



Nachbergbauzeit

HUESKER
Ideen. Ingenieure. Innovationen.

Straßen.NRW.
Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Sicherung von Verkehrswegen gegen Altbergbaueinwirkungen mithilfe von Geokunststoffen

Dr.-Ing. Dimiter Alexiew, Gescher, Assessor des Markscheidefachs Jürgen Edel, Krefeld
Dipl.-Ing. Rolf Witte, Bochum*

Im Verkehrswegebau ergibt sich weltweit mit zunehmender Tendenz die Notwendigkeit, problematische Baugrundverhältnisse zu meistern. Typische Beispiele sind gering tragfähiger Untergrund, Schwellböden, Permafrost, Industriebrachen etc.. Eine spezifische Problemgruppe dabei sind Karstgebiete (Erdfälle) und Gebiete mit aktivem oder stillgelegtem Untertagebau (Erdfälle, Versätze). Die Möglichkeiten, den Problembereich zu umfahren, sind heutzutage in Deutschland und in ganz Europa de facto nur hypothetisch: Man muss durch das problematische Terrain und dafür werden geeignete konstruktive Lösungen gebraucht. Oft ist es auch so, dass sich die Probleme bei schon existierenden Bauwerken quasi post factum manifestieren; dies ist oft bei Erdfällen und Versätzen (s.o.) der Fall. Als eine effiziente

Möglichkeit solche Probleme zu lösen haben sich in den letzten ca. 20 Jahren hochentwickelte Geokunststoffbewehrungen erwiesen, wobei die Entwicklung von Verfahren und Materialien noch nicht abgeschlossen sein dürfte. Es wird auf einige Aspekte der Probleme „Erdfall“ und „Versatz“, Lösungskonzepte und Erfahrungen mit dem Schwerpunkt Geokunststoffbewehrungen eingegangen.

Problemübersicht des Bergbaufachmanns

Weite Teile des Landes NRW sind seit Jahrhunderten durch bergbauliche Aktivitäten geprägt. Die Hinterlassenschaften des Bergbaus in Form von Tagesöffnungen oder (zum Teil tages-/oberflächennahen) Hohlräumen sind nicht nur im südlichen Ruhrgebiet mit der ausgehenden Steinkohle zu finden, sondern auch in anderen Landesteilen (z. B. Siegerland, Bergisches Land, Eifel), wo Erze oder andere Mineralien abgebaut worden sind. Es sind bis heute knapp 30000 Tagesöffnungen in NRW bekannt. Durch die Auswertung weiterer Unterlagen erhöht sich die Zahl ständig, man kann von bis zu 70000 verlassenen Tagesöffnungen ausgehen. Die nachfolgenden Überlegungen gelten nicht nur für das Steinkohlerevier, sondern auch für die anderen bergbaulichen Hinterlassenschaften.

Unter Altbergbau versteht man alle bergmännisch hergestellten Hohlräume einschließlich aller Bohrungen, Tagebaue und Restlöcher, die nicht mehr genutzt werden. Zum einen ist da der tages- und oberflächennahe Bergbau im Süden des Reviers, wo die Flöze zutage treten. „**Tagesnaher**“ Abbau bedeutet eine Teufe von weniger als 30 m unterhalb der Tagesoberfläche. Aufgrund der fehlenden technischen Möglichkeiten war hier ein Abbau der Steinkohle nur durch tagesnahe, einfachste Grabungen oder durch schachtartige Grubenbaue, sog. Pingen, möglich. Für den „**oberflächennahen**“ Abbau (Teufe 30 m bis 100 m) wurde die Lagerstätte über seigere oder tonnlägige Schächte erschlossen. Dem Verlauf der Steinkohleflöze folgte

auch der Abbau nach Norden hin in immer größere Teufen, die heute über 1000 m liegen. Während in diesem sog. „**Tiefen-bergbau**“ die Abbaueinwirkungen an der Tagesoberfläche in einem begrenzten Zeitraum von einigen wenigen Jahren beendet sind, bleiben die unverfüllten Grubenbaue in Bereichen in tages- und oberflächennahem Abbau auf Grund des fehlenden bzw. geringen Gebirgsdruckes lange Zeit offen. Dadurch besteht für die Tagesoberfläche und die hier geschaffenen baulichen Einrichtungen wie z.B. Straßen ein sehr lang anhaltendes bis zeitlich unbefristetes Gefährdungspotential. Wird die Standfestigkeit der Grubenbaue z.B. durch Verwitterung oder äußere Einflüsse wie Grubenwasserzuflüsse, Erschütterungen, bauliche Eingriffe an der Tagesoberfläche usw. verringert, kann es zu Tagesbrüchen in Form von Erdstufen, Mulden bis hin zu Kratern kommen. Hinzu kommt eine Vielzahl an Tagesöffnungen, also Schächte oder Stollen, die bis an die Tagesoberfläche reichen. Die Schächte sind in der Vergangenheit in der Regel teil- oder vollverfüllt und/oder mit einer Betonplatte abgedeckt worden. Bei einem Nach- bzw. Absacken des Verfüllgutes und dem Einstürzen der Tagesöffnung ist mit Absenkungen und/oder Einbrüchen der Tagesoberfläche zu rechnen. Auch die Betonplatten sind i.d.R. nicht für die immer weiter wachsenden Belastungen der heutigen Verkehrsflächen ausgelegt.

Die Tagesbruchgefahr würde sich durch eine Einstellung der Wasserhaltung im Ruhrrevier, für die nach der Einstellung des Steinkohlebergbaues nach 2018 keine bergbauliche Notwendigkeit mehr besteht, und einem damit verbundenen Grubenwasseranstieg deutlich vergrößern, da es dadurch verstärkt zu Ausspülungen, Umlagerungen und Reduzierung der effektiven Spannungen der Lockermassen in den altbergbaulichen Hinterlassenschaften kommen kann.

Problemübersicht des Bauingenieurs

Die Probleme werden nun vereinfachend nur aus der Sicht des Bauingenieurs betrachtet, der ein Problem konstruktiv lösen muss, wie auch immer entstanden, und nicht mehr aus der Sicht des Berg-

*Assessor des Markscheidefachs Jürgen Edel
Landesbetrieb Straßenbau NRW
Fachcenter Vermessung/
Straßeninformationssysteme
Hansastraße 2
47799 Krefeld
Tel.: 02151/819-381
Fax: 02151/819-130
E-Mail: juergen.edel@strassen.nrw.de
Internet: www.strassen.nrw.de

Dipl.-Ing. Rolf Witte
Landesbetrieb Straßenbau NRW
Regionalniederlassung Ruhr
Haus Bochum
Harpener Hellweg 1
44777 Bochum
Tel.: 0234/9552-475
Fax: 0234/9552-454
E-Mail: rolf.witte@strassen.nrw.de
Internet: www.strassen.nrw.de

