier Methoden angewendet. Die optimierte, dünnere Lösung beinhaltet geraschelte Geogitter aus Aramid und gelegte Geogitter aus hochfestem Polyester. Zusätzlich wurde in ökologisch kritischen Bereichen eine adsorbierende Aktivkohlematte verlegt.

1 Einleitung

Im Zuge des erforderlichen Neubaus der Leverkusener Rheinbrücke, welche durch den Bauherrn Straßen.NRW / Autobahn GmbH ausgeführt wird, ist es erforderlich die vorhandene BAB 1 für die neue Trassenführung an die neuen Rheinbrücken in Fahrtrichtung Koblenz/Dortmund sowie auf die zukünftigen verkehrlichen Erfordernisse auf acht Fahrspuren anzupassen. Im rechtsrheinischen, Leverkusener Bauabschnitt der BAB 1 erfolgt die Trassenanpassung auf zirka einem Kilometer beidseitig der vorhandenen BAB 1 im Bereich der Altablagerung Dhünnaue.

Die Deponate dort sind in den tieferen Bereichen teilweise unsortiert, unverdichtet, inhomogen und chemisch belastet. Nach der Schließung wurde die Deponie durch eine Oberflächenabdichtung und Spundwände komplett "abgekapselt".

Die Gradienten der neuen A1 schneidet nun den Deponiebereich an. Die Unterkante des primär geplanten A1-Aufbaus, bestehend aus 2,0 m Polsterschicht und 0,7 m Oberbau, schnitt über längere Strecken auch das Deponat selbst an. Beträchtliche Deponatmengen mussten somit ausgehoben,

transportiert und entsorgt werden. Dazu kam, dass aus Gründen der Arbeitssicherheit und der Umweltauflagen die Eingriffsbereiche unter luftdichten Einhausungen zu bearbeiten waren - eine sehr kostspielige, aufwendige und umwelt- und arbeitstechnisch komplizierte Situation.

Seitens der ausführenden Firma, der HEITKAMP Erd- und Straßenbau GmbH, entstand die Idee, das System zu optimieren mit dem Ziel, den Eingriff in die Altablagerung und somit den Kontakt zum Deponat zu minimieren. Dies würde entscheidende umwelttechnische, terminliche, logistische und ökonomische Vorteile bringen.

Es galt zwei Ziele zu erreichen: das System musste dünn genug sein und gleichzeitig verformungstechnisch eine etwaige inhomogene Bettung durch das Deponat darunter ausreichend ausgleichen können. Der Einsatz von geeigneten dehnsteifen Geokunststoffbewehrungen zur Reduktion der Verformbarkeit erschien vielversprechend.

Auf der Suche nach dem Optimum wurden multivariante analytische Berechnungen durchgeführt. Es galt die Vorgabe EU-gängige analytische Verfahren anzuwenden. Es wurden Rechenverfahren aus dem deutschen EBGE0 (inkl. des britischen nach BS 8006 und des französischen RAFAEL) angewendet.

Manche davon mussten z.T. modifiziert/weiterentwickelt werden. Basis der Berechnungen war es, dass immer wieder parallel vier Methoden verwendet, und das konservativste Ergebnis bezüglich der Bewehrung als maßgeblich übernommen wurde. Somit war es möglich, das System zu optimieren.

Die Lösung beinhaltet zwei Geogitterarten und eine Aktivkohlematte.

Diese innovative multiple "Geokunststofflösung" wurde im November 2018 nach intensiver Prüfung vom Bauherrn akzeptiert; die Bauausführung begann im Frühjahr 2019 und wird im Frühjahr 2021 mit Anschluss an dem Rheinbrückenwiderlager Nord abgeschlossen.

2 Geometrische Übersicht

Die geometrische Situation mit der Positionierung des Autobahnaufbaus und der Einbettung in die Deponieoberfläche ist illustrativ und vereinfacht ohne Maßstab auf Abbildung 1 dargestellt. Abbildung 1, oben, zeigt das primär geplante System: 0,7 m Standartoberbau plus 2,0 m Tragschicht („Polster“), also insgesamt eine Systemdicke von 2,7 m. In diesem Fall wurde das Deponat auf lange Teilstrecken angeschnitten. Abbildung 1, unten, zeigt beispielhaft ein alternatives modifiziertes System unter Beibehaltung des Standartoberbaus von 0,7 m, aber mit einem dünneren „Polster“ und somit mit einer reduzierten Systemdicke. Die Gradiente (OK System) ist konstant, aber die Unterkante liegt höher. In diesem Fall würde die Systemunterkante das Deponat nur auf viel kürzeren Strecken anschnitten.

