



DIPLOMARBEIT
Master Thesis

Datenmonitoring bei Injektionen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

und

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Leopold Winkler**

E 234

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Michael Ouschan, BSc.

1025188

Denisgasse 11/21, 1200 Wien
Trabesing 52, 9071 Köttnansdorf

Wien, am 01.10.2017

(Michael Ouschan)

*Die Zukunft gehört denen,
die Möglichkeiten erkennen,
bevor sie offensichtlich werden.*

- *Oscar Wilde*

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes Digitalisierung von Bauprozessen im Tiefbau, am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien. Mein Dank gilt Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, dem Leiter des Forschungsbereiches für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, für die Möglichkeit Teil dieses innovativen Projektes zu sein und in dessen Rahmen diese Arbeit zu verfassen. Besonderer Dank gilt Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Leopold Winkler, welcher mich ausgezeichnet in der Umsetzung der Arbeit beraten hat und mir in Zeiten nachlassenden Fortschritts die nötige Motivation gab, diese Arbeit mit hoher wissenschaftlicher Qualität abzuschließen.

Des Weiteren möchte ich allen beteiligten Experten der Injektionstechnik, welche mir nicht nur Ihre Zeit sondern auch hochwertigen Input gegeben haben, danken. Erst durch ihre Unterstützung konnte die Arbeit in diesem Maße umgesetzt werden. Großer Dank gebührt auch den Forschungspartnern des Projektes, namentlich hervorzuheben Herrn Ing. Philipp Maroschek, MSc., MLBT., welcher mir oft mit Rat zur Seite stand.

Der größte Dank gebührt meinem Vater Günther und meiner Mutter Sigrid, welche mir das Studium an der Technischen Universität Wien - trotz dreier in Ausbildung befindlicher Kinder - ermöglichten und mich immer in meinen Entscheidungen unterstützt haben. Generell kann ich mich glücklich schätzen, große Unterstützung seitens meiner Familie erhalten zu haben, an dieser Stelle möchte ich meinem bereits verstorbenen Großvater Herbert danken, der mir in einem unserer letzten Gespräche vor Studienbeginn Mut zusprach, diesen Weg einzuschlagen.

Außerdem möchte ich all meinen Studienkollegen - insbesondere Barbara, Benno, Cesare, Daniel, Patrick und Tobias - für die Unterstützung und die Teamarbeit durch das ganze Studium hindurch danken, denn nur durch das gemeinsame Herangehen an Hindernisse, konnten diese überwunden werden. Spezieller Dank gilt auch noch meinen Mitbewohnern Bojan und Pontus, welche immer mit Verständnis für die zu erledigende Arbeit, aber auch mit der nötigen Ablenkung, die Studienzeit mit zu der aufregendsten Zeit meines bisherigen Lebens machten.

Kurzfassung

Das Forschungsprojekt Digitalisierung von Bauprozessen im Tiefbau leistet für die Zukunft der digitalen Baustelle im Zeitalter Industrie 4.0 einen wichtigen Beitrag und stellt den Konnex zwischen Forschung und Industrie her. Im Rahmen dieses Projektes entstand die vorliegende Diplomarbeit, welche sich mit der Aufbereitung der Bauprozesse bei der Injektion und den damit verbundenen Datenflüssen beschäftigt.

Im Zuge der Arbeit erfolgt ein Vergleich der einschlägigen Fachliteratur unter Miteinbeziehung der aktuell gültigen Normen, um das Verständnis für Injektionen zu schärfen. Der Fokus liegt im Wesentlichen auf den Herstellungsdaten, anhand derer die Beurteilung, ob eine Injektion als erfolgreich beendet gilt oder nicht, erfolgt. Der Daten- und Informationsfluss von der Maschine bis hin zur Ablage wird analysiert und neue Entwicklungen auf diesem Gebiet erörtert. Die Vorstellung von Produkten und ein Ausblick auf innovative Entwicklungen im Datenmonitoring verschaffen einen Überblick der Marktsituation.

Das Verständnis für das Wesen von Injektionen ist eminent für die Beurteilung von Datenmonitoringsystemen. Daher wird im Zuge der Ausarbeitung ein Fragebogen erarbeitet, welcher sich dezidiert mit den Fragestellungen zum Datenfluss in der Injektionstechnik, Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme sowie dem Entwicklungsbedarf und daraus resultierenden Potentialen beschäftigt. Durch Fachgespräche, welchen der Fragebogen als Gesprächsleitfaden zugrunde liegt, wird Verständnis für den komplexen Bauprozess gestärkt und gemeinsam mit den Gesprächspartnern¹ zukunftsweisende Optimierungspotentiale erarbeitet.

Die im Anschluss befindliche Analyse bereitet einen Interessenvergleich der Berufsgruppen Auftraggeber, Ausführende und Planer bzw. Sachverständige sowie die unterschiedlichen Anforderungen, welche seitens der Bauwirtschaft an neue Datenmonitoringsysteme bestehen, auf und offeriert somit Entwicklern einen möglichen Pfad für zukunftsorientierte Innovationen.

¹Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

Abstract

The research project Digitization of Construction Processes in Ground Engineering makes an important contribution to the future of the digital construction site in the industrial age of industry 4.0 and establishes the connection between research and practice. Within the scope of this project the present diploma thesis was developed, which deals with the preparation of the grouting process and the related data flows.

In the course of this thesis a comparison of the relevant literature and the current standards will be carried out, in order to intensify the understanding of grouting works. The focus is on the manufacturing data, which is used to evaluate whether the process is deemed successful or not. The data and information flow from the machine until the end storage is analyzed and new developments in this area are discussed. The introduction of established products and an outlook on innovative developments in data monitoring provide an overview of the market.

The understanding of the nature of grouting is eminent for the assessment of data monitoring systems. For this reason, a questionnaire is being developed in the course of the elaboration. This questionnaire deals with the questions on the flow of data in grouting technology, the weak points of new data monitoring systems, as well as the development requirements and the resulting potentials. Through interviews with the questionnaire as a guide, understanding of the complex building process is strengthened and future-oriented optimization potentials are developed.

The subsequent analysis prepares a comparison of the interests of the occupational groups, as well as the different requirements that the construction industry has for new data monitoring systems, thus offering developers a possible path for future-oriented innovations.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	v
Kurzfassung	vii
Abstract	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Forschungsfragen	2
1.3 Begriffsbestimmungen	3
1.4 Abkürzungsverzeichnis	4
2 Grundzüge in der Injektionstechnik	5
2.1 Geschichtlicher Abriss	5
2.2 Injektionsarten	6
2.2.1 Packerinjektion	8
2.2.2 Manschettenrohrinjektion	9
2.2.3 Andere Injektionsverfahren	10
2.3 Injektionsmittel	10
2.3.1 Fließverhalten	10
2.3.2 Ideales Injektionsgut	11
2.3.3 Injektionsmittelarten	11
2.3.4 Anwendungsgrenzen	12
2.4 Komponenten in der Injektionstechnik	14
2.4.1 Mischanlagen	15
2.4.2 Injektionspumpen	16
2.4.3 Packer	17
2.4.4 Injektionsdruckmessgeräte und Injektionssteuerungen	18
3 Von der Erkundung bis zur erfolgreichen Injektion	19
3.1 Baugrunderkundungen	19
3.1.1 Bohrungen	21

3.1.2	Sondierungen	24
3.1.3	Geophysikalische Methoden	24
3.2	Grundwassererkundungen	26
3.2.1	Durchlässigkeitsbestimmungen	26
3.2.2	Wasserabpressversuche	27
3.3	Evaluierung von Mischungen und Laborprüfungen	30
3.4	Festlegung der Einbringungsparameter	34
3.4.1	Druck, Volumen und Durchflussrate	34
3.4.2	Abbruchkriterien	35
3.5	Erfolgsüberprüfungen	37
4	Der Datenfluss bei Injektionen - Messung bis Dokumentation	39
4.1	Datenmanagement von Injektionen	40
4.2	Datenaufnahme im Herstellprozess	41
4.2.1	Messgeräte	41
4.2.2	Steuerung und Kontrolle	43
4.2.3	Speicherung	43
4.3	Datenverarbeitung im Herstellungsprozess	44
4.3.1	Aufbereitung	44
4.3.2	Analyse	47
4.4	Normenlage zur Dokumentation	47
4.5	Qualitätssicherung im Prozessmanagement	49
5	Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik	51
5.1	Bestehende Produkte	51
5.1.1	Hersteller für Messinstrumente und Dokumentationssysteme	52
5.1.2	Anlagen- und Maschinenhersteller	54
5.2	Marktanalyse	55
5.3	Weiterentwicklung und Innovation	55
5.3.1	Industrie 4.0	56
5.3.2	Übertragung und Kommunikation	57
5.3.3	Aufbereitung und Analyse	58
6	Input aus der Praxis	61
6.1	Erarbeitung des Fragebogens	61
6.2	Fachgespräche	63
6.2.1	Vorstellung der Gesprächspartner	65
6.2.2	Ausführende Unternehmen	66
6.2.3	Planer und Sachverständiger	73
6.2.4	Auftraggeber	79
6.2.5	Kernaussagen	83
7	Anforderungen an Datenmonitoringsysteme	85
7.1	Analyse	85
7.1.1	Kategorisierung	85
7.1.2	Schlüsselbereiche	89
7.2	Auswertung	94
7.2.1	Grundlagen	94

7.2.2	Anforderungsprofile	96
8	Ausblick	99
9	Zusammenfassung	101
9.1	Forschungsfrage I	102
9.2	Forschungsfrage II	102
9.3	Forschungsfrage III	103
9.4	Forschungsfrage IV	103
	Abbildungsverzeichnis	105
	Tabellenverzeichnis	106
	Literaturverzeichnis	107
	Anhang A: Fragenkatalog	111
	Anhang B: Fachgespräche	123
	Eidesstaatliche Erklärung	167

Einleitung

Die letzten beiden Jahrzehnte waren geprägt durch eine zunehmende Digitalisierung des Alltags. In allen Bereichen des Lebens stehen uns digitale Hilfsmittel zur Verfügung, durch welche alltägliche Prozesse optimiert werden.

Die Entwicklung von Hilfsmitteln zur Abwicklung von Baustellen hinkt im Vergleich zu anderen Sektoren etwas nach. Während im Hochbau zwar schon planungsübergreifende Arbeitsweisen wie das Building Information Modelling (BIM) Form annehmen, gibt es im Tiefbau noch wenige unterstützende Programme, obwohl vor allem dieser, durch seine Unzugänglichkeit des Baukörpers und die damit verbundene Abhängigkeit von Herstellungsdaten, prädestiniert für neue Softwares im Datenmanagement ist. Es existieren bereits Ideen zur Optimierung des Datenmanagements im Spezialtiefbau, welche die Dokumentationsprozesse für das operative Baustellenpersonal zu verkürzen vermögen und somit Zeit schaffen, den Fokus auf wesentliche Aufgaben zu legen.

Um das Verständnis für den Bedarf digitaler Hilfsmittel in der Injektionstechnik zu schärfen, beginnt die Arbeit mit einem Abriss über die **Grundzüge in der Injektionstechnik** und der Erläuterung der Schritte von der Baugrunderkundung bis zur erfolgreichen Injektion.

Im Anschluss werden dann im Detail die **Datenflüsse bei Injektionsarbeiten** analysiert, in welcher Form diese auftreten und welche Möglichkeiten der Verarbeitung und Analyse es bereits am Markt gibt. Zusätzlich werden Ideen der im Sektor tätigen Unternehmen miteinbezogen, um Potentiale für Entwickler aufzudecken. Die Arbeit soll Aufschluss über die zu bewältigenden Anforderungen und Ansatzpunkte für innovative Ideen liefern. Sie entsteht in Zusammenarbeit mit dem FFG-geförderten Projekt, **Digitalisierung von Bauprozessen im Tiefbau**.

1.1 Motivation

Unter Injektionen wird das Einpressen von pumpfähigen Mitteln zum Zwecke der Abdichtung oder Verfestigung des Untergrundes verstanden. Wissen über Injektionstechniken besteht schon seit beinahe 200 Jahren. Der Einsatz und vor allem das Einsatzspektrum vergrößerte sich stetig. In kommenden Jahren werden

mehr und größere Injektionsbaustellen aufkommen. Sei es zur Vortriebssicherung von immer gewaltigeren Tunnelbauprojekten wie dem Brenner-Basis-Tunnel oder dem Semmering, im Bereich der Grundwasserabdichtung oder in der Bauwerkssanierung von z.B. Talsperren, welche zunehmend, nicht zuletzt aufgrund ihres fortgeschrittenen Alters, einer Sanierung bedürfen.

Bei solchen Baustellen wird eine große Menge an Daten produziert, welche es zu bewältigen gilt. In einer Zeit von steigender Nachweispflicht gegenüber dem Bauherrn bedarf es daher innovativer technischer Lösungen zur Erleichterung für das Baustellenpersonal. Aktuell befassen sich laut *Chriti* Bauleiter auf Tiefbaustellen zu ungefähr einem Fünftel ihrer Zeit mit Dokumentationsarbeiten. [5]

Mit der zunehmenden Digitalisierung geht jedoch auch eine extrem hohe Vervielfachung an Daten einher. Zum Beispiel wurden in den Jahren 2000 bis 2002 weltweit etwa die gleiche Anzahl an Daten produziert wie in den gesamten 40.000 Jahren davor. Mittlerweile sind wir im Jahr 2017, der Berg an Daten wächst immer weiter, wodurch auch die Anforderungen an die Datenhaltung ungemein ansteigen. [13]

Nicht zuletzt gilt es auf Spezialtiefbaustellen Ist-Leistungen präzise darzustellen, um so auch Kausalitätsnachweise bei Produktivitätsverlusten, bzw. Leistungsverschiebungen schlüssig dokumentieren zu können. Nur so kann sicher gestellt werden, dass die Arbeiten nach Plan ausführbar sind bzw. sich der Baugrund wie prognostiziert verhält. Eine übersichtliche Datenbank, mit etwaigen Visualisierungsfeatures, hilft solche Analysen zu erleichtern

1.2 Forschungsfragen

Unter den beschriebenen Rahmenbedingungen wurden zu Beginn Forschungsfragen formuliert, um der weit gefächerten Arbeit einen Leitfaden zu geben. Zum Abschluss erfolgt die Beantwortung, mit dem Versuch einen Ausblick für nachfolgende Forschungen auf diesem Gebiet zu geben.

1. Forschungsfrage

Wie und in welchem Umfang entstehen Herstellungsdaten in der Injektionstechnik und wie werden diese verknüpft?

2. Forschungsfrage

Wo liegen die Schwachstellen aktuell am Markt befindlicher Systeme?

3. Forschungsfrage

*Wo liegt der entscheidende Entwicklungsbedarf für neue Datenmonitoringsysteme?
Wie können Daten in Zukunft zusammengeführt und analysiert werden?*

4. Forschungsfrage

Welche Potentiale bzw. welchen Nutzen hat digitales Datenmanagement an sich?

1.3 Begriffsbestimmungen

Injektionsstelle

Jene Stelle im Baukörper, welche durch eindeutig beschreibbare Grenzen festgelegt ist. Dabei kann es sich um eine Pässe oder das Bohrloch selbst handeln.

Injektionszeit

Jene Zeit, welche von Injektionsbeginn, dem Einschalten der Pumpe, bis zum Injektionsende, dem Abschalten der Pumpe vergeht. Sie wird in Sekunden oder Minuten angegeben.

Injektionsvolumen

Jenes Volumen an Injektionsmittel, welches je Injektionsstelle injiziert wird.

Injektionsdrücke

Die Definition des gemessenen Drucks ist in der Injektionstechnik sehr heikel, weshalb auf die Nomenklatur besonderer Wert gelegt wird. Zwischen folgenden Drücken wird unterschieden:

Injektionsdruck

Jener Druck, der am Bohrlochmund wirkt.

Injektionspumpendruck

Jener Druck, der unmittelbar an der Pumpe gemessen wird.

Wirksamer Injektionsdruck

Jener Druck, der sich im Bohrloch selbst einstellt.

Ruhedruck

Jener Druck, welcher sich nach Abstellen der Pumpe nach einer vorgegebenen Zeit im Einpresskörper einstellt. Er ist der für die Ausführung relevanteste Druck, da über den Druckabfall der tatsächlich wirksame Druck der Größenordnung nach bestimmt werden kann. [29]

Durchflussrate

Jene Rate, welche das an der Pumpe aufgezeichnete Injektionsvolumen pro Zeit darstellt. Sie wird in Liter pro Minute angegeben.

Abbruchkriterien

Jene Kriterien, unter welchen eine Injektion als erfolgreich und abgeschlossen angesehen werden kann. Abbruchkriterien sind anhand der vorgestellten Begriffe definiert.

W/B - Wert

Jener Wert, welcher das massenbezogene Mischungsverhältnis von *Wasser* zu *Bindemittel* angibt.

