

# PLANUNG UND BAUAUSFÜHRUNG EINER GEOKUNSTSTOFF-BEWEHRTEN STÜTZKONSTRUKTION MIT VORSATZSCHALE IM BEREICH VON VERKEHRSLASTEN

U. Köhler, F. Müller

vs Ingenieure Dr. Köhler & Kirschstein GmbH, Erfurt-Leipzig-Magdeburg

S. Schwerdt

Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg

**KURZFASSUNG:** Im Zuge des Ausbaus einer Eisenbahnstrecke war eine Stützmauer vor einer bestehenden Wand zu errichten. Die Entwurfsplanung sah vor, eine massive Ortbetonstützwand mit einer Gründung auf Bohrpfählen zu errichten. Im Zuge der Angebotsstellung wurde ein Sondervorschlag vorgelegt, der als Ersatz eine zweischalige KBE-Konstruktion vorsah. Diesem Sondervorschlag und dem zugehörigen Nebenangebot wurde vom Bauherrn zugestimmt.

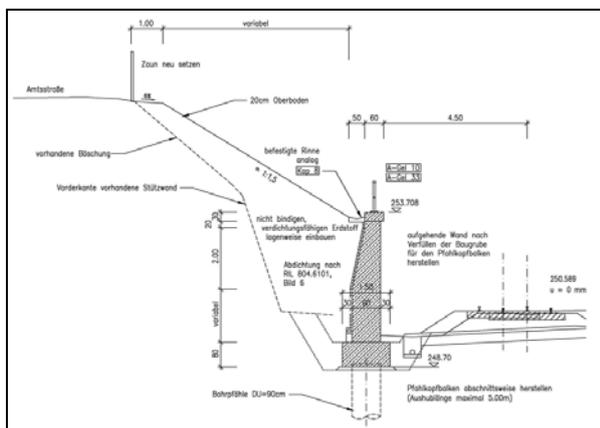
Der Beitrag schildert die Baumaßnahme mit ihren Randbedingungen, der Planung, den erforderlichen Genehmigungsschritten und der Bauausführung.

## 1 EINLEITUNG

Im Zuge des Ausbaus der Strecke Paderborn- Chemnitz wurde der Abschnitt Erfurt- Glauchau- Schönbörnchen grundhaft erneuert. Im Bahnhof Meerane war dabei der Neubau einer Stützmauer geplant, die die Bahnstrecke zur angrenzenden Straße sichert. Diese besitzt nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen (1) eine Restfestigkeit, die einer Betonfestigkeitsklasse C8/10 entspricht. Die neue Stützmauer sollte einige Meter vor dem Bestandsbauwerk errichtet werden. Das Bestandsbauwerk wurde im Bestand gelassen und sollte eingeschüttet werden (siehe Abbildung 1 rechts).

Die Entwurfsplanung (2) sah vor, die neue Stützmauer als Stahlbetonkonstruktion mit einer Gründung auf Bohrpfählen auszubilden (siehe Abbildung 1 links). Im Zuge der Angebotsbearbeitung wurde ein Sondervorschlag erarbeitet, der den Entfall der Stahlbetonstützkonstruktion und der Bohrpfahlgründung vorsah. Als Ersatz sollte eine zweischalige Konstruktion aus einer Kunststoffbewehrten Erde (KBE) errichtet werden.

Seitens des Bauherrn wurden der Sondervorschlag und das zugehörige Nebenangebot angenommen. Ursächlich hierfür waren neben einer Baukosteneinsparung gegenüber der ausgeschriebenen Lösung hauptsächlich bautechnologische Gründe: Durch die nunmehr entfallende Tiefgründung konnte die Ausführung der Gleistief- und Oberbauarbeiten ohne Abhängigkeit zur Erstellung der Stützwand erfolgen, was entlastende Effekte auf den Terminablauf der Gesamtmaßnahme als positive Folge hatte.



**Abbildung 1: Geplante Stützwandkonstruktion gemäß Ausschreibung (aus (2)) und Ansicht der vorhandenen Stützmauer (rechts)**

## 2 BAUGRUND UND GEOMETRISCHE RANDBEDINGUNGEN

Die Baugrundsichtung war aus dem Baugrundgutachten (1) bekannt. Danach steht hinter der vorhandenen Stützmauer zunächst Auffüllung an, die bei +2 m bis -2 m unter Schienenoberkante von bindigen Schichten (Aue- und Lößlehm) unterlagert wurde.