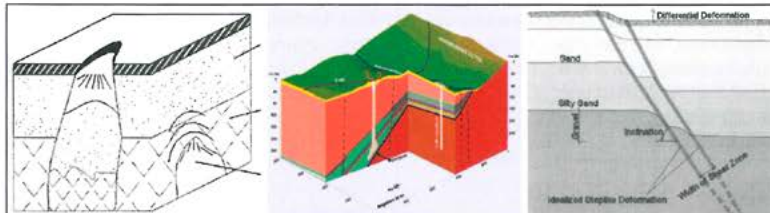
Dr.-Ing. Dimiter Alexiew
Technischer Direktor
HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13
48712 Gescher
Tel.: 02542/701-290
Fax: 02542/701-499
Mobil: 0172/5218009
E-Mail: dalexiew@huesker.de
Internet: www.huesker.de



Nachbergbauzeit

1	2	3
Problem	Erdfall/Einbruch (Bild 1: links und Mitte)	Versatz/Versprung (Bild 1 re.)
Genesis	Natürlich: Karst o.ä. Homo Sapiens: Bergbau	Natürlich: Erdbeben o.ä. Homo Sapiens: Bergbau
Entstehung und Verhalten	Überraschend, sehr schnell, ohne Vorwarnung, „Falltüreffekt“	Erdbeben: sehr schnell, ohne Vorwarnung, aber keine „Falltür“
Besteht weiterhin „Stützung“ durch den „Baugrund“ im Problembereich?	Nein, es entsteht ein Leerraum unter dem Bauwerk	Ja, besteht weiterhin, obwohl „abgesenkt“
Typische Form	Kreisrund, oval („Trichter“), bis – seltener – linear („Graben“)	Linear
Gefährdung von Menschenleben im Verkehr	Hoch	Bei Erdbeben hoch, sonst eher gering
Kann der Verkehr weiterlaufen?	Nein	Erdbeben: nein Bergbau: bedingt bis nein
Ist eine Verhinderung des Ereignisses im Vorfeld möglich?	Ja, z.B. komplette Verfüllung in der Tiefe (bei Karst), komplette oder teilweise Verfüllung von Galerien und/oder Schächten im Bergbau	Kaum

Tabelle 1 Vereinfachte Problemübersicht



1 Typisches Schema eines Erdfalls, links und Mitte (EBGEO 2010, Alexiew et al, 2003) und eines Versatzes, rechts (Scherbeck et al, 2000)



2 Typische durch Bergbau bedingte Tagesbrüche im Ruhrgebiet (eigene Quellen) und ein Versprung (unten rechts, Scherbeck et al, 2000)

bauspezialisten oder Ingenieurgeologen. Genesis und Klassifizierung des Problems sind nur noch insoweit relevant, als dass

man daraus die Quintessenz für die ingenieur- und bautechnischen Maßnahmen ziehen kann und soll (Meier, 2005, Stock,

2013, und insbesondere mit Blick auf den Straßenbau: Hakelberg und Steiger, 1969). Im Weiteren sollen hier vielmehr typische Geometrie und Kinematik, in Frage kommende konstruktive Lösungen Berechnung und Bemessung, Materialien, Baubarkeit, technische Erfahrungen etc. im Vordergrund stehen. Eine weitere Eingrenzung: der Schwerpunkt liegt bei Lösungen mit hochfesten Geokunststoffbewehrungen. Tabelle 1 soll die vereinfachte Problemübersicht darstellen.

Lösungsübersicht

Aus ingenieurtechnischer Sicht sind für Verkehrswege generell die Lösungen laut Tabelle 2 möglich. Die oberflächennahen Lösungen werden dabei wegen des Schwerpunkts dieses Beitrags detaillierter behandelt.

Aktualität der Probleme

Sie ist ohne weiteres vorhanden, generell weltweit. Auf der einen Seite wächst die Bevölkerungs- und Ansiedlungsdichte, auf der anderen die Notwendigkeit entsprechender Verkehrswege, für welche aber weniger Fläche und Positionierungswahl zur Verfügung stehen. Wie schon anfangs erwähnt, muss man heute Verkehrswege über Gebiete führen, die man früher aus gründungstechnischen Überlegungen vermieden hätte. Die Änderung einer Trasse um 30 bis 40 m (Hakelberg und Steiger, 1969) dürfte heute kaum möglich sein. Oft ist es auch so, dass Verkehrswege unglücklicherweise bereits über Gebiete mit Erdfallgefahr und Versatzerscheinungen führen: Entweder hat man vor Jahren die Gefahren nicht richtig identifiziert, oder haben die Gefahren im Untergrund durch fortschreitende natürliche (Karst)

