



Visualisierung relevanter Daten beim Compensation Grouting

Dipl.-Ing. Henry Knitsch
*GeTec Ingenieurgesellschaft mbH,
Offenbach*

Dipl.-Ing. Reiner Otterbein
Keller Grundbau GmbH, Bochum

Dipl.-Ing. Thomas Paßlick
Keller Grundbau GmbH, Bochum

Überreicht durch

**GeTec Ingenieurgesellschaft
für Informations- und
Planungstechnologie mbH**

Head Office
D-52068 Aachen, Rotter Bruch 26a
☎ +49 241 406607
Fax +49 241 406609
E-mail: getec@getec-ac.de

Rhein-Main Office
☎ +49 69 8010 6624
Fax +49 69 8010 4977
www.getec-ac.de

**Vortrag anlässlich des BHT 2007
TU Bergakademie Freiberg, 14.06.2007
Thema: Modellierung, Simulation und
Visualisierung von Prozessen im Bergbau
und Bauwesen**

Fachaufsatz GT 07-18 D

Visualisierung relevanter Daten beim Compensation Grouting

Henry Knitsch, Reiner Otterbein, Thomas Paßlick

I. Verfahrensbeschreibung Compensation Grouting

Durch die Notwendigkeit der Erweiterung der öffentlichen Infrastruktur in Ballungsgebieten werden vermehrt innerstädtische Tunnelbaumaßnahmen durchgeführt. Die Sicherung und der Erhalt von sensiblen Bauwerken im geotechnischen Einflussbereich des Tunnelvortriebs mit dem Verfahren des „Compensation Grouting“ wird seit Mitte der 80er Jahre erfolgreich durchgeführt und wurde in dieser Zeit auf einen hohen technischen Standard entwickelt [1]-[3]. Das Verfahren wird auch als Kompensations-Injektion, Hebungsinjektion oder Soilfrac[®] bezeichnet. Das Verfahren ist in der Euro-Norm DIN EN 12715:2000 [10] beschrieben und wird als Injektionsverfahren mit hydraulischer Rissbildung bezeichnet.

Historische Entwicklung:

- Seit 1976 wird das Compensation Grouting Verfahren mit entsprechender Messtechnik zur Hebung von Gebäuden eingesetzt
- 1988 wurde zum ersten Mal ein Schlauchwaagensystem zur Überwachung und Steuerung der Injektionstechnik verwendet.
- 1989 wurde die Injektions-Datenbank GroutControl (noch ohne grafisches Benutzerinterface) erstmals eingesetzt.
- 1993 Einsatz von GroutControl beim Projekt „New St. Clair River Rail Tunnel“ [4] in Kanada. Seit dieser Zeit ist das System das Standard-Tool für die Hebungsinjektion.

Beim Compensation Grouting wird im Einzelschritt örtlich gezielt eine meist vorab definierte Menge von hydraulisch erhärtender Suspension unter Druck in den Boden eingebracht. Dabei entstehen künstliche Klüfte (Fracs), die mit Injektionsgut gefüllt werden.

Die systematische und mehrfache Beaufschlagung von Bodenbereichen mit Injektionsgut führt in der ersten Behandlungsphase zum Kraftschluss mit dem zu sichernden Bauwerk (Kontaktinjektion). Durch die Verdichtungswirkung auf den zwischen den erhärtenden Feststofflamellen eingespannten Boden und durch den erhärteten Feststoff selbst wird eine Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit und Konsistenz) erreicht. Bei Fortsetzung der Behandlung kommt es nach weiterem Spannungsanstieg im Boden schließlich zu „steuerbaren“ Hebungen.

Unter Berücksichtigung für das Bauwerk verträglicher Verformungen und weiterer Grenzkriterien (z. B. der erwarteten Setzungsmulde) kann im Zuge der dann folgenden Hebungsinjektion ein spiegelbildlich zur erwarteten Setzungsmulde verlaufender „Hebungshügel“ (Vorinjektion) hergestellt werden (Abbildung 1).

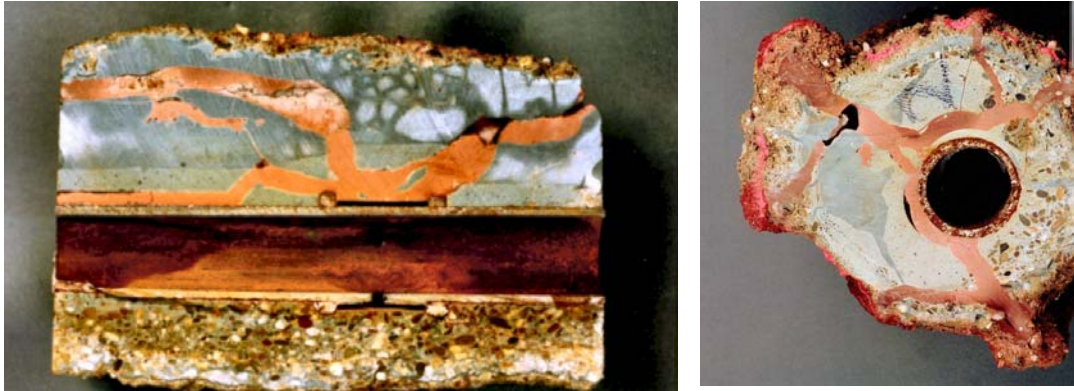


Abb. 1: Schnitt durch ein Ventilrohr, Compensation Grouting Fracs

Für die qualifizierte Steuerung der Injektionsarbeiten müssen folgende Parameter im Zusammenhang bewertet werden:

- Injektionsdaten (Drücke, Mengen, Anzahl der Injektionsdurchgänge, etc.)
- Daten der Bohrlochvermessung (Lage der Injektionspunkte unter dem Bauwerk)
- (Differenz-)Verformungen des Baugrundes/der Bauwerke
- bodenmechanische Baugrundeigenschaften
- Lage der Vortriebsmaschine

Zur Beurteilung des Injektionserfolges müssen die Daten zusammengeführt und im zeitlichen und räumlichen Kontext analysiert und bewertet werden. Aufgrund der Komplexität vieler Einzelvorgänge erfolgt dies am Besten über eine grafische Visualisierung.