Bei 4 m bis 7 m unter Schienenoberkante folgten bindige Zersetzungsprodukte des Rotliegenden. Grundwasser wurde nicht erkundet. Die Baugrundsichten wurden gemäß (1) als ausreichend tragfähig für eine Flachgründung angesehen.

Der Abstand zwischen der Außenkante der bestehenden Mauer und dem neuen Stützbauwerk variierte und betrug minimal 3,2m.

Die Stützwand war links und rechts von einer neu zu bauenden Brücke zu errichten. Sie besteht somit aus zwei Bauwerksteilen, die Längen von ca. 113 m bzw. 88 m aufweisen. Die Höhe der Stützwand nimmt vom Brückenbauwerk beginnend von 6,6 m auf 0,9 m

am Bauwerksende ab. Von der Oberkante der Stützwand bis zur Oberkante der bestehenden Straße wurde eine Böschung unter einer Neigung von 1: 1,5 vorgesehen.

Die Gesamthöhe des Geländesprunges beträgt maximal 8,30 m am Anschluss an die Brücke und 3,0 bzw. 5,6 m am Bauende. Unmittelbar am Anschluss zu den Flügelwänden des neuen Brückenbauwerkes musste aus geometrischen Gründen oberhalb der Stützkonstruktion die Böschung bei Einbau von horizontalen Geogitterlagen bis auf eine Neigung von ca. 1 : 1,2 versteilt werden.

### 3 AUFBAU DER KBE- KONSTRUKTION

Alternativ zur ausgeschriebenen Lösung war der Aufbau einer zweischaligen Kunststoff- Bewehrte-Erde (KBE)-Konstruktion geplant. Diese besteht aus folgenden Bauteilen (siehe Abbildung 2).

- Außenhautelement: Betonstapelsteine „KB-BLOK“; Abmessungen 45\*29,5\*19 cm gegründet auf Streifenfundament b/h = 60/80 cm
- Erddruckaufnahme durch umgeschlagene Geogitterlagen (Polsterwand) bestehend aus Geogittern Secugrid 120/40 R6 und 80/20 R6 der Firma Naue GmbH & Co. KG im Abstand von 38 cm bzw. 57 cm; Geogitterlänge in der Regel bis an die bestehende Wand oder 3,0 m
- Zusätzliche Sekundärbewehrung Secugrid 40/40, l = 1,5 m zur Einlage in die Außenhautelemente im Abstand von 38 cm bzw. 57 cm
- Abdeckung der Außenhaut durch systemtypische Abdecksteine
- Anordnung einer Rinne zur Aufnahme des anfallenden Niederschlagswassers am Wandkopf
- Einbau einer Dränage zur Aufnahme des Sickerwassers am W