Nachbergbauzeit

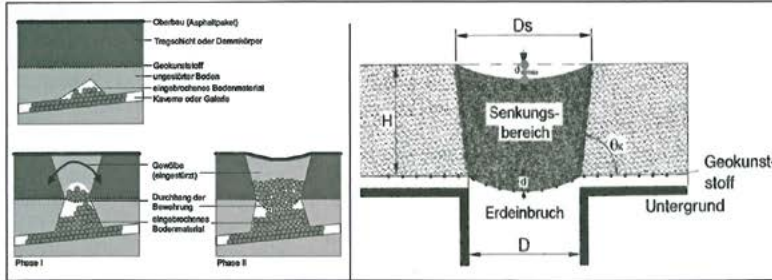


1	2		3	
Problem (siehe Tabelle 1)	Erdfall/Einbruch (siehe Tabelle 1)		Versatz/Versprung (siehe Tabelle 1)	
Tiefgreifende Lösungen (siehe auch z.B. <i>Stock</i> , 2013, <i>Hakelberg</i> und <i>Steiger</i> , 1969)	Verfüllung in der Tiefe - komplett - teilweise Überschaubarkeit, Kosten, Zeiten und Qualitätssicherung problematisch		Anker, Nägel, Mikropfähle, Injektionen (fraglich) Überschaubarkeit, Kosten, Zeiten und Qualitätssicherung eher unproblematisch	
Machbarkeit unter Verkehrswegen - präventiv - „sanierend“	Ja Ja		Ja Ja	
Systemduktilität (generell vorteilhaft)	Gering bzw. keine bis zum Gegenteil: eine Verfüllung kann spontan nach unten absa- cken/rutschen (<i>Scherbeck</i> et al, 2013)		Mäßig	
Oberflächennahe Lösungen	- Stahlbetonplatte - Geokunststoffbewehrung		- Stahlbetonplatte - Geokunststoffbewehrung	
Machbarkeit unter Verkehrswegen - präventiv - „sanierend“	Ja Ja		Ja Ja	
Systemduktilität (generell vorteilhaft)	- Stahlbetonplatte: Keine, im Falle des Falles spröder Bruch ohne Vorwarnung; Folgen fatal, weil darunter Leerraum - Geokunststoffbewehrung: Hoch, zuerst zunehmende Verformung, somit Vorwar- nung gegeben (siehe 6.1)		- Stahlbetonplatte: Keine, im Falle des Falles spröder Bruch ohne Vorwarnung; Folgen unterschiedlich kritisch (Straße, Schiene, Fahrgeschwindigkeit) - Geokunststoffbewehrung: Hoch, zuerst zunehmende Verformung, somit Vorwar- nung gegeben	
Geeignete Materialien vorhanden (siehe 5.2)	Ja		Ja	
Geeignete Bauverfahren vorhanden (siehe 5.3)	Ja		Ja	
„Carbon Footprint“ (Energieverbrauch, CO ₂)	- Stahlbetonplatte: hoch - Geokunststoffbewehrung: gering		- Stahlbetonplatte: hoch - Geokunststoffbewehrung: gering	
Bemessungsverfahren vorhanden? analytisch numerisch	Stahlbetonplatte: Ja Ja	Geokunststoff- bewehrung: Ja (EBGEO 2010) Ja	Stahlbetonplatte: Ja, aber Bettung? Ja	Geokunststoff- bewehrung: Nein, z.Zt. noch nicht Ja
Was ist meistens für die Bemessung Maßgebend: „bruchbezogen“ (GZ1 in DIN 1054: 2005-01 alias ULS: STR, GEO-2 und GEO-3 in DIN 1054:2010-12) „verformungsbezogen“ (GZ2 in DIN 1054:2005-01 alias SLS in DIN 1054:2010-12)	GZ1 (ULS)	GZ1 (ULS: STR, GEO-2) und GZ2 (SLS) gleichwertig	GZ1 (ULS)	GZ1 (ULS: STR, GEO-2) und GZ2 (SLS) gleichwertig
Erfahrungen (inkl. Eintritt der Bemessungssituation etc.)	Nicht bekannt	Groß, inkl. Erfahrung mit reellem Erdfalleintritt (siehe 6.1)	Nicht bekannt	Eher begrenzt, jedoch vielverspre- chend (siehe z.B. 5.1 und 6.2)
Versuchstechnische Erfahrungen	Keine bekannt	Ja, viel. Aus Platzgründen wird auf Referenzen verzichtet, sind aber mit eine Basis für EBGEO 2010	Keine bekannt	Ja, obwohl nicht viel (siehe z.B. <i>Becker</i> et al 2004, <i>Scherbeck</i> et al 1991, 2000, Japan - persönliche Korres- pondenz)

Tabelle 2 Vereinfachte Übersicht der möglichen ingenieurtechnischen Lösungen für Verkehrswege



Nachbergbauzeit



3 Schema einer Erdfallüberbrückung mit Geokunststoffbewehrung: Links der Vorgang (Möller et al, 2002), rechts ein Berechnungsmodell (EBGEO 2010, modifiziert); Einsenkung oben beachten

und technische (Bergbau) Prozesse sich entwickelt bzw. zugenommen. Das Ruhrgebiet macht da keine Ausnahme. Im Gegenteil, durch die vermehrte Aufgabe von künstlichen Grundwasserabsenkungen nehmen die Gefahren zusätzlich zu. Bild 2 zeigt 4 typische Bilder aus dem Ruhrgebiet in den letzten Jahren (Erdfälle und einen 90 cm Versatz).

Ein Sonderkapitel und auch für das Ruhrgebiet typisch sind „Erdfälle“ durch Schachtverbrüche (schlagartiges Abgehen von Verfüllmassen in Schächten, siehe z.B. Scherbeck et al, 2013), nennen wir es hier „Schachtüberdeckung“. Diese Situation ist insoweit technisch günstiger und besser beherrschbar, weil sich Form und Durchmesser des Trichters ziemlich

genau bestimmen lassen und dies sind maßgebende Parameter bei der Berechnung und Bemessung einer Überbrückung (EBGEO 2010). Bei den natürlichen Erdfällen und den Tagesbrüchen ist dies dagegen ein ewiger Diskussionspunkt.

Der Neubau von Verkehrswegen ist im Ruhrgebiet eher begrenzt; meistens kann es um Erweiterungen, Ausbau und ggf. Lasten- oder Geschwindigkeitserhöhungen gehen, insbesondere aber um „post factum“ Sicherungen: Entweder es passiert etwas und man muss eingreifen, oder man vermutet, dass etwas passiert und greift präventiv ein. Es geht also eher um „Maßnahmen im Bestand“. Das macht oberflächennahe Lösungen mit Geokunststoffbewehrungen besonders attraktiv.

Stand der Technik bei Lösungen mit Geokunststoffbewehrungen

Der Stand der Technik bei solchen Lösungen ist indirekt oben in Tabelle 2 umrissen. Generell hat man es bei einer angedachten Problemlösung in der Geotechnik (Erdbau/Grundbau) mit einem „Dreieck“ tun:

- a: Gibt es (plausible/gesicherte/verifizierte/genormte) Berechnungs- und Bemessungsverfahren?
- b: Gibt es entsprechende Materialien?
- c: Gibt es entsprechende praktikable Bauverfahren/Techniken?

Zum Punkt a - Berechnung

Bei „Erdfällen“, welcher Genesis auch immer (Falltürereffekt, siehe Tabellen 1 und 2).

Es gibt verifizierte und genormte Berechnungs- und Bemessungsverfahren (EBGEO 2010), Kapitel 11, Überbrückung von Erdeinbrüchen (Bild 3, rechts).

Das Thema wird dort sehr ausführlich behandelt. Es stehen u.a. je nach Geometrie, Bodenarten, Überdeckungsdicke etc. mehrere Berechnungsverfahren und Bewehrungskonstellationen zur Verfügung, so dass man alle praktisch relevanten Fälle optimal lösen kann. In Bild 4 sind exemplarisch 2 EBGEO-Tabellen dargestellt. Führend bei den Berechnungen ist die akzeptable Einsenkung auf OK System (Bild 3) – also GZ2 alias SLS (Tabelle 2) – die man vor allem durch eine höhere Dehnsteifigkeit der Bewehrung auf den erforderlichen Grenzwert reduzieren kann. Dann wird natürlich auch der GZ1-Nachweis (ULS) geführt, sprich, die Bewehrung darf während der Gebrauchsdauer des Systems nicht reißen. Die Kunst der Optimierung besteht darin, die Bewehrung zu finden, die bei einem Minimaleinsatz sowohl dem SLS (GZ2) wie auch dem ULS (GZ1) genügt. Dies ist heutzutage kein Problem wegen des breiten Spektrums von Geobewehrungen aus unterschiedlichen Polymeren (Alexiew et al, 1999). Bei Verkehrsbauwerken ist der akzeptable Grenzwert der Absenkung von der Art (Straße, Schiene), Geschwindigkeit und Kategorie (Straße, Autobahn) abhängig, und auch davon, ob es um eine Vollsicherung oder eine Teilsicherung geht (EBGEO 2010). Bei der ersten wird der Verkehrsweg ohne zusätzliche Maßnahmen bis zum Ende der geplanten Gebrauchsdauer betrieben; die Anforderungen sind dementsprechend strenger. Bei der zweiten Option ist der weitere Betrieb zeitlich begrenzt (z.B. eine Stunde oder ein Monat) und meistens mit einer Geschwindigkeitsreduzierung verbunden, bis man den Bereich saniert (Alexiew et al, 2003). In EBGEO 2010 gibt es Empfehlungen zu den akzeptablen relativen Einsenkungen (d.h. Einsenkung/Mulden Durchmesser), aber letztendlich soll der Bauherr entscheiden.