1.4 Abkürzungsverzeichnis

- AG: Auftraggeber
- AN: Auftragnehmer
- ÖBA: Örtliche Bauaufsicht
- BÜ: Bauüberwachung

- NÖT: Neue österreichische Tunnelbaumethode
- TBM: Tunnelbohrmaschine

- WAP: Wasserabpressversuch
- GIN: Grouting Intensity Number
- RTGC: Real Time Grouting Control
- TPA: Transient Pressure Analysis
- PSG: Pressure Sensitive Grouting
- ACG: Aperture Controlled Grouting

- BIM: Building Information Modelling

Grundzüge in der Injektionstechnik

*”Unter **Injektion** wird das Einpressen eines Injektionsmittels zum Zwecke der Abdichtung oder Verfestigung in Hohlräume, Klüfte und Poren des Untergrunds verstanden.” [Kutzner,1991]*

Injektionsmittel sind pumpfähige Mittel, welche über Injektionslanzen oder Manschettenrohre zur Veränderung der Festigkeits-, Verformungs- und/oder Durchlässigkeitseigenschaften des Bodens bzw. Fels in den Untergrund eingebracht werden. Nicht die Art des Untergrundes, sondern vor allem die Größe, Beschaffenheit und Verteilung der Hohlräume, Poren im Locker-, Klüfte und Kavernen im Festgestein, sind in der Injektionstechnik von Bedeutung. Den Baugrundbereich, welchen es mittels einer Injektion gleichmäßig zu erfassen und nach gewünschten Vorgaben zu verändern gilt, nennt man Einpresskörper. [2] [17]

Da der Injektionserfolg mit einer maximalen Verpressung des Hohlraums korreliert, darf das Injektionsgut während der Injektion nicht erhärten bzw. sollte eine Feststoffabsetzung verhindert werden, um ein weiteres Vordringen der Mittel gewährleisten zu können. Durch das Erhärten nach Beendigung des Injektionsvorgangs kommt es zu einer Zustandsänderung des Einpresskörpers, in Bezug auf dessen mechanische bzw. hydraulische Eigenschaften. [2]

2.1 Geschichtlicher Abriss

Die Injektionstechnik fand vor über 200 Jahren bereits in Frankreich Anwendung. Charles Bérigny sprach von *”procédé d’injection”* (dt. Injektionsverfahren), als er 1802 eine Suspension aus Wasser und Puzzolan-Zement einsetzte, um eine durch Setzungen beschädigte Schleuse zu sanieren. Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden daraufhin vor allem in Frankreich zahlreiche Wasserbauwerke unter Einsatz von Injektionen erneuert. Mit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts etablierte sich das Verfahren im deutschen sowie angelsächsischen Raum und fand dort vorwiegend im Tunnel- und Bergbau Anwendung. Durch die fortschreitende Industrialisierung und den steigenden Bedarf an Energielieferanten wurden geeignete Sicherungsmaßnahmen im Kohleabbau zunehmend bedeutender, wodurch die Injektionstechnik einen erneuten Aufschwung erfuhr.

Der Anfang des 20. Jahrhunderts war vor allem durch die Weiterentwicklung von Geräten und Maschinen gekennzeichnet. Erste Hochdruckpumpen kamen auf den Markt, da erkannt wurde, dass zur optimalen Verpressung von Hohlräumen der Druck steuerbar sein muss. Um die Dichtigkeit des Gebirges zu prüfen, wurden auch Vorläufer der heutigen Packer erstmals zur Anwendung gebracht.

Im Laufe der vergangenen hundert Jahren gab es eine stetige Weiterentwicklung in der Injektionstechnik. Zum einen wurden die Pumpen immer leistungsstärker und effizienter; es können nun größere Mengen über längere Wege in größere Tiefen injiziert werden. Zum anderen gab es immense Fortschritte in der Materialtechnologie, eine Vielzahl an Produkten wird mittlerweile in unterschiedlichen Bereichen zu verschiedensten Zwecken eingesetzt. [17]

2.2 Injektionsarten

Injektionen bieten ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten. Je nach Vorgaben der Eingangsgrößen Druck und Menge können unterschiedlichste geotechnische Problemstellungen bewerkstelligt werden. Im Skriptum für Grundbau und Bodenmechanik der TU Wien [2] finden sich Beschreibungen der einzelnen Injektionsarten.

Auffüllinjektion

Eine Auffüllinjektion hat die Herstellung eines einheitlichen Verpresskörpers **ohne** Strukturänderungen zum Ziel. Diese kann sowohl zum Zwecke einer Abdichtung, als auch zur Verfestigung des injizierten Bereiches erfolgen. Verformungen werden durch Niedrighalten des Drucks ausgeschlossen, es wird lediglich der Porenraum verkittet (siehe Abbildung 2.1), wodurch die Scherfestigkeit erhöht und die Zusammendrückbarkeit vermindert werden. Daher wird auch oft von einer Hohlraumverfüllung gesprochen.

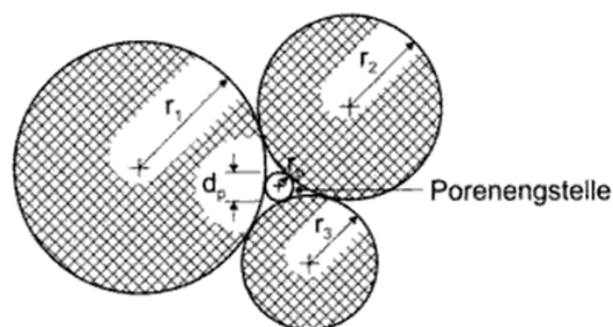


Abbildung 2.1: Porenengstellen im Lockergestein [28]

Aufbrechinjektion

Im Gegensatz zur Auffüllinjektion kommt es bei der Aufbrechinjektion zu einer Verfüllung **mit** Strukturänderung. Vor allem bei tonig, schluffigen Böden mit geringen Korngrößen ist das Eindringen des Injektionsguts weitgehend mit einer

Verformung des Untergrundes verbunden. Das Hohlräumgefüge ist bei bindigen Böden sehr eng gestuft, es bilden sich Risse und Spalten im Boden aus (siehe Abbildung 2.2), in welchen sich die eingepressten Mittel absetzen. Es konsolidiert sich der Boden rings um die Risse, durch Regelung von Druck und Menge können Bereiche auch gezielt gehoben werden. Somit findet das Verfahren Anwendung in der Bauwerkssanierung und bei Arbeiten nahe setzungsempfindlicher Bauwerke.

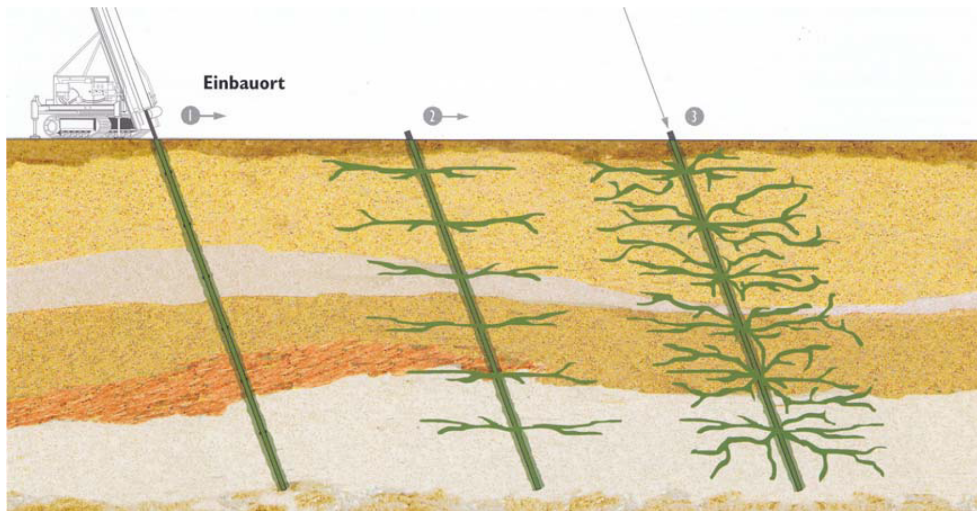


Abbildung 2.2: Schema Aufbrecheinjektion [16]

Verdichtungsinjektion

Die Verdichtungsinjektion ist im Wesen der Aufbrecheinjektion sehr ähnlich. Bei Maßnahmen dieser Art wird zunächst das Bohrloch verfüllt und dann durch Überdruck der Boden seitlich verdichtet (Abbildung 2.3). Das Verfahren eignet sich neben der Hohlräumverdichtung zur Bodenverbesserung und Gründungssanierung, wobei die hergestellten Säulen zum Teil auch zur Lastabtragung herangezogen werden können.

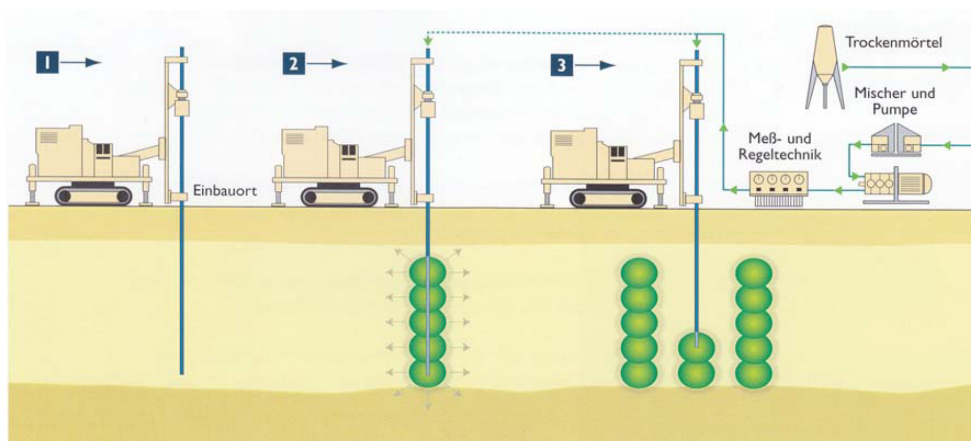


Abbildung 2.3: Schema Verdichtungsinjektion [16]

Düsenstrahlinjektion

Beim Düsenstrahlverfahren, auch Hochdruckbodenvermörtelung oder im Englischen *jet grouting* genannt, wird Bindemittelsuspension unter sehr hohem Druck (bis zu 600 bar) eingepresst. Durch den hohen Druck werden Hohlräume gezielt hergestellt und somit Platz für die einzubringende Suspension geschaffen. Durch das Verfahren wird ein zusammenhängender, in seinen Eigenschaften homogenisierter, verfestigter Körper im Untergrund hergestellt. Das Düsenstrahlverfahren zählt streng genommen nicht zu den klassischen (Niederdruck-)Injektionen, bei welchen mit weitaus geringeren Drücken gearbeitet wird. Es wird in dieser Arbeit auch nicht weiter ausgeführt, im Sinne der Vollständigkeit sollte es dennoch erwähnt werden.

2.2.1 Packerinjektion

Packer sind Elemente in der Injektionstechnik, die es ermöglichen gezielt zu injizierende Bereiche abzutrennen. Die eingesetzten Dichtungsmanschetten bestehen aus einem bewehrten Schlauch, der durch pneumatisch oder hydraulisch aufgebrachtene Druck expandiert und so Abschnitte abdichten kann. Packer sind in Ventilrohren oder auch direkt im Bohrloch einbaubar. Deren Dichtigkeit wird durch einen geringfügig höheren Druck als den Injektionsdruck gewährleistet.

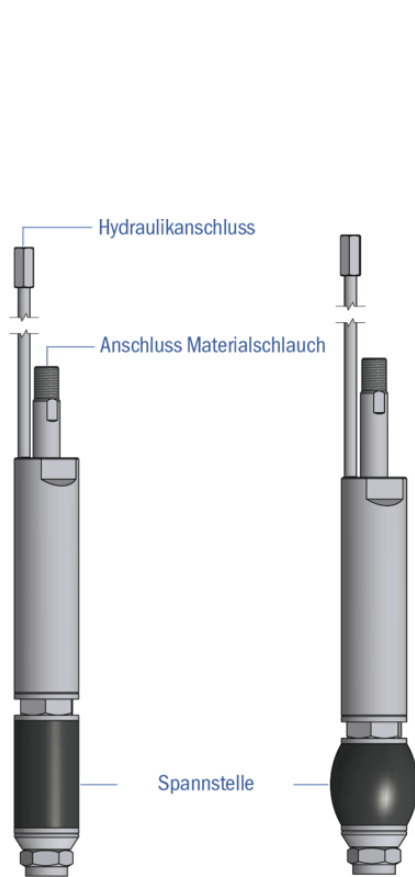


Abbildung 2.4: Einfachpacker

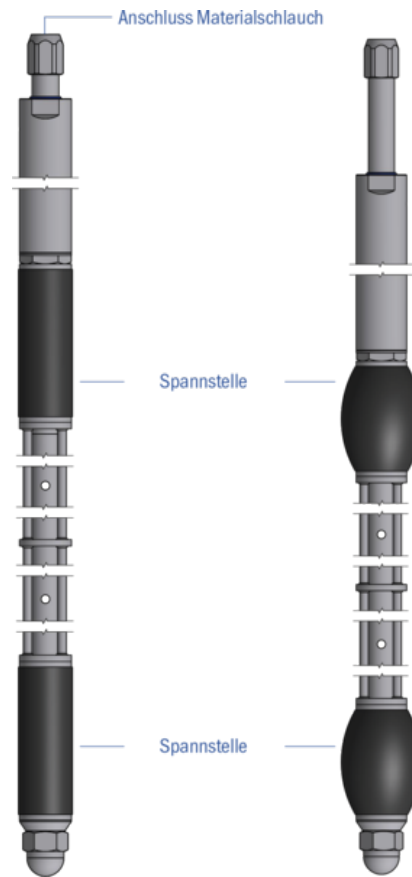


Abbildung 2.5: Doppelpacker [6]

Unterschieden werden Einfach- bzw. Doppelpacker. Bei Verwendung von Einfachpackern (Abbildung 2.4) erfolgt nur eine Abtrennung nahe dem Bohrlochmund durch den Packer selbst, die Bohrlochsohle fungiert als natürlicher Abschluss. Zwischen diesen Grenzen kann das Injektionsgut nur seitlich in den Untergrund entweichen.

Der Doppelpacker (Abbildung 2.5) besteht aus zwei Dichtungsmanschetten, welche den zu injizierenden Abschnitt an beiden Enden abschotten. Somit bleibt der Bereich variabel wählbar. Zwischen den Manschetten wird das Injektionsmittel über ein perforiertes Rohr in die Umgebung gepumpt. [1]

2.2.2 Manschettenrohrinjektion

Manschettenrohre, auch Ventilrohre genannt, sind auf kurze Länge perforierte Rohre aus Plastik oder Metall ($D = 30 - 60 \text{ mm}$), welche zur gezielten Injektion in Böden verwendet werden. Die Perforationen sind mit Gummimanschetten verschlossen, die sich unter Injektionsdruck ventilartig aufblähen, um das Injektionsgut in die Umgebung austreten zu lassen. Ein Rückfluss der eingebrachten Mittel entlang des Rohres wird durch ein Sperrmittel in Form eines Zement-Bentonit-Gels verhindert, welches den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Manschette ausfüllt. Im Rohr selbst kann die Injektionslanze beliebig verschoben und durch Doppelpacker fixiert werden. Dadurch ist es möglich Injektionsstellen gezielt in beliebiger Reihenfolge und auf verschiedenen Tiefenstufen zu bearbeiten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Nachverpressung, auch unter Einsatz verschiedener Injektionsmittel. [1]

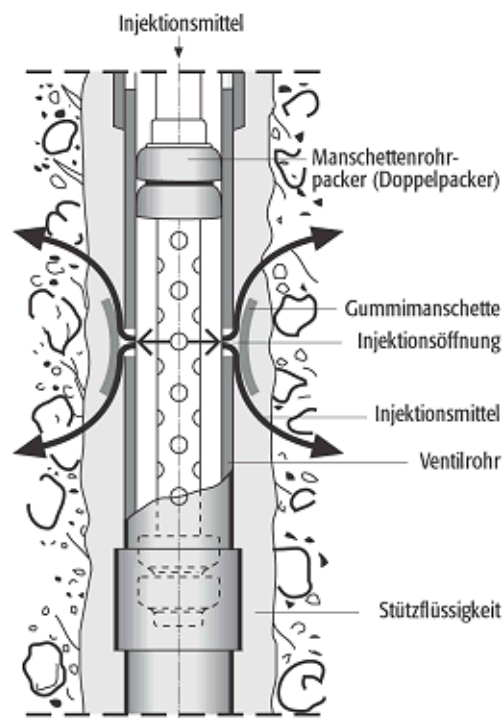


Abbildung 2.6: Schema Manschettenrohrinjektion [19]

2.2.3 Andere Injektionsverfahren

Neben den beiden Hauptverfahren, der Packerinjektion und der Manschettenrohrinjektion gibt es noch weitere gängige Verfahren, deren Funktionsweise in einschlägiger Literatur wie *Injektionen im Baugrund* von Kutzner zu finden ist. Diese umfassen beispielsweise:

- Lanzeninjektionen
- Injektionen durch das Bohrrohr
- Aufsteigende Injektionen
- Absteigende Injektionen

2.3 Injektionsmittel

Injektionsmittel bestehen aus pumpbaren Materialien und dienen der Abdichtung und Verfestigung des Baugrundes im Zuge von Injektionsarbeiten. Alle Injektionsmittel charakterisieren sich durch den Übergang eines flüssigen und pumpbaren, in ein festes, den Bauanforderungen entsprechendes Medium. Die meisten, wie z.B. die häufig eingesetzten Zementsuspensionen, entwickeln die gewünschten bautechnischen Eigenschaften nach einiger Zeit von sich aus, manche Chemikalien erst nach Reaktion mit dem Baugrund. Die zeitabhängigen, rheologischen und physikalischen Eigenschaften der Injektionsmittel gilt es zu kennen, um den Spagat zwischen optimaler Verarbeitbarkeit und gewünschter bautechnischer Eigenschaften im eingebauten Zustand zu schaffen. [17]

2.3.1 Fließverhalten

Injektionsmittel weisen unterschiedliches Fließverhalten auf. Bei *Newton'schen Flüssigkeiten*, wie Wasser oder den meisten Lösungen, ist deren Bewegung nur durch die Viskosität η begrenzt. Die Viskosität ist ein Maß für die Zähigkeit von Fluiden, welche durch die Anziehungskraft benachbarter Moleküle in den Flüssigkeitsschichten hervorgerufen wird.

