

# ERSTE ERDFALLÜBERBRÜCKUNG MIT HOCHFESTEN GEOGITTERN IN DEUTSCHLAND: DIE GESCHICHTE DER B 180 VON 1992 BIS 2002

D. Alexiew  
HUESKER Synthetic; Gescher

S. Thurm  
Landesamt für Straßenbau, Halle

**KURZFASSUNG:** An der Bundesstraße B 180 gab es nahe Neckendorf immer wieder Zerstörungen durch Reaktivierung eines Erdfalls. Nach sich wiederholenden Sanierungen durch Verfüllung an der Oberfläche hat man Ende der 80er Jahre beschlossen, die Strecke zu sperren und den Verkehr provisorisch umzuleiten. Ab Anfang der 90er Jahre war diese Situation wegen der Wichtigkeit der Verkehrsverbindung B 180 nicht mehr tragbar. Es wurde beschlossen, das Problem konstruktiv zu lösen. Als optimal erwies sich eine Lösung der Überbrückung des potentiellen Erdfalltrichters mit geosynthetischer Bewehrung. Diese Lösung wurde zum ersten Mal in Deutschland angewendet. Philosophie, Konzept, Bemessung, die Entwicklung einer neuartigen Bewehrung und der Bau werden beschrieben. Im Oktober 2001 hat sich der Erdfall reaktiviert. Das Tragsystem hat die Straße über eine Stunde lang mit akzeptablen Verformungen tragen können, danach ist es zum Bruch des Systems gekommen. Der Trichter erreichte einen Durchmesser von mehr als 15 m. Das Tragsystem hat besser gehalten, als geplant und erwartet. Konzept, Bauverfahren und Materialien haben sich bestätigt. Es handelt sich um den einzigen bekannten Fall des Austestens der Möglichkeiten solcher Systeme durch das "reelle Leben".

## 1 EINLEITUNG: VORGESCHICHTE UND DER WEG ZUR LÖSUNG

Die Ortschaft Neckendorf südlich der Lutherstadt Eisleben (Sachsen-Anhalt) stand sehr lange Zeit wiederholt im Blickpunkt des geologisch-geotechnischen Interesses. Ausgangspunkt einer Reihe von spektakulären Erdfällen bzw. Nachbrüchen neben und an der Bundesstraße B 180 (vormals F 180) waren die Erdfallereignisse vom Januar 1986 in der Kleingartenanlage neben der Straße (10 m Durchmesser, 7 m Tiefe) bzw. vom Juni 1987 direkt auf der F 180. Der letztgenannte Erdfall führte in seinem Endstadium (Erdfalltrichter an der Oberfläche mit über 15 m Durchmesser und 25 m Tiefe) zur vollständigen Zerstörung der Straße über die gesamte Breite und somit zur Vollsperrung dieses Straßenabschnittes. Relativ ortsnah wurde als damals einzig mögliche Kompromisslösung eine Umleitungsstrecke eingerichtet.

Sowohl der Erdfall in der Kleingartenanlage als auch der auf der Straße wurden seinerzeit verfüllt. Bei den Verfüllarbeiten kam es mehrmals zu Nachbrüchen.

Bereits 1989 gab es erste Beratungen zur Möglichkeit der Wiederinbetriebnahme des Straßenabschnittes. Aufgrund des zunehmenden Verkehrsaufkommens und der generell unbefriedigenden Situation mit der Umleitung wurden 1991 die Planungen vom neugegründeten Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt im Sinne einer gesicherten Wiederaufnahme des Verkehrs auf der klassischen, "geraden" B 180 - Trasse aufgegriffen. Regelmäßige Setzungsmessungen bis 1991/92 ließen ein Abklingen der Setzungen in der Verfüllsäule an der B 180 erkennen.

In einer vom Straßenbauamt Sangerhausen in Auftrag gegebenen Studie wurden zahlreiche Varianten zur Sicherung und Querung des gefährdeten Bereichs untersucht.

Die Überbrückung des Erdfalls mittels einer Geokunststoffkonstruktion wurde als Vorzugsvariante ermittelt. Die Bundesanstalt für Straßenwesen befürwortete und bestätigte diese Entscheidung 1992.

Damit war der Weg für die erste Überbrückung eines Erdfalls mittels Geokunststoffbewehrung in Deutschland geebnet.

## 2 KURZ ZUR GEOLOGIE

Der oberste Bereich in der problematischen Zone besteht aus etwa 160 m mächtigen Gesteinen, vorwiegend Schluff- und Tonsteine, Gipse und Anhydrite sowie Kalksteine. Über dem s. g. Zechstein folgen ca. 60 m mächtige, stark zerrüttete Schluffsteine (Einsturzgebirge) des Unteren Buntsandsteines. Das Profil wird nach oben von maximal 15 m mächtigen quartären Lockergesteinen abgeschlossen.

Starke Verkarstungsmerkmale zeigt insbesondere die Zechsteinfolge mit kavernen Gipsen bis hin zu offenen Hohlräumen.

Es ist von systematischen Auslaugungsprozessen auszugehen. Zahlreiche abflusslose Senken, Erdfälle und einige Großerdfälle sind für die Region typisch.

Angaben über den hier maßgeblichen Neckendorfer Stollen fehlen, selbst der Verlauf ist unsicher.

Die Struktur solch eines Erdfalls besteht im vorliegenden Fall vereinfacht aus einer großen Kaverne im tieferen Untergrund, einem vertikalen "Kamin" nach oben und einem viel breiteren "Erdfalltrichter" an der Geländeoberfläche.

## 3 PHILOSOPHIE, KONZEPT UND BERECHNUNG DER ERDFALLÜBERBRÜCKUNGSKONSTRUKTION

### 3.1 Problembeschreibung aus ingenieurtechnischer Sicht

Bei dem hier vorliegenden Problem natürlicher Herkunft "Kaverne tief unten – Schlot nach oben – Einbruchtrichter an der Oberfläche" ist eine ingenieurtechnische, sichere Intervention bei allen Elementen nicht möglich. Da die Auslaugungsprozesse in den Kavernen unten weiter lau-

fen, ist immer auch nach vorläufiger Verfüllung von Schlot und Trichter mit einem Nachbruch zu rechnen. Eine zeitliche Prognose ist nicht möglich. Die einzige technische Gegenmaßnahme in solchen Fällen besteht in der Neutralisierung der Folgen des Einbruchs für den Verkehrsweg an der Oberfläche.

Das eingebrochene Bodenmaterial hinterläßt einen unregelmäßig oval geformten Trichter in der Bodenoberfläche mit Abmessungen in der Region von bis zu über 15 m Breite und 20 m Tiefe. Der "Einbruchtrichter" kann innerhalb relativ kurzer Zeit entstehen. Zusätzlich können weitere Bodensenkungen auftreten, da die eingebrochenen Schichten in dem "Kamin" lediglich eine lockere Masse darstellen.