Benennung des Tragwerksmodells	Form des Einbruchkörpers	Benennung des Verfahrens, Literaturbezeichnung	Merkmale des Verfahrens			Tragwerksmodell gem. Bild 11-7
			nein	nein	nein	
Einbruchmodell	Kegelstumpf	BS 8006	nein	nein	nein	1a
		B.G.E.	ja	ja	ja	1a/1b
	Zylinder	GIROUD	nein	möglich	nein	1a/1b
		R.A.F.A.E.L.	nein	ja	ja	1b
Gewölbe-modell	Kugelkalotte	A.S.T.	ja	nein	nein	2b
		BGE	ja	nein	ja	2a

Lastabtragungsmodell	Biaxial		einaxial
	Isotrop	Anisotrop	extrem Anisotrop
Prinzipdarstellung			
Berechnungsverfahren	BS 8006 [3] GIROUD et al. [4] B.G.E. [5] A.S.T. [6]	B.G.E. [5]	Giroud et al. [4] R.A.F.A.E.L. [8] BS 8006 [3]

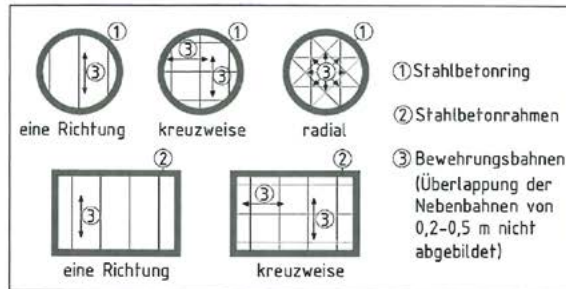
4 Physikalische Merkmale, Berechnungsverfahren und Bewehrungskonstellationen (EBGEO 2010)



Nachbergbauzeit



Die EBGEO-Berechnungsverfahren gehen vorwiegend von einem nichtkohäsiven Überdeckungsboden aus (Reibungsboden). Böden mit dauerhafter Kohäsion (z.B. nach Verfestigung) werden insoweit berücksichtigt, dass man auf anderswo publizierte plausible und erfolgreich angewendete Verfahren verweist (z.B. Alexiew et al, 2002).



Luftunterdruck und ggf. schnell darauffolgenden Luftüberdruck. Das kann passieren, wenn eine teilweise Schachtverfüllung aus welchem Grund auch immer schlagartig nach unten rutscht. Das Problem kann man mildern bzw. eliminieren, indem man Geogitter – also eine offene Struktur – als Bewehrung wählt und die Überdeckung darüber aus einem enggestuften (mit großem Porenvolumen, sehr luftdurchlässigen) Kies/Schotter ausführt. (NB: Der Trick ist

Bei „Schachtüberdeckungen“ (Falltüreffekt, siehe Tabellen 1 und 2):

Es gelten grundsätzlich die Aussagen zu „Erdfällen“ oben. 2 spezifischere Aspekte seien noch erwähnt:

Die Zugkräfte in der Bewehrung, die durch Membrantragwirkung den Leerraum überbrücken (Bild 3) sind beträchtlich. Diese werden seitlich durch Weiterführung der Bewehrung in einen Verankerungsbereich abgeleitet. Weil die Auflast durch die Bodenüberdeckung im Verankerungsbereich oft gering ist, ergeben sich Verankerungslängen von mehreren Metern. Bei den typisch

5 Mögliche Lösungen mit Geokunststoffbewehrungen bei Schachtüberdeckungen mit Verankerungsring oder -rahmen

Quelle: HUESKER

linearen Verkehrserdbauwerken ist das kein Problem. Bei der fokussierten Überdeckung eines Schachts bemüht man sich aber um einen flächenminimierten Eingriff; große Verankerungslängen sind ungünstig. Dann kann man eher zu einer „Ringlösung“ greifen (Bild 5); es gibt heute geeignete alkalibeständige Geokunststoffbewehrungen (z.B. Polyvinylalkohol - PVA), so dass eine direkte Einbetonierung möglich ist.

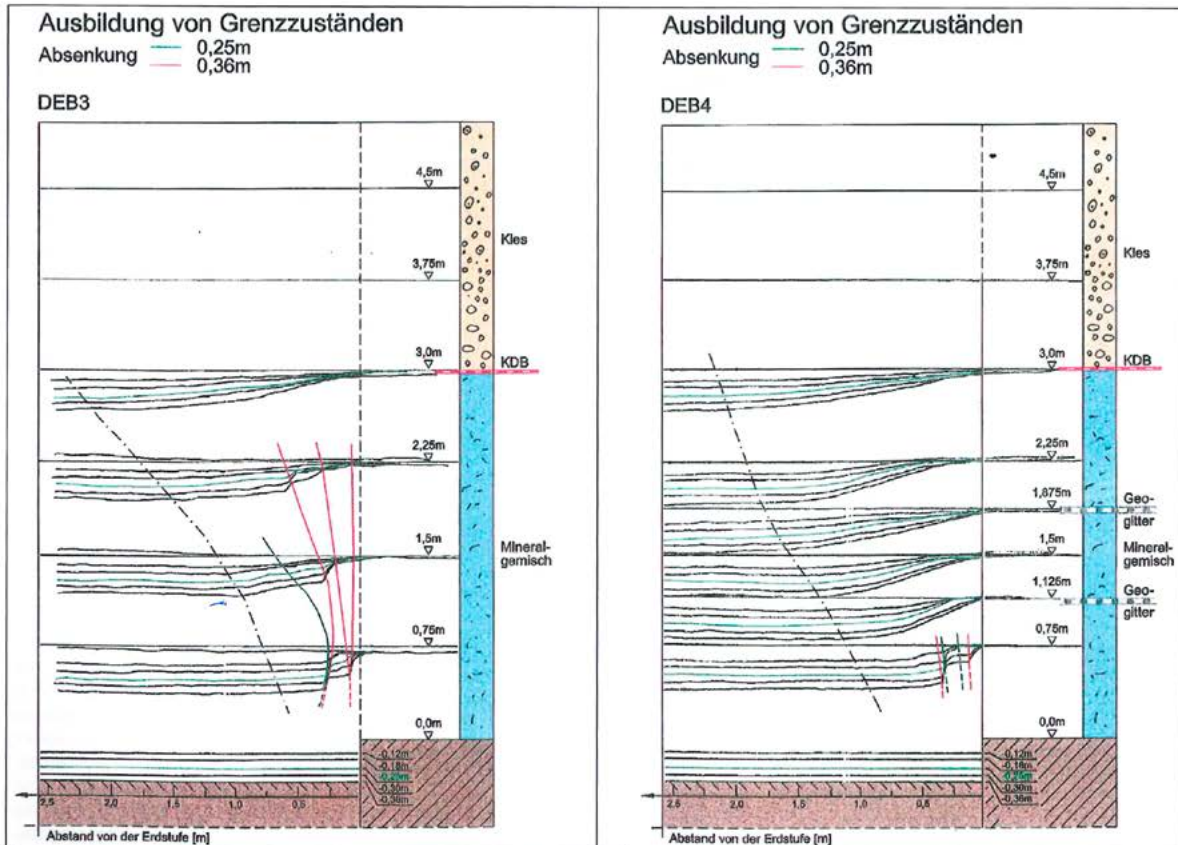
Ein zweiter spezifischer Aspekt ist eine etwaige zusätzliche Einwirkung durch

z.B. bei einer Stahlbetonabdeckung nicht machbar). Auch wegen seiner Duktilität dürfte das System in der Lage sein, solch eine Impulsbelastung schadensfrei zu überstehen.