Die meisten Injektionsmittel, wie Suspensionen oder Silikate, haben jedoch eine Fließgrenze τ_0 , also eine Grenzschubspannung, welche überwunden werden muss, damit das Injektionsgut zu fließen beginnt (Formel 2.1). Unterhalb dieser Grenzschubspannung verhält sich das Material wie ein Feststoff. Fluide mit solch einem Verhalten nennt man *Bingham'sche Flüssigkeiten*. [17]

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma} \tag{2.1}$$

τ	Schubspannung [Pa]
τ_0	Fließgrenze [Pa]
η	Viskosität [Pa · s]
$\dot{\gamma}$	Schergefälle [m^{-1}]

Für die Injektionstechnik sind Viskosität und Fließgrenze nicht unwesentlich. Die Viskosität ist die dominierende Variable betreffend der Durchflussrate, die Fließgrenze regelt die Reichweite des Injektionsguts beim Eindringen in den Untergrund. Mit steigender Fließgrenze verkürzt sich die Reichweite, der Injektionsdruck muss sich erhöhen, um tiefer in den Baugrund vorzudringen zu können. [18]

2.3.2 Ideales Injektionsgut

Ein ideales Injektionsgut weist zu Beginn ein hohes Fließvermögen auf, um ein Eindringen in die Klüfte bzw. Poren zu gewährleisten. Es lässt sich während des Injektionsvorgangs nicht auswaschen, es darf zu keiner Absetzung der Feststoffe des Injektionsguts kommen und geht zum Ende in ein festes Medium über. Im Detail soll die Anfangsviskosität des Mittels etwa $10 \cdot 10^{-3} \text{Ns/m}^2$ nicht übersteigen. Nach dem Verpressen soll die Viskosität rasch ansteigen, um das Abfließen, sprich den Verlust der Haftung am Injektionskörper, zu verhindern. Chemikalien weisen zum Teil diese idealen Eigenschaften auf, grundsätzlich kann bei herkömmlichen Injektionsmitteln jedoch nicht von solch einem Verhalten ausgegangen werden. Daher gilt es, auf das jeweilige Projekt zugeschnittene Kompromisslösungen zu finden, welche die unterschiedlichen Anforderungen des einzubauenden Materials berücksichtigen. [1]

2.3.3 Injektionsmittelarten

Die Wahl des geeigneten Injektionsmittels erfolgt anhand dessen rheologischer und physikalischer Eigenschaften, sowie der Größe und Anordnung der Hohlräume im Untergrund. Neben der Eindringfähigkeit muss auch auf die Verarbeitbarkeit bei der Aufbereitung, die Transportfähigkeit durch Pumpen und Rohrleitungen sowie die Kompatibilität mit dem Baugrund und die Umweltverträglichkeit geachtet werden. Eine Unterscheidung der verschiedenen Injektionsmittel findet sich unter anderem im Skriptum für Fels- und Tunnelbau der TU Wien. [1]

Zementsuspensionen

Zementsuspensionen sind die am häufigst eingesetzten Injektionsmittel. Bei Suspensionen handelt es sich um Gemische aus Flüssigkeiten und festen Stoffen, welche zu Beginn chemisch nicht miteinander verbunden sind und daher zu Sedimentation und Phasentrennung neigen. Im Falle der Zementsuspensionen besteht die Mischung aus Wasser, Zement und gegebenenfalls Bentonit bzw. Flugasche o.Ä. Um die Stabilität von Suspensionen zu gewährleisten - stabile Suspensionen lassen sich nur mechanisch entmischen - werden auf Baustellen parallel zur Ausführung ständig Proben entnommen und ausgewertet. Zementsuspensionen eignen sich unter Einsatz von Normalzement für Rissbreiten über $0,3 \text{mm}$. Darunter können mit Feinstzementen Risse bis $0,1 \text{mm}$ Breite noch behandelt werden.

Harze

Harze haben einen sehr weit gefächerten Anwendungsbereich, lassen sich selbst in schluffigen Böden einbringen. Nachteilig zu bewerten ist der erhöhte Aufwand und

Preis gegenüber den konventionellen Zementsuspensionen. Die Eigenschaften verschiedener Harze, z.B. von Polyurethanharz und Epoxydharz, variieren zwischen festem und flüssigem Zustand. Äußere Randbedingungen haben einen erhöhten Einfluss auf Harze, die Temperatur ist maßgeblich für eine erfolgreiche Polymerisierung und Wasser kann zur Verflüssigung der Mittel, zu Emulsionierungen, führen.

Silikate

Silikate finden Anwendung als Injektionsmittel für Böden und stark zerklüfteten Fels. Je nach Mengenzugabe von Wasserglas weisen Silikate im Endzustand einen flüssigen bzw. festen Zustand auf. Grundsätzlich kann man sie in die Gruppe der Gele einordnen. Zu unterscheiden sind Ein- und Zweikomponentenverfahren. Bei Einkomponentengelen wird das Mittel nach abgeschlossener Gelbildung eingebracht, bei Zweikomponentengelen tritt die Reaktion nach separater Injektion der beiden Komponenten direkt im Verpresskörper ein.

Schaumstoffe

Schaumstoffe sind ebenfalls chemische Injektionsmittel, bei welchen ein Aufschäumen unter Gasentwicklung (CO_2 bei Polyurethan) zur Volumenvergrößerung unter Druckentwicklung führt. Dadurch werden selbst feine Risse und Poren selbstständig ausgefüllt. Wie bei den Silikaten differiert die Verarbeitungszeit von Produkt zu Produkt. Auch bei den Schaumstoffen kommt es bei manchen Mischungen aufgrund der kurzen Reaktionszeit erst zu einer Reaktion im Injektionsrohr.

2.3.4 Anwendungsgrenzen

Bei Betrachtung der Anwendungsgrenzen für Injektionsmittel gibt es vor allem im Grundbau Kriterien zur Auswahl des passenden Injektionsguts. Im Felsbau hingegen werden vorrangig Zementsuspensionen eingesetzt, die Injizierbarkeit von Fels hängt großteils vom Zustand der Klüfte ab.

Lockergestein

Der Wasserdurchlässigkeitswert (k-Wert) wird oft zur Abschätzung der Injizierbarkeit von Böden herangezogen. Hierbei muss man beachten, dass dieser streng genommen nur für *Newton'sche Flüssigkeiten* gilt, da deren Eigenschaften durch die Strömung durch das Korngerüst nicht beeinflusst werden. Chemische Lösungen sind als solche zu betrachten.

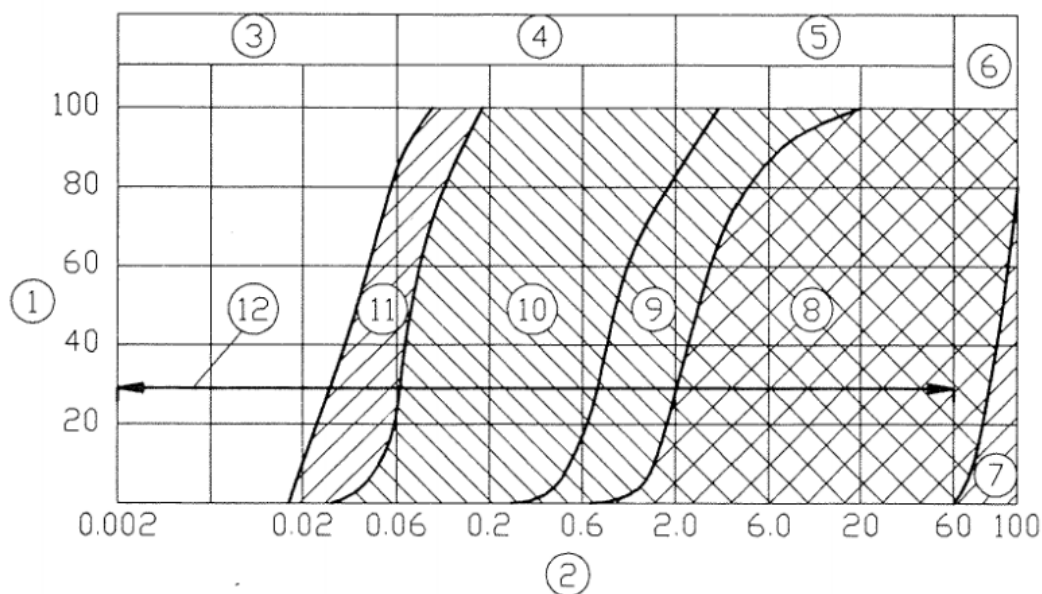
Für *Bingham'sche Fluide* ist die Eindringfähigkeit ein geometrisches Problem. Hierzu wird eine Verhältnisgröße N als Kennwert herangezogen (2.2). Bei Werten von $N > 25$ gilt eine Penetration des Verpressguts durch das Korngerüst als möglich, bei $N < 9$ wird diese ausgeschlossen. [27]

$$N = \frac{d_{15}}{d_{85}} \tag{2.2}$$

- N Verhältnisgröße [–]
 d_{15} Korndurchmesser des Lockergesteins bei 15% Siebdurchgang [–]
 d_{85} Korndurchmesser des Injektionsguts bei 85% Siebdurchgang [–]

Kornverteilungslinien dienen der Klassifizierung von Böden, können aber auch als Kriterium für Injizierbarkeit herangezogen werden. In Abbildung 2.7 sind die unteren Anwendungsgrenzen von Injektionsmitteln dargestellt.

Abgesehen von der Düsenstrahlinjektion, welche in allen Böden eingesetzt werden kann, lässt sich eine klare Staffelung der unterschiedlichen Mittel erkennen. Harze sind im Schluff einsetzbar, sind jedoch mit hohen Kosten verbunden. Silikate dringen aufgrund ihres wasserähnlichen Verhaltens ungehindert tief in den Einpresskörper ein. Bei Suspensionen ergibt sich der Anwendungsbereich in Abhängigkeit von der Korngröße der Feststoffe. Bei gewöhnlichen Suspensionen liegt er zwischen Grobsand und Mittelkies. [1]



- 1: Siebdurchgang in Gewichtsprozent, 2: Korndurchmesser [mm], 3: Schluff, 4: Sand, 5: Kies, 6: Steine, 7: Mörtel, 8: Zementsuspension, 9: Suspension mit Spezialzement, 10: Chemikallösungen, 11: Harz, 12: Düsenstrahlinjektion

Abbildung 2.7: Anwendungsgrenzen von Injektionsmitteln nach *Kutzner* [17]

Die Entwicklung von Ultrafein-Zementen lässt Böden bis hin zum Feinsand durch mineralische Injektionsmittel bearbeitbar machen. Dies war zuvor chemischen Stoffen vorbehalten, doch mit steigendem Umweltbewusstsein und immer strengeren Auflagen werden diese abnehmend eingesetzt. Durch die Verwendung von Additiven, so genannten Injektionsbeschleunigern, wird das Problem der Verarbeitbarkeit von feststoffreichen Suspensionen gelöst. Diese weisen einen geringen W/B-Wert auf, was eine hohe Fließgrenze, sowie ein schnelles Aussteifen der Suspension verursacht. [26]

Eine Druckerhöhung und längere Injektionszeit vergrößert grundsätzlich die Reichweite aller Injektionsmittel, es sollte dabei jedoch nie das Injektionsziel außer Acht gelassen werden. Ein Verpressen mit zu hohem Druck führt zu Kornzertrümmungen und letztlich zu einer Hebungs- bzw. Aufsprenginjektion (Kapitel 2.2). [27]

Festgestein

Injektionen im Fels fungieren hauptsächlich als Abdichtungsinjektionen, daher überprüft man im Festgestein primär die grundsätzliche Injizierbarkeit des Kluftgefüges. Die Durchlässigkeit der zu injizierenden Klüfte selbst wird mittels sogenannter Wasserabpressversuche erforscht, auf welche in Kapitel 3.2.2 im Detail eingegangen wird. Mittels konventionellen Zementsuspensionen gelten Klüfte mit Kluftweiten zwischen 0.3 und 0.5 *mm* als injizierbar, unter Einsatz von Ultrafein-Zementen auch solche bis etwa 0.1 *mm*. [27]

2.4 Komponenten in der Injektionstechnik

Die handelnden Personen entscheiden in allen Bereichen des Bauwesens über Erfolg und Versagen. Klammert man den Menschen als Erfolgskomponente aus, erweisen sich Geräte, Sensoren und Materialien, nicht nur das passende Injektionsgut und der optimale Bohrlochverschluss, als Teile einer erfolgreichen Injektion. In Abbildung 2.8 sind die wesentlichen Komponenten einer Felsinjektion dargestellt. Diese beinhaltet:

- Mischanlage mit Vorratsbehälter
- Injektionspumpe
- Injektionssteuerung
- Durchflussmesser und Manometer an der Pumpe
- Injektionsschlauch
- Manometer am Bohrlochmund
- Packer

Die Ausrüstung einer Lockergesteinsinjektion unterscheidet sich hiervon nicht, lediglich die Eingangsparameter und Mischungsverhältnisse bzw. die Art des Verschlusses von Bohrloch oder Injektionsabschnitt können variieren.