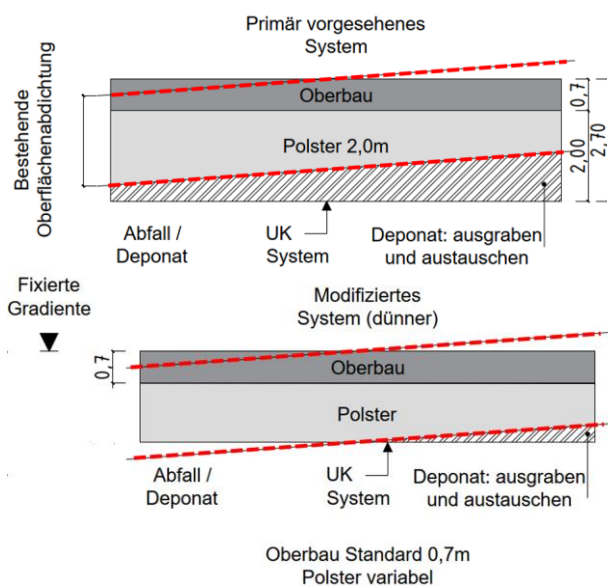


Abbildung 1 - Prinzipielle Position und Einbettung des Autobahnaufbaus: oben das primäre „dickere“ System, unten ein modifiziertes „dünnere“ System, nur illustrativ

3 Nachteile und Vorteile

Der Nachteil der „dickeren“ primären Lösung ist der Eingriff in das Deponat über längere Strecken. Das führt zu beträchtlichen Mengen an Deponat, welches ausgehoben und auf eine andere Deponie verbracht werden muss. Die Folgen sind: spezielle Schutzausrüstung für das Personal inklusive autonomer Frischluftversorgung, Arbeit in ventilierten geschlossenen Zelten mit Luftfiltern zur Vermeidung von Emissionen in die Atmosphäre, spezielle Fahrzeuge, die dann längere Strecken bis zur zugelassenen Deponie fahren, sowie hohe Kosten für die erneute Deponierung. Außerdem würde sich auch eine sehr lange Bauzeit ergeben.

Durch eine alternative „dünnere“ Lösung können über beträchtliche Strecken diese Probleme vermieden werden.

Der Punkt dabei: es sollen ggf. zusätzliche technische Maßnahmen ergriffen werden, um eine ausreichend geringe Verformbarkeit des Systems auf dem im Allgemeinen mechanisch heterogenen Abfall zu erreichen.

4 Die Suche nach einem optimierten „dünnere“ System

Es wurden viele Optionen überprüft und diskutiert, um den besten Weg zur Erstellung eines „dünnere“ Systems zu finden: angefangen bei Systemgründung auf Kurzpfehlen im Deponat bis zu z.B. chemischer Stabilisierung. Es mussten mehrere Faktoren berücksichtigt werden: ökologische, finanzielle und technologische, sowie auch die jeweils korrespondierenden Bauzeiten.

Wie „dünn“ sollte das neue System sein? Was ist mit der Systemduktilität? Wo ist das Optimum aller Faktoren?

Aus Platzgründen wird hier auf die umfangreichen Details der Überlegungen verzichtet.

Letztendlich erschien ein System mit ungebundenen Tragschichten wie illustrativ in Abbildung 1, unten, gezeigt, in Kombination mit entsprechender Geokunststoffbewehrung (in Abbildung 1 nicht gezeigt) zur Reduktion der Verformbarkeit als optimal.

5 Das Thema Verformung

Alle am Projekt Beteiligten waren sich einig, dass die Standsicherheit (also GZ1, bzw. ULS) im geotechnischen Sinne kein relevantes Thema ist. Bezüglich der Verformungen (also GZ2, bzw. SLS) war man sich auch einig, dass Setzungen der A1 auf der Altablagerung über größere Flächen nicht kri-

tisch sind, da sie praktisch keinen Einfluss auf die Verkehrstüchtigkeit haben.