Bei „Versätzen“

(kein Falltüreffekt, siehe Tabelle 1 und 2)

Es fehlt leider ein verifiziertes analytisches Berechnungsverfahren. Paradoerweise eben deshalb, weil kein Leerraum entsteht, und somit gängige geschlossene „bettungsfreie“ Lösungen der Seil- oder



6 Verformtes System und Scherzonen über einem Versatz: Links unbewehrt, rechts geogitterbewehrt
Grafik: DMT-GUC, 1999, Scherbeck et al, 2000, modifiziert



Nachbergbauzeit

Membrantheorie nicht anwendbar sind. Bei einer Bettungsberücksichtigung landet man bei nicht einfach zu lösenden Differentialgleichungen; es bliebe auch der korrekte Ansatz der Bettung im eigentlichen Versprungbereich (Bild 1, rechts) fraglich. Man kann allerdings zu numerischen Lösungen greifen (z.B. FEM); die kommerziell verfügbaren Programme werden immer besser. Zwei Hinweise:

- Mit den einfachsten Stoffgesetzen ist es – leider – nicht getan
- FEM-Berechnungen mit Geokunststoffen scheinen den verformten Systemzustand als Ganzes korrekt zu erfassen, aber die Zugkräfte in der Bewehrung im Vergleich zu Messungen spürbar zu unterschätzen. Das war der Kenntnisstand vor einigen Jahren, und es gibt entsprechende Hinweise auch in EBGeo 2010. Es sei hier auf laufende Forschung z.B. an der Ruhr-Universität Bochum verwiesen. Es geht zwar um ein anderes System mit Geokunststoffbewehrung, jedoch laufen auch Vergleiche zwischen den Meßergebnissen aus Zentrifugalversuchen und FEM-Berechnungen (Detert et al, 2013); die erlangte prinzipielle Erfahrung wäre ggf. in Zukunft auch bei dem Versatzproblem mit Bewehrungen nutzbar.

Man hat sich auch versuchstechnisch mit dem Problem „Versatz/Versprung/Biegung einer Bodenschicht“ befasst, unter anderem auch wegen der schwierigen rechnerischen Simulation/Bemessung: Scherbeck et al (1991), Scherbeck (1992) mit bindigen unbewehrten Schichten und Viswanadham (1996, 2005) – auch mit bindigen, aber geogitterbewehrten Schichten in Deponieabdeckungen, beide mit Zentrifugalversuchen an der Ruhr-Universität Bochum. Die wichtigste Erkenntnis: mit einer geeigneten Geogitterbewehrung (flexibel, optimaler Zugmodul (Dehnsteifigkeit), guter Verbund) lassen sich Krümmungen mildern, Versätze vermeiden und Risse minimieren. Becker et al (2004) berichten auch über Versuche mit dichtenden bindigen Bodenschichten, aber über einem simulierten bergbaubedingten Versprungbereich (vgl. Bild 1, rechts) und im Maßstab 1:1, mit unbewehrten und unterschiedlich bewehrten Varianten. Der simulierte Ver-



7 Verformter geogitterbewehrter (li.) und unbewehrter (re.) Straßenoberbau über einem Versprung (persönliche Korrespondenz) Quelle: HUESKER

satz ist schroffer als bei den obigen deponiebezogenen Zentrifugalversuchen, aber die wichtigsten Erkenntnisse praktisch identisch. Bei einer ausreichend hochmoduligen Bewehrung mit gutem Verbund wird der Versatz bis OK System geglättet.

Bei all diesen Studien ist die Bewehrung einlagig, obwohl höhenmäßig unterschiedlich positioniert. Aus der Sicht der Verfasser ist es schade, dass bei einem System mit wechselnder Bodenschichtkrümmung konvex-konkav keine Variante mit 2 Bewehrungslagen (1 im unteren, 1 im oberen Bereich) getestet wurde.

Dies geschah allerdings bei einer anderen Studie in der Zentrifuge (Scherbeck et al, 2000). Bewehrt wurde hier zum ersten Mal nicht eine bindige Bodenschicht, sondern eine aus einem kies-basierten Mineralgemisch (also eher nichtbindig und gewollt dilatant) mit beträchtlicher Mächtigkeit (3 m im Prototyp (!)). Es ging um die Glättung eines Versprungs von bis zu 0,3 m unter einer zukünftigen Deponiebasis, die in den Versuchen auch nachweislich gut gelang. Der Unterschied unbewehrt/bewehrt ist deutlich (Bild 6).

Die wichtigste Erkenntnis: Es lassen sich Versprünge durch eine z.B. 2-lagige, geeignete Geogitterbewehrung in nichtbindigen Bodenschichten meistern, allerdings dürften Tragschichten mit 3 m Dicke im Verkehrswegebau kaum vorkommen.

Vor ca. 2 Jahren wurden hochinteressante, sehr aufwendige Versuche in Japan durchgeführt (persönliche Korrespondenz). Es geht exakt um die „Glättung“ der Verformung eines Straßenoberbaus über einem Versatz, so dass der Verkehr

– obwohl mit reduzierter Geschwindigkeit – sicher weiterlaufen kann. Der Hintergrund in Japan sind z.T. dramatische Versprünge nach einem Erdbeben, prinzipiell unterscheidet sich aber der Vorgang in Geometrie, Kinematik etc. nicht von den durch Bergbau generierten Versprünge im Ruhrgebiet (Tabelle 2). Das Problem in Japan ist ggf. noch schlimmer, weil noch größere „Stufen“ und breitere Risse in nur wenigen Sekunden entstehen können. Bild 7 zeigt die Situationen ohne und mit Geogitterbewehrung. Der Versprung ist bei der geogitterbewehrten Variante bis auf OK Straße geglättet, die Asphaltdecke intakt, der Problembereich bleibt befahrbar. Bei der unbewehrten Variante ist die Straße unterbrochen und nicht mehr befahrbar.

Wir halten diese Versuchserfahrungen für sehr wertvoll. Die Lösung ist unseres Erachtens direkt auch auf Versatzprobleme durch Altbergbau – übertragbar; so auch im Ruhrgebiet.