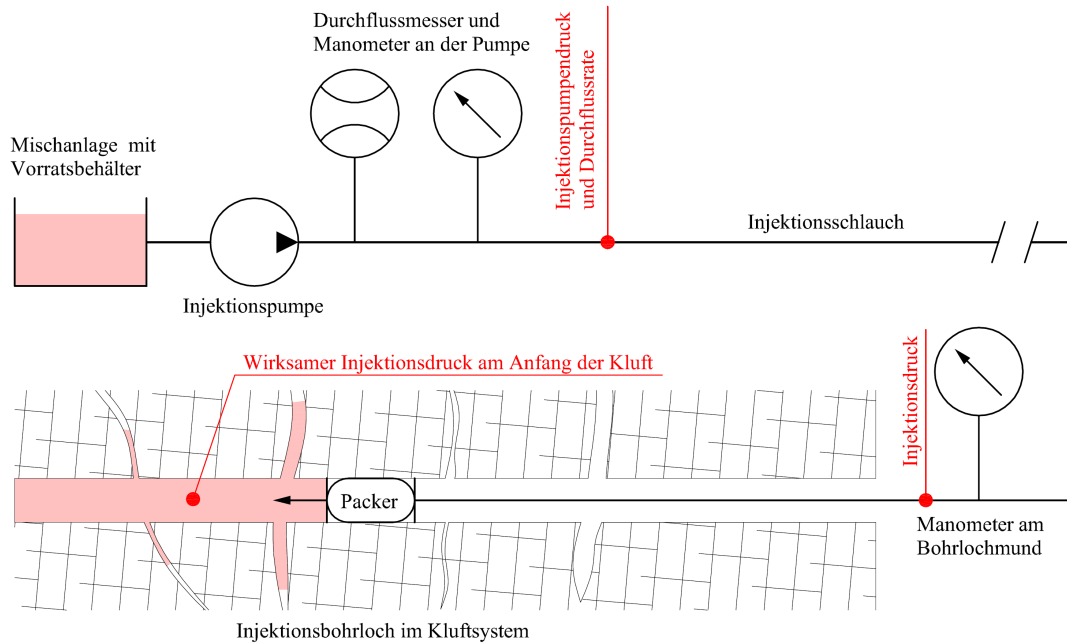


Abbildung 2.8: Injektionskomponenten einer Felsinjektion [10]

2.4.1 Mischanlagen

In den Mischanlagen werden die einzelnen Bestandteile des Injektionsguts zunächst dosiert und vorbereitet. Ein gewissenhaftes Befolgen der Rezepturen und eine genaue Einwaage, entscheiden über Erfolg oder Misserfolg der Injektion. Um gewünschte Fließ- und Erstarrungseigenschaften zu erlangen, bedarf es einer guten Durchmischung der Komponenten. Für Zementsuspensionen bedeutet dies eine Benetzung mit Wasser an den Oberflächen aller Feststoffpartikel. Während der Durchmischung verdrängt das Rührwerk auch unerwünschte Luftblasen aus der Suspension, welche die Dichte und Festigkeit im eingebauten Zustand beeinträchtigen könnten. Das Mischgut muss in ständiger Bewegung bleiben, da es sonst zu einer Sedimentation der Feststoffteile oder zu frühzeitigem Abbinden kommen kann. Hierfür ist ein Vorratsbehälter mit eigenem Rührwerk zwischen Mischer und der Injektionspumpe vorgesehen. [17]

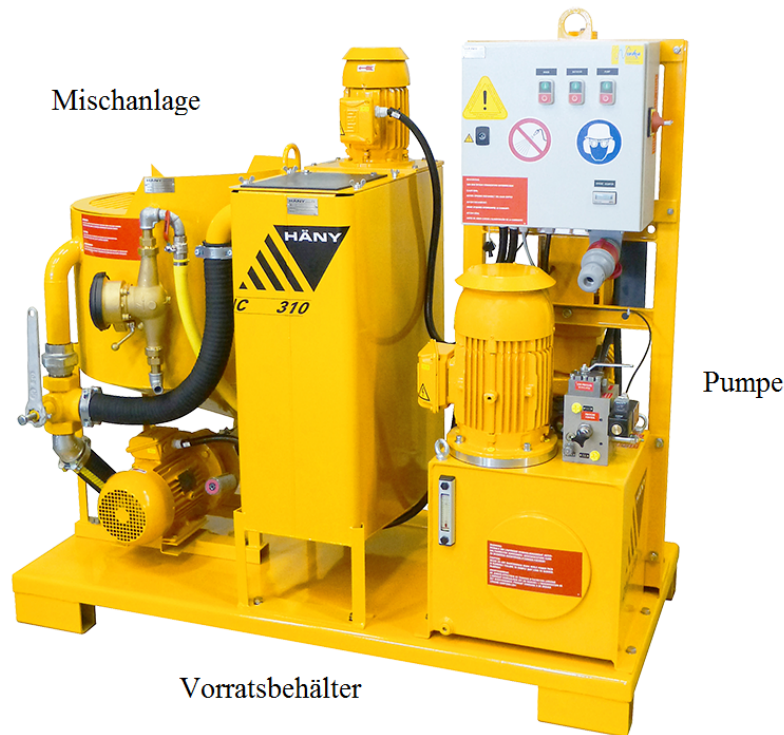


Abbildung 2.9: Kompakte Injektionsmischanlage der Firma Häny [14]

Je nach Größe der Baustelle bzw. Menge an verpresster Zementsuspension erfolgt die Materialaufbewahrung in Silo- oder Sackware. In jedem Fall gilt es, den Zement geschützt vor Witterungsbedingungen, insbesondere vor Temperatur und Feuchtigkeit, zu schützen. [34] Bei kleinen Baustellen bzw. schwer erreichbaren Bohrlöchern (zu weiten Pumpwegen oder Ähnlichem) bietet sich die Lösung einer Kompaktanlage (Abbildung 2.9) an. Hierzu sind die Mischanlage, der Vorratsbehälter und die Pumpe als eine Einheit zusammen auf einen gemeinsamen Rahmen montiert. Auch auf Baustellen, bei welchen die Anlage mehrmals umgesetzt werden muss, bietet sich diese Lösung an. [17]

2.4.2 Injektionspumpen

In Europa werden vorwiegend hydraulisch gesteuerte Kolbenpumpen (Abbildung 2.10) verwendet, da diese den speziellen Anforderungen der Injektionstechnik am besten nachkommen. Druck und Fördermenge müssen unabhängig von einander steuerbar sein. Die Pumpe muss in der Lage sein, sowohl bei hohen als auch bei verschwindend gering wirkenden Fördermengen das Material unter konstantem Druck nach Vorgabe zu liefern. Vor allem ein Überschreiten des Höchstdrucks ist auszuschließen, da es sonst zu Aufbruchvorgängen kommen kann. Dies gilt ebenso bei geringen Druckvorgaben, bei Höchstdrücken von 1 – 2 bar. [17]

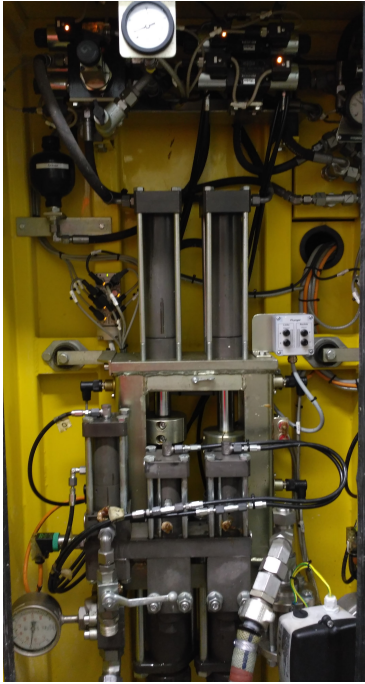


Abbildung 2.10: Kolbenpumpe [24]



Abbildung 2.11: Pumpencontainer [24]

Bei einer hohen Anzahl von Injektionslöchern empfiehlt es sich, mehrere Pumpen von einem Pumpenfahrer steuern zu lassen. Dies spart Zeit und Arbeitskraft. Die Pumpen können hierzu in einem Pumpencontainer zusammengefasst und zentral gesteuert werden. In Abbildung 2.11 ist beispielhaft ein Pumpencontainer der Firma *Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.* mit acht Pumpen zu sehen. Ein weiterer Vorteil solcher Einheiten liegt in der Einrichtung und Räumung, da diese Container bei sorgsamer Wartung schnell und einfach transportbereit sind sowie mit wenig zusätzlichem Material auskommen.

2.4.3 Packer

Die Förderung des Injektionsguts zum Packer hin erfolgt über Injektionsschläuche, welche zum einen dem maximalen Injektionsdruck standhalten müssen und zum anderen möglichst minimale Druckverluste zur Injektionsstelle hin verursachen sollen.

In Abbildung 2.8 ist eine Felsinjektion mit einem Packer als Abdichtungselement zu sehen. Wie in Kapitel 2.2.1 bereits angeführt, können Packer sowohl in Einfach- als auch Doppelausführung zum Einsatz kommen, indem sie das Bohrloch absperren oder in einem Manschettenrohr (Abbildung 2.6) den zu injizierenden Bereich festlegen. Die Dichtigkeit von Packern ist, unabhängig in welcher Ausführung, unerlässlich für den Injektionserfolg. Daher hat in jedem Fall der aufgebrauchte Druck stets höher als der Injektionsdruck zu sein. [17]

2.4.4 Injektionsdruckmessgeräte und Injektionssteuerungen

Bei der Beschreibung von Injektionsdrücken wird in der Literatur selten differenziert. Zu wissen, von welchem Druck gesprochen wird ist sehr wichtig, da der Injektionsdruck abhängig von der Förderweite abnimmt. Um das Verständnis für die Problematik zu stärken, sind die Begriffe in Kapitel 1.3 erläutert.

Die Messung der Drücke erfolgt mit Manometern, welche diese an Registriergeräte weitergeben. Die Registriergeräte, über welche die Pumpen auch zentral gesteuert werden, zeichnen Druck und Durchfluss auf und stellen sie in Echtzeit dar. In welcher Form diese Datenaufzeichnung passiert und wie mit den gewonnenen Daten bzw. deren Dokumentation umgegangen wird, ist Hauptbestandteil dieser Arbeit und wird in Kapitel 4.2 ausführlich erörtert. Im Zuge der Erläuterungen wird auch im Detail auf die Funktionsweisen von Druckmessgeräten eingegangen. [17]

Von der Erkundung bis zur erfolgreichen Injektion

Der Erfolg einer jeden Injektion wird am Erreichen des festgelegten Ziels gemessen. Das Ziel kann variieren, Injektionen bieten ein großes Anwendungsspektrum (siehe Kap. 2.2). Es gilt die entscheidenden Einbringungsparameter zu kennen, welche abhängig von der Injektionsart anzupassen sind: [34]

- Druck [Pa]
- Volumen [m^3] (in der Praxis oft [l])
- Durchflussrate [m^3/s] (in der Praxis [l/min])

Zur Festlegung der Parameter müssen vorab detaillierte Baugrunderkundungen durchgeführt, geeignete Mischungen und Mischverhältnisse evaluiert sowie auf deren Eignung labortechnisch geprüft und laufend kontrolliert werden. Flexibilität in der Ausführung wird durch das Festlegen von Bereichen für Einbringungsparameter und Mischverhältnisse erreicht, welche durch Erkenntnisse aus der Bauausführung laufend einer Adaption unterworfen sind.

3.1 Baugrunderkundungen

Der Spezialtiefbau charakterisiert sich durch das Durchführen von Bauverfahren in großer Tiefe, ohne vollumfänglichen Einblick auf das hergestellte Bauwerk. Daher entscheidet sich der technische sowie wirtschaftliche Erfolg einer Spezialtiefbaustelle zumeist bereits in der Vorerkundungsphase. Je mehr Wissen über den Baugrund besteht, wo und in welcher Stärke verschiedene Boden- und Gesteinsarten vorkommen, wie der Grundwasserspiegel verläuft oder in welcher Art, Weite und Anordnung Klüfte auftreten, desto genauer kann geplant werden. Stets vor Augen zu halten ist, dass der Baugrund immer ein großes Risiko in sich birgt und somit liegt es an den Planern, ausführungstechnische Flexibilität für die Spezialtiefbauunternehmen vorzusehen.

Zur Untersuchung des Baugrundes gibt es zahlreiche Methoden. Von grober geologischer Übersicht bis ins Detail haben sich zahlreiche Vorgehensweisen als praktikabel erwiesen. Im Spezialtiefbau ist vor allem die Aufschlüsselung der tief im Erdreich befindlichen Zonen von Interesse, weshalb grobe Analysen wie Kartierungen, Luft- und Satellitenbilder im Folgenden außer Acht gelassen werden. Grundsätzlich kann man zunächst anhand geologischer Karten abschätzen, auf welche Gesteinsarten man bei der Detailerkundung stoßen wird, doch sind vor allem die Inhomogenitäten, sprich die Wechsellagerungen, Einschlüsse und Kluftsysteme für Injektionsarbeiten entscheidend. [30]

Folgende Aufschlussmöglichkeiten werden im Detail behandelt:

- Bohrungen
- Sondierungen
- Geophysikalische Methoden
- Grundwassererkundungen
- Wasserabpressversuche
- Probeinjektionen

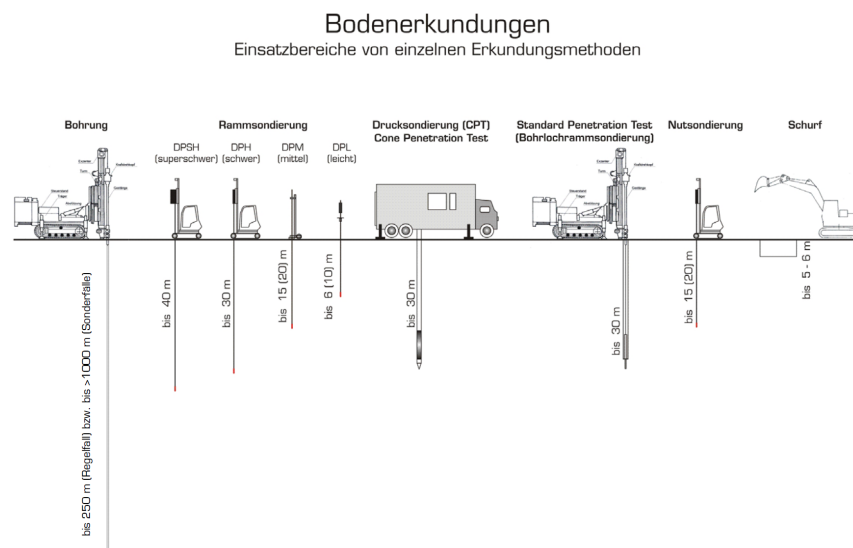


Abbildung 3.1: Tiefenreichweiten von Bohr- und Sondierungserkundungen [2]

Schürfe, welche hier nicht weiter behandelt werden, da sie eine sehr begrenzte Tiefe von 5 – 8 m aufweisen, zählen wie Bohrungen zu den direkten Aufschlussmethoden. Von Interesse sind noch tiefer liegende Schichten für welche sich Bohrungen, in Kombination mit indirekten Aufschlussmethoden (Sondierungen, geophysikalische Methoden), nicht zuletzt aufgrund ihrer großen Erkundungstiefe durchgesetzt haben. (siehe Abbildung 3.1)

3.1.1 Bohrungen

Bohrungen sind die am vielseitigst einsetzbaren Aufschlussmethoden, da sie bis in große Tiefen als auch unter Grundwasserbedingungen ohne nennenswerte Erschwernisse durchführbar sind. Kernbohrungen liefern ungestörte Proben höchster Qualität, welche zur Ermittlung von bodenphysikalischen Labordaten unerlässlich sind. Die Güte der gewonnen Bohrproben, die aus Bohrlöchern zwischen 60 und 300 mm abhängig vom angewandten Verfahren ([1]) gewonnen werden, hängt von den Bodenverhältnissen, der Grundwassersituation und dem Bohrverfahren selbst ab. [2]

Der große Vorteil von Bohrungen liegt in der Vielfalt an zur Verfügung stehenden Bohrverfahren, welche Erkundungen eines jeglichen Untergrundes ermöglichen. Daher ist im Sinne eines optimalen Bohrerfolgs das durchzuführende Verfahren an die zu erwartenden Bodenverhältnisse anzupassen. Folgende Bohrverfahren stehen dazu zur Auswahl: [2]

- Dreh- bzw. Rotationskernbohrungen
- Rammkernbohrungen
- Schlagbohrungen
- Greiferbohrungen

Im Felsbau muss zusätzlich noch zwischen drei Entnahmekategorien, für welche sich neben den Rotationsbohrungen das **Seilkernbohr-** und das **Spülbohrverfahren** eignen, unterschieden werden. Die Entnahmekategorien (**A**, **B** und **C**) geben den Grad der Strukturänderung nach Probenentnahme an. [1]

Dreh- bzw. Rotationskernbohrung

Die Kerngewinnung von ungestörten Proben zeichnet das Rotationsverfahren aus. Ob in tonig - schluffigen Böden, in dicht gelagerten Feinsanden oder in felsartigen Sedimenten und Festgesteinen, durch dieses vielseitige Verfahren lassen sich Proben aus zahlreichen verschiedenen Untergründen entnehmen. Die Bohrkronen werden dabei in den Boden oder Fels gedreht, der Vortrieb erfolgt über ein Seilkerngestänge. Dies geschieht meist unter Spülhilfe, als Spülmittel haben sich Wasser, Luft und thixotrope Schlämme als praktikabel erwiesen. Durch den Vortrieb entsteht im Inneren des Rohrs eine Kernprobe mit einem Durchmesser von 70 bis 200 mm (Einfachkernrohr). Beim Doppel- oder Dreifachkernrohr wird die Probe durch ein zusätzliches Rohr, welches im Inneren des rotierenden Rohres fest bzw. frei stehen kann, geschützt. [2]

Rammkernbohrung

Bei Rammkernbohrungen wird das Kernrohr in den Untergrund rammend abgeteuft. Das Bodenmaterial dringt während des Absenkvorgangs über den offenen Schneidschuh in das Kernrohr (in Einfach- oder Doppelausführung) ein. Das Verfahren eignet sich zur Ermittlung einzelner Bodenschichten, während des Rammens

kann es jedoch zu einer Verminderung der Schichtstärken kommen. Rammkernbohrungen sind nur in rambaren Böden einsetzbar, für Festgestein sind sie gänzlich ungeeignet. [2]

Schlagbohrung

Das Schlagbohrverfahren gleicht dem Rammbohrverfahren in Einsatzbereich und Einbringart. Während bei Rammbohrungen Fallgewichte auf das Bohrgestänge den Vortrieb erwirken, wird beim Schlagbohren jedoch das Bohrwerkzeug selbst durch Anheben und Fallenlassen zum Eintreiben in den Untergrund benutzt. Dies äußert sich in einer geringeren Qualität der Proben. [2]