Die Bundesstraße B180 bei Neckendorf in der Nähe von Eisleben wurde 1987 durch einen großen Erdfall zerstört, der aufgrund dieses Phänomens entstanden war. Die Straße brach über ihre gesamte Breite ein, wobei zunächst die Schichten in dem unteren Abschnitt von Zone 1 einbrachen und später neue Absenkungen in der Zone 2 auftraten (

Abbildung 1). In 1987 wurde als damals machbare Kompromisslösung eine vorübergehende Umleitung der stark befahrenen Straße (damals F 180) eingerichtet; die Umleitung verursachte jedoch erhebliche Probleme für das vorhandene und insbesondere nach der Deutschen Vereinigung rapide zunehmende Verkehrsaufkommen. Es musste eine dauerhafte Lösung entwickelt werden, um einen normalen Verkehrsfluss auf der ursprünglichen Straßenfahrbahn ohne Gefährdung der Fahrer zu sichern.

Um den oberen Bereich des "Kamins" zu stabilisieren, wurde der Krater 1987 vollständig mit locker eingefüllten herbeigeschafften Stein- und Sandmaterialien aufgefüllt. Nach etwa zwei Jahren wurde durch geodätische Messungen festgestellt, dass an der Oberfläche dieser Füllmasse keine weiteren Absenkungen eingetreten waren. Dennoch waren keine Informationen über die Dichte und Stabilität des eingebrochenen Bodens und der neuen Füllmasse in dem Erdfall verfügbar, und auch über die fortlaufenden Prozesse in der tiefen Kaverne aufgrund des Grundwasserflusses gab es keine verfügbaren Daten.

Daher blieb die als Verkehrsverbindung wichtige B 180 aus Sicherheitsgründen bis 1993 gesperrt.

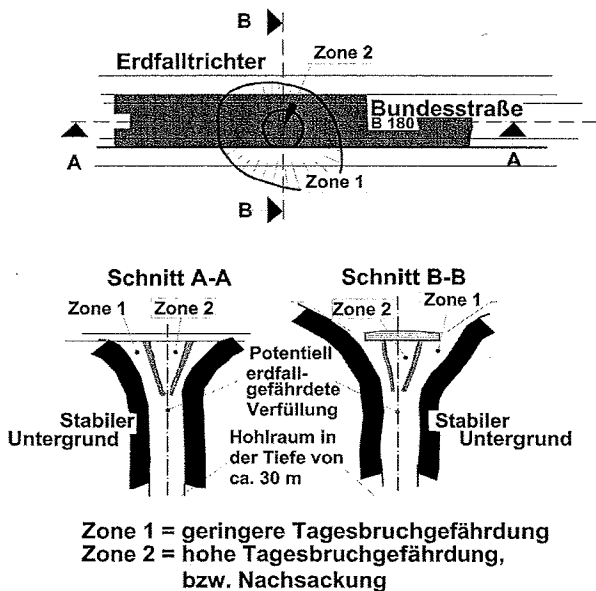


Abbildung 1 Geometrie und potentielle Zonen des Erdfalls an der B 180

### 3.2 Konzept und Philosophie der Wiederherstellung

In 1992 entschied das neugegründete Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt die Bundesstraße wieder angemessen in Betrieb zu nehmen, da die provisorische Umleitung aus dem Jahr 1987 nicht mehr akzeptabel war.

Das vorhandene Verständnis für das mechanische Verhalten des aufgefüllten Erdfalls im Verlauf der Zeit war nicht ausreichend. Eine zuverlässige Langzeitprognose war nicht möglich. Auf der Grundlage der Geschichte des Erdfalls und der Messungen nach dem Auffüllen erschien es jedoch plausibel, eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen erneuten Einbruch ("Nachsacken") in der kleineren Zone 2 und eine geringere Wahrscheinlichkeit für einen erneuten Einbruch in der großen Zone 1 vorherzusagen. Das Szenario des "worst case" wäre ein katastrophaler Einbruch des gesamten "Kamins" und damit von Zone 1 (

Abbildung 1).

Es wurden zwei mögliche technische Lösungen diskutiert: eine überbrückende Stahlbetonplatte ("versteckte Brücke") und (zum ersten Mal in Deutschland überhaupt) ein geosynthetisch bewehrter Bodenkörper.

Die Stahlbetonplatte wurde verworfen: aus Kosten- und Zeitgründen sowie (entscheidend) wegen des spröden Bruchverhaltens im Falle einer Überschreitung der Tragfähigkeit ("spröder Bruch ohne Vorwarnung"). Es wurde festgestellt, dass der Vorteil von nur sehr geringen Deformationen der Stahlbetonplatte über einem sich öffnenden Erdfalltrichter die oben beschriebenen Nachteile nicht aufwiegen kann und eher de facto ein Nachteil ist.

Daher wurde konzeptuell eine seinerzeit sehr innovative Lösung mit einem geosynthetisch intensiv bewehrten Kiespaket bevorzugt. Dieses System behält bis zu einer großen Verformung seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Es verhält sich duktil statt spröde und sichert somit mit einem ausreichenden zeitlichen und sicherheitstechnischen Abstand einen "Bruch mit Vorwarnung".

Letztendlich enthielten die Sicherungsphilosophie und das Konzept zusammenfassend folgende Vorgaben:

Es galt primär die Fahrzeuge bzw. Fahrer zu retten, die sich bei der Neuöffnung des "großen" Erdfalls (Zone 1, Abbildung 1) direkt in seinem Bereich befinden und mit bis zu 100 km/h auf der Bundesstraße B 180 fahren. Die Längs- und Querdeflektionen der Fahrbahn mussten in akzeptablen Grenzen gehalten werden, und die Fahrbahn durfte nicht über dem darunter klaffenden "großen" Trichter (Zone 1,

1. Abbildung 1) reißen. Es durften auch keine scharfen Abrisskanten an der Fahrbahn entstehen.
2. Das System musste für nur kurze Zeit (höchstens zehn Minuten) auf diese Weise den Verkehr sichern. Diese Begrenzung ergab sich damals aus sicherheitstechnischen, (neue, für Deutschland erstmalige Bauweise) und (noch mehr) ökonomischen Gründen.
3. Ein Registrierungs- und Warnsystem musste binnen dieser Zeit den Verkehr beidseitig im Abstand von einigen hundert Metern durch automatische Stoppschilder stoppen.
4. Der zu sichernde Bereich lag in einem Einschnitt, so dass nur eine flache, dünne, fast direkt unter dem Straßenoberbau eingebaute Geokunststoffkonstruktion in Frage kam, die unter Minimalaushub und -bodenaustausch einzubauen war. Ein tiefer liegendes und somit generell statisch günstigeres Bewehrungssystem kam nicht in Frage.
5. Es galt im "worst case" einen Trichter mit einem Durchmesser von bis zu 15 m (!) zu überbrücken.
6. In diesem "worst case" durfte die relative Deflektion der Fahrbahn (Senkung in der Muldenmitte zur Sehne alias Durchmesser) 0,06 - 0,07 nicht überschreiten.
7. Es handelte sich um eine ernsthafte, erstmalige und auch aus heutiger Sicht einmalige technische Herausforderung.