Versuchs- und Systemdetails sind z.Zt. nicht öffentlich zugänglich. Nach unserem Kenntnisstand handelt es sich um 2 bis 3 Lagen flexibler, hochmoduliger, dehn- und kriecharmer Geogitter, die in konventionelle nichtbindige Straßenstragschichten (200m der Körnung mittig im Quadrat, Bild 7) eingebaut wurden.

Zum Punkt B - Materialien

Die Verfügbarkeit von geeigneten Böden ist kein Thema. Ein paar Worte zur Geokunststoffbewehrung:

Als Bewehrung kommen Geogewebe, Geogitter und ggf. Geoverbundstoffe in Frage (EBGeo 2010); Kommentare zu den

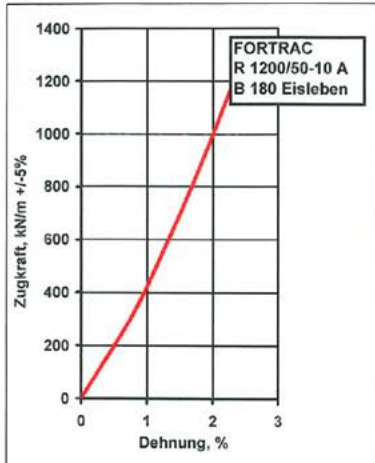


8 Vorrichtung und Technik zur strammen Verlegung von Geobewehrungen, korrekt verlegtes Geogitter (v.l.n.r.)

Quelle: HUESKER



Nachbergbauzeit



9 Kurzarbeitslinie Zugkraft/Dehnung Alexiew & Thurm, 2003

wichtigsten Eigenschaften einer „idealen“ Bewehrung und den heutigen Möglichkeiten finden sich z.B. in Alexiew et al (1999).

Konkreter bei den hier behandelten Problemen „Erdfall“ und „Versatz“: entscheidend sind hohe Module (Dehnsteifigkeiten), sowohl kurzzeitig wie auch langfristig (nach Kriechen), damit man bereits bei geringen Verformungen hohe Zugkräfte – auch dauerhaft – mobilisieren kann, desweiteren ein guter Verbund zum Boden und eine ausreichende Bemessungsfestigkeit (alias Widerstand, EBGEO 2010). Am besten geeignet sind Geogitter aus Aramid (AR) und Polyvinylalkohol (PVA): sehr hochmodulig, sehr kriecharm (Reißdehnung AR <2,5%, PVA: <5%), mit Kurzzeitfestigkeiten heute bei AR > 2200 kN/m (220 t/m) und bei PVA >1600 kN/m (160 t/m). Damit lassen sich auch sehr schwierige geotechnische Probleme lösen, siehe z.B. Moormann et al (2010).

Aus Platzgründen wird hier auf weitergehende Informationen verzichtet. Zusammenfassend: es sind geeignete Geokunststoffbewehrungen vorhanden.



10 B 180 Eisleben: der Morgen nach dem Einbruch (links) und Bergung der Geogitter zum Testen (rechts) Quelle: HUESKER

Zum Punkt C - Bauverfahren

Es handelt sich einfach um qualifizierten Erdbau; insoweit nichts Besonderes. Zu beachten ist eine kompromisslose Verdichtung (Kirsch und Placzek, 2009). Enorm wichtig ist die ebene, stramme Verlegung der Geogitter, am besten mit einer kontrollierten, technologischen Vorspannung; die beste hochmodulige Bewehrung wird mit Vorspannung anspringen, falls nicht präzise verlegt. Erfahrungen und Geräte für eine präzise Verlegung sind vorhanden (Bild 8).

Exemplarische Projekte zur Überbrückung von Erdfällen und Versprünge mit Geokunststoffbewehrungen Bundesstraße B 180 bei Eisleben (Erdfall)

Es handelt sich um die erste Erdfallüberbrückung mit Geogittern nicht nur an einer deutschen Straße, sondern überhaupt. Planung und Ausführung erfolgten in 1992 bis 1993. Spezifik: Karst, zu erwartender Durchmesser des Erdfalltrichters 6 bis 12 m, Lage exakt bekannt, das System sollte für mindestens 10 bis 15 Min. den Verkehr mit 100 km/h tragen; in dieser Zeit sollte ein an den Dehnungen des Geogitters geeichtes und gekoppeltes Warnsystem den Verkehr stoppen; Problembereich im Einschnitt, somit ein sehr flaches System erforderlich; keine Rechenverfahren damals in Deutschland vorhanden, Be-

rechnungen nach dem Entwurf von BS 8006 (1992). Es gab keine Bewehrung, die den enormen Anforderungen genügen konnte: Deshalb wurde zum ersten Mal weltweit ein Geogitter aus Aramid (AR) entwickelt, produziert und angewendet mit einer Kurzzeitfestigkeit $F_k = 1200 \text{ kN/m}$ bei einer Grenzdehnung $\epsilon_{ult} < 2,5\%$ (Bild 9).

In Oktober 2001 (8 Jahre nach dem Bau): Reaktivierung des Erdfalls, binnen kurzer Zeit erreicht der Trichter Durchmesser 5 bis 6 m, in einer Stunde über 10 m, die Warnanlage springt wegen eines vorgegangenen menschlichen Versäumnisses nicht an, Verkehr läuft schadenlos über dem wachsenden Trichter mindestens eine halbe Stunde. Das geogitterbewehrte System erweist sich als lebensrettend. Irgendwann erreicht der Trichter über 12 bis 14 m Weite, die Geogitter reißen, das System kollabiert, hat aber ihren Zweck mehr als erfüllt. Geogitterbahnen wurden geborgen und getestet (Bild 10): Es wurden keine negativen Veränderungen festgestellt. Nach unserem Kenntnisstand ist dies bis heute das einzige vom „realen Leben“ geprüfte Erdfallüberbrückungssystem mit Geogittern. Detaillierte Informationen finden sich in Alexiew und Thurm (2003).

Burfdesautobahn A 57 bei Asdonkshof (Versatz)

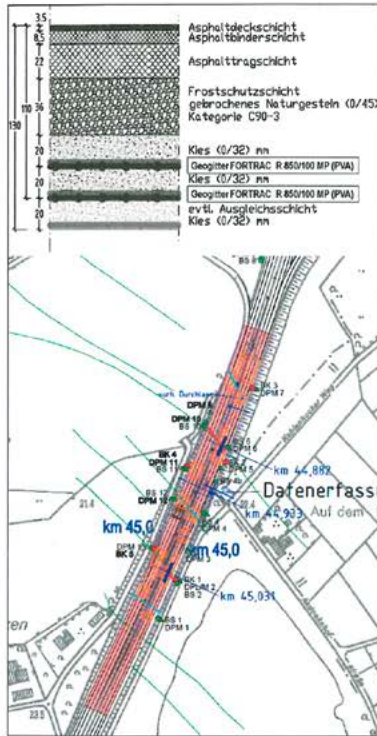
Im Bereich der A57 bei Kamp-Lintfort wird seit Jahrzehnten Kohle abgebaut. Die Autobahn hat sich in diesem Bereich seit ihrem Bau in den 70er Jahren um 3 bis 6 m



11 BABA57 bei Asdonkshof: Übersicht li., typischer Versatz nach Freilegung Mitte, frühere Sanierungsweise mit Aushub und darauffolgender Erhöhung re. Kirsch & Placzek, 2009, modifiziert



Nachbergbauzeit



12 BABA57 bei Asdonkshof: Oben: Schichtenaufbau mit Geogitterbewehrung; unten: Übersicht der Verlegestrecke
Quelle: ELE-Gutachten

gesenkt, wobei sich insbesondere ab den 90er Jahren signifikante Unstetigkeiten südlich der AS Asdonkshof zunehmend ausprägten (Kirsch und Placzek, 2009), was an starken Zerrbeanspruchungen zwischen zwei Baufeldern lag (Bild 11).