Greiferbohrung

Greiferbohrungen eignen sich für den Aufschluss grobkörniger Böden. Hierzu erfolgt die Entnahme mittels eines Bohrlochgreifers an einem Seil. Das Verfahren kann ober- sowie unterhalb des Grundwasserspiegels durchgeführt werden, liefert jedoch nur Bodenproben von geringer Qualität. [2]

Seilkernbohrverfahren

Das Seilkernbohrverfahren stellt eine Erweiterung des Drehkernbohrverfahrens mit Doppel- oder Dreifachkernrohr dar. Hierbei erfolgt die Entnahme des Innenrohrs inklusive Probe über eine Fangrichtung mit Seil und Winde. Während des Ziehens bleiben Bohrkronen, Außenrohr und Bohrgestänge im Bohrloch, was einen rascheren Bauablauf zur Folge hat. Es können mit dieser Methode Bohrlöcher zwischen 60 und 150 mm Durchmesser hergestellt werden. [1]

Spülbohrverfahren

Der Bohrlochdurchmesser beim Spülbohrverfahren reicht von 70 bis 300 mm. Es werden Stiftbohrkronen oder Bohrkronen mit X-Schneide in den Fels drehend vorgetrieben. Das dabei erzeugte Bohrklein wird über eine Spülung zum Bohrlochmund gefördert und dort aufgefangen. Die Aussagekraft der gewonnen Proben ist jedoch durch die zerstörungsreiche Methode äußerst gering. [1]

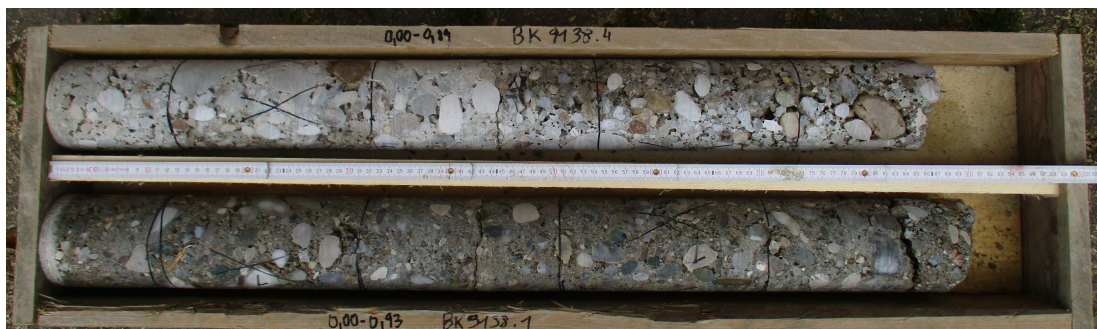


Abbildung 3.2: Bohrkiste mit beschrifteten Bohrkernen einer Rotationskernbohrung [24]

Die entnommenen Proben werden im Falle von durchgängigen Bohrkernen in Bohrkisten (Abbildung 3.2), im Falle von Lockermaterial in Fächerkisten (das Material wird hier in Schichten aufgefächert abgelegt) eingelagert und zu einer Prüfanstalt transportiert. Im Falle von durchgängigen Bohrkernen ist darauf zu achten, dass die Beschriftung (Länge sowie Probennummer) eindeutig dem entsprechenden Bohrkern zugewiesen werden können. Der Kerndurchmesser sollte mindestens 80 mm, besser jedoch 120 – 150 mm betragen, um so Randstörungen, die durch das Bohren entstehen, umgehen zu können und prüffähige Körper (in der Regel von 20 cm Länge) zu erhalten. Die Ergebnisse werden in Form eines Bohrprofils normgemäß (nach ÖNORM B4400-2; Abbildung 3.3) dargestellt. [2]

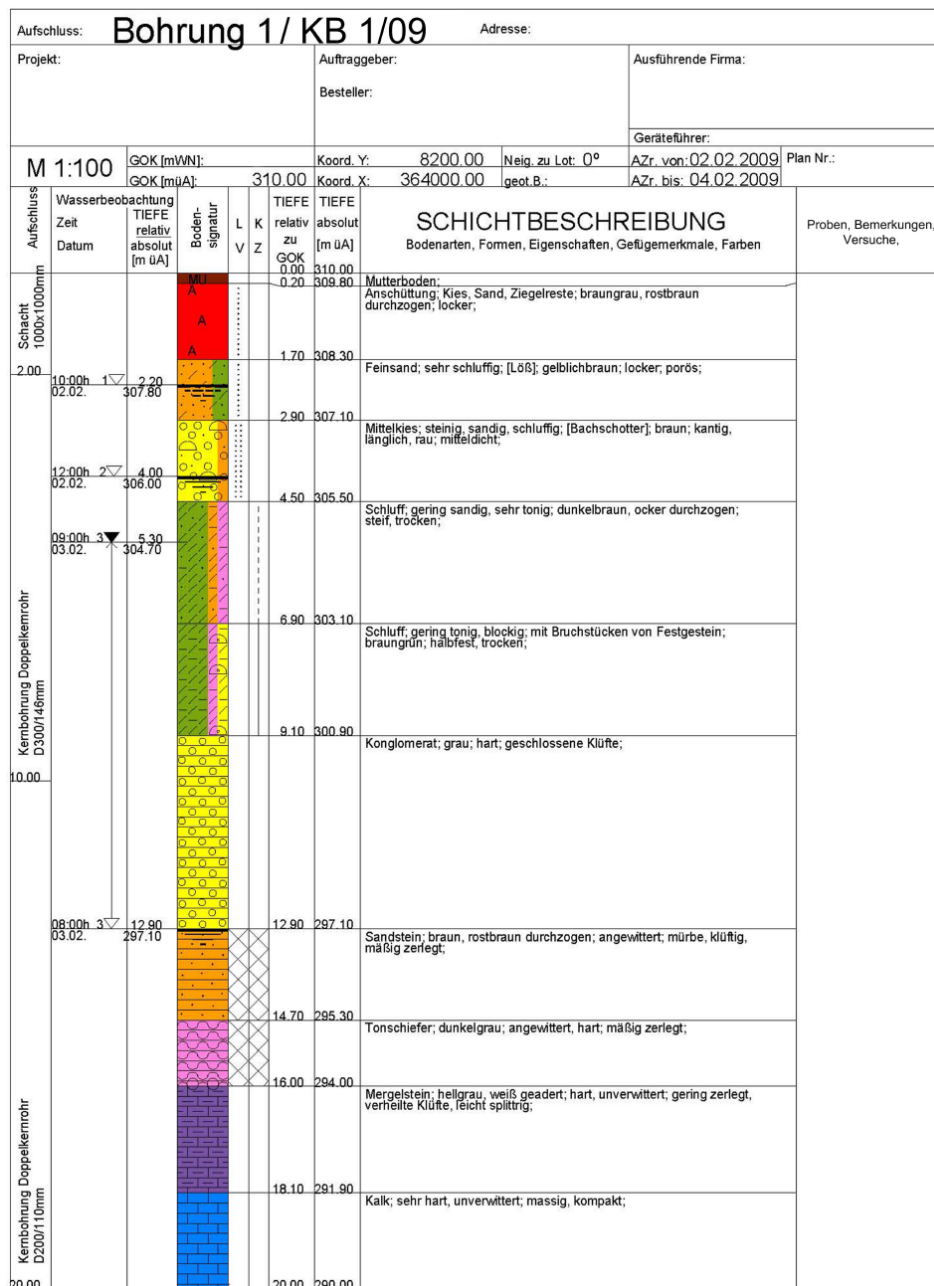


Abbildung 3.3: Beispielhaftes Bohrprofil nach ÖNORM B4400-2 [38]

Falls nötig werden die Bohrlöcher zu weiteren *in-situ* Versuchen oder zum Ausbau von Grundwassermessstellen verwendet. Ansonsten gilt es diese sorgfältig mit dem natürlichen Material wieder zu verfüllen. Vor allem sind etwaige Sperrschichten am besten mit quellfähigen Material wieder herzustellen, um so die natürliche Abdichtungswirkung zu gewährleisten. [3]

3.1.2 Sondierungen

Sondierungen sind kostengünstige indirekte Aufschlussmethoden, welche als wertvolle Ergänzung zu Bohrungen oder Schürfen gesehen werden können, jedoch für sich allein nicht genügend Aussagekraft besitzen. Es wird dabei ein schlanker Stahlstab durch Rammen, Drücken oder Drehen in den Untergrund eingebracht. Über den Eindringvorgang lassen sich je nach Verfahren Erkenntnisse über Schichtfolge, Lagerungsdichte und Festigkeit des anstehenden Bodens gewinnen. [2]

Es existieren folgende Hauptgruppen an Sondierverfahren (siehe Abbildung 3.1):

- Rammsondierungen
- Bohrlochrammsondierungen (Standard Penetration Test)
- Nutsondierungen
- Flügelsondierungen
- Seitendrucksondierungen

3.1.3 Geophysikalische Methoden

Wie Sondierungen zählen geophysikalische Methoden zu den indirekten Aufschlussmethoden. Sie bestechen vor allem durch ihre flächenmäßig große Aussagekraft. In nur einem Messvorgang liefern sie Ergebnisse entlang eines lang gezogenen Messprofils. Nachteilig anzusehen ist, dass die Ergebnisse viel Interpretationsspielraum zulassen. Daher werden oft zwei unterschiedliche Methoden angewandt, welche dann miteinander verglichen werden. Zumeist sind sie jedoch überhaupt nur als Ergänzung zu direkten Aufschlüssen zu sehen und liefern hauptsächlich Aussagen über Schichtverläufe sowie Abschätzungen von Bodenkennwerten. Weiters ermöglichen sie eine Abgrenzung von lokalen Schadstellen, die mittels anderen Erkundungsmethoden oft nur durch Zufall angetroffen werden. [2]

Es existieren folgende Hauptgruppen an geophysikalischen Methoden:

- Seismik
- Gravimetrie
- Geoelektrik und Elektromagnetik
- Radiometrie
- Georadar

Seismik

Die Seismik ist der bekannteste Vertreter der geophysikalischen Methoden, da sie einem an sich einfachen physikalischen Prinzip folgt und über ein großes Einsatzspektrum verfügt. Der Untergrund wird durch gezielte Anregungen mittels Impulsgebern durchschallt. Die elastische Ausbreitung wird durch Geophone (auf dem elektrodynamischen Prinzip arbeitende Aufnehmereinheiten) registriert und gemessen. Über die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten ist es in weiterer Folge möglich, auf Schichtstärken, usw. zu schließen. Die gute Korrelation von geomechanisch wichtigen Kennwerten (Dichte, E-Modul, Schermodul) und Ausbreitungsgeschwindigkeit ermöglicht diesen Schluss. [2]

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Oberflächen- und Bohrlochseismik, bei beiden kommen jedoch die selben drei Prinzipien (Abbildung 3.4) zur Anwendung. (Detaillierte Erläuterungen dazu können dem Skriptum für Grundbau- und Bodenmechanik der TU Wien entnommen werden. [2])

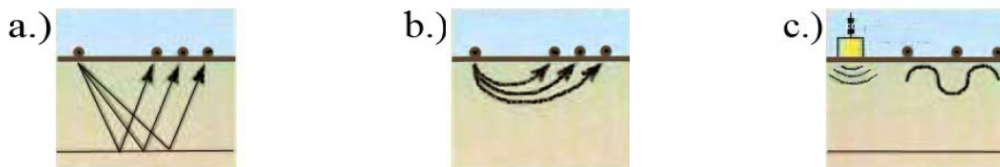


Abbildung 3.4: Wellenausbreitungsprinzip seismischer Verfahren. a.) Reflexionsseismik, b.) Refraktionstomographie, c.) Oberflächenwellenseismik (nach *Freudenthaler*) [9]

a) Reflexionsseismik

Bei der Reflexionsseismik werden in den Untergrund entsandte elastische Wellen an Schichtgrenzen gebrochen und reflektiert. Die Messung der Reflexion über mehrere Geophone lässt den Untergrund in große Tiefen erkunden.

b) Refraktionstomographie

Die Refraktionstomographie macht sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen zu nutze. Wellen breiten sich in verschiedenen Schichten unterschiedlich schnell aus. Die Geschwindigkeitsdifferenzen werden mittels Geophonen gemessen und lassen Rückrechnungen auf Schichtdicken zu.

c) Oberflächenwellenseismik

Bei der Oberflächenwellenseismik werden amplitudenstarke Wellen wie Love- oder Rayleigh-Wellen entsandt, die direkt an der Oberfläche zum Empfänger verlaufen. Ihre Energie ist an die Erdoberfläche gebunden, weshalb diese mit der Tiefe exponentiell abnimmt. Über die Auswertung der lateralen Scherwellen-Geschwindigkeitsverteilung lassen sich Inhomogenitäten und Schichtgrenzenverteilungen in geringen Tiefen beurteilen.

3.2 Grundwassererkundungen

Das Wissen über Grundwasserstände und -verläufe ist maßgeblich für jegliches Tiefbauvorhaben. Grundwassermessstellen und Daten aus der Grundwasseraufzeichnung lassen bereits Schlüsse auf die örtlichen Gegebenheiten zu, solche können zum Beispiel in ausgebauten Bohrungen installiert werden. Grundsätzlich sind Messstellen und Beobachtungen als Netz zu sehen, nur durch das Vergleichen mehrerer punktuell aufgezeichneter Datenreihen sind qualitativ hochwertige Aussagen bzgl. der Grundwasserzustände zu treffen. Für Injektionen an sich ist im **Lockergestein** der Durchlässigkeitsbeiwert entscheidend.

Bei **Festgestein** ist das Wissen über das Schluckvermögen der Klüfte von Bedeutung, daher kommen hier so genannte Wasserabpressversuche zur Anwendung. Da diese einer Injektion sehr ähnlich sind und zumeist als Vorversuch fungieren, werden sie im Detail in Kapitel 3.2.2 behandelt.

3.2.1 Durchlässigkeitsbestimmungen

Zur Durchlässigkeitsbestimmung bieten sich aus der Vorerkundungsphase noch offene Bohrungen an. In den Bohrlöchern können Brunnen installiert werden, an welchen Versuche leicht durchführbar sind.

Kurzpumpversuch

Beim Kurzpumpversuch handelt es sich um einen einfachen Versuch: Eine Unterwasserpumpe pumpt für wenige Stunden bis Tage Wasser ab, wobei die Pumpmenge stufenweise gesteigert wird. Es lassen sich die Förderrate, die Wasserabsenkung und vor allem der Wiederanstieg nach Pumpende bis zur Ausgangsspiegellage messen. Die Auswertung folgt dann z.B. mit dem Verfahren nach *Theiss*. (3.1) [2]

$$s_r = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \cdot k_f \cdot d} \cdot \log \frac{t}{t'} \quad (3.1)$$

s_r	Absenkung im Brunnen [m]
Q	Entnahmemenge je Zeiteinheit [m^3/s]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
t	Gesamtzeit seit Pumpbeginn [s]
t'	Zeit seit Pumpende [s]
d	Mächtigkeit des Grundwasseraquifers [m]

Versickerungsversuch

Versickerungsversuche können während des Abteufens der Bohrung durchgeführt werden. Bei einem Standrohrversuch mit konstanter Druckhöhe (Abbildung 3.5) erfolgt die Messung der versickerten Wassermenge während der Versuchszeit. Über die Darstellung von Zeit-Druckhöhen-Kurven können diese Versuche nach ÖNORM B4422-2 ausgewertet werden. [2][37]

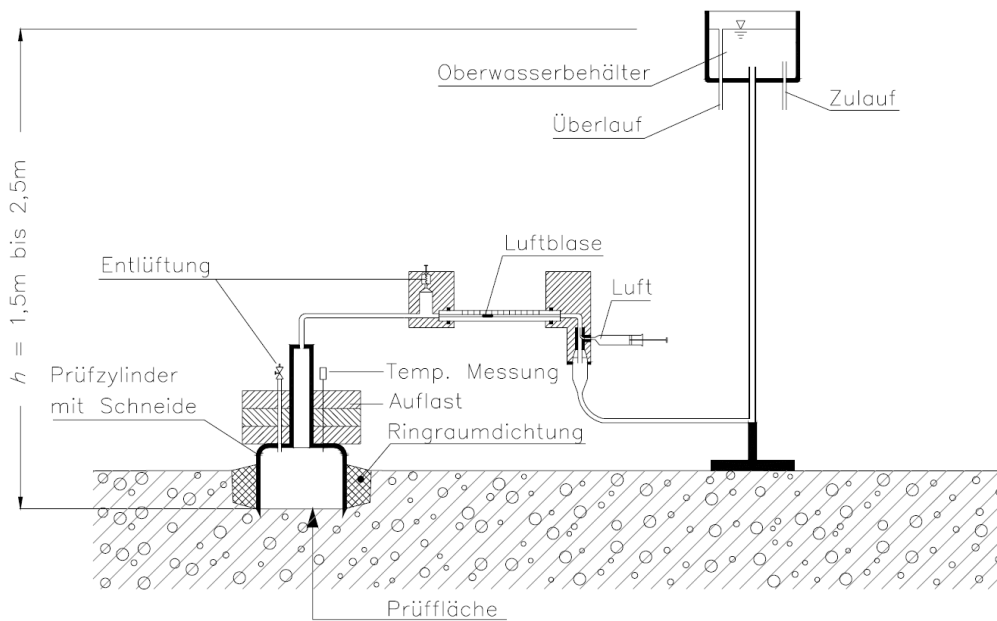


Abbildung 3.5: Standrohrversuch nach ÖNORM B4422-2 [37]