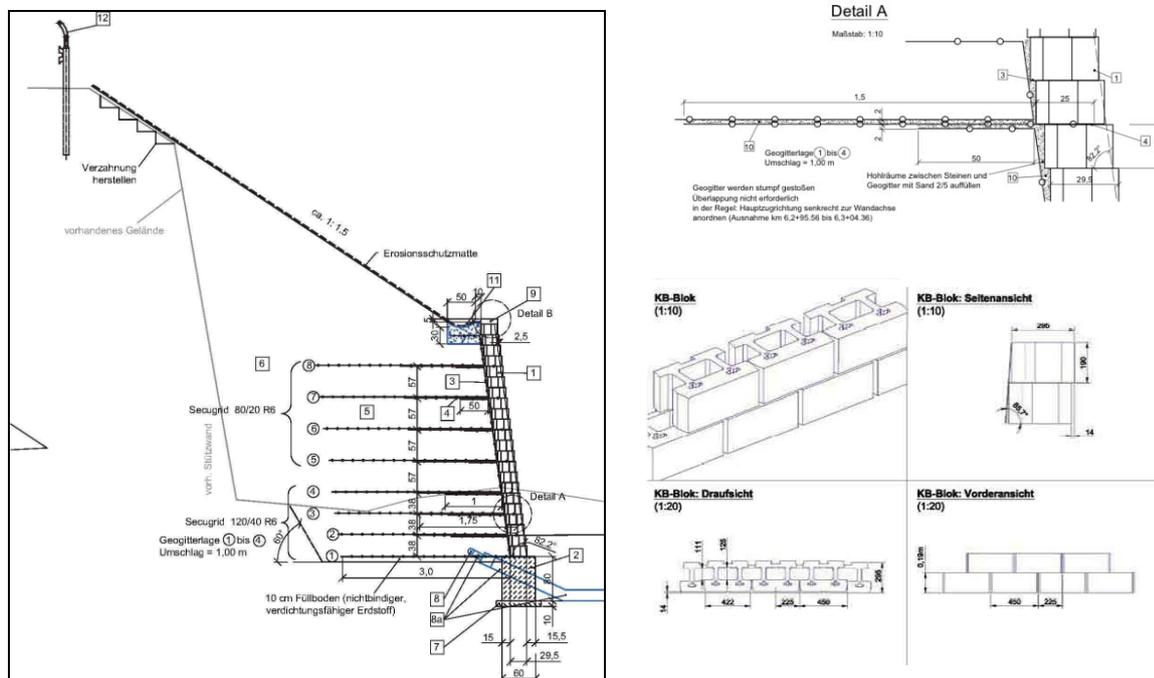


Abbildung 2: Regelquerprofil und Details der ausgeführten KBE-Konstruktion; (aus (3))

Es handelt sich bei der gewählten Konstruktion um eine zweischalige Lösung, die die Anforderungen der Ril 836 (4) erfüllt. Dementsprechend muss eine KBE-Konstruktion im Einflussbereich der Deutschen Bahn mit einer Außenhaut ausgebildet werden, bei der das Geogitter umgeschlagen wird. Davor werden Betonelemente angeordnet, die dem Schutz der Geogitterkonstruktion dienen, jedoch keinen zusätzlichen Erddruck aufnehmen. Ein Austausch der Außenhaut ist möglich, ohne die tragende Konstruktion rückbauen zu müssen.

### 4 STATISCHE NACHWEISFÜHRUNG

Die statische Nachweisführung erfolgte auf der Grundlage der EBGeo (5) und der DIN 1054 (2005) (6). Dabei wurden alle erforderlichen Nachweise geführt, Tabelle 1. Die bestehende Stützmauer wurde in den statischen Nachweisen nach Absprache mit dem Prüfstatiker als eine Bodenschicht definiert. Dabei wurde berücksichtigt, dass im Laufe der Standzeit des Bauwerkes ggf. eine Verschlechterung der derzeit vorhandenen Restfestigkeit eintreten kann. Es wurden daher für die Stützmauer ein Reibungswinkel von  $\phi = 50^\circ$  und eine Kohäsion von  $c = 30 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Über den Ansatz des Mindesterdruks gemäß DIN 4085 (7) wurde gleichzeitig sichergestellt, dass die gewählten Scherparameter auf der sicheren Seite liegen.

**Tabelle 1: Erforderliche Nachweise nach DIN 1054 und EBGE0**

Nachweis	GZ
<b>Grenzzustand der Tragfähigkeit</b>	
Geländebruch / Böschungsbruch	GZ 1C
Grundbruch	GZ 1B
Gleiten	GZ 1B
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 1A
Versagen auf Gleitlinien, die die Stützkonstruktion durchdringen	GZ 1C
Bemessungsfestigkeit der Bewehrung	GZ 1B
Herausziehwiderstand der Bewehrung	GZ 1C
Nachweis der Anschlüsse	GZ 1B
Nachweis Überlappung / Fugen der Bewehrung (Bewehrungsstöße)	GZ 1B
<b>Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</b>	
Lage der Sohldruckresultierenden	GZ 2
Verformungen der Konstruktion	GZ 2
Setzungen der Aufstandsfläche	GZ 2

Die Berechnungen erfolgten im Lastfall 1 für den Endzustand der Stützkonstruktion und zusätzlich im Lastfall 2 für den Bauzustand. Die Belastungen im Endzustand wurden nach DIN Fachbericht 101 (8) und für den Bauzustand gemäß EAB (9) angesetzt. Der Standort Meerane befindet sich innerhalb der Erdbebenzone 1 gemäß DIN 4149 (10). Die Standsicherheit der Wand wurde somit ebenfalls im Lastfall 3 für Erdbebeneinwirkungen nachgewiesen.