### 3.3 Berechnung, Bemessung und konstruktive Ausbildung

Die Berechnung, Bemessung und konstruktive Ausbildung erfolgten im Frühjahr 1993 durch den ersten Verfasser am Engineering Department von HUESKER Synthetic GmbH in Zusammenarbeit mit dem Planer Dr. Kuhn-Engineering GmbH [8].

Allgemein wurden drei mögliche Bemessungsverfahren analysiert: [6], [7] und [4], die alle auf der bereits damals als sicher und plausibel geltenden "Membrantheorie" für die Geokunststoffbewehrung basierten. Das Code BSI 8006 [4] befand sich zu der Zeit im fortgeschrittenen Entwurfsstadium.

Die Methode nach [6] erschien sehr konservativ.

Die neuere Methode nach [7] ist weniger konservativ, da eine Gewölbebildung im Boden berücksichtigt wird. Leider besteht hier keine Möglichkeit, die Einsenkung der Fahrbahnoberfläche vorherzusagen oder zu berücksichtigen, was hier ein wichtiges Kriterium war. Weil im vorliegenden Fall das System flach (also nur mit geringer Bodenüberdeckung) zu bauen war, erschien es äußerst riskant, (auch wegen des dynamischen Einflusses durch den Verkehr) eine stabile Gewölbebildung des Bodens über der Bewehrung anzunehmen.

Die Methode nach BS 8006 [4], bzw. nach dem in 1993 vorhandenen "reifen" Entwurf, basiert auf der Erfahrung in Großbritannien im Bergbau und in ähnlichen Gebieten, bei denen die Tendenz eines Erdfalls bzw. Tagebruchs besteht. Es wird keine Gewölbebildung angesetzt, sondern ein anderer Einbruchmechanismus in dem Grenzzustand angenommen (siehe Abbildung 2 gemäß Abbildungen 73 und 74 in [4]).

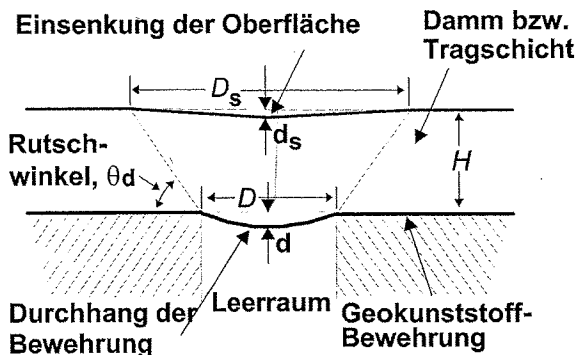


Abbildung 2 Berechnungsmodell nach BS 8006 [4]

Die Methode erschien plausibel insbesondere bei relativ geringen Bodenüberdeckungen über der Bewehrungsebene (wie hier) und bei nichtbindigem Boden. Sie gestattet außerdem eine Berechnung der Einsenkung auf Oberkante Fahrbahn. Der wichtige Punkt ist, dass man über die Begrenzung des relativen Durchhangs  $d/D$  (Abbildung 2), d. h. der Dehnung der Bewehrung unten die Einsenkung oben ( $d_s/D_s$ ) auf das erforderliche Maß begrenzen kann. Verkehrstechnisch ist diese Begrenzung (Abbildung 2) maßgebend, die dann im Zuge der Berechnung die korrespondierende zulässige Dehnung der geosynthetischen Bewehrung und die erforderliche Zugkraft ergibt. Weitere Details zum Modell und zur Berechnung können [4] entnommen werden.

Wir weisen darauf hin, dass in 1993 nur die Methode nach [4] diese Prognose bzw. rechnerische Begrenzung der Oberflächeneinmuldung (Senkung) erlaubte, indem sie den Bruchmodus des Deckbodens mit der Dehnung der Bewehrung und der Oberflächensenkung verbindet. Im Jahre 1993 kam eine numerische Analyse, wie sie heute alternativ, aber mit großem Aufwand und bei großer Sen-

sibilität der Kennwerte möglich wäre, aus technischen, finanziellen und aus Zeitgründen nicht in Frage.

Zusammenfassend erschien die Methode nach [4] für die endgültige Bemessung des Systems am besten geeignet. Z. T. problematisch war und ist der korrekte Ansatz für den Winkel  $\theta_d$  (Abbildung 2).

Es wurde damals von dem ersten Autor entschieden, dass ein Geogitter als geosynthetische Bewehrung gegenüber einem Geogewebe oder Geoverbundstoff zu bevorzugen ist, da bei einem Geogitter im Allgemeinen höhere Verbundkoeffizienten (also Zusammenwirkung mit den anliegenden Bodenschichten) erzielt werden. Es sei bemerkt, dass bei allen oben genannten Bemessungsverfahren der Verbundkoeffizient formal nicht berücksichtigt wird. Dennoch wurde damals vom ingenieurtechnischen Standpunkt aufgrund der besseren Mobilisierung der Zugkräfte bei einer Bewehrung mit einem hohen Verbundkoeffizienten ein besseres Systemverhalten (wenigstens intuitiv) insbesondere bei "dünnen" Überbrückungssystemen wie hier erwartet. Außerdem war im vorliegenden Fall eine bessere Verbundwirkung von größerer Bedeutung als sonst, da die davon abhängigen Längen der Verankerung seitlich des Erdfalltrichters aus finanziellen Gründen möglichst kurz gehalten werden mussten, und die Bewehrung fast unmittelbar unter dem Straßenoberbau liegen musste und somit die günstig wirkende Auflast auf dem Ankerbereich bescheiden war. Eine weitere Überlegung war, dass bei der Geogitterfamilie Fortrac®, die hier in Frage kam, die Ummantelung der Stränge einen guten Schutz gegen die etwaigen Abriebeinwirkungen durch den fast direkt darüber laufenden Verkehr bietet.

Die Ermittlung der Bemessungsfestigkeit der Bewehrung erfolgte nach den Vorgaben des deutschen Merkblattes [5], welches 1993 nur als Entwurf vorlag.