3.2.2 Wasserabpressversuche

Die hydrogeologischen Eigenschaften eines Gebirges, dessen Durchlässigkeit sowie das Absorptionsvermögen des Kluftsystems, lassen sich mit Hilfe eines Wasserabpressversuches (WAP) oder Lugeon-Test¹ ermitteln. Das Ergebnis dieser Voruntersuchung dient zunächst einer generellen Einschätzung, ob und in welchem Ausmaß das Gebirge als injizierbar anzusehen ist. Des Weiteren kann anhand der Ergebnisse auf das geomechanische Verhalten geschlossen werden, zum Beispiel ob hydraulisches Aufspalten auftritt. [35]

Der Versuch liefert keinerlei Aussagen über Raumstellung, Anzahl und Öffnungsweiten der Klüfte, sondern lediglich über das Schluckverhalten. Die Wasseraufnahme wird in der Einheit Lugeon [Lu] angegeben, wobei 1 Lu dem Wasserverlust von 1 l Wasser pro 1 m Teststrecke unter einem Druck von 10 bar (1 MN/m^2) entspricht. [17]

$$Lu = \frac{q}{L} \cdot \frac{10 \text{ bar}}{\Delta p} \quad (3.2)$$

- Lu Lugeon-Wert [l/min bei 10 bar]
- q Durchflussrate [l/min]
- L Prüfabschnitt [m]
- Δp Effektiver Druck [bar]

¹Nach dem schweizer Geologen *Maurice Lugeon*

Wasserabpressversuche verfügen über ein breites Einsatzspektrum. Sie können sowohl in Bohrlöchern jeder Ausrichtung und jedes Durchmessers, als auch unter Grundwasser durchgeführt werden. Dabei kommen je nach Prüfgegebenheiten Einfach- oder Doppelpacker (Abbildung 3.6) zum Einsatz. [35]

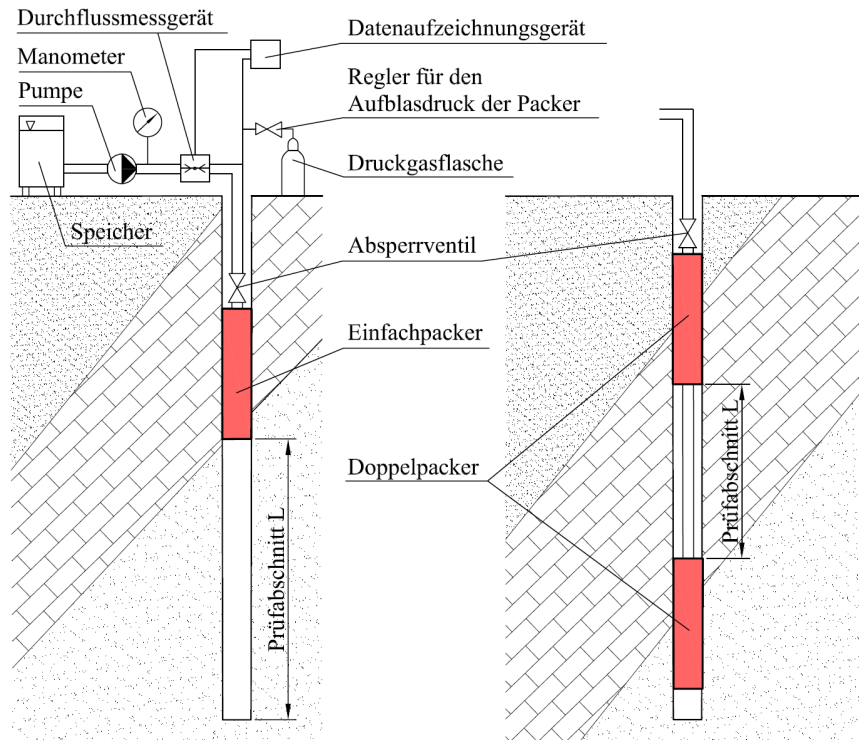


Abbildung 3.6: Prüfungsaufbau eines WAPs [10]

Mit einer Injektionspumpe wird das Wasser unter gleichbleibendem Druck eingepresst und bis zu einer konstanten Durchflussrate [l/min] gehalten. Daraufhin wird eine neue Druckstufe (*step*) beaufschlagt. Üblicherweise werden fünf *steps* pyramidenförmig aufgebracht (von niedrigen über mittleren bis hohen Druck und wieder zurück) und deren Raten in einem Flussdiagramm aufgezeichnet. Die zugehörigen Lugeon-Werte lassen sich im Anschluss unter Anwendung der Formel 3.2 einfach errechnen. Eine solche Datenaufzeichnung ist in Abbildung 3.7 schematisch dargestellt.

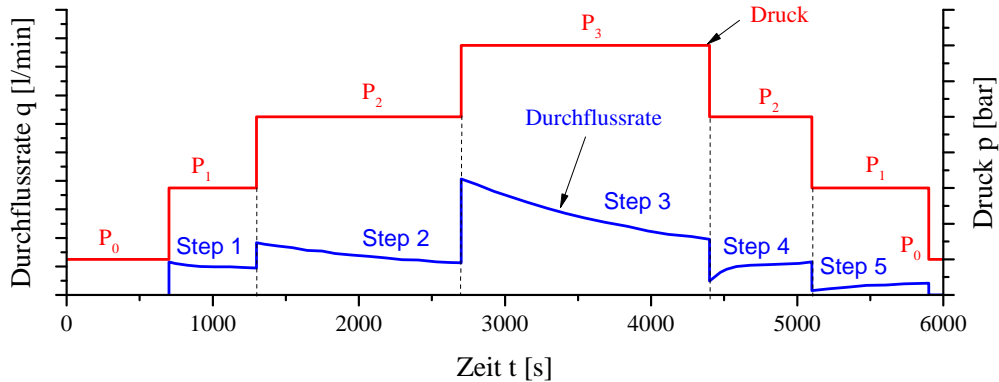


Abbildung 3.7: Datenaufzeichnung eines Lugeon-Tests [10]

Um sich unter der Größenordnung von Lugeons etwas vorstellen zu können, gibt es aus der Praxis gewonnene Richtwerte: [10]

- **1 Lu:** Kaum durchlässiges Gebirge; Injektion nicht notwendig
- **10 Lu:** Durchlässiges Gebirge; mit Injektionen bearbeitbar
- **100 Lu:** Stark klüftiges Gebirge/große Klüfte; Injektion größtenteils wirkungslos

Zusätzlich zu den errechneten Lugeon-Werten erweist es sich als sinnvoll, die Flussdiagramme zu analysieren, um so eine optimale Entscheidungsbasis für die weitere Vorgehensweise zu schaffen. Die graphische Darstellung erlaubt einerseits eine Unterscheidung zwischen laminarer (A) und turbulenter Strömung (B), andererseits können das Aufweiten (C), ein Auswaschen (D) und Füllen der Klüfte (E) erkannt werden. *Kutzner* beschreibt und lichtet, auf Untersuchungen von *Klopp*, *Schimmer* und *Rießler* gestützt, diese 5 möglichen Diagrammtypen ab:

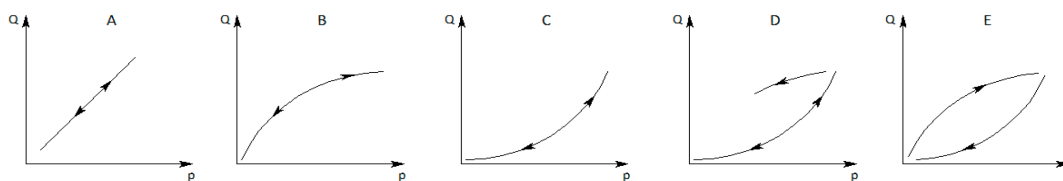


Abbildung 3.8: Flussdiagrammtypen nach *Kutzner* [17]

Aus diesen, auf den ersten Blick trivialen Kurven, kann in Verbindung mit den Lugeon-Werten je *step* auf das Aufnahmevermögen des Gebirges und Klüftzustände geschlossen werden. In Tabelle 3.1 sind die wichtigsten Erkenntnisse, die aus den Diagrammen gewonnen werden können, kurz zusammengefasst. Für eine detaillierte Analyse mit Visualisierung von Lugeon-Werten und Durchflussrate wird auf *Gabriel* [10] verwiesen.

Typ	Aufnahmevermögen	Kluftzustand	Kluftweite
Typ A	konstant, druckunabhängig	eben, fein	sehr eng
Typ B	gering bei hohem Druck	rau	> 0.13 - 0.40 mm
Typ C	steigend	elastisch	-
Typ D	Auswaschen bzw. Aufreißen	erodierbares Material	-
Typ E	Verfüllung bzw. Rückfließen	-	-

Tabelle 3.1: Beschreibung der Diagrammtypen nach [17]

Gefahr birgt der Wasserabpressversuch, wenn man ihn isoliert betrachtet. Nur in Verbindung mit Probeinjektionen, welche unter geringerem Druck durchzuführen sind, um ein Aufsprengen der Klüfte zu vermeiden, kann auf die Injizierbarkeit des Fels geschlossen werden. Dies liegt daran, dass Suspensionen durch ihren Feststoffanteil begrenzte Eindringtiefen haben und nicht als molekular gelten. Sie wirken zudem nicht wie eine *Newton'sche*, sondern wie eine *Bingham'sche* Flüssigkeit (2.1), weisen somit eine gewisse Grenzschubspannung auf. [17][10]

Probeinjektionen

Probeinjektionen sind als Begleitmaßnahme für Wasserabpressversuche durchzuführen. Durch diese können vorerst festgelegte Parameter überprüft bzw. bestätigt werden. Sie geben Hinweise auf das Aufnahmevermögen, die Reichweite, sowie die anzuwendenden Bohrverfahren.

Wie die Aussagekraft aller *insitu-Versuche*, ist jedoch auch jene von Probeinjektionen kritisch zu bewerten. Es lässt sich auf gewisse Verhalten im Untergrund schließen, es kann aber keine Aussage bezüglich Homogenität getroffen bzw. Unvorhergesehenes ausgeschlossen werden. [17]

3.3 Evaluierung von Mischungen und Laborprüfungen

Die Mischungen sind projektspezifisch an den Untergrund anzupassen und basieren auf den ausgewerteten Baugrunderkundungen. Die Wahl des Injektionsmittels (Suspension, Harz, Silikat, etc.) ist abhängig vom Injektionsziel. Die EN 12715 empfiehlt je nach Art der Injektion und des anstehenden Untergrundes die Materialien aus Abbildung 3.9.

Wie unter 2.3.4 bereits beschrieben, ist das im Lockergestein einzusetzende Material an die Größtkornverteilung, die Sieblinie des Bodens anzupassen. Bei Poreninjektionen bzw. Hohlraumverfüllungen kommen Zement-Suspensionen zur Anwendung. Nur in Ausnahmen (Injizierung von Feinsanden, etc.) wird auf Chemikalien zurückgegriffen. Dabei ist zu beachten, dass eine Verdrängungsinjektion nicht so sehr das Ziel hat in die Engstellen einzudringen, als diese zu erweitern, um die geplante Hebung bzw. Verdichtung zu erreichen.

Bei Festgestein werden fast ausnahmslos Suspensionen und nur in vereinzelt Fällen einer Hohlraumverfüllung auf Schaumstoffe eingesetzt. Die Injizierung von Mikroklüften (Klüften mit einer Weite von $e < 0,1 \text{ mm}$) erfolgt mit chemischen Produkten, was jedoch nur sehr selten der Fall ist.

Die Ermittlung der tatsächlich zum Einsatz kommenden Mischung (inklusive deren Masseverhältnisse) hat in einem Erdbaulabor prüftechnisch zu erfolgen (3.3). Dies gilt sowohl für Suspensionen als auch für Chemikalien.

Baugrund	Bereich	Verdrängungsfreie Injektion			Verdrängungsinjektion
		Poren- oder Durchdringungsinjektion	Kluft- oder Kontaktinjektion	Hohlraumverfüllung	
Körniges Lockergestein	Kies, grober Sand und sandiger Kies $K > 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	Reine Zementsuspensionen, Suspensionen auf Zementbasis			Suspensionen auf Zementbasis, Mörtel
	Sand $5 \times 10^{-5} \text{ m/s} < K < 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	Feinstbindemittelsuspensionen, Lösungen			
	Mittel- bis Feinsand $5 \times 10^{-6} \text{ m/s} < K < 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	Feinstbindemittelsuspensionen, Lösungen, spezielle chemische Produkte			
Klüftiges Gebirge	Störungen, Risse, Karst $e > 100 \text{ mm}$		Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis (Tone als Füllstoff)	Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis mit kurzer Abbindedauer Polyurethan-Schäume, andere wasserreaktive Produkte	
	Klüfte, Risse $0,1 \text{ mm} < e < 100 \text{ mm}$		Suspensionen auf Zementbasis, Feinstbindemittelsuspensionen		
	Mikroklüfte $e < 0,1 \text{ mm}$		Feinstbindemittelsuspensionen, Silikatgele, spezielle chemische Produkte		
Hohlraum	Große Hohlräume			Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis mit kurzer Abbindedauer, Polyurethan-Schaum, andere wasserreaktive Produkte	

(e = Rissweite)

Abbildung 3.9: Anwendungshinweise nach ÖNORM EN 12715 [34]

Zusätzlich zu jeglichen Baugrunderkundungen bedarf es Eignungsprüfungen der in Frage kommenden Injektionsmittel. Unter Eignungsprüfung wird verstanden, ob das geprüfte Injektionsgut für das Injektionsziel "geeignet" ist. Hierzu werden Mittel verwendet, welche die Grundsatzprüfung, nämlich die Feststellung, ob sie "grundsätzlich" zur Abdichtung bzw. Verfestigung eines Untergrundes verwendet werden können, wiedergeben. [36]

Unabhängig davon, ob es sich um Suspension, Silikat oder Kunststoff handelt, sind immer deren Viskosität und Fließvermögen bzw. deren Festigkeitsentwicklung zu bestimmen, da dadurch auf ausführungstechnisch relevante Parameter, wie

Reichweite und Absetzmaß geschlossen werden kann (siehe Kapitel 2.3.1). Die Reichweite ist entscheidend für den Injektionserfolg selbst, während ein geringes Absetzmaß Wartungsarbeiten an Pumpen und Schläuchen verringert. Die Festigkeitsentwicklung ist maßgebend für die Manipulationszeit, jene Zeit, welche für den Einbau des Injektionsguts zur Verfügung steht, bevor dieses erhärtet.

In Abbildung 3.10 (aus der ÖNORM B4454 - *Injektionen in Fest- und Lockergestein, Prüfungen* [36]) sind die nötigen Prüfungen für Injektionsmittel aufgelistet, inklusive der relevanten Normen und Anmerkungen.