## 5 GENEHMIGUNGSVORGANG

Die Ril 836 (4) sieht vor, dass „geogitterbewehrte Stützkörper für dauernde Zwecke nur mit Unternehmensinterner Genehmigung (UIG) der Deutschen Bahn AG und Zustimmung im Einzelfall des EBA (ZiE) eingesetzt werden (dürfen)“. Die bauausführenden Firmen und der Bauherr wurden bereits beim Einreichen des Sondervorschlages auf diese Verfahrensweise hingewiesen und waren bereit, die notwendigen Aufwendungen zur Einholung dieser Genehmigungen zu tätigen.

The image shows the cover page of an application for internal company approval (UIG) from DB ProjektBau GmbH. The document is titled 'Antrag auf Erteilung einer Unternehmensinternen Genehmigung – UIG' and is for the 'Bahnhof Meerane Stützwand 2 (Bauwerk 11)'. The project is part of the 'Strecke ABS Paderborn – Chemnitz (NBL), Abschnitt Erfurt (a) – Glauchau-Schönbörnchen (e)'. The application is for the construction of a retaining wall using reinforced earth (KBE). The document includes the DB logo, project details, and the date of the last change (03.02.2011).

**Abbildung 3: Deckblatt des Antrages auf Erteilung der UIG**

Für den Antrag auf Erteilung der UIG (siehe Abbildung 3) sind in Ril 836, Modul 4303 eine Reihe von Kriterien vorgegeben, die einzuhalten sind, damit eine geplante Baumaßnahme genehmigungsfähig ist. Dazu zählen:

**Tabelle 2: Anforderungen gemäß Ril 836.4303 zur Erteilung einer UIG für KBE-Konstruktionen**

Streckenstandard unterhalb HGV-Strecke	erfüllt
Einhaltung des Planumsquerschnitts nach Modul 800.0130	erfüllt
Neigung der Oberfläche Außenhaut zur Horizontalen kleiner 60° (bei Begrünung)	nicht relevant
Abstand der obersten Geogitterlage mindestens 0,5 m unter Planum/ mind. 1,0 m unter OFTS	nicht relevant
Ausführung einer Außenhaut durch Umschlagen der Geogitter	erfüllt
Vor der Außenhaut dürfen Zusatzelemente angeordnet werden, wenn dadurch das Tragverhalten des bewehrten Stützkörpers nicht beeinflusst wird.	erfüllt
Vorlage eines Gutachtens des Sondergutachters	erfüllt
Bestätigung der Gesamtstandsicherheit des Unterbaus nach Herstellung des geogitterbewehrten Stützkörpers. Der Umfang der Kontrollprüfungen, Lastannahmen, ggf. messtechnische Überwachung erfolgt durch Vorlage der statischen Berechnung und Ausführungsplanung.	erfüllt
Verwendung bauaufsichtlich zugelassener Geogitter	erfüllt
Vorlage von Untersuchungsergebnissen zur Bestätigung der Abminderungsfaktoren erfolgt durch Vorlage der statischen Berechnung und Ausführungsplanung.	erfüllt

Bei der Entscheidung für die UIG ist dabei neben den statischen Nachweisen insbesondere der Unterhaltungsaufwand der geplanten Konstruktion zu berücksichtigen. Dabei weist die KBE-Konstruktion folgende Vorteile auf:

- Im Vergleich zur ausgeschriebenen Lösung ergibt sich kein höherer Instandhaltungsaufwand.
- Die Betonelemente bestehen aus Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 mit Expositionsklasse XC4, XF4, XA1; ausgeschriebene Lösung war Stahlbeton C 30/37 XC2, XD2, XF1. Das gewählte Material besitzt somit eine höhere Expositionsklasse als die ausgeschriebene Lösung. Es ist damit widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse.
- Es kann von einer gleichen oder höheren Lebensdauer ausgegangen werden.
- Der Unterhaltungsaufwand ist analog zur ausgeschriebenen Lösung.
- Sollten lokale Beschädigungen der Außenhaut auftreten, z. B. durch mechanische Einwirkungen bei Unfällen und/ oder Materialversagen, besitzt die gewählte Lösung klare Vorteile.
- Die Außenhautelemente können auf Teilflächen einzeln ausgetauscht werden, ohne dass die stützende Wirkung des KBE-Körpers verloren geht.