Die lückenlose Dokumentation und Bewertung aller relevanten Daten ist Erfolgskontrolle und Grundlage zielgenauen Arbeitens in einem und ist bei den anfallenden Datenmengen baupraktisch nur durch leistungsfähige IT-gestützte Systeme möglich. Hier setzt die Injektionssoftware GroutControl[®] an.

Um den funktionsfähigen Regelkreis komplexer Injektionsmaßnahmen umzusetzen, sind folgende Komponenten erforderlich:

- Mess- und Überwachungssystem für die Bauwerksbewegungen (Druckschlauchwaage)
- Messung der 3D-Ist-Lage der Bohrungen
- Mess- und Überwachungssystem für die Injektionsarbeiten (Containersteuerung)

Beim Tunnelvortrieb selbst kommt es in Folge der Entspannung des Bodens zu den typischen unvermeidbaren Setzungen (Setzungsmulde), die durch die Kompensationsinjektion innerhalb der vorher definierten zulässigen Grenzen gehalten bzw. ausgeglichen werden. Die ständige Verfügbarkeit der relevanten Daten in Echtzeit ist dabei Voraussetzung für die erforderlich schnelle Reaktion, um dem Tunnelvortrieb keine unnötigen Unterbrechungen aufzuzwingen bzw. Schäden an Bauwerken zu vermeiden (Abbildung 2).

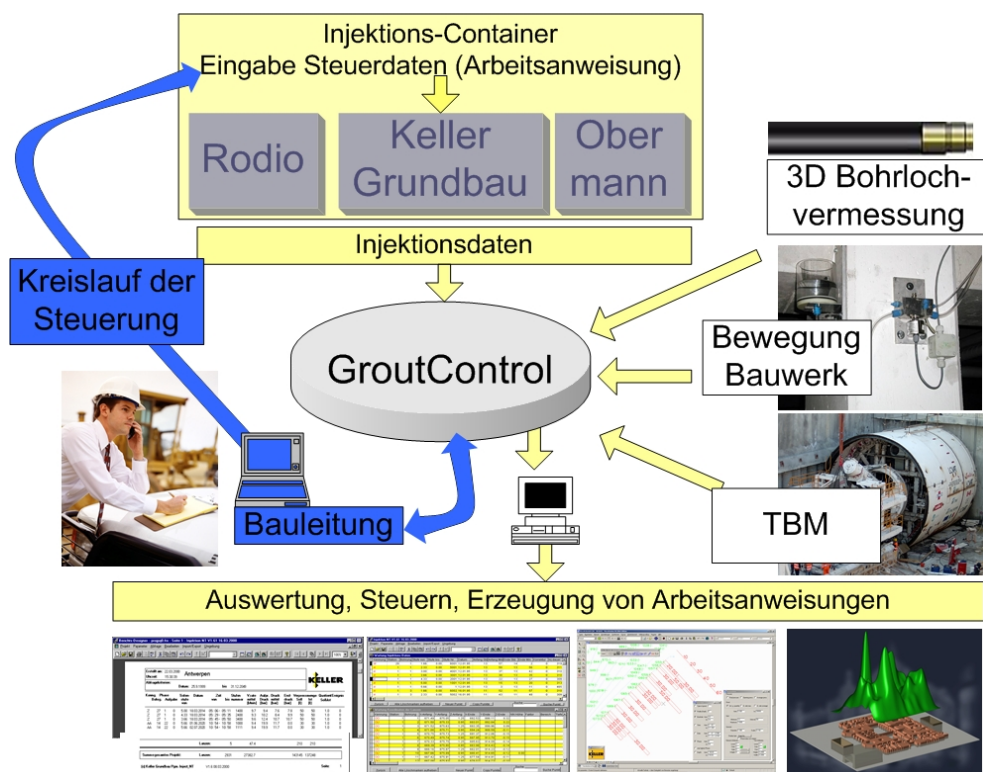


Abb.2: Kreislauf der Injektion

2. Einflussgrößen beim Compensation Grouting

2.1 Mess-/Überwachungssystem

Der Erfolg des Compensation Grouting ist also weitgehend von der Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Verfügbarkeit des Überwachungssystems abhängig. Vorab sind Überlegungen über die Messdichte des Messsystems in Zusammenarbeit mit einem Geotechniker, der die zu erwartenden Verformungen abschätzt, und dem konstruktiven Ingenieur, der die tolerierbaren Verformungen der zu sichernden Bauwerke angibt, anzustellen.

Die präzise Steuerung der Injektion und Kontrolle von einzelnen Bauwerksteilen erfordert Sensoren, die Verformungen mit hoher Genauigkeit und Geschwindigkeit erfassen. Kurze Messintervalle in kritischen Bauphasen sind zur gezielten Steuerung der Injektions- und Hebungverläufe absolut notwendig.

Es können verschiedene Messsysteme eingesetzt werden:

- Füllstandsschlauchwaagen
- Druckschlauchwaagen
- Rissmesser
- Elektronische Tachymeter
- Digitalnivelliere

Die Druckschlauchwaage [6, 7, 9] hat sich in den letzten 15 Jahren bei einer Vielzahl schwieriger Projekte am besten bewährt. Die Vorteile sind die rasche Erfassung vieler Messsensoren und die hohe Genauigkeit entsprechend den oben genannten Anforderungen.