Die Logik der Bemessung und Konstruktion in Kürze: die geogitterbewehrte Bodenschicht über dem Erdfalltrichter muss die (kleinere potentielle) Zone 2, bei der eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen Einbruch (Nachsackung) besteht, in Quer- und Längsrichtung überspannen (

Abbildung 1); dabei darf die maximale relative Durchbiegung  $d_s/D_s \leq 0,02 - 0,03$  (Abbildung 2) senkrecht und/oder parallel zur Fahrbahnachse sein. Mit ein Gedanke war, dass beim Eintritt dieses "mildereren" Bemessungsfalls die B 180 bei reduzierter Geschwindigkeit längere Zeit unter Betrieb gehalten werden könnte. In diesem Fall war eine biaxiale Überspannung (in beiden Richtungen) angebracht. Das geogitterbewehrte Kiespaket wurde in beiden Richtungen entlang den Rändern von Zone 2 gestützt und verankert.

Sollte der schlimmste Fall mit einem vollständigen Einbruch von Zone 1 (geringere Wahrscheinlichkeit, aber Abmessungen größer als die Fahrbahnbreite,

Abbildung 1) eintreten, musste das geogitterbewehrte Bodenpaket nur die Längsrichtung (Straßenrichtung) überspannen, d. h. den Erdfalltrichter nur einaxial überspannen, da die "straßenparallelen" Ränder von Zone 1 das Paket nicht mehr stützen. In diesem schlimmsten Fall konnte eine relative Durchbiegung von  $d_s/D_s \leq 0,06 - 0,07$  (Abbildung 2) parallel zu der Straßenachse zeitweilig akzeptiert werden unter der daran gekoppelten sofortigen automatischen Sperrung der Straße (s. Abschn. 3.2 und 4). Bei den ersten Anzeichen des "großen" Erdfalls (Zone 1) musste der Verkehr wie oben erwähnt unverzüglich gestoppt werden.

Wie in

Abbildung 1 dargestellt, ist die Achse der Straße z. T. exzentrisch zu Zone 2 ausgerichtet. Das könnte zu "negativen Biegemomenten" (Zug an der oberen Seite von dem bewehrten Paket in Querrichtung) und/oder zu lokalen Verdrehungsdeformationen (Torsion) führen. Auch könnte bei asymmetrischen Verkehrsbelastungen im schlimmsten

Fall eines Einbruchs der kompletten Zone 1 eine durchgehende Verdrehung auftreten.

Eine exakte Bemessung des bewehrten Systems für diese Fälle war nicht möglich. Es wurde daher beschlossen, die "zurückgeführten" Enden der zweiten Bewehrungslage (Ausrollrichtung = quer zu der Achse der Straße) über die "übliche" Verankerungslänge hinaus zu verlängern (Abbildung 3), um eine Verstärkung für den Zug an der oberen Seite des Polsters zu erhalten und zugleich einen geschlossenen Quer-Verstärkungsring gegen die Verdrehung (Torsion) herzustellen. Eine weitere simple Überlegung war, dass im "worst case" des großen Trichters das System aus Boden und Geogittern gegen seitlichen Zerfall (Wegfließen des nichtbindigen Bodens) zu sichern war.

Die Analyse, die polyvarianten Berechnungen mit unterschiedlichen Lastansätzen und Variation anderer Kennwerte und die Bemessung ergaben die Forderung nach einem einaxialen kriecharmen Geogitter mit einer mobilisierbaren Zugkraft in Ausrollrichtung von 1200 kN/m bei  $\leq 3,0\%$  Dehnung und 600 kN/m bei  $\leq 1,5\%$  Dehnung (Kurzzeit) [8].

Solche Geobewehrungen waren im Jahr 1993 noch nicht vorhanden. Man stand also vor zehn Jahren vor der Aufgabe, projektbezogen ein neues Geogitter mit extremer Festigkeit, Dehnsteifigkeit und geringem Kriechen zu entwickeln. Die Wahl fiel auf Garne aus dem Rohstoff Aramid.

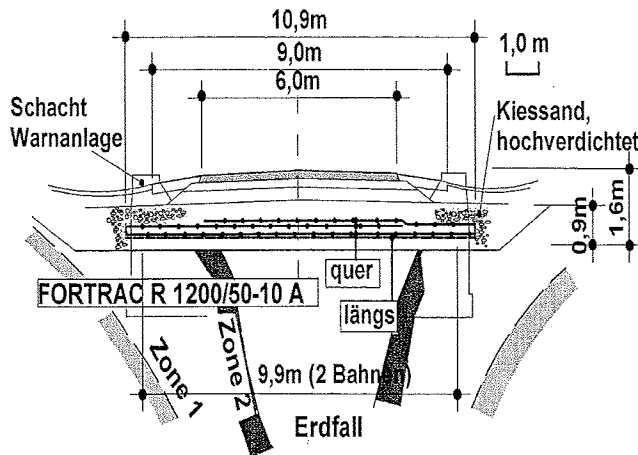


Abbildung 3 Schematischer Querschnitt des Erdfallüberbrückungssystems

Es wurde ein fünf Meter breites, flexibles, einaxiales s. g. gerascheltes Geogitter aus Aramid zum ersten Mal weltweit entwickelt, hergestellt und getestet. Die Kurve Dehnung-Zugkraft (Kurzzeit) bei dieser Bewehrung in Ausrollrichtung ist in Abbildung 4 typisiert dargestellt.

Der Querschnitt des Systems ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt, während in Abbildung 5 die Draufsicht der Geogitter-Bewehrung (vereinfachte Verlegepläne aus [8]) und der Warnanlage zu sehen sind. Die unterste Lage der Geogitter-Bewehrung (parallel zur Straßenachse) dient primär als einaxial überspannende Bewehrung, die für den Fall eines Einbruchs in Zone 1 ("großer Einbruch") erforderlich ist (NB:  $d_s/D_s < 0,06 - 0,07$ ). Die zweite Lage des Geogitters (quer zur Straßenachse) dient als Komponente der zweiaxialen Bewehrung, die für den Fall eines Einbruchs von Zone 2 erforderlich ist (NB:  $d_s/D_s < 0,02 - 0,03$ ). Die obersten Lagen stellen die zurückgeführten Enden des Geogitters von der zweiten Lage dar, die eine angemessene Verankerung und die Bildung eines geschlossenen Verstärkungsringes als Widerstand gegen Torsion darstellen.