Ab Mitte der 70er Jahre wurden immer wieder Sanierungsmaßnahmen in diesen Versatzbereichen durchgeführt. Man hat die Asphalttrag- und Deckschichten weggefräst und erhöht (dicker) eingebaut. Der Vorgang verursachte beträchtliche Verkehrsbehinderungen, griff eigentlich nicht an der Wurzel des Problems und war insoweit ein notwendiger Kompromiss (Bild 11). Da die Versatzprobleme durch den weiteren Flözabbau zunahmen, musste 2007 die Fahrgeschwindigkeit auf 80 km/h gedrosselt werden. In 2008 wurde entschieden (Straßen.NRW, RAG & ELE Essen), dass man konzeptuell eine neue, dauerhafte Lösung entwickelt, die auch auf lange Sicht die Probleme löst. Dabei wurden (soweit vorhanden) Konzepte, Überlegungen und Erfahrungen herangezogen, die in Zusammenhang mit Versatzproblemen – allerdings mit dem Schwerpunkt Deponiebau – vorlagen. Man entschied sich für eine geogitterbewehrte, nichtbindige Kies-Tragschicht im Rahmen eines modifizierten „Standardoberbaus“, die bis

OK Deckschicht die Versatzverformung („Stufe“) glättet und auch eine etwaige Rissöffnung überbrückt (Bild 11, Mitte). Es wurden vorhandene grundsätzliche Erkenntnisse genutzt: Die Geobewehrung soll flexibel, kurz- und langfristig sehr dehnsteif (hochmodulig) sein und einen guten Verbund zum Kontaktboden haben. Den endgültigen Typ des Geogitters legte man aufgrund dieser Argumente fest, eigentlich – mangels eines verifizierten Berechnungsverfahrens (Tabelle 2) – konstruktiv und aufgrund von „engineering judgement“ alias ingenieurtechnischem Ermessen. Das Geogitter sollte 350 kN/m Zugkraft bei nur 2,5% Dehnung mobilisieren.

Nebenbemerkung

Man machte einen weiteren konsequenten, wichtigen konzeptuellen Schritt: Es wurden 2 Geogitterlagen mit Abstand vorgesehen, obwohl die Tragschicht eher dünn ist (vgl. DMT-GUC, 1999, Scherbeck et al, 2000, und Bild 6 hier mit einer 3 m-Schicht). Der Aufbau und die Einbaustrecke sind auf Bild 12 dargestellt.

Erfreulicherweise erscheint das Konzept den Versuchen in Japan sehr ähnlich, obwohl die um diese Zeit nicht bekannt waren. Wegen der hohen Bauwerkskategorie wurde ein hochwertiges Mess- und Überwachungssystem eingebaut. Die Bauausführung erfolgte problemlos 2008 unter Einhaltung hoher Qualitätskriterien; gesichert wurden beide Fahrtrichtungen über eine Länge von je 450 m. Die Geogitterverlegung erfolgte präzise unter technologischer Vorspannung (Bild 13). Weitergehende Informationen finden sich in (Kirsch und Placzek, 2009).

Weitere ähnliche Projekte im Ruhrgebiet

Es sei hier das Projekt BAB A40, Westkreuz Bochum erwähnt. Es geht um eine präventive Sicherungsmaßnahme (Tabelle 2), weil aufgrund von geologischer Struktur und Bergbauaktivitäten in Zukunft mit einem Versprung zu rechnen ist. Eingebaut wurden noch dehnstere Geogitter als bei der A57, nämlich extrem hochmodulige Fortrac® 1200 AR aus Aramid.

Schlussbemerkungen

Die Überbrückung von bergbaubedingten Erdfällen (Tagesbrüchen, Schächten) und Versprünge bei Verkehrswegen ist im Ruhrgebiet sehr aktuell. Eine technisch effiziente und umweltfreundliche (CO₂-Verbrauch) Lösung ist die optimierte Anwendung von oberflächennahen Systemen mit modernen, hochentwickelten Geogitterbewehrungen. Bei den „Erdfällen“ (Falltüteneffekt) liegen generell verifizierte Berechnungsverfahren und große Erfahrungen vor, bei den „Versprünge“ ist es soweit, dass man plausibel und sicher bauen kann. Entwicklungen und Optimierung laufen weiter.

Literaturverzeichnis

Alexiew, D., Sobolewski, J., Pohlmann, H. (1999), „Projektbezogene Anwendungsmöglichkeiten von Geogittern aus neuartigen Polymeren“, 6. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik, München, 1999. Sonderheft Geotechnik, DGGT, Essen, 1999, Seite 199 bis 206
Alexiew, D., Elsing, A., Ast, W. (2002), „FEM-Analysis and Dimensioning of a Sinkhole Overbridging System for High-Speed Trains at Gröbers in Germany“, Proc. 7th Int. Conf. on Geosynthetics, Seite 1167 bis 1172



13 BAB A57 bei Asdonkshof (beide Fotos oben) und BAB A4, Westkreuz Bochum (beide Fotos unten): Präzise Verlegung der Geogitter unter konstruktiver Vorspannung/Strammung
Quelle: HUESKER



Nachbergbauzeit



Alexiew, D., Ast, W., Elsing, A., Hangen, H., Sobolewski, J. (2003), „Erdfallüberbrückungssystem Eisenbahnknoten Gröbers – zur Bemessung, Ausführungsplanung und Bauausführung“, 8. Informations- und Vortragstagung über Kunststoffe in der Geotechnik KGeo, Sonderheft „Geotechnik“, DGGT, Essen, Seite 235 bis 248

Alexiew, D., Thurm, S. (2003), „Die Bundesstrasse B 180 von 1993 bis heute: Erste Erdfallüberbrückung mit Geokunststoffbewehrung in Deutschland“, Straße und Autobahn, Vol. 54, Heft 3, Seite 157 bis 163

Becker, J., Dahmen, D. (2004), „Praktische Untersuchungen zum Einsatz von Geotextilien für die Sicherung mineralischer Abdichtungen bei Beanspruchungen durch geologische Unstetigkeiten“, Geotechnik 27 (2004), Nr. 3, Seite 266 bis 278

BS 8006 Draft (1992), „Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills“, British Standard Institution, London