2.2 Funktionsprinzip

Bei der GeTec-Druckschlauchwaage erfassen Druckaufnehmer an den einzelnen Messstellen die Änderung des hydrostatischen Drucks gegenüber einer Referenzmessstelle. Diese Druckänderung wird in eine Höhenänderung umgerechnet. Das Referenzniveau ist durch den freien Flüssigkeitshorizont in einem Ausgleichsgefäß festgelegt. Über einen Wasser-schlauch sind alle Messstellen mit dem Ausgleichsgefäß und somit mit dem Referenzniveau verbunden. Da das Ausgleichsgefäß nicht in die Messkette eingebunden ist, haben Pegeländerungen der Flüssigkeit (Flüssigkeitsverluste, gleichmäßige Erwärmung etc.) keinen Einfluss auf das Messergebnis. Die Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung des Funktionsprinzips.

Ausgleichsgefäß

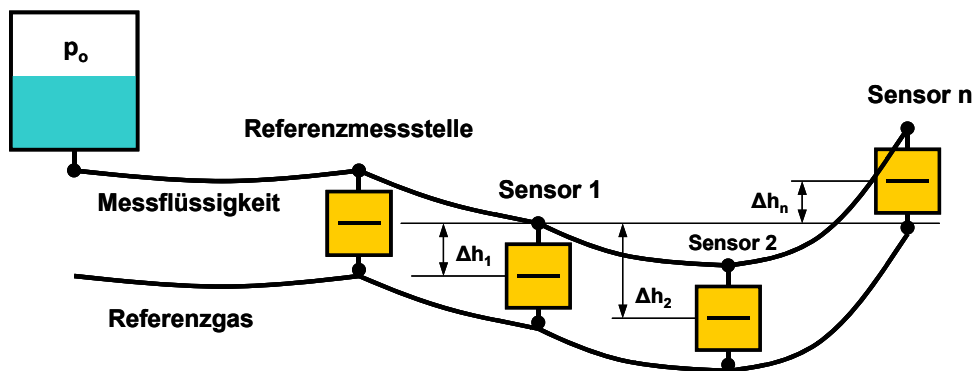


Abb. 3: Funktionsprinzip System Schlauchwaage

2.3 Messdynamik

Hinsichtlich ihres dynamischen Verhaltens unterscheidet sich die GeTec – Druckschlauchwaage von einer klassischen Schlauchwaage dadurch, dass hier die Flüssigkeitssäule nur Schwingungen mit äußerst kleiner Amplitude ausführt. Bewegungen mit geringer Beschleunigung werden kontinuierlich erfasst. Einmal angeregt, zum Beispiel beim Umbau des Systems oder bei Höhenänderungen der Messstellen mit größerer Beschleunigung und Amplitude, beträgt die Relaxationszeit nur etwa zehn Sekunden (bei einem 100 m- Schlauchwaagensystem) (Abbildung 4).



Abb. 4: Druckschlauchwaage System GeTec

Das Herz des Schlauchwaagensystems bilden kapazitive Druckaufnehmer, die sich durch hohe Zuverlässigkeit und Stabilität auszeichnen. Die technischen Spezifikationen sind:

- Analoges Messsignal des Druckaufnehmers
- Frei wählbarer Zeitraum für die Einzelmessungen
- Frei Wählbare Mittelung der Messwerte (Gleitmittel)
- Standardabweichung dieses Mittelwertes zwischen 0,02 – 0,05 mm
- Daraus resultiert eine Systemgenauigkeit von 0,3 mm für die gemessenen Höhenunterschiede.

Über einen Datenverarbeitungsrechner werden die an den Prozessmodulen anliegenden Messsignale eingelesen, visualisiert und können entweder archiviert oder über E-Mail weiterverteilt werden. Für die lückenlose Registrierung der Messdaten wurden speziell Messdatenarchive entwickelt. Die Beweissicherung auch über größere Zeiträume ist somit gewährleistet.

Zusätzlich können bei empfindlichen Bauwerken z. B. in Bauwerksfugen automatische Wegaufnehmer in das Messsystem integriert werden (Abbildung 5).

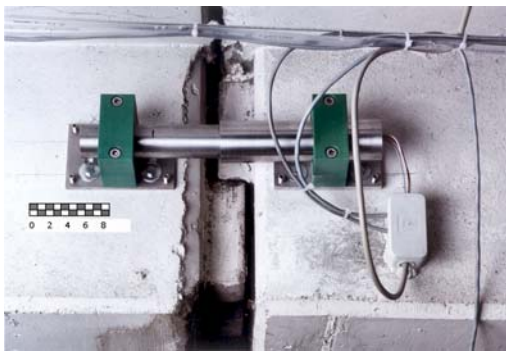


Abb. 5: Konsolaufleger mit Wegaufnehmer System GeTec

2.4 Bestimmung der räumlichen Lage der Ventilrohrfächer

Wegen des häufig eng begrenzten Arbeitsfensters von teilweise wenigen Metern zwischen UK Fundament und späterer Tunnelfirste ist die zulässige Lageabweichung der Bohrungen meist nur gering. Mit mobilen Messsonden können die Abweichungen gemessen und ebenfalls in GroutControl® hinterlegt werden (Abbildung 6).