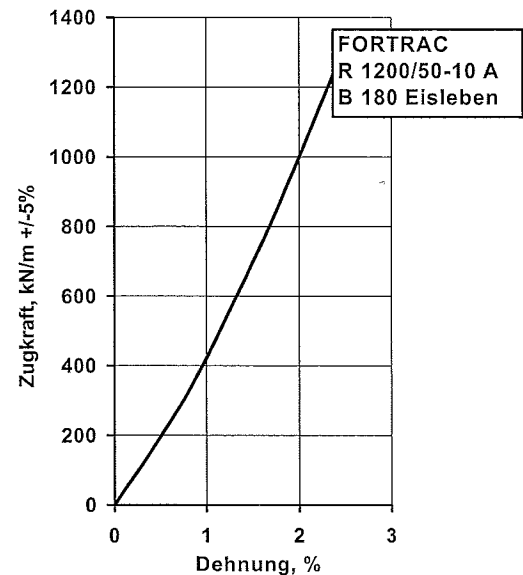


Abbildung 4 Kurve Zugkraft/Dehnung für das Geogitter an der B 180 (Ausrollrichtung, Kurzzeit)

Für das Bodenmaterial des Pakets war ein hochwertiger reiner Kiessand (GW) der Fraktion 0,1/56 vorgeschrieben. Er musste auf eine relative Proctordichte von  $D_{pr} \geq 103\%$  verdichtet werden, um gute mechanische Eigenschaften

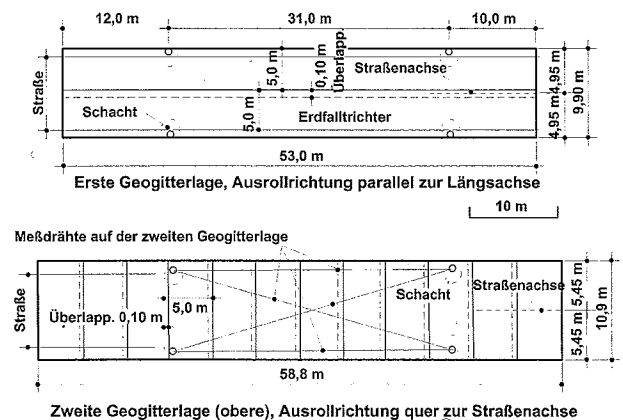


Abbildung 5 Vereinfachte Darstellung der Verlegepläne und der Warnanlage

#### 4 KONTROLL- UND WARNSYSTEM

Aufgrund der großen Bedeutung und des hohen Verkehrsaufkommens auf der Bundesstraße B180, der Komplexität des Problems und der Unmöglichkeit, alle theoretisch möglichen Situationen exakt zu analysieren (die "Einbruchzonen 1/2" waren mehr oder weniger Vorhersagen der Wahrscheinlichkeit) und der Erstmaligkeit des Projektes entschloss sich der Bauherr, ein Kontroll- und Warnsystem mit Stahldrähten und Kontrollschächten zu installieren, wie in Abbildung 3 und Abbildung 5 dargestellt. Die nahezu nicht-dehnbaren Drähte wurden mit elektrischen Kontakten in den Schächten verbunden. Die Drähte (in nicht gespanntem Zustand) sind in Abbildung 6 zu sehen.

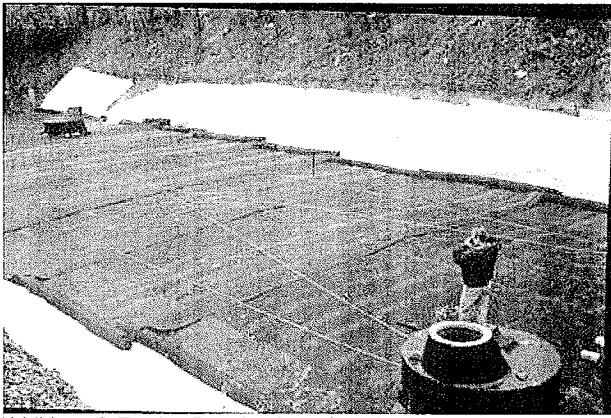


Abbildung 6 Zweite Geogitterlage (quer) mit den daraufliegenden Drähten der Warnanlage

Wenn die Verschiebung der Drahtendpunkte eine Einsenkung der bewehrten Struktur anzeigt, die einer Dehnung des Geogitters von 1,5% entspricht, wird ein Warnsystem aktiviert und der Verkehr wird in beiden Richtungen in einer sicheren Entfernung auf beiden Seiten des kritischen Bereichs mit elektronischen Warnschildern gestoppt. Das Warnsystem sollte noch vor der vollständigen Öffnung der "großen" Zone 1 anspringen. Der Kontrollwert von 1,5% wurde mit einem ausreichenden Sicherheitsabstand aufgrund der Arbeitslinie der Geogitter-Bewehrung (Abbildung 4) gewählt.

## 5 ERFAHRUNGEN WÄHREND DER BAUPHASE UND DANACH

Die Geogitter wurden in den geplanten vorgefertigten Verlegelängen geliefert. Die Flexibilität des Geogitters und die relativ geringe Flächenmasse (hohe spezifische Festigkeit) bewirkten eine einfache Handhabung und Installation vor Ort durch eine kleine Baumannschaft (Abbildung 7). In beiden Richtungen rund um die Schächte wurden zusätzliche Teillagen des Gitters in geringeren Breiten installiert, um die Ausschnitte in diesen Bereichen zu kompensieren.

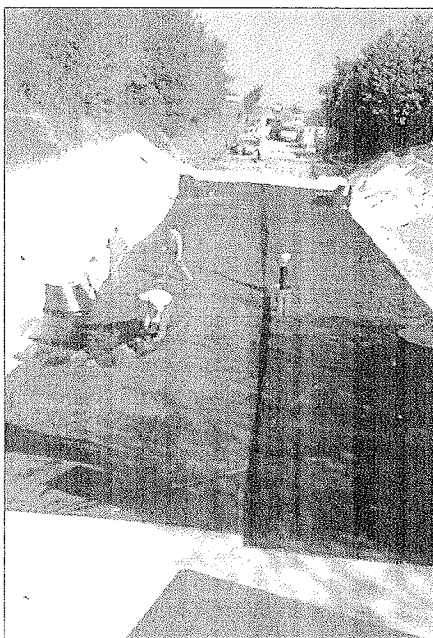


Abbildung 7 Überblick während der Verlegung der unteren Geogitterbewehrung in Straßenrichtung (Überlappung noch nicht endgültig positioniert)

Die Verlegung erfolgte unter Anwendung einer relativ einfachen Spanntraverse (Abbildung 8). Es wurde bereits damals überlegt, dass eine stramme Verlegung bei Erdfallaufgaben von größter Bedeutung ist, da auch die besten hochmodulen (dehnsteifen) geosynthetischen Bewehrungen an Effizienz verlieren, falls sie wegen unsachgemäßer Verlegung nicht sofort anspringen. (Inzwischen wurde diese Verlegetechnik weiterentwickelt bis hin zu einer speziellen Spann-Roll-Traverse für durchgehende Ausrollverlegung unter Vorspannung. Die Verlegetechnik und die Traverse wurden in den letzten Jahren bei mehreren Erdfallprojekten angewendet inkl. des Eisenbahnprojektes "Gröbers"[5]).