Auf der Basis der erteilten UIG wurde der Antrag auf Zustimmung im Einzelfall beim EBA gestellt. Die Entscheidung des EBA basierte wiederum auf einem Gutachten eines zugelassenen Sondergutachters für KBE-Konstruktionen beim EBA.

Sowohl die UIG als auch die ZIE wurden erteilt. Die dabei gemachten Auflagen wurden in Zusammenarbeit mit dem EBA-Gutachter in der Ausführungsplanung umgesetzt.

## 6 BAUAUSFÜHRUNG

Bedingt durch terminliche Zwänge und die Dauer des Genehmigungsprozesses musste die Herstellung der KBE-Konstruktion erfolgen, nachdem die Streckensperrung bereits wieder aufgehoben war. Lediglich der Fundamentbalken konnte vorher hergestellt werden.



**Abbildung 4: Teilansicht des Baufeldes (links) und Detail zur Andienung der erforderlichen Baustoffe im Baufeld (rechts)**

Da Aufgrabungen bis unmittelbar an die bestehende Stützmauer erforderlich waren, wurde entschieden, dass diese in Anlehnung an die DIN 4123 (11) nur abschnittsweise erfolgen durften. Die Bauausführung stellte somit hohe Anforderungen an die beteiligten Firmen. Der Abtransport des Aushubes sowie die Andienung der Baustoffe konnten nur durch das Baufeld erfolgen, wobei eine Durchfahrt zwischen den beiden Bauwerksteilen nicht möglich war. Der Einbau der Bauteile der Konstruktion erfolgte unter Verwendung von kleinen Geräten. Dabei wurde die Außenhaut („KB-Blok“-Elemente) als Schalung für die Hinterfüllung der Erdstoffe verwendet.



**Abbildung 5: Herstellung der Wand mit kleinem Gerät (links) und Draufsicht auf die fertiggestellte Wand (rechts)**

Aus der Entwässerungskonstruktion (Mulde und Drainage) ergab sich das Erfordernis von Spül-, Übergabe- und Inspektionsschächten, so dass weitere Beeinträchtigungen des Baufortschritts unvermeidlich waren.

Alle Mineralstoffe wurden lagenweise eingebaut und verdichtet. Die Verdichtungsanforderungen waren zuvor in einem Qualitätssicherungsplan zusammen mit der Anzahl der erforderlichen Prüfungen festgelegt worden. Da für den geplanten Mineralstoff (Brechkorn 0-63 mm) keine Erfahrungen zur Einbaubeschädigung vorlagen, wurden im Vorfeld der Baumaßnahme Feldversuche in einem Steinbruch zur Ermittlung des Parameters A2 durchgeführt. Es zeigte sich, dass die ermittelten Abminderungsfaktoren A2 für das Secugrid –Geogitter vergleichbar sind zu jenen, die für Brechkorn bis maximal 32 mm Korngröße angegeben werden.



**Abbildung 6: Testfeld zur Ermittlung der Einbaubeschädigung, links: Übersicht über verschiedene Geogitterprobestücke; rechts: Einbau des Brechkorns 0/63 mm**

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

In enger Zusammenarbeit von Bauherr (DB ProjektBau GmbH), Eigentümer (DB Netz AG), Genehmigungsbehörde (EBA), Bauüberwacher (GEPRO), Bauunternehmen (Sächsische Bau GmbH/Bickhardt Bau GmbH) und Planer (vgs INGENIEURE) war es möglich, eine innovative und kostensparende Ersatzlösung für die ausgeschriebene Stützmauer zu planen. Die gewählte Lösung ist dabei nicht nur kostengünstiger sondern wies gegenüber der ausgeschriebenen Stahlbetonwand mit Tiefgründung entscheidende Vorteile auf, die aus dem Bauablauf resultierten. Da die KBE-Konstruktion flach gegründet wurde, war eine Entkopplung von den primären Gewerken des Gleistief- und Oberbaus möglich.