Abb.6: Ventilbohrungen mit einem Lafettenbohrgerät

Es können verschiedene Messsysteme eingesetzt werden:

- Horizontalinklinometer
- Multishot mit Gyro (Kreiselkompass)
- REFLEX MAXIBOR II

2.5 Erfassung der Bohrlochvermessungsdaten

Das REFLEX MAXIBOR II ist ein robustes und unempfindliches optisches Messinstrument, das ideal für den Einsatz in magnetischem Fels und Gestein und in metallischem Bohrgestänge geeignet ist. Das System misst die Krümmung in aufeinander folgenden Segmenten eines Bohrloches durch optische Reflektoren im Inneren des Messsystems. Anfangskoordinaten und –richtung können zusätzlich geodätisch vermessen und in die Auswertesoftware eingegeben werden. Das System beinhaltet einen elektronischen Beschleunigungsaufnehmer der Neigung und Drehwinkel der Sonde bestimmt. Die Auswertesoftware rechnet die Messwerte automatisch in einen Bohrlochverlauf im XYZ-Koordinatensystem um. Die Auswertung kann sofort auf der Baustelle am Bohrlochmund erfolgen. Die Daten können in GroutControl® eingelesen werden (Abbildung 7 und 8).

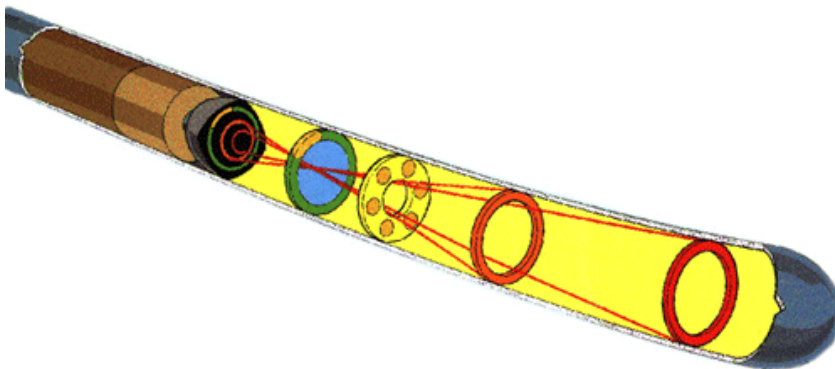


Abb. 7: Funktionsprinzip MaxiBor II

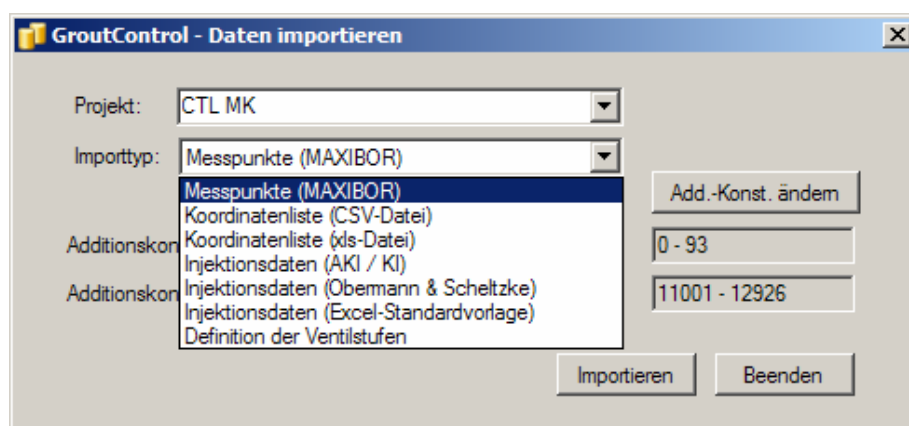


Abb. 8: Ausleseinheit MaxiBor II

2.6 Injektionsdaten

Die Aufzeichnungsgeräte im Injektionscontainer liefern die Injektionsdaten jedes Injektionsvorganges:

- Ventilstufennummer und damit Lage des Injektionspunktes
- Pumpennummer
- Container Kennung
- Injektionsanfang und -ende
- Mittlerer Druck
- Enddruck
- Aufpressdruck
- Injektionsmenge
- Druck und Menge über den zeitlichen Verlauf

Diese Daten erlauben die lückenlose Visualisierung eines Verpressvorganges. GroutControl[®] berechnet aus diesen Daten die maßgeblichen Kenngrößen der Injektion (Aufpressdruck, mittlerer Druck, Enddruck, Injektionsmenge und mittlere Injektionsmenge). Dieser Datensatz wird in der GroutControl[®]-Datenbank abgelegt.

2.7 IT Implementierung

GroutControl[®] wurde 1993 [4] erstmalig eingesetzt. Die Software wird stetig weiterentwickelt und verfügt heute über ein Client-Server-Datenbank-Konzept. Die Benutzer kommunizieren mit der Datenbank über ein CAD-orientiertes Interface. GroutControl[®] kann als Einzelplatzlösung oder im Netzwerk als Mehrplatzlösungen eingesetzt werden. GroutControl[®] ist damit eine skalierbare Anwendung, die Menge der Daten ist nur noch von der verwendeten Hardware abhängig. GroutControl[®] wird zurzeit bei großen Infrastrukturmaßnahmen in Leipzig und Köln eingesetzt (Abbildung 9).



Abb. 9: GeTec – QM-Ingenieur, GroutControl im Netzwerkbetrieb

2.8 Datenmanagement

Um von den stetigen Technologieverbesserungen der Datenbanksysteme zu partizipieren verfügt GroutControl® über eine standardisierte Datenbankschnittstelle. Der Benutzer kann unter verschiedenen leistungsstarken Datenbanken namhafter Hersteller wählen (Abbildung 10).