3.3. Evaluierung von Mischungen und Laborprüfungen

Nachweis	Methode	empfohlene Norm, Richtlinie	Bemerkungen
INJEKTIONSGUT AUF ZEMENTBASIS			
Viskosität Fließvermögen	Rotationsviskosimeter Marshtrichter Flow-Cone Eintauchprüfung	ÖNORM B 4750	
Stabilität	Sedimentationsversuch im Schlämmszylinder Absetzprüfung	ÖNORM B 4750	Wasserabsonderung in Zeitabhängigkeit
Dichte	Messglas Aräometer Pyknometer Dichtewaage		
Festigkeitsentwicklung	Nadelgerät	ÖNORM B 3310	Feststellung des Erstarrungsbeginns Verhältnis D:H = 1:2
	einaxiale Druckprüfung	ÖNORM B 4415	
INJEKTIONSGUT AUF SILIKATBASIS			
Viskosität Fließvermögen	Rotationsviskosimeter Marshtrichter		Prüftemperatur
Dichte	Messglas Aräometer Pyknometer		Prüftemperatur
Neutralisationsgrad			Härtereaktion
Festigkeitsentwicklung	Bestimmung der Gelier- und der Kippzeit Bestimmung der Scherfestigkeit mit Penetrometer und Flügelsonde	ASTM D 4648	
Volumenbeständigkeit	Ermittlung des Synäreswassers		Absonderung von Reaktionswasser
INJEKTIONSGUT AUF KUNSTSTOFFBASIS			
Viskosität Fließvermögen	Rotationsviskosimeter		Berücksichtigung von Temperatur und Reaktionszeit
Dichte	Messglas Pyknometer		
Festigkeitsentwicklung	Bestimmung der Kippzeit („potlife“) Bestimmung der Scherfestigkeit mit Penetrometer oder Flügelsonde	ASTM D 4648	nicht bei Epoxiden
	einaxiale Druckprüfung	ÖNORM EN ISO 527	nur bei Epoxiden
Verformungsverhalten	Bruchdehnungsmessung Quellungsmessung	ÖNORM EN ISO 527	vor allem bei Epoxiden und Polyurethanen

Abbildung 3.10: Laborprüfungen nach ÖNORM B4454 [36]

Laut EN 12715 hat die Prüftemperatur grundsätzlich bei 20 °C zu liegen, bei deutlichen Abweichungen auf der Baustelle sind die vor Ort herrschenden Bedingungen zu simulieren. Es sind genormte Versuchsverfahren anzuwenden, um bei verschiedenen Herstellern trotzdem vergleichbare Ergebnisse zu generieren. [34]

3.4 Festlegung der Einbringungsparameter

Zu Beginn dieses Kapitels wurden die drei entscheidenden Parameter **Druck**, **Volumen** und **Durchflussrate** definiert. Die Wertepaare werden anhand der Untergrundanalysen nach Festlegung des Injektionsguts planerisch festgelegt. In der EN 12715 [34] und dem dazugehörigen Kommentar der österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) [29] sind Anhaltspunkte und wesentliche Ziele für diese festgehalten.

3.4.1 Druck, Volumen und Durchflussrate

Druck

Bei der Definition des Injektionsdrucks muss vorab klar sein, von welchem Druck gesprochen wird, da dieser von der Pumpe weg bis hin zur Injektionsstelle aufgrund von Veränderungen der Druckhöhe und Reibungsverlusten abnimmt (siehe 2.4.4).

Bei verdrängungsfreier Injektion im Lockergestein hängt der maximale Injektionsdruck vom Begrenzungsdruck an der Injektionsstelle ab, welcher so vorzugeben ist, dass sich eine maximale Verfüllung ohne Verformung des Untergrundes einstellt.

Im Festgestein kann der wirksame Injektionsdruck anhand von drei Kriterien festgelegt werden: Jener Druck...

- ...unter welchem das Gebirge unter Zugspannungen aufbricht
- ...unter welchem Verschiebungen im Gebirge auftreten und sich vorwiegend horizontale Ebenen aufspalten
- ...unter dem eine Aufweitung der behandelten Klüfte auftritt

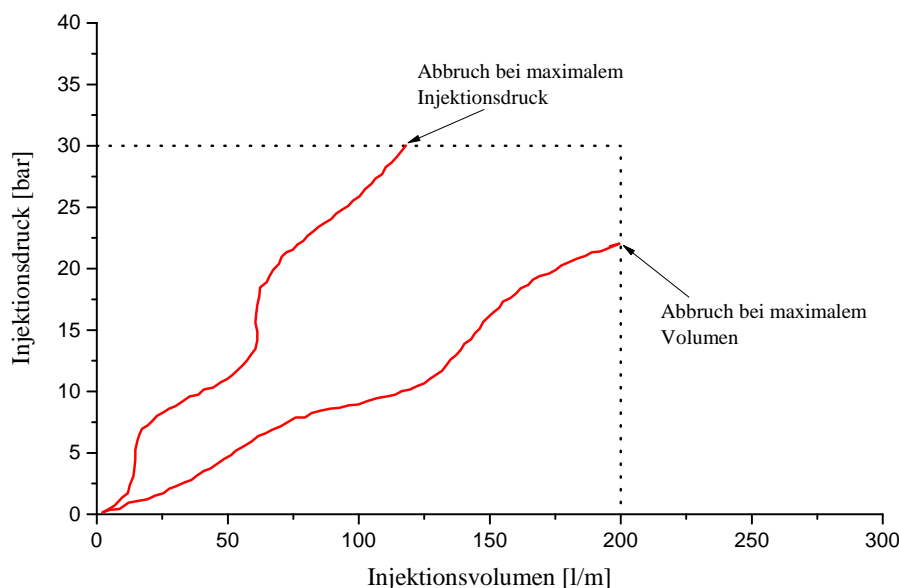


Abbildung 3.11: Druck- und Volumenbegrenzung [10]

Stellt sich der Maximaldruck im Einpresskörper ein, ist der Injektionsvorgang im Bohrloch abubrechen. Diese Vorgabe wird in Abbildung 3.11 als eines der *Abbruchkriterien* dargestellt.

Volumen

Die Menge an Injektionsmittel, welche pro Bohrloch maximal injiziert wird, korreliert mit dem gewählten Bohrraster; demnach, in welchen Abständen wie viele Bohrungen angeordnet sind. Ein engerer Raster hat ein geringeres V_{max} zur Folge. Enge Raster werden gewählt, wenn von einer geringen Eindringtiefe bzw. Reichweite des Injektionsguts auszugehen ist. Die Anordnung der Bohrlöcher hängt zusätzlich von der räumlichen und physischen Einschränkung beim Bohren und deren erwarteten Richtungsabweichungen während des Vorgangs ab. Die Lage und Tiefe der Bohrlöcher ist planerisch darzustellen und hat inklusive der Möglichkeit einer Veränderung bei abweichenden Gegebenheiten zu erfolgen. [34]

Das Erreichen der Maximalmenge stellt ein weiteres *Abbruchkriterium* (Abbildung 3.11) dar.

Durchflussrate

Die Durchflussrate ist dem Injektionsdruck anzupassen, welcher bei Poreninjektionen unter dem Aufbrechdruck liegt. Mit Pumpen, welche eine Rate von $3 - 15 l/min$ bewältigen können, sind alle Standardanwendungen bewältigbar. [29]

3.4.2 Abbruchkriterien

Aus der Festlegung der Einbringparameter ist ersichtlich, dass vor allem das Wissen, wann eine Injektion zu beenden ist, enormen Wert hat. Um dies ingenieurmäßig richtig abschätzen zu können, bedarf es einer detailreichen Dokumentation des Injektionsfortschritts. Nur so können die Abbruchkriterien für Injektionen korrekt umgesetzt werden. Vor allem ist es wichtig, aus den abgeschlossenen Arbeiten, Schlüsse für nachfolgende ziehen zu können und für Planer sowie Auftraggeber ein Medium zu bieten, mit welchem sie einfach und schnell die korrekte Durchführung der Arbeiten einzusehen vermögen.

Abbruchkriterien sind in der Injektionstechnik ein sehr aktuelles Thema; Ingenieure verschiedener Länder haben unterschiedliche Kriterien entwickelt, welche alle Vor- und Nachteile besitzen. Es existieren bereits vergleichende Arbeiten, welche diese analysieren und vergleichen. Fakt ist, dass jedes für sich seine Berechtigung zu bestehen hat und unter den erforschten Rahmenbedingungen als optimal angesehen werden kann. Die Schwierigkeit liegt in der Erforschung eines praxisgerechten Modells, denn im Endeffekt entscheidet sich der Erfolg der Injektion selbst aufgrund der Qualität der gewerblichen Mitarbeiter des ausführenden Unternehmens.

Im Bereich des Datenmonitorings gilt es daher, ein flexibles Medium zu schaffen, für welches die für die Firmen favorisierten Abbruchkriterien leicht implementierbar sind, um so eine möglichst große Bandbreite abzudecken. Vor allem die klassischen Abbruchkriterien sind als Standard zu sehen. [10]

Abbruchkriterien im Lockergestein

Neben der **Begrenzung von Druck und Menge** (Abbildung 3.11) gibt es noch zwei grundsätzliche Vorgaben, welche zu einem sofortigen Injektionsstopp von Lockergesteinsinjektionen führen. Im Fall von **Austreten des Injektionsguts** muss die Injektion sofort beendet werden. Dies betrifft Umläufigkeiten, was bedeutet, dass das Mittel beim Packer selbst bzw. einer benachbarten Bohrung austritt, und den Austritt bei freien Flächen, wie zum Beispiel Kellern oder Kanälen. Weiters wird beim Aufkommen unerwünschter **Hebungen und Verformungen** des Untergrundes jeglicher Einpressvorgang beendet, da dadurch auf eine Übersättigung bzw. das Überschreiten des verformungsfreien Druckes zu schließen ist. [29]

Das **Haltekriterium** leitet sich aus der Druckbegrenzung ab und ist in Abbildung 3.12 zu sehen. Der rote Pfad beschreibt die Druckzunahme während des Injektionsvorgangs bis hin zum Zieldruck. Nach Erreichen des Wertes wird dieser von der Pumpensteuerung gehalten, die Durchflussrate (blauer Pfad) nimmt simultan ab und wird so gesteuert, dass der Druck konstant bleibt. Nach Ablaufen der ersten Haltezeit wird der Durchfluss für eine vorbestimmte zweite Periode gestoppt. Sofern in dieser Zeit der Injektionsdruck nicht unter den minimalen Haltedruck absinkt, gilt die Injektion als erfolgreich und beendet. Unterschreitet die Druckkurve diesen Wert, wird die Durchflussrate erneut bis zum Ansteigen auf den Zieldruck erhöht und die beiden Vorgänge wiederholt.

Durch wiederholtes Einhalten der Haltezeiten wird dem Einpresskörper die Zeit gegeben, sich den neuen Gegebenheiten anzupassen. Somit kann eine gute Aufnahme des Injektionsguts bestätigt und ein höherer Injektionserfolg erzielt werden.

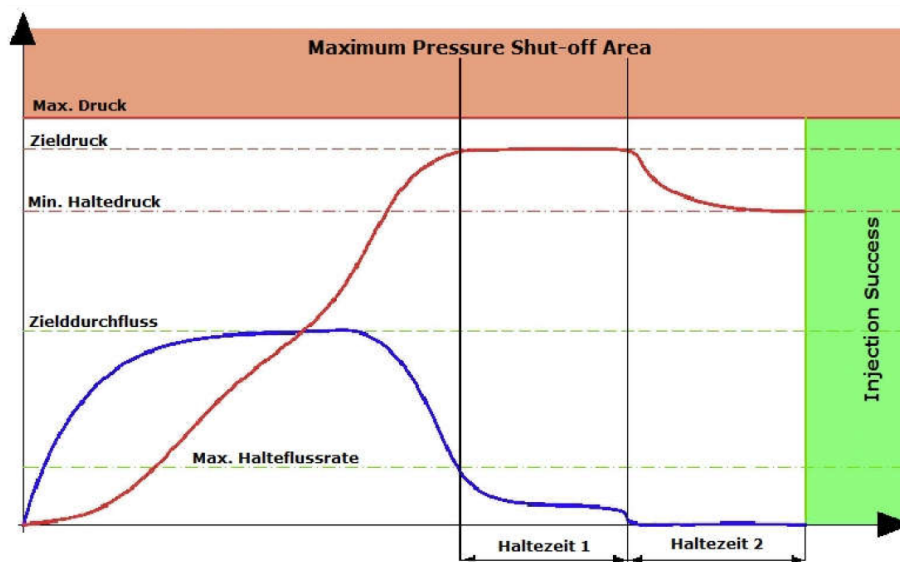


Abbildung 3.12: Schematische Darstellung des Haltekriteriums [7]

Duale Kriterien, jene die mehr als eine Variable als Kriterium heranziehen, sind eher für Felsinjektionen üblich und finden bei Lockergesteinsinjektionen kaum Anwendung. Das bekannteste und meist verbreitetste unter ihnen ist das GIN-Kriterium.

Detaillierte Beschreibungen und Analysen von anderen Abbruchkriterien im Festgestein sind in *Abbruchkriterien bei Felsinjektionen* von Gabriel ([10]) zu finden. [29]

Grouting Intensity Number (GIN)

Bei Injektionen nach der GIN-Methode, entwickelt von *Giovanni Lombardi*², wird nach drei unterschiedlichen Szenarien abgebrochen (Abbildung 3.13): Nach Erreichen eines maximalen *Injektionsdrucks*, nach Erreichen des maximalen *Injektionsvolumens* oder nach Erreichen der maximalen *Intensität* (*grouting intensity*). Die Intensität entspricht dem Prinzip nach der Energie, die auf den Fels aufgebracht wird und beschreibt ein gleichzeitiges Begrenzen von Druck und Menge, um Aufbrech- bzw. Aufreißvorgänge zu unterbinden. [10]

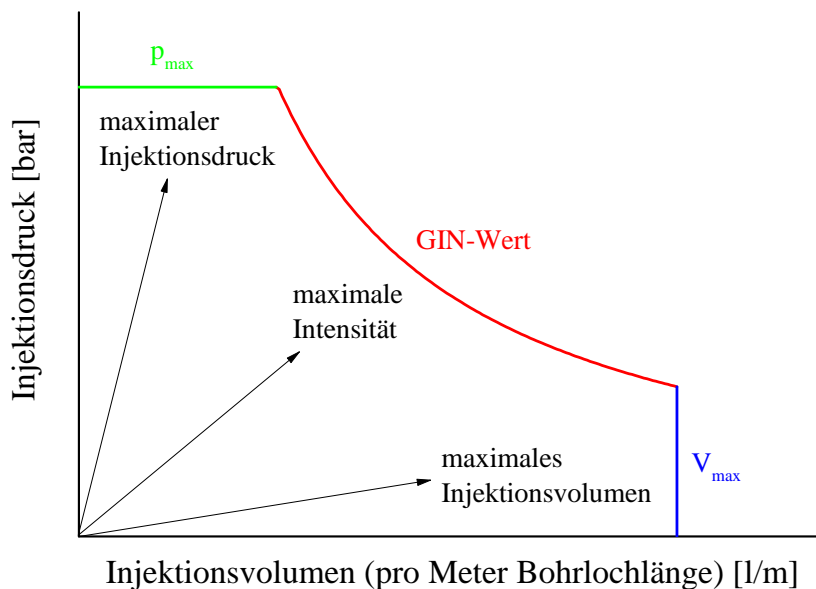


Abbildung 3.13: Schematische Darstellung des GIN-Kriteriums [10]

3.5 Erfolgsüberprüfungen

Der Erfolg der durchgeführten Injektionen ist auf verschiedene Arten nachweisbar und hängt hauptsächlich vom vertraglich vereinbarten Prozedere ab.

Grundsätzlich finden sich alle in diesem Kapitel beschriebenen Verfahren, egal ob Bodenerkundungen oder Durchlässigkeitsversuche, im Repertoire von Erfolgsüberprüfungen wieder. Wie häufig und an welcher Injektionsstelle diese durchgeführt werden, ergibt sich oft erst aus der Ausführung selbst.

²Schweizer Bauingenieur

Allseits gegenwärtige Qualitätskontrollen sind die des Injektionsmittels, wie unter Kapitel 3.3 beschrieben, und vor allem die Dokumentation der Daten in Form von Protokollen und Diagrammen. Auf diesen liegt der Fokus der Arbeit, weshalb sie im Nachhinein eine zentrale Rolle einnehmen.

Der Datenfluss bei Injektionen - Messung bis Dokumentation

In allen Lebenslagen werden heutzutage durch Informationsaustausch digitale Daten geschaffen. In den Jahren 2000 bis 2002 wurde weltweit etwa die gleiche Anzahl an Daten produziert wie in den gesamten 40.000 Jahren davor. Mittlerweile sind wir im Jahr 2017, der Berg an Daten wächst immer weiter, wodurch auch die Anforderungen an die Datenhaltung ungemein ansteigen. [13]

In der Injektionstechnik fallen Daten in allen der in Kapitel 3 beschriebenen Phasen an:

- Vorerkundung
 - Boden- bzw. Gebirgskennwerte
 - Schichtstärken
 - Durchlässigkeitskennwerte
 - * Lugeon-Wert
 - * k-Wert
 - Materialkennwerte
 - * Rheologische Kennwerte
 - * Physikalische Kennwerte
 - * Chemische Kennwerte
- Herstellung
 - Bohrdaten
 - Pumpendaten
 - * Druckaufnahme
 - * Durchflussrate
 - * Betriebszeit

- Materialdaten
 - * Lagerstand - Verbrauch
 - * Laborkennzahlen
- Erfolgsüberprüfung
 - Festigkeitskennwerte
 - Durchlässigkeitskennwerte
 - Leistungszahlen

Nachfolgend wird im Detail auf die Herstellungsdaten des Injektionsvorgangs an sich, also die Pumpendaten eingegangen. Die Handhabung des Dokumentationsprozesses dieser macht einen großen Teil der Arbeiten vom operativem Baustellenpersonal auf Injektionsbaustellen aus; denn anhand dieser Daten erfolgt die Beurteilung des Injektionserfolges.