Detert, O., Schanz, T., Alexiew, D., König, D. (2013), „Analysis of an adaptive foundation system for embankments on soft soils by means of physical and numerical modeling“, Proc. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seite 907 bis 910
DIN 1054:2005-01 (2005), Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, DIN, Berlin, DIN 1054:2010-12 (2010), Baugrund-Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau-Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, DIN, Berlin

DMT-GUC (1999), „Eyller Berg. Tischvorlage. Zwischenergebnisse Zentrifugenmodellversuche“

EBGEO 2010, (2010), „Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik-DGGT, Ernst & Sohn, Essen/Berlin

Hakelberg, F., Steiger, M. (1969), „Oberflächennaher Bergbau schafft bautechnische Probleme beim Bau einer 4spurigen Schnellverkehrsstraße“, Straßenbau-Technik Nr. 13, 01.07.1969, Seite 853 bis 863

Kirsch, F.-J., Placzek D. (2009), „Sicherung der durch bergbauliche Einwirkungen stark beanspruchten Bundesautobahn BAB A57“, Proc. 10. Geokinematiker Tag, Freiberg, Seite 248 bis 258

Meier, G. (2005), „Empfehlung Geotechnisch-marckscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“, Marckscheidewesen 112 (2005), Heft 3, Seite 102 bis 113

Möller, B., Graf, W., Hoffmann, A. (2002), „Berechnungsmodelle für Geotextilien bei Erdfall“, Mitteilungen des Instituts und der Versuchsanstalt für Geotechnik, TU Darmstadt, Heft 58

Moormann, C., Alexiew, D., Glockner, A., Jud, H. (2010), „Bau- und messtechnische Erfahrungen bei der Errichtung eines großen Rohstofflagers auf weichem Untergrund unter intensiver Nutzung von Geokunststoffelementen und -systemen“, Proc. Symposium „Baugrundverbesserung in der Geotechnik“, Siegen, September 2010

Scherbeck, R., Jessberger, H.L., Stone, K. (1991), „Mineral liner reaction from settlement induced deformation“, Proc. Centrifuge 91, Balkema Rotterdam, Seite 121 bis 128

Scherbeck, R. (1992), „Geotechnisches Verhalten mineralischer Deponieabdichtungsschichten bei ungleichförmiger Verformungseinwirkung“, Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, Ruhr-Universität Bochum, Heft 16

Scherbeck, R., Junge, J., König, D., Bronn, L. (2000), „Discontinuous deformation on a basal lining system-identification of action and development of a geotechnical system solution“, Proc. GREEN 3, Berlin, Seite 1 bis 7

Scherbeck, R., Barciaga, T., König, D., Wollnik, F., Schanz, T. (2013), „Neue Untersuchungen zum Systemverhalten von Lockermassensäulen alter Tiefbauschaächte“, Geotechnik 36 (2013), Heft 4, Seite 218 bis 230

Stock, L.-M. (2013), „Altbergbau als Problemstellung der Geotechnik“, Lehrauftrag: Spezialtiefbau und Dammbau; TU Dortmund, Lehrstuhl Baugrund-Grundbau,

Prof.-Dr.-Ing. habil. Achim Hettler
Viswanadham, B. (1996), „Geosynthetic reinforced mineral sealing layers of landfills“, Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, Ruhr-Universität Bochum, Heft 28

Viswanadham, B., Jessberger, H. (2005), „Centrifuge modeling of geosynthetic reinforced clay liners of landfills“, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 131(5), Seite 564 bis 574

Buchbesprechung

Zeche Constantin der Große

Vor 40 Jahren wurden die letzten Schächte der Zeche Constantin verfüllt. Sie waren bis 1973 noch als Außen- und Wetterschächte für die letzte Bochumer Verbundschachtanlage „Bergwerke Bochum“ in Betrieb. Die Förderung der Zeche Constantin war bereits Ende März 1967 eingestellt worden.

Die Zeche Constantin der Große war eines der bedeutendsten und größten Steinkohlenbergwerke im Bochumer Raum. Das Grubenfeld umfasste mehrere Ortsteile und lag auch auf dem Stadtgebiet von Herne. Mit der Übernahme der Herner Zeche Mont Cenis im Jahr 1939 erreichte es seine größte Ausdehnung von über 20 km².

Von der Abteufung des ersten Schachtes in Bochum-Hofstede im Jahr 1850 bis zur Stilllegung 1967 war die Zeche ein prägender Wirtschaftsfaktor in der Region. Der Auf- und Ausbau der einzelnen Schachtanlagen führte für das zuvor dünn besiedelte Gebiet im Norden des alten Bochumer Stadtkerns zu einem enormen wirtschaftlichen Aufschwung und zu einem raschen Bevölkerungswachstum. Die Bauerschaften Hofstede, Riemke, Grumme, Bergen und Hiltrop entwickelten sich zu Großgemeinden und wurden im Laufe der Zeit Stadtteile von Bochum. Die Schachtanlage Constantin 4/5 lag auf Herner Seite in der Gemeinde Sodingen und sorgte dort für den Zuzug von Arbeitern, die auf der Zeche ihr Auskommen fanden. Auch die Zeche Mont Cenis lag in Sodingen, war aber

bis 1939 eigenständig und unabhängig von Constantin.

Die größte Förderung erreichte Constantin 1927 mit über 2,8 Mio. t. Damals waren fast 11000 Mitarbeiter auf dem Bergwerk beschäftigt. Selbst in den Jahren des Zweiten Weltkriegs konnte die jährliche Förderung bis 1943 bei über 2 Mio. t gehalten werden. In den Nachkriegsjahren trug die Zeche zum Wiederaufbau bei, während des Kohlebooms der 1950er Jahre lag die

Zahl der Beschäftigten bei fast 6000 Mann. Die Kohlenkrise 1958/59 führte zum Personalabbau und zur Konzentration auf einen Förderstandort. Die Schachtanlage Constantin 6/7 auf dem Bochumer Kötterberg wurde zur Zentralförderanlage ausgebaut und die Kohlen aus allen Baufeldern gelangten schließlich nur noch dort zu Tage.

Doch der Vormarsch des Heizöls sorgte auch in den 1960er Jahren für einen beständigen Rückgang des Kohlenverbrauchs, so dass die Krupp AG, in deren Besitz Constantin war, sich zur Aufgabe der Zeche entschloss. Die mit der damaligen Bundesregierung vereinbarte Stilllegungprämie hat sicherlich ebenfalls zu dieser Entscheidung mit beigetragen.

Am 11.02.1967 wurde der letzte Koks gedrückt und zum 31.03 dieses Jahres die letzte Kohle gefördert.

Über die Zeche erscheint nun ein Buch, das am 27.09.2014 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Der Autor ist Norbert Meier. Im Format DIN A4 wird darin die Bergbaugeschichte dieser Anlage auf 432 Seiten und mit mehr als 630 Bildern ausführlich geschildert und präsentiert. Das Buch erscheint im Selbstverlag und wird vom Arbeitskreis Dortmund im Förderverein Bergbauhistorischer Stätten Ruhrrevier e.V. zum Preis von 24,95 €, herausgegeben. ISBN-Nr.: 978-3-00-046574-1