Die 0,30 m dicke erste Tragschichtlage (Abbildung 3) wurde auf der zweiten Geogitterlage über den gesamten bewehrten Bereich verteilt, ohne direkt auf den Gittern zu fahren, und anschließend mit einer Rüttelwalze auf  $D_{pr} \geq 103\%$  verdichtet (Abbildung 9). Dann wurden die freien Längen der zweiten Geogitterlage (Abbildung 3) zurück gerollt, gespannt und vorübergehend mit Stahlstiften befestigt, so dass der geschlossene Querbewehrungsring entstand. Das gleiche Verfahren wurde für die Platzierung und Verdichtung des Füllmaterials in  $2 \times 0,30$  m Höhe bis zu der vollen Höhe des Polsters von 0,90 m (Abbildung 3) angewandt. Das Kiespaket wurde mit einem Straßenstandardoberbau einschließlich der Schichten aus Schotter und Asphalt überzogen. Das Bauwerk wurde in ca. einer Woche von der Bauunternehmung TEERBAU GmbH im Oktober 1993 fertiggestellt.

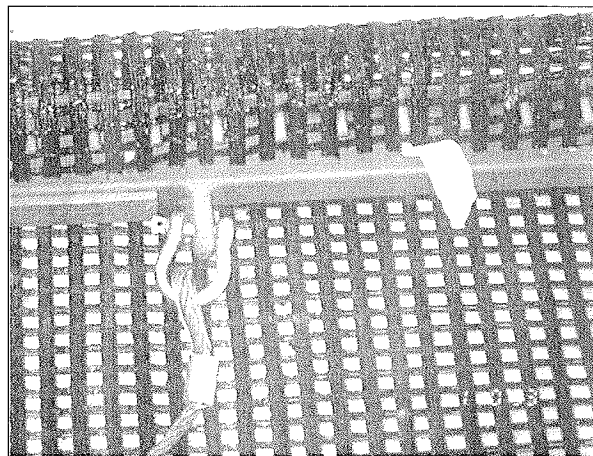


Abbildung 8 Spanntraverse zur Strammung der Geogitter bei der Verlegung

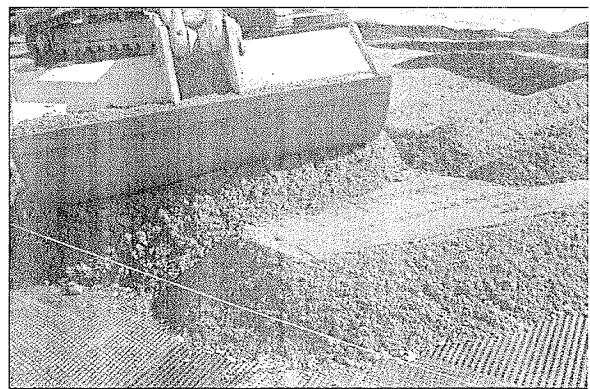


Abbildung 9 Aufbringen des Kiessandes auf die Geogitter

Der wiederhergestellte Bereich der Bundesstraße B180 wurde im Oktober 1993 wieder in Betrieb genommen (Abbildung 10 und Abbildung 11). Die Straße wurde weiterhin mit Hilfe der Mess- und Kontrollschächte in Bezug

auf Durchbiegung beobachtet. Weitere Informationen finden sich in [1,2].

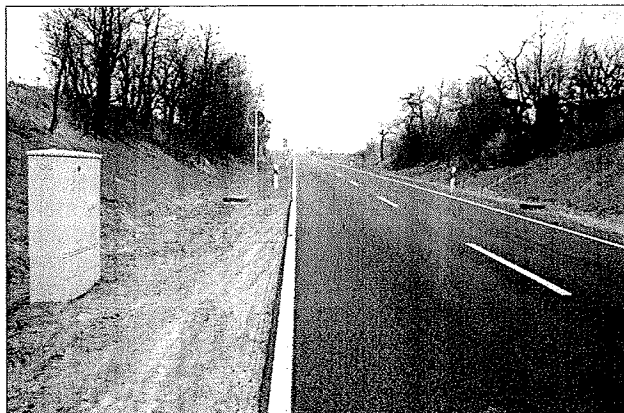


Abbildung 10 Teilansicht der B 180 nach Fertigstellung: Fahrbahn, zwei der Schächte und Schaltschrank des Warnsystems



Abbildung 11 Bundesstraße B 180 unter Betrieb: vorne ein Warn-Stopp-Schild, weiter hinten der gesicherte Bereich

## 6 REAKTIVIERUNG DES ERDFALLS IM OKTOBER 2001

Zwischen den Jahren 1993 und 2001 wurden etwaige Einsenkungen der Fahrbahn in regelmäßigen Abständen visuell beobachtet und auch etwaige Verschiebungen der an den Drähten gekoppelten Geber in den Schächten des Warnsystems wurden kontrolliert. Es konnten acht Jahre lang keine Verformungen registriert werden. Mechanik und Elektrik der Warnanlage wurden inspiziert und gewartet.

Dann ist am 17.10.2001 (also acht Jahre nach dem Bau des beschriebenen Erdfallüberbrückungssystems) der Bemessungsfall eingetreten:

Reaktivierung des Erdfalls und Wiederöffnung des Erdfalltrichters unter der Fahrbahn der B 180.

Es folgt die chronologische Rekonstruktion des Ereignisablaufs nach Zeugenaussagen:

Ca. 18:00 Uhr: Erste Geräusche von in Bewegung kommenden seitlichen Böschungen (Bereich liegt im Einschnitt, siehe oben). In der Böschung östlich der gesicherten Zone zeigt sich ein Erdfalltrichter. Der Verkehr auf der B 180 läuft weiter.

Ca. 18:30 Uhr: Eine deutliche Einsenkung an der Fahrbahnoberfläche kann schon visuell beobachtet werden. Zu diesem Zeitpunkt passieren immer noch viele Fahrzeuge den Bereich mit ungeminderter Geschwindigkeit. Die Warnanlage, die bei zunehmender Deflektion (Einsenkung) den Verkehr beidseitig in sicherem Abstand stoppen soll, reagiert nicht.

Ca. 18:45 Uhr: Die Verformungen nehmen weiter zu und erfassen einen viel größeren Bereich. Es gelingt den Anliegern, den Verkehr zu stoppen und die Behörden zu informieren. Die Warnanlage reagiert nicht.

Ca. 19:00 Uhr: Eine Stunde nach Beginn der Erdfallreaktivierung ist bereits der gesamte Fahrbahnbereich unterhöhlt, auch auf der westlichen Seite der Straße bricht die Einschnittböschung ein. Der Erdfalltrichter ist schon größer als die Breite des bewehrten Systems inkl. Rinnen (also 12 – 13 m), d. h. die "große" Zone 1 (s. Abschn. 3.2 und 3.3 mit

Abbildung 1 und Abbildung 3) ist eingebrochen. Die Fahrbahn ist stark verformt, aber noch als Ganzes komplett intakt.