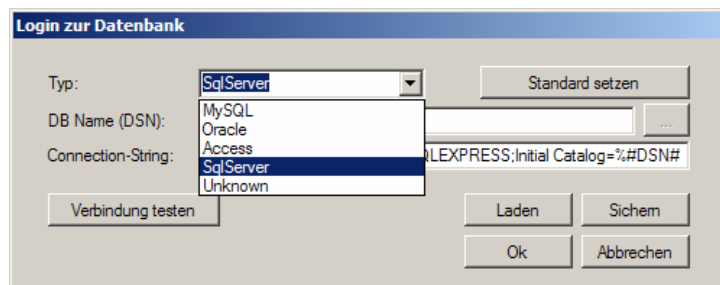


Abb. 10: Datenbankschnittstelle

Mit GroutControl® können mehrere Projekte in einer Datenbank bearbeitet werden. Das Projekt City Tunnel Leipzig besteht datentechnisch aus 8 Projekten (Hebungsfeldern) die in einer Datenbank zusammengeführt werden.

2.9 3D-CAD-Kern, DGM (Digitales Geländemodell)

Die Sprache der Ingenieure ist die Zeichnung, umso mehr, wenn es gilt, eine Fülle von Informationen übersichtlich darzustellen. GroutControl® verfügt über eine 3D-CAD Oberfläche mit allen wesentlichen Funktionen (Abbildung 11):

- Ebenen (Layer-Technik): Jedes Element in der Zeichnung befindet sich auf einer Zeichnungs-Ebene. Sie erleichtern in verschiedenen Kombinationen das Erkennen bestimmter Informationen. Die Ebenen können beliebig ein und ausgeschaltet werden. GroutControl® erzeugt die Ergebnisse der Abfragen in vordefinierten Ebenen.
- Austausch von Zeichnungsformaten mit gängigen CAD-Systemen wie AutoCAD (DXF/DWG) und MicroStation (DGN)
- Anpassung der Elementeigenschaften (Linienfarbe, Strichstärke, Linienart)
- Ansichtsteuerung, Zoom, 3D-Drehung der Zeichnung
- Erzeugung von grafischen Objekten (Linie, Kreis, Rechteck, Text)
- Visualisierungsmöglichkeiten (z.B. Drahtmodell oder gerenderte Darstellung)

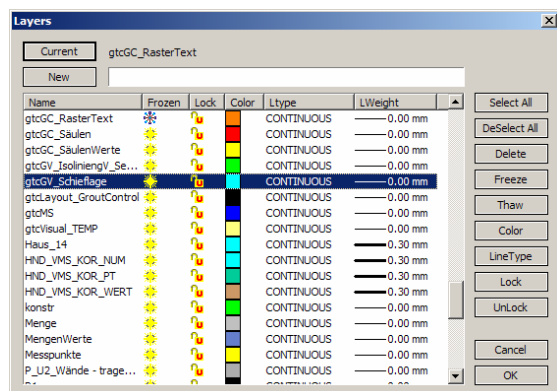


Abb. 11: Layer-Ansicht GroutControl®

3. Regelkreis des Injektionsprozesses

3.1 Erzeugung einer Abfrage

Der Benutzer kann die Abfrage der Injektionsdaten in einer Abfragemaske definieren. Als Abfragefilter können festgelegt werden:

- Injektionszeitraum
- Art des Druckes (Aufpressdruck, mittlerer Druck, Enddruck)
- Verpressmenge
- Phasennummer
- Verpressaufgabe
- Pumpennummer
- Nummer der Injektionsstufe
- Räumlicher Bereich (z. B. ein Fundament).

Die Auswahl mit nur einigen oder allen Abfragekriterien ist möglich.

Durch die gezielte Auswahl verschiedener Abfrageparameter können komplexe Injektionsvorgänge in kürzester Zeit analysiert und die Steuerung der Injektions- und Hebungsabläufe an die ständig wechselnden Verhältnisse angepasst werden (Abbildung 12).

Abb. 12: Abfragemaske für die Injektionsparameter, Auswahl des Projektes

Die Visualisierung der Daten kann auf drei Arten erfolgen:

- Im Quick – Modus
- Als alphanumerische Liste (Baustellenberichte)
- Als 2D/3D Visualisierung der Abfrageergebnisse.

3.2 Quick – Modus

Mit dieser Ansicht ist ein rascher Zugriff auf die Summen-Daten der Projekte, der Bohrungen, der Bohrlochvermessung, der Ventilstufen und der Injektionen möglich. Der Button „Diagramme“ wird automatisch aktiviert, wenn Verlaufsdaten zu Verfügung stehen. Bei dem unten gezeigten Beispiel werden Sumsätze der Injektionsdaten angezeigt. Der Injektionsdruck und die Injektionsmenge werden im zeitlichen Verlauf als xy-Plott dargestellt (Abbildung 13).

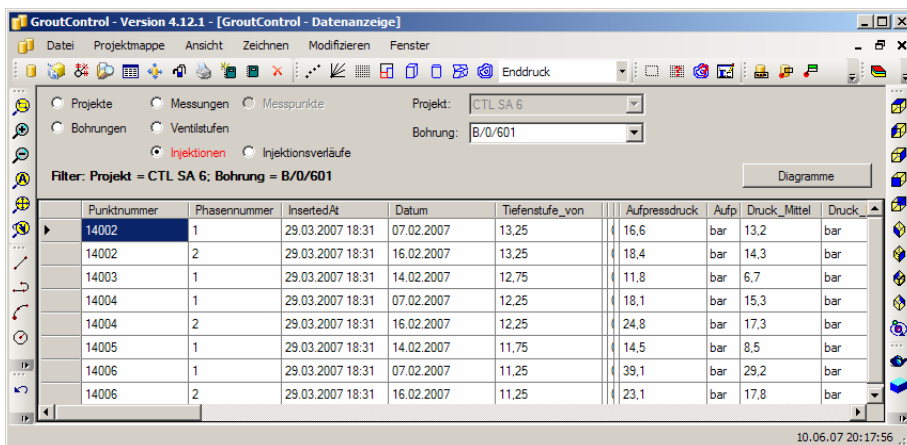


Abb. 13: Ergebnisse der Abfrage im Quick-Modus, Die Darstellung des Injektionsverlaufes erfolgt mit dem Button „Diagramme“