Somit blieb ein zu analysierender Aspekt: die etwaigen Differenzsetzungen (im Sinne von GZ2, bzw. SLS) auf dem gegebenenfalls heterogenen Deponat über kürzere Strecken von einigen Metern, d.h. die s.g. relative Deflektion/Einsenkung bei einem etwaigen „weicheren“ Bereich, denn sie hat Einfluss auf die Verkehrstüchtigkeit/Gebrauchstauglichkeit. Die relative Deflektion ist das dimensionslose Verhältnis d_s/D_s , wobei d_s die absolute Einsenkung im Mittelpunkt einer Setzungsmulde ist, und D_s - die Länge der Einsenkung (s. z.B. Abbildung 3, links).

Ein plausibles Kriterium dabei war die Empfehlung in EBGEO (2010) für Straßen hoher Kategorie inkl. Autobahnen bei der Überbrückung von Erdenbrüchen. Demnach wird ein max. (d_s/D_s) im Bereich 0,01 bis 0,017 empfohlen.

6 Philosophie des Designs und Überblick

6.1 Anforderungen an die Berechnungsverfahren

Es gab die Vorgabe, die Problemstellung durch die Anwendung analytischer Berechnungsverfahren zu behandeln. Sie mussten in Deutschland und/oder in der EU-Stand der Technik und anerkannt sein. Eine gute Wahl war dann das deutsche EBGEO (2010) (inkl. des britischen Verfahrens BS 8006 und des französischen RAFAEL). In Frage kamen Berechnungsverfahren zur Überbrückung von Hohlräumen („Erdfällen“) und von weichen Untergrundbereichen („Erdkörper auf Pfählen“) mit Geokunststoffbewehrungen (s.u.).

6.2 Angenommene Rahmenbedingungen

Es war generell bekannt aus der Deponiehistorie, dass der obere Bereich des Deponats vorwiegend aus Bauschutt besteht, und dass in den älteren tiefen Bereichen unsortierte, nicht verdichtete und somit „weichere“ Hausmüll und Industrieabfälle aus den 50er und 60er Jahren liegen.

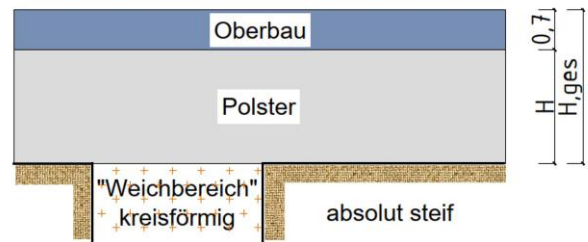
Für die Berechnungen wurde nach Abstimmung angenommen, dass eine „weichere“ Zone in den obersten anzutreffenden Abfallschichten als kreisrund angesetzt werden kann. Die nächste Frage war: wie „weich“ kann diese Zone sein?

In den vorliegenden Bodengutachten waren für die kompressibleren, tieferen Abfälle Steifemodule im Bereich $E_s = 5 - 10$ MPa angegeben. Diese Werte wurden dann auch für eine etwaige „Weichzone“ oben an UK System (Abbildung 1) in Betracht gezogen.

Des Weiteren galt folgende Überlegung: je größer der Steifigkeitsunterschied zwischen einem „weicheren“ Bereich und dem umgebenden steiferen Bereich ist, desto kritischer ist die relative Deflektion.

Deswegen wurde auf der sicheren Seite liegend der umgebende Bereich als absolut steif/unverformbar (quasi als „Felsufer“) angenommen. Das Schema dieser fiktiven Rahmenbedingung ist auf Abbildung 2 dargestellt.

Die Dicke H der granularen Tragschicht („Polster“) ist variabel und dementsprechend auch die gesamte Systemdicke H_{ges} .



Variierung der Höhe H zur Optimierung des Systems

Abbildung 2 - Angenommene Rahmenbedingungen und Modell für die analytischen Berechnungen

6.3 Überlegungen zu den Berechnungsverfahren

Wie schon erwähnt, ähnelt die Situation in Abbildung 2 sehr den Problemstellungen bei Überbrückung von Erdfällen und bei gestützten Erdkörpern auf weichem Untergrund (EBGEO 2010).

Allerdings gibt es Unterschiede zu den „klassischen“ Fällen/Modellen.

Bei dem Modell „Erdfallüberbrückung“:

Hier gibt es im zu überbrückenden Bereich statt Leerraum (also Null Stützung) das Deponat als Unterlage (Abbildung 2). Diese wirkt durch nach oben gerichtete Gegenpressung entlastend auf die Geokunststoffbewehrung. Deshalb wurden die Berechnungsverfahren in EBGEO (2010) modifiziert, um auf einem vereinfachten Weg dieser Unterstützung Rechnung zu tragen.