Ca. 19:30 Uhr: Der Erdfalltrichter hat sich weiter in allen Richtungen stark vergrößert, die Fahrbahn ist sehr stark verformt, "steht" aber als Ganzes immer noch. Zu diesem Zeitpunkt überbrückt die Konstruktion einen unregelmäßigen Erdfalltrichter mit einem Durchmesser von geschätzt 12 bis auf über 15 m seit mehr als einer halben Stunde. Seit der Erdfallreaktivierung sind anderthalb Stunden vergangen. Kurz nach 19:30 Uhr bricht die Fahrbahn über dem sich weiter vergrößernden Erdfall und stürzt in den inzwischen noch größeren Trichter ein. Aus erklärlichen Gründen weiß man nicht genau, ob es sich um 16 oder 18 oder 20 m handelt. Es ist nicht rekonstruierbar, ob die Bewehrung genau mittig über dem Trichter reißt. Die Verankerungsbereiche des Systems unter der Straße vor und hinter dem Trichter bleiben stabil.

## 7 AM TAG DANACH

Am nächsten Morgen hat der unregelmäßige Trichter einen Durchmesser von über 20 m (Abbildung 12).

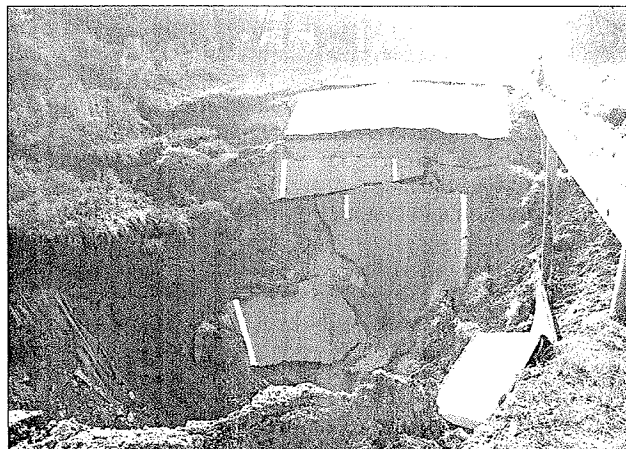


Abbildung 12 Überblick am nächsten Morgen nach der Erdfallreaktivierung

Ob und wieviel er sich nach dem Reißen der Fahrbahn (am Vorabend) vergrößert hat, ist nicht eindeutig feststellbar. Seine Position entspricht dem Ansatz für Zone 1 aus dem Jahr 1993 (vergl. Abbildung 1). Es war offensichtlich, dass das Überbrückungssystem tragfähigkeitsmäßig, verformungsmäßig und auch zeitmäßig die Vorgaben und Erwartungen bei der Planung und dem Bau in 1993 übertroffen hatte. Das war um so entscheidender, weil das Warnsystem und die Stoppschilder nicht reagiert hatten. Nun waren vorwiegend drei Punkte von größtem Interesse: eine Überprüfung des Geogitterverhaltens (bzw. dessen aktuellen Zustands) inkl. des Verankerungsbereichs und die Klärung der Frage mit den nicht reagierenden Warn-Stopp-Schildern (Warnanlage).

### 7.1 Geogitter und Ankerbereich

Es wurden mehrere Quadratmeter von den unterschiedlichen Geogitterlagen (längs und quer) ausgeschnitten, geborgen und anschließend ausführlich getestet (Abbildung 13). Visuell waren die geborgenen Geogitter in einem sehr guten Zustand, auch in der Nähe der Reißstellen. Nahe der Reißstellen war ein geringfügiger Abrieb der Schutzummantelung an der Oberseite der Stränge erkennbar durch das Wegrutschen des ganzen Kiessandpakets über dieser Fläche in den Erdfalltrichter hinein. Ansonsten waren Schutzummantelung und Stränge intakt. Die Ergebnisse der Prüfungen wurden mit den Protokollen der Zug-Dehnung-Prüfungen der frisch produzierten Geogitter aus dem Jahr 1993 verglichen.



Abbildung 13 Entnahme von Probestücken des Geogitters Fortrac® 1200/50-10 A

Es wurden keine Festigkeitsverluste festgestellt (nach acht Jahren im Kiespaket, unter der intensiven Verkehrsbelastung der Bundesstraße B 180 - wobei die Geogitter sehr nah an der Oberkante Fahrbahn lagen - und auch nach einer Belastung bis zum Bruch). Die einzige registrierbare Veränderung war eine geringfügige Erhöhung der Zugmodule (also der Dehnsteifigkeit).

Die beiden Ankerbereiche unter der Straße vor und hinter dem Trichter hatten gehalten, die Geogitter hatten sich nicht herausgezogen, trotz der Belastung bis zum Reißen über dem Trichter. Die Erkenntnis ist um so wichtiger, da in 1993 vor allem aus finanziellen Gründen die Ankerlängen ziemlich knapp bemessen waren, und zeugt von einem sehr guten Verbund der verwendeten Geogitter zum Boden.

Zugkräfte von mindestens 1200 kN/m wurden binnen eines relativ kurzen Bereichs abgeleitet. Man beachte die großen Risse in der Asphaltsschicht im Ankerbereich nahe des Trichters, die indirekt die große Belastung des Bereichs anzeigen (Abbildung 14).

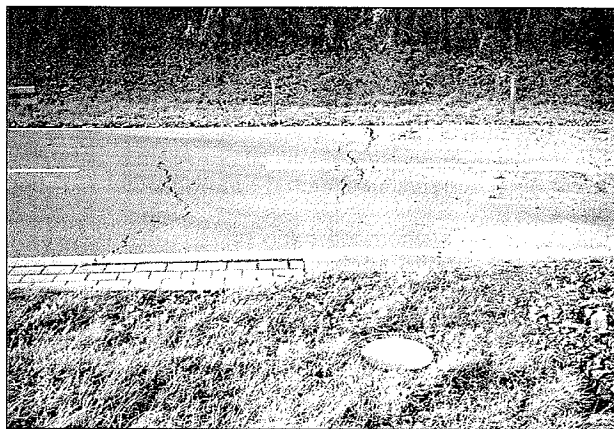


Abbildung 14 Risse im Asphalt des intakt gebliebenen Verankerungsbereichs; Trichter liegt rechts außerhalb des Bildes; vorne einer der Schächte

### 7.2 Warnanlage

Der Frage des Nichtfunktionierens der Warnanlage bzw. der Stoppschilder ist man im Detail nachgegangen. Es wurden Teile der Anlage geborgen inkl. des s. g. Schalt-schrankes, der früher neben der Straße und nun im Trichter lag (Abbildung 15). Es hat sich letztendlich erwiesen, dass das Nichtreagieren weder am (einfachen und zuverlässigen) Konzept, noch an der Ausführung der Warnanlage lag sondern daran, dass man bei der zwei Wochen zurückliegenden letzten Inspektion vergessen hatte, den Strom in der Elektronik wieder einzuschalten.