3.3 Baustellenbericht

GroutControl® wird mit vorgefertigten Berichtsvorlagen ausgeliefert. Zusätzlich ist ein Berichts-Generator integriert. Dieser Generator erlaubt es der Baustelle eigene Vorlagen zu erstellen und abzuspeichern. Mit diesem Werkzeug ist es möglich auf alle Information, die die Datenbank enthält, zuzugreifen. Firmen- oder Baustellenlogos lassen sich einfach integrieren. Für den Datenaustausch stehen die gängigen Formate zur Verfügung (HTML, XML, XLS, PDF) (Abbildung 14).

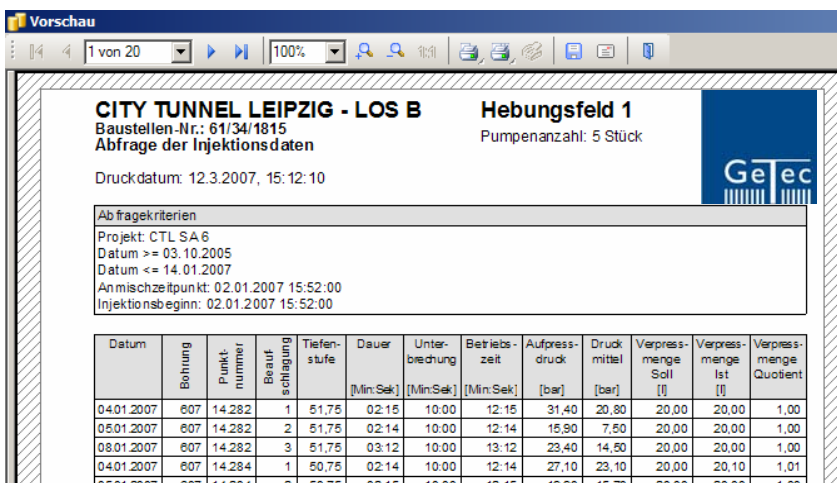


Abb. 14: Baustellenbericht mit Abfragekriterien

3.4 2D/3D Visualisierung der Abfrageergebnisse

Von allen relevanten Daten (z.B. Bohrlochverlauf, Ventilstufen oder Schlauchwaagensensoren) sind die 3D Koordinaten im System abgelegt. Es werden alle zugehörigen Daten in der korrekten 3D-Position visualisiert. Alle Visualisierungselemente werden nach der Datenbankabfrage automatisch erzeugt. Die grafischen Elemente sind:

- 3D-Lage und Bezeichnung der Bohrungen,
- 3D-Lage und Bezeichnung der Ventilstufen,
- Quadranten,

- Lage und Messwert (Bohrlochvermessung),
- Lage, Schiefstellung und Winkelverdrehung aus den Schlaubaagedaten.
- Zur intuitiven Orientierung innerhalb des Projektes können 2D- und 3D-CAD-Dateien als Hintergrundlayer ein- oder ausgeschaltet werden.

Die Abfrageergebnisse für die Injektionsparameter lassen sich wahlweise grafische als 2D- oder 3D-Elemente darstellen:

- 3D Balken (passt sich automatisch der Größe des Quadranten an, die z-Achse ist skalierbar)
- 3D Säule (Durchmesser der Säule und die z-Achse sind skalierbar)
- B-Spline Konturlinie (Digitales Geländemodell)
- 2D Balken (Darstellung von Druck und Menge je Quadrant)

Damit erhält der Bauleiter z.B. folgende Darstellung. Der oberste Layer zeigt die Verformung des Baugrundes/Bauwerkes. Die roten Balken zeigen den mittleren Injektionsdruck und die gelben Säulen geben die Injektionsmenge wieder. Die Auswertung wurde nach Quadranten vorgenommen (Abbildung 15):

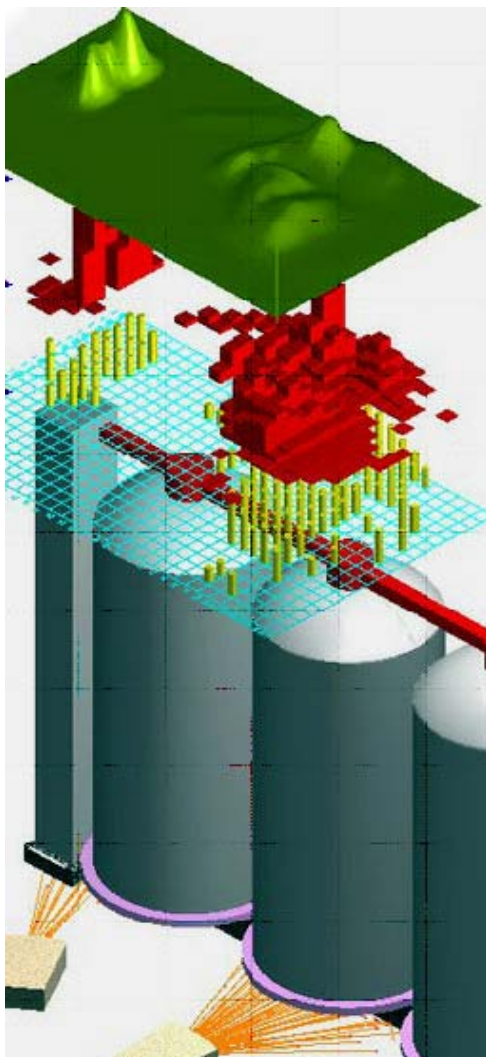


Abb. 15: Injektionsdruck als Balken, die Injektionsmenge als Säule und die Verformung des Baugrunds als ISO-Linie, Baustellengegebenheit Silos, Fundamente und die Ventilrohre

GroutControl® unterscheidet in der räumlichen Auswertung zwischen Quadranten und flächenhafter Auswertung. Bei den Quadranten wird jede Information des jeweiligen Quadranten berücksichtigt, d.h. alle Ventilstufen eines Quadrats werden ausgewertet. Die Ausdehnung der Quadrate ist beliebig wählbar.