Ein Vorteil des Modells ist die a priori vorhandene Option zur Berechnung eines kreisrunden Bereichs (quasi „Erdfall“) wie hier.

Bei dem Modell „gestützte Erdkörper auf weichem Untergrund“:

Im „klassischen“ Modell wird der Erdkörper linear (z.B. Schlitzwände) oder punktuell (z.B. Pfähle/Säulen) gestützt. Im vorliegenden Fall handelt es sich aber um eine ununterbrochene, kreisrunde Stützkontur. Deswegen wurden bei den Berechnungen approximierende geometrische Ansätze verwendet.

Ein genereller Vorteil des Modells in EBGEO (2010) ist die a priori implementierte Berücksichtigung der entlastenden nach oben gerichteten Gegenpressung vom „Weichboden“ (hier vom Deponat).

6.4 Welche Berechnungsmethoden wurden verwendet

Es wurden nach Vorabstimmung vier analytische Berechnungsverfahren angewendet mit den im Kapitel 6.3 erwähnten Modifikationen.

Es wurde aus bau- und verankerungstechnischen Gründen eine einaxiale Bewehrung parallel zur Autobahnachse gewählt.

Verfahren 1: nach EBGEO (2010), britisches Modell zur Erdfallüberbrückung (Abbildung 3, links), z. T. modifiziert

Verfahren 2: nach EBGEO (2010), französisches Modell RAFAEL zur Erdfallüberbrückung, z.T. modifiziert

Verfahren 3: nach EBGEO (2010), das deutsche Modell für linear gestützte Erdkörper auf weichem Untergrund (Abbildung 3, rechts)

Verfahren 4: nach EBGEO (2010), das deutsche Modell für punktuell gestützte Erdkörper auf weichem Untergrund mit adaptierten geometrischen Ansätzen.

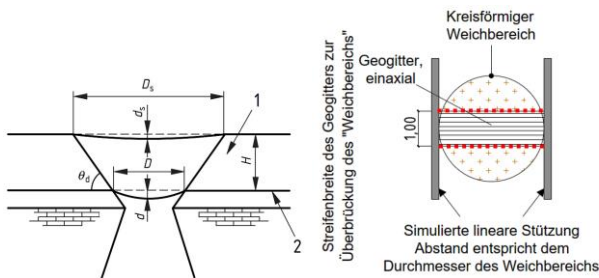


Abbildung 3 - Zur Veranschaulichung: das britische Modell zur Erdfallüberbrückung mit D_s und d_s (s. Kap. 5), links; das Modell EBGEO 2010 für Erdkörper auf linearer Stützung wie hier angesetzt, rechts

In allen Fällen wurde eine Geogitterbewehrung in der Kontaktebene zwischen Deponat (bzw. Deckboden darüber, Abbildungen 1 und 2) und Unterkante System, d.h. Unterkante „Polster“ vorgesehen.

Diese Geogitter sind einaxial und verlaufen parallel zur Autobahnachse.

Als Material für das „Polster“ wurde ein hochverdichtetes, grobkörniges, weitgestuftes Brechkorn vorgesehen.

Das System wurde als durchgehend vollflächig konzipiert, da von einer stochastischen Verteilung der etwaigen „Weichzonen“ ausgegangen wurde.

Es wurden mehrere Serien von multivarianten Berechnungen durchgeführt, immer wieder unter Anwendung der vier o.g. Verfahren. Dabei wurden

sowohl die angedachte „dünnere“ Systemdicke (H_{ges} in Abbildung 2) in breiten Grenzen unterhalb der anfänglich vorgesehenen 2,7 m variiert, wie auch die Geogitterparameter (insbesondere deren Langzeitdehnsteifigkeit) einbezogen. Konstant blieb der Oberbau von 0,7 m (Abbildung 2). Für jede Systemdicke wurde dann das Ergebnis aus den vier Verfahren mit den „stärksten“ Geogittern als maßgebend übernommen.

Es wurde klar, dass sich die Geogitterdehnungen im Bereich unter 1,5 % bewegen, und dass die dabei zu mobilisierenden Zugkräfte wesentlich sind. Deswegen gingen die Überlegungen in Richtung Geogitter aus Aramid (AR) als eines der Polymere mit höchster Kurz- und Langzeitdehnsteifigkeit und geringsten Dehnungen.