Abbildung 15 Bergung von Teilen der Warnanlage

## 8 ZUSAMMENFASSUNG: KOMMENTAR UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das erste in Deutschland konzipierte, bemessene und gebaute Erdfallüberbrückungssystem mit geosynthetischer Bewehrung hat nach der Wiederöffnung des Erdfalls besser funktioniert als gefordert: es hat einen größeren Erdfall als die Bemessungsvorgabe überbrückt für eine längere Zeit als die Bemessungszeitvorgabe (max. 10 Minuten).

Das System ist im Jahre 1993 korrekt und sicher geplant, berechnet und gebaut worden.

Die dem Projekt zu Grunde liegende Philosophie des "duktilen Bruchverhaltens mit Vorwarnung" hat sich bestätigt.

Ein flaches nah an der Oberfläche positioniertes Boden-Geogitter-Überbrückungssystem ist machbar und funktio-

niert bei geeigneter Wahl von Konstruktion und Bewehrung.

Die Überbrückung eines ovalen Trichters mit einer axialen Bewehrung ist möglich und funktioniert bei einer geeigneten konstruktiven Durchbildung. (Darüber wurde übrigens Ende der 90er in Deutschland – erstaunlicherweise – gestritten).

Das weltweit erste Projekt mit einem Aramid-Geogitter (hier mit einer Kurzfestigkeit von 1200 kN/m) hat sich bewährt.

Die Berechnungsmethode nach [4] zur Erdfallüberbrückung ist ausreichend korrekt, mindestens für Fälle einer relativ geringen Überdeckung mit nicht bindigem Boden; das Gleiche gilt für die darin enthaltene "Theorie des biegeweichen Membranelementes".

Es ist bei Warnanlagen darauf zu achten, dass menschliches Versehen logistisch oder technisch weitestgehend ausgeschaltet wird.

Und: Bei dem beschriebenen Projekt handelt es sich um einen im Bauwesen sehr seltenen Fall des Eintritts des "worst-case-Bemessungsfalls" (ähnlich wie z. B. das "100jährige Erdbeben"). Es ist bis heute der einzige uns bekannte Fall, wo ein Erdfallüberbrückungsbauwerk vom "reellen Leben" getestet wurde.

## 9 AUSBLICK

Wenige Tage nach der Erdfallreaktivierung wurde der Trichter vollständig wieder mit Boden verfüllt. Die B 180 blieb gesperrt (Abbildung 16). Inzwischen steht eine völlig neue weitläufige Umgehungsstraße für die Region Eisleben zur Verfügung, die sich bereits vor den Ereignissen im Oktober 2001 im Bau befand. Dadurch wird die bisherige Schlüsselbedeutung der Bundesstraße B 180 reduziert. Der verantwortliche Bauherr – das Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt – ist von der Funktionstüchtigkeit und der Eignung des hier beschriebenen Systems vollständig überzeugt. Falls eine Wiederinbetriebnahme der B 180 beschlossen wird, dann wird man dasselbe Erdfallüberbrückungssystem wieder anwenden.

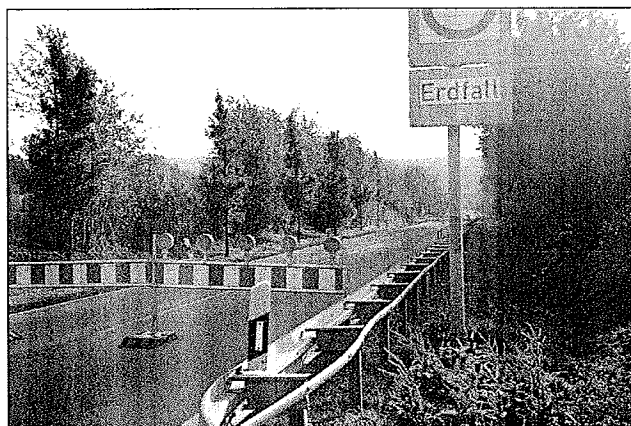


Abbildung 16 Gesperrte B 180 mit per Hand eingeschaltetem Stoppschild

## 10 DANKSAGUNG

Sowohl an der Konzipierung, Genehmigung, Bau usw. im Jahre 1993 wie auch an den Vorgängen nach der Reaktivierung im Jahre 2001 waren mehrere Institutionen und Personen beteiligt. Es sei allen gedankt für die Innovationsbereitschaft und den Mut zu neuen, effizienten technischen Lösungen sowie für die offenen und nützlichen Diskussionen.

## 11 LITERATUR

- [1] Alexiew D. (1997): *Bridging a sink-hole by high-strength high-modulus geogrids*. Proc. of Geosynthetics '97 Conference, März 1997, Long Beach, USA. S. 13-24.
- [2] Alexiew D., Sobolewski J., Pohlmann H. (1999): *Projektbezogene Anwendungsmöglichkeiten von Geogittern aus neuartigen Polymeren*. Tagungsband der 6. Tagung "Kunststoffe in der Geotechnik (K-Geo '99)", München, März 1999, als Sonderheft 1999 der Zeitschrift "Geotechnik" der DGGT, Essen. S. 199-206.
- [3] Alexiew D., Sobolewski J., Ast W., Elsing A., Hangen H. (2002): *Erdfallüberbrückungssystem Eisenbahnknoten Gröbers: Zur Berechnung, Bemessung, Ausführungsplanung und Ausführung*. Proc. "K-Geo 2003", Februar 2003, München (in Druck).
- [4] British Standard Institution – BSI (1995): *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. London, UK.
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FSGV (1994): *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus*. Ausgabe 1994. Köln.
- [6] Giroud J.P. (1982): *Designing of geotextiles associated with geomembranes*. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Geotextiles, Vol. 1, Las Vegas, USA. S. 37-42.
- [7] Giroud J.P., Bonaparte R., Beech J.F., Gross B.A. (1990): *Design of soil layer -geosynthetic overlaying voids*. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 9. S. 11-50.
- [8] HUESKER Synthetic GmbH (1993): *D. Alexiew: Projekt Baumaßnahme Inbetriebnahme der B 180: Bewehrung mit hochfesten Geogittern*. Gescher, März 1993 (unveröffentlicht).



D. ALEXIEW  
08/2003

## **8. Informations- und Vortragstagung**

**über**

**"Kunststoffe in der Geotechnik"**

**München Februar 2003**

---

herausgegeben von

R. Floss

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Hohenzollernstraße 52, 45128 Essen

**8. Informations- und Vortragstagung  
über  
"Kunststoffe in der Geotechnik"**

**München Februar 2003**

**geo  
tech  
nik**

**Zeitschrift für  
Bodenmechanik,  
Erd- und Grundbau  
Felsmechanik,  
Ingenieurgeologie  
Geokunststoffe  
Deponien · Altlasten**

**Sonderheft 2003  
Special Issue 2003**

**Organ der  
Deutschen Gesellschaft  
für Geotechnik**