Die Einhaltung des erforderlichen Genehmigungsprozesses (UIG und ZiE) führte dazu, dass die Realisierung der Bauarbeiten außerhalb des geplanten Zeitfensters erfolgen musste. Den Autoren sei daher folgender Hinweis gestattet.

Die KBE- Bauweise ist seit vielen Jahren bekannt und bewährt; sie stützt sich bei der Bemessung und Ausführung auf die EBGE0 (5), welche auch in der jetzt gültigen Neufassung der Ril 836 zumindest bis zur Planungsphase *Entwurf* als Grundlage anerkannt ist. Sie stellt schon seit längerem eine anerkannte Regel der Technik dar; auch in diesem speziellen Anwendungsbereich als Stützkonstruktion neben Gleisen. Kernelemente einer anerkannten Regel der Technik sind u. a. umfassende wissenschaftlich-technische Grundla-

gen, die vielfache Bestätigung des technischen Konzeptes in der Praxis und nicht zuletzt der umfassende Gebrauch der Bauweise in weiten Kreisen des Ingenieur- und Architektenfaches. Genau genommen gilt dies auch für Bauwerke unter Gleisen /12/.

Es könnten terminliche und monetäre Einsparungen (z.B. für das Prüfverfahren für UiG und ZiE) erzielt werden, wenn man diese Bauweise von den Zwängen der UIG und ZiE befreien und einen Kontroll- und Prüfaufwand ansetzen würde, der denen in der Ril 836 geregelten Ingenieurbauwerken entspricht.

Aus unserer Sicht steht aufgrund der aktuellen Erkenntnisse und langjährigen Erfahrungen mit der KBE Bauweise einer solchen Gleichstellung nichts mehr im Wege.

## 8 DANKSAGUNG

Es ist den Autoren ein Bedürfnis, den Projektbeteiligten zu danken. Dem Bauherrn DB ProjektBau GmbH sowie den genehmigenden Stellen für die Bereitschaft zur Ausführung einer innovativen und kostensparenden Bauweise, dem Gutachter des EBA und Bauüberwacher, GEPRO Dresden, für die gute Zusammenarbeit sowie den bauausführenden Firmen Sächsische Bau GmbH Chemnitz und Bickhardt Bau GmbH, Meerane für das Vertrauen in die vorgeschlagene Lösung sowie die hohe Einsatzbereitschaft bei der Realisierung.

Ferner gilt unser Dank den Vorstehenden für die Genehmigung zur Veröffentlichung sowie der Naue GmbH & Co. KG, Espelkamp für die teilweise Bereitstellung des Bildmaterials.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

1. GCE Geotechnisches Ingenieurbüro, Pampel und Partner GmbH. Baugrundgutachten (unveröffentlicht).
2. DB ProjektBau GmbH. Planungsunterlagen Ausschreibung Stützwand 2 Bahnhof Meerane (unveröffentlicht).
3. vgs Ingenieure, Dr. Köhler & Kirschstein GmbH. Ausführungsplanung KBE-Konstruktion. (unveröffentlicht). Erfurt : s.n., 2011.
4. Ril 836. *Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke*. s.l. : Deutsche Bahn, 2008.
5. EBGeo. *Empfehlungen für Planung und Bemessung von Bewehrungen mit Geokunststoffen*. Berlin : Verlag W.Ernst und Sohn, 2010.
6. DIN 1054. *Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*. s.l. : Beuth Verlag, 01 2005.
7. DIN 4085. *Baugrund - Berechnung des Erddrucks*. Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung, 05 2011.
8. DIN Fachbericht 101. *Einwirkungen auf Brücken*. Berlin : Beuth-Verlag, 2009.
9. EAB. *Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben*. Berlin : Verlag W.Ernst & Sohn, 2006.
10. DIN 4149. *Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten*. Berlin : Beuth Verlag, 2005.
11. DIN 4123. *Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude*. Berlin : Beuth Verlag, 2011.
12. Handbuch „*Erdbauwerke der Bahnen*“, 2. Auflage, 2013. C. Göbel, K. Lieberenz.