Die multivarianten Analysen zeigten, dass mehrere der untersuchten Systemdicken möglich wären.

Allerdings ergaben sich für die ganz dünnen Varianten AR-Geogitter mit Zugfestigkeiten oberhalb der gängigen marktüblichen Bereiche und somit eher unverhältnismäßig teuer. Man hat im Zuge der Systemoptimierung aus finanziellen, bautechnischen und Sensitivitätsgründen auf die „dünnsten“ Systeme verzichtet.

7 Optimierte Lösung

Letztendlich hat man sich nach Abwägung aller Vor- und Nachteile aus technischer, ökologischer, technologischer und finanzieller Sicht, sowie auch der Bauzeiten, für ein System mit einer Gesamtdicke $H_{ges} = 2,0$ m (Abbildung 2) entschieden. In diesem Fall betrug der Kontakt zu einem höher belasteten Deponat nur noch ca. 20 % der Gesamtstrecke. Ein typischer Systemquerschnitt findet sich auf Abbildung 4.

Einige Kommentare zu dieser optimierten Lösung:

Das untere Geogitter (GG) (Nr. 1 in Abbildung 4) ist ein einaxiales gerascheltes flexibles GG aus AR (Fortrac) mit einer Maximaldehnung von $\leq 2,7$ %.

Es wird parallel zur Autobahnachse verlegt.

Das obere Geogitter (Nr. 2 in Abbildung 4) ist ein einaxiales gelegtes/geschweißtes GG aus monolithischen Flachstäben aus hochfestem Polyester (PET) mit einer Kurzzeitfestigkeit ≥ 200 kN/m und einer korrespondierenden Dehnung ≤ 7 % (Secugrid). Es wird quer zur Autobahnachse verlegt. Der Grund für das obere GG war die Überlegung, einer negativen Systembiegung bei einem etwaigen asymmetrischen „Weichbereich“ entgegenzuwirken, denn in solch einem Fall wäre das untere GG weniger effizient. Es gibt nach unserem besten Wissen zurzeit noch kein gängiges Verfahren zur analytischen Behandlung eines bewehrten granularen (nichtbindigen) Balkens unter Biegung. Das obere GG wurde nach ingenieurtechnischem Ermessen als nicht berechnete Zusatzmaßnahme

gewählt, auch wegen der Robustheit dieses GG-Typs bei Einbau und Verdichtung, denn es wird zwischen zwei hochverdichteten grobkörnigen Schichten eingebaut (Abbildung 4). Eine weitere Systemkomponente ist unter Nr. 3 in Abbildung 4 gezeigt. Es handelt sich um einen Geoverbundstoff (oft auch „Matte“ genannt) mit Aktivkohle, hier mit der Bezeichnung Tectoseal Active AC 3000. Er dient dazu etwaige Emissionen aus dem Deponat zu neutralisieren und wurde sowohl in höher belasteten Deponiebereichen eingesetzt wie auch präventiv in weniger belasteten.

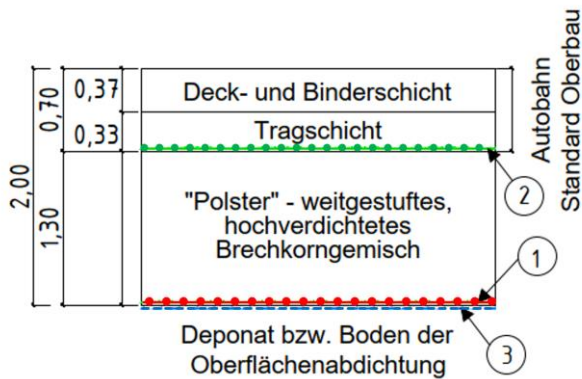


Abbildung 4 - Vereinfachte Darstellung der optimierten Lösung (1 - gerascheltes unteres GG aus AR parallel zur Autobahnachse; 2 - gelegtes/geschweißtes oberes GG aus PET quer zur Achse; 3 - Geoverbundstoff mit Aktivkohle, in Teilbereichen)