Für die Beobachtung von Einzelfundamenten gibt es die Möglichkeit, Bereiche für die Auswertung zu definieren. Der Benutzer kann die Geometrieform beliebig bestimmen (Polygonzug). Für die einfache Handhabung dieses Bereiches kann der Benutzer einen sprechenden Namen vergeben. z.B. „Fundament F101“.

3.5 Steuerung von Injektionen

Für die Steuerung von Injektionen müssen die Injektionsparameter (Menge und Druck) und die Reaktion der Verformung des Geländes/Gebäudes im zeitlichen Kontext betrachtet werden.

Eine Vielzahl von Hilfsmittel steht dem Injektionspersonal dafür zur Verfügung:

- Der Betrachtungszeitraum der Hebungsinjektion kann gewählt werden.
- Das gewählte Referenzdatum wird bei der Berechnung der Differenzverformung verwendet.
- Den Verformungswerten können Verformungsbeträge farblich zugeordnet werden (In der Praxis hat sich die Ampelsteuerung als vorteilhaft erwiesen, z.B. rot: Hebung im kritischen Bereich, gelb: Hebungstendenz erkennbar, grün: keine Verformungen) (Abbildung 16).

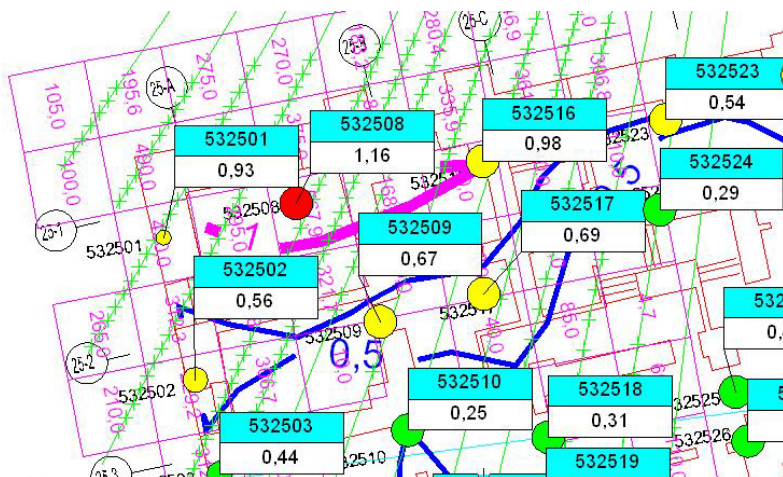


Abb. 16: Definition von Hebungserfolgen mittels der Ampelsteuerung

Durch die Überlagerung der Verformung und Injektionsparameter erhält der Benutzer Informationen über die zu beaufschlagenden Bereiche. Die Ventilstufen können interaktiv gewählt werden (über die grafische Auswahl der Ventilstufen, über die definierten Bereiche oder über die Ventilstufennummern). Die Interaktion von Injektionsereignis und Hebungserfolg wird somit deutlich dargestellt.

Abbildung 17 zeigt den Dialog für die Erzeugung von Arbeitsanweisung. In diesem Dialog werden neben den Ventilstufen die Injektionsmengen und -drücke definiert. Die Übertragung der Arbeitsanweisung kann über elektronische Medien in die Steuersoftware der Container erfolgen. Für den Pumpenfahrer kann auch eine Listenausgabe auf einen Drucker erfolgen. Kundenspezifische Formulare können mit dem Report-Generator erzeugt werden.

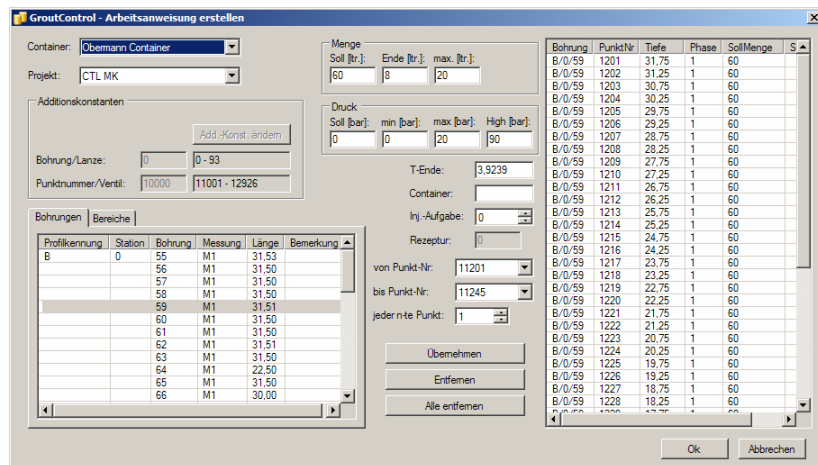


Abb. 17: Erstellen von Arbeitsanweisungen für den Injektionscontainer

3.6 Schnittstellen von GroutControl®

GroutControl® kommuniziert mit einer Vielzahl von Geräten. Die Schnittstellen liegen zum Teil in frei dokumentierter Form vor. Hersteller von Komponenten erhalten somit die Möglichkeit Ihre Produkte in GroutControl® zu integrieren. Folgende Schnittstellen stehen zur Verfügung:

3.6.1 Injektionscontainer

Die Schnittstelle für die Injektionscontainer funktioniert in beide Richtungen. Injektionsdaten können ausgelesen und in GroutControl® eingespielt werden oder GroutControl® erzeugt die Steuerdatei für die Verpressarbeiten, die dann auf elektronischem Weg an den Injektionscontainer übermittelt werden (WLAN, Ethernet, USB-Memory-Stick).