8 Ausführung und technologische Aspekte

Die Ausführung begann im Frühjahr 2019. Der Einbau des unteren flexiblen GG aus AR (Pos. 1 in Abbildung 4) wurde im Vorfeld in verschiedenen Probefeldern getestet, um später einen zügigen Einbau zu erreichen, Zeit war ein kritischer Faktor. Die GG mussten aus logistischen Gründen in Abschnitten von 60 m Länge verlegt werden. Flexible GG tendieren manchmal bei größeren Verlegeflächen und -breiten zu einer Faltenbildung. Dies kann deren Mobilisierung bei dem vorliegenden System verzögern und ist zu verhindern. Deswegen wird z.B. bei der Überbrückung von Erdfällen eine horizontale, planumsparende „Vorstrammung“ durch eine Traverse vorgenommen. Das spezifische bei dem A1-Projekt hier war, dass dies „hängend“ über die 60 m und nicht „schleppend“/ausrollend planumsparende auf dem Untergrund erfolgen sollte. (Abbildung 5). Das Einbaugerät mit der (angehobenen) Spanntraverse musste außerhalb der 60 m Verlegestrecke stehen. Es musste ein Optimum von Spannkraft, Hängekraft, Einbaugerät, Ballastierung und Einbauzeit gefunden werden, was auch gelang.



Abbildung 5 - Hängende Verlegung des unteren Geogitters unter gleichzeitiger Vorspannung: eine Besonderheit

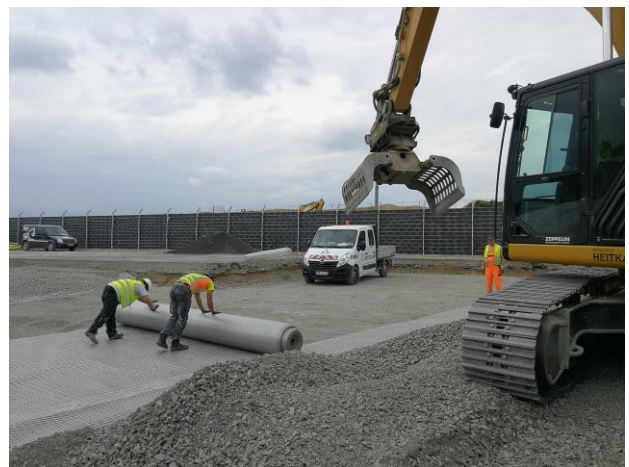


Abbildung 6 - Verlegung des oberen Geogitters durch Ausrollen per Hand

9 Schlusskommentare

Das hier kurz beschriebene Projekt ist unserer Meinung nach weder konventionell noch einfach.

Die Suche nach einer optimalen Lösung war aufwendig, und es galt sehr viele unterschiedliche, z.T. kontroverse Faktoren zu berücksichtigen. So war eine enge Abstimmung mit dem Prüfstatiker den ELE in Essen notwendig.

Es galt auch geeignete analytische Berechnungsverfahren zu finden und zu selektieren, manche mussten z.T. modifiziert werden.

Weil alle der verwendeten vier Verfahren unterschiedliche Vor- und Nachteile hatten, wurden sie bei allen Studien parallel angewendet, und die jeweils „stärkste“ sich ergebende Geokunststoffbewehrung wurde übernommen.

Was die Geokunststoffbewehrung betrifft, so entschied man sich generell für Geogitter wegen deren besseren Verbunds zu den in Betracht kommenden Kontaktböden. Es wurden zwei unterschiedliche Geogittertypen eingesetzt, wie wir glauben, auf eine optimale Weise.

Danksagung

Die Entwicklung und Umsetzung dieses spezifischen Projekts mit signifikanten innovativen Komponenten wäre nicht möglich ohne die enge und konstruktive Zusammenarbeit und Akzeptanz der Projektpartner von Straßen.NRW, dem ELE Essen und den Vertretern des IB Düllmann. Umfangreiche Abstimmungen mit den Projektbeteiligten, angefangen mit der Projektidee, über die Berechnungsansätze, der Projektmethodik, bis hin zur Umsetzung waren nötig.

Allen am Projekt Beteiligten gilt an dieser Stelle unser besonderer Dank für die konstruktive Zusammenarbeit.

Nur so war es möglich, dass diese optimierte Durchquerung der Altablagerung erfolgreich umgesetzt werden konnte.

Hierdurch war es möglich den Ausbau von belastetem Deponat deutlich zu verringern und das technisch anspruchsvolle Projekt fristgemäß innerhalb der vorgegebenen Bauzeit pünktlich fertig zu stellen.

Referenzen

EBGEO (2010) 'Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen', DGGT, Essen, Ernst & Sohn, Berlin.