Derzeit werden folgende Container unterstützt:

- Obermann (3 und 6 Pumpen)
- Rodio
- Keller Grundbau AKI und KI

3.6.2 Differenz-Verformungen des Baugrunds/der Bauwerke

Favorisierte Technologie ist die Druckschlauchwaage. Sollte diese Technik nicht zum Einsatz kommen bietet GroutControl® auch die Möglichkeit geodätische System zur Überwachung zu integrieren.

Verfügbare Schnittstellen existieren für:

- Digital Nivelliere
- Remote Tachymeter (Leica, Trimble und Topcon)

3.6.3 3D Vermessungssysteme Bohrloch

GroutControl® verfügt über eine direkte Schnittstelle für das REFLEX MAXIBOR II System.

4. Zusammenfassung

Zur Abminderung vortriebsbedingter Setzungen bei Tunnelvortrieben auch unter schwierigen geotechnischen und örtlichen Randbedingungen hat sich das Compensation Grouting hervorragend bewährt

Eine an die äußeren Bedingungen angepasste Planung, Bauüberwachung und Ausführung der Maßnahmen erfordert erfahrenes und qualifiziertes Fachpersonal sowie auf die Aufgabe abgestimmte Maßnahmen zur Qualitätssicherung. Hierzu zählen insbesondere auch die Kontrolle der Lagegenauigkeit der Injektionsbohrungen, die sorgfältige Aufzeichnung und Bewertung aller maßgebenden Produktionsparameter, die messtechnische Überwachung der Verformungen der Bauwerke und die zeitnahe Bewertung aller Ergebnisse im Kontext zueinander.

Dazu werden geeignete Programmsysteme benötigt, die diese Daten kontinuierlich aufzeichnen, auswerten und dem Anwender in Echtzeit zur Verfügung stellen. Die Ausführung dieser Arbeiten ist wesentlich vereinfacht und macht diese Aufgaben erst möglich, denn auch das beste Fachpersonal braucht gutes „Werkzeug“ um erfolgreich zu sein.

5. Literaturverzeichnis

- [1] E.W. Raabe, K. Esters: Injektionstechniken zur Stillsetzung und zum Rückstellen von Bauwerkssetzungen, Vorträge Baugrundtagung, 1986, Nürnberg
- [2] H.-G. Gabener / E.W. Raabe: Einsatz von Soilfracturing zur Senkungsminderung J. Wilms beim Tunnelvortrieb, Taschenbuch für den Tunnelbau 1989, DGEG
- [3] Raabe, A.W. and Esters, K., (1993), “ Soil Fracture Techniques for Terminating Settlements and Restoring Levels of Buildings and Structures”, Groutong Improvement, edited by M.P. Moseley, Blackie Academic & Professional, Boca Raton, FL, pp175-192
- [4] Kramer, G. J. E., Tavares, P. D., and Droof, E.R. , (1994), “ Settlement Protection Work for the New St. Clair River Rail Tunnel ”, Proceedings of Canadian Tunneling, BiTech Publisher, Richmond, BC, Canada, pp291-302.
- [5] H. Knitsch Rückstellungen von Setzungen mit IT-gestütztem Soilfrac®-Verfahren, Vortrag Fachtagung EDV in der Baupraxis 2000, Spittal a.d.Drau Austria
- [6] J.R. Säuberlich, H. Knitsch, G. Ruppel, U. Trunk, Rückstellungen von Setzungen mit dem Soilfrac®-Verfahren: Zusammenspiel von Messen, Injektion und geotechnischem Modell an einem Beispiel, Messen in der Geotechnik 2000, TU Braunschweig
- [7] M. Jakobs, H. Knitsch, R. Wieland, Ein Druckschlauchwaagensystem für die kontinuierliche Deformationsüberwachung und die Steuerung des Soilfrac®-Verfahrens während der

Untertunnelung der Centralstation Antwerpen, Messen in der Geotechnik 2002, TU Braunschweig

[8] G. Chambosse / R. Otterbein : State of the art of Compensation Grouting in Germany International Conference on soil mechanics and Geotechnical Engineering, 2001, Istanbul

[9] M. Jakobs / R. Otterbein / H. Dekker: Erfahrungen beim Einsatz der Druckschlauchwaage zur Höhenüberwachung setzungsempfindlicher Bauwerke, Veröffentlichung Bauingenieur Band 76, 2001

[10] DIN EN 12715 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten: Injektionen

Autoren des Beitrages:

Dipl.-Ing. Henry Knitsch
GeTec Ingenieurgesellschaft für Informations- und Planungstechnologie mbH
Rotter Bruch 26 a
D-52068 Aachen
Tel.: +49 69 8010 6624
Fax.: +49 69 8010 4981
E-mail: H.Knitsch@Getec-ac.de
www.GeTec-ac.de

Dipl. Ing. Reiner Otterbein, Dipl. Ing. Thomas Paßlick
Keller Grundbau GmbH
Mausegatt 45-47, Postfach 60 06 51
D-44846 Bochum
Tel.: +49 2327 804-0
Fax +49 2327 804-31
E-mail: R.Otterbein@KellerGrundbau.com
E-mail: T.Paßlick@KellerGrundbau.com
www.KellerGrundbau.com