4.1 Datenmanagement von Injektionen

Von der Datenaufnahme am Durchflussregler bzw. den Druckmessgeräten, über deren Verarbeitung, bis hin zur Dokumentation gibt es viel Optimierungspotential. Dieser Datenfluss erfolgt momentan mit vielen Zwischenschritten in Form von Übertragungen der Daten. Das Optimierungspotential liegt somit in der Automatisierung des Flusses bis hin zum Enddatenträger.

Die drei elementaren Stufen der Datenverarbeitung, Messung, Speicherung und Analyse sind in Abbildung 4.1 horizontal abgebildet. Vertikal ist der Digitalisierungsgrad zu sehen, welcher zunehmend erarbeitet wird. Ziel ist es, das Arbeitsumfeld für alle am Bau beteiligten Interessengruppen zu erleichtern und durch die Elimination von Zwischenstufen eine Minimierung des Fehlerpotentials zu erwirken. Hierzu wird der Weg vom analogen zum digitalen Datenfluss forciert.




Datenfluss	1. Messung		2. Speicherung		3. Analyse	
Entwicklungsstufen	Methode		Methode		Methode	
1. analog	analog	indirekt	Protokolle	indirekt	Tabellenkalkulation	-
2. teilweise digital	digital / analog	direkt / indirekt	einzelne Datasets	direkt / indirekt	proprietäre Software	Export – Import Files
3. digital	digital / Maske	direkt	Datenbank	direkt	real-time Analyse	direkt

Abbildung 4.1: Entwicklungsstufen im Datenmanagement [32]

Inwiefern die einzelnen Schritte im Detail ablaufen, wird nachfolgend erörtert und in einem weiteren Abschnitt werden bestehende Produkte der Datenverarbeitung vorgestellt (Kapitel 5) sowie innovative Ideen zur Weiterentwicklung abgebildet.

4.2 Datenaufnahme im Herstellprozess

Die korrekte Messung und Übermittlung von detaillierten Daten ist entscheidend für die Steuerung und Überwachung der Injektionsarbeiten. Die Funktionstüchtigkeit der einzelnen Komponenten ist regelmäßig zu überprüfen. Um einen guten Überblick über die Verarbeitung von Datenflüssen bei Injektionsbaustellen zu erhalten, sind daher die wichtigsten Typen an Sensoren, Messgeräten und Speichermöglichkeiten von Daten nachfolgend beschrieben. [32]

4.2.1 Messgeräte

In der Injektionstechnik sind Druck- und Durchflusssensoren von Bedeutung. Bei **Drucksensoren** erfolgt eine Deformationsmessung der Membrane im Messsystem. Je nach verwendeter Technologie wird die Deformation der Membran in ein digitales Signal umgewandelt. Die delikaten Membrane müssen mittels Schutzmitteln, in Form von Ölen oder dergleichen, vor den abrasiven Injektionsmaterialien geschützt werden.

Durchflusssensoren messen die Menge und die Durchflussrate des Injektionsmittels. Grundsätzlich werden vier verschiedenen Arten von Durchflusssensoren verwendet, wobei der Coriolis-Massendurchflussmesser noch nicht vollständig auf Baustellen zum Einsatz kommt. Die Funktionsweise der wichtigsten Typen wird nachfolgend anhand des Werkes *Durchflusstechnik* von *Brucker* erläutert. Eine Übersicht findet sich in Tabelle 4.1. [4]

Typ	Messprinzip	Injektionstechnik
Elektromagnetischer Durchflussmesser	Faraday'sches Prinzip	Leitende Flüssigkeiten
Ultraschall-Durchflussmesser	Akustisches Verfahren	Sanierungen
Hubzähler	Volumsberechnung	Chemikalien
Coriolis-Massendurchflussmesser	Coriolis-Prinzip	Keines

Tabelle 4.1: Einsatzgebiete und Prinzipien verschiedener Durchflussmesser

Ultraschall-Durchflussmesser

Diese Art an Durchflussmessern verfügt über ein weit gefächertes Anwendungsspektrum. Das Grundprinzip aller Varianten folgt einem Aussenden von Ultraschallwellen in den strömenden Messstoff. Über die Laufzeit, Phasenverschiebung oder Differenzfrequenz zwischen der entsendeten und wieder empfangenen Ultraschallwelle wird die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt. Den Volumen-Durchfluss erhält man durch Multiplikation dieser mit dem Strömungsquerschnitt. In der Injektionstechnik sind Ultraschall-Durchflussmesser vor allem bei Sanierungsarbeiten beliebt (siehe Tabelle 4.1), da sie über eine hohe Messgenauigkeit verfügen.

Elektromagnetische Sensoren

Die Funktionsweise (Abbildung 4.2) magnetisch-induktiver Durchflussmesser (MID) beruht auf dem *Faraday'schen Gesetz*¹ der elektromagnetischen Induktion. Hierbei wird im Durchfluss, durch ein auf die Strömungsrichtung normal stehendes magnetisches Feld, eine der Fließgeschwindigkeit proportionale Spannung induziert. Senkrecht angeordnete Elektroden greifen die Signalspannung ab und führen sie einem Messumformer zu. Die gemessene mittlere Strömungsgeschwindigkeit multipliziert mit dem Messrohr-Querschnitt ergibt den Durchfluss. In der Injektionstechnik findet diese Systematik bei leitenden Flüssigkeiten, vor allem bei Zement- und Bentonitsuspensionen, Anwendung (siehe Tabelle 4.1).

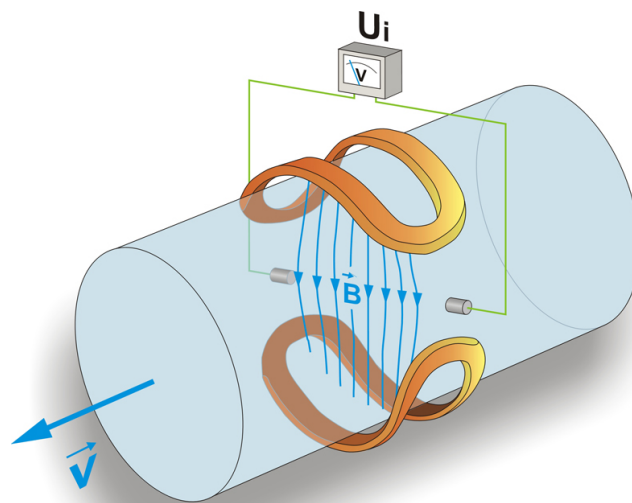


Abbildung 4.2: Prinzipskizze magnetisch-induktiver Durchflussmesser [22]

Hubzähler

Zur Messung von nicht leitenden Materialien, insbesondere von Chemikalien, haben sich rudimentäre, jedoch zuverlässige Hubzähler bewährt. Hierbei werden die Hübe der Pumpe, welche mit jedem Hub ein bestimmtes Volumen fördern, gezählt und nachfolgend das Gesamtvolumen errechnet (siehe Tabelle 4.1).

Coriolis-Massendurchflussmesser

Das Massenverfahren von Coriolis-Massendurchflussmessern beruht auf dem *Coriolis-Prinzip*², welches eine Scheinkraft beschreibt, die einen Körper quer zu seiner Bewegungsrichtung ablenkt. Bei der Durchströmung des Messgerätes werden zwei Schenkel in Schwingung gebracht. Durch die Form des Messgerätes entstehen Scheinkräfte, welche ungleichmäßige Bewegungen der beiden Schenkel auslösen. Der zeitliche Unterschied ermöglicht Aussagen über die Masse des Mediums; es ist nicht notwendig diese über Durchfluss und Dichte zu berechnen. Bei

¹Nach dem englischen Experimentalphysiker *Michael Faraday*

²Nach dem französischen Mathematiker und Physiker *Gaspard Gustave de Coriolis*

Injektionen wird der Coriolis-Durchflussmesser nicht eingesetzt, da das Medium möglichst homogen sein muss. Bei Einschlüssen oder Ähnlichen kommt es zu verfälschten Messergebnissen.

4.2.2 Steuerung und Kontrolle

Als Bedingung, wann eine Injektion als erfolgreich abgeschlossen gilt, wurden zuvor bereits die Abbruchkriterien in Kapitel 3.4.2 vorgestellt. Um diese einhalten zu können, bedarf es eines Kontrollsystems, welches auf die Pumpensteuerung zugreift. Dieses soll zusätzlich die Qualität der ausgeführten Arbeiten sicherstellen. Das Kontrollsystem verarbeitet die durch die Messsensoren erfassten Durchflussraten und Druckwerte und vermag die Pumpengeschwindigkeit zum Erreichen des Abbruchkriteriums entsprechend anzupassen. Dadurch werden Druck und Durchfluss laufend reguliert. Hierbei sind Maximaldruck und Maximalmenge, wie in 3.4 beschrieben, vorgegeben. Die Pumpenfahrer können jedoch manuell stets eine Veränderung vornehmen, um auf Vorkommnisse während des Einpressvorgangs zu reagieren, welche ansonsten unter anderem zu einem unerwünschten Aufsprengen des zu injizierenden Bereichs führen könnten. [32]

4.2.3 Speicherung

In der Art wie die gemessenen Werte und Daten aufgezeichnet werden bzw. auf welchen Datenträgern diese abgelegt sind, gab es in den letzten Jahrzehnten den größten Fortschritt, da mit zunehmender Digitalisierung sich die Menge an Daten extrem vervielfältigt hat und somit größere Datenbanken unabdingbar wurden. [13]

Traditioneller Weise erfolgt die Dokumentation des Injektionserfolgs auf Papier. Durch die Unmenge an Daten entstehen nicht nur ein enormer Druckaufwand und Papierverbrauch, sondern bringt diese Art der Dokumentation zudem die Gefahr von Datenverlust bzw. Ungenauigkeiten mit sich. Durch das Nachbereiten der Daten hinkt die Dokumentation außerdem stets den tatsächlichen Arbeiten hinterher. [32]

Seit den 1980er-Jahren gibt es eine stete Weiterentwicklung der Kommunikation zwischen auf der Baustelle befindlichen Registriergeräten und einer übergreifenden Datenbank. Zu Beginn wurden gesammelte Daten noch mittels Disketten überführt. Mit der Entwicklung von Netzwerken kamen Server für das Ablegen von Dateien, um sie so projektübergreifend zugänglich zu machen. Erste Lösungen im Bereich eines übergreifenden Projektmanagement gibt es seit den Entwicklungen in der Kommunikation und der Erfindung des Internets, welche es ermöglicht haben, dass zum Beispiel Planer sich mittels einer VPN (virtual private network) Verbindung einschalten. [32]

E-mail Verkehr und Mobiltelefonausrüstung ermöglichten einen erleichterten Daten und Interessensausaustausch, brachten jedoch auch Probleme mit sich. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Problematik des letzten Speicherstandes bei der Bearbeitung durch mehrere Personen. Aufgrund der Möglichkeit der Mitarbeit an einer Datei durch verschiedene Techniker, kann es passieren, dass an unterschiedlichen

Versionen gearbeitet wird und bereits behobene Fehler unabsichtlich übernommen werden. Mit dem häufigeren Umgang konnten zwar diese Probleme minimiert, jedoch noch nicht ausgeremert werden. Abhilfe dafür soll die Entwicklung hin zum zentralen Prozessmanagement schaffen. Die Idee hinter solchen Bauobjektservern ist eine objektorientierte Speicherung an Stelle der bislang etablierten abhängigen Systeme. [13]

4.3 Datenverarbeitung im Herstellungsprozess

Die Übertragung der Daten erfolgt zur Zeit größtenteils über USB-Sticks, somit muss die Übertragung händisch nach Schichtende durchgeführt werden, damit man sich die Herstellungsdaten für eine weitere Verarbeitung zu nutzen machen kann.

Die Datenverarbeitung und -aufbereitung selbst wird in den häufigsten Fällen mit Tabellenkalkulationsprogrammen wie Microsoft Excel durchgeführt. Jedes Unternehmen hat diesbezüglich eine eigene Handschrift, also andere Methoden der Darstellung und des Designs. In jedem Fall muss jedoch zumindest sicher gestellt werden, dass die wichtigen Parameter übersichtlich abgebildet sind (siehe Kapitel 4.4).

4.3.1 Aufbereitung

Bei der Datenaufbereitung ist es von Bedeutung, auf eine strukturierte, nachvollziehbare Form zu achten. Die Erstellung eines täglichen Injektionsberichts mit den wichtigsten Parametern ist in Normen verankert. Welche Daten vertragstechnisch im Detail aufzubereiten sind, wird in Kapitel 4.4 erläutert.

Da die Dokumentation von Injektionsprozessen nur einen Bruchteil der Arbeiten des operativen Baupersonals ausmacht (nach einer im Rahmen einer Abschlussarbeit an der TU Wien durchgeführten Studie beschäftigen sich Bauleiter auf Tiefbaustellen im Moment zu einem Fünftel ihrer Zeit mit Dokumentationsaufgaben und Analysen [5]), besteht stets der Konflikt zwischen einer genauen Aufbereitung zu einem schnellen Abschluss der Tätigkeiten. Dies bringt ein erhöhtes Fehlerpotential mit sich.

Injektionsberichte

Die Berichte oder Reports bieten im besten Fall gleich zu Beginn am Deckblatt eine Übersicht der entscheidenden Verrechnungspositionen, somit welche Menge an Material verpresst wurde und wie viel Zeit die Injektionsarbeiten in Anspruch nahmen. Durch das Verwenden von Tabellenkalkulationsprogrammen kann es hier bereits zu Rundungsfehlern kommen, welcher jeder für sich marginal scheinen, jedoch in Summe eine große Differenz zu den realen Werte aufweisen können.

Abbildung 4.3 zeigt einen beispielhaften Berichtsausschnitt, in welchem in der Kopfzeile die entscheidenden Parameter laut EN 12715 (Details dazu sind in Kapitel 4.4 zu finden) dargestellt sind.

INJEKTIONSREPORT													PUMPE	
Stollen	Tunnel-Meter	Typ	Bohrloch	Packer-tiefe	Beaufschlagung / Nachinjektion	Stufe	Injektions-bezeichnung	Zeitdauer		Ist-Menge [l]	Status	Bemerkung		
								von	bis					
258F	1,0-0-0,5	1	1	34	1	6,67	1,0-0-0,5_1_1_34_1_6,6	10:01	10:05	4,0	0,066	5	A	Austritt Spritzbeton
258F	1,0-0-0,5	1	2	34	1	6,34	1,0-0-0,5_1_2_34_1_6,3	10:08	10:19	10,4	0,174	20	A	Austritt Spritzbeton
258F	1,0-0-0,5	1	3	34	1	6,01	1,0-0-0,5_1_3_34_1_6,0	10:21	10:35	14,2	0,237	18	A	Austritt Spritzbeton
258F	1,0-0-0,5	1	4	34	1	5,68	1,0-0-0,5_1_4_34_1_5,6	10:38	10:39	1,2	0,021	2	A	Austritt Spritzbeton
258F	1,0-0-0,5	1	5	34	1	5,35	1,0-0-0,5_1_5_34_1_5,3	10:41	10:42	1,0	0,017	2	A	Austritt Spritzbeton
258F	1,0-0-0,5	1	6	34	1	5,02	1,0-0-0,5_1_6_34_1_5,0	10:44	10:45	1,1	0,019	2	A	Austritt Spritzbeton

Abbildung 4.3: Beispielhafter Ausschnitt eines Injektionsberichts [24]

In weiterer Folge sind detailliert für jede Pumpe die abgeschlossenen Injektionslöcher mit den geforderten Werten chronologisch und nachvollziehbar anzugeben, sowie Druck-Mengen-Verläufe (Abbildung 4.4) bzw. Diagramme des gewählten Abbruchkriteriums - zum Beispiel des GIN-Kriteriums (Abbildung 4.5) - beizulegen. Vor allem Abweichungen vom Normalbetrieb, wie das erneute Anfahren einer Injektionsstelle oder ein Abbruch, welcher nicht einem Abbruchkriterium zugeordnet werden kann, sollten gesondert gekennzeichnet bzw. mit einer entsprechenden Anmerkung versehen werden. Die mehrmalige Injektion einer Stelle kann zum Beispiel bei Schichtwechseln vorkommen, wenn die Fröhschicht nicht die zu injizierende Menge verpressen konnte, bzw. der Druck nicht den Vorgaben entsprechend anstieg. Ein außerplanmäßiger Stopp der Pumpen folgt unter anderem bei Packer-Umlauf - bei einem Austritt von Injektionsgut aus dem Bohrloch. Dies kann an einer schlechten Positionierung der Packer oder an Hohlräumen in unmittelbarer Nähe der Dichtmanschette liegen.

Injektionsdiagramme

Anhand von Druck- und Mengen-Verläufen können routinierte Injektionstechniker auf einen Blick erkennen, ob die ausgeführten Arbeiten korrekt verlaufen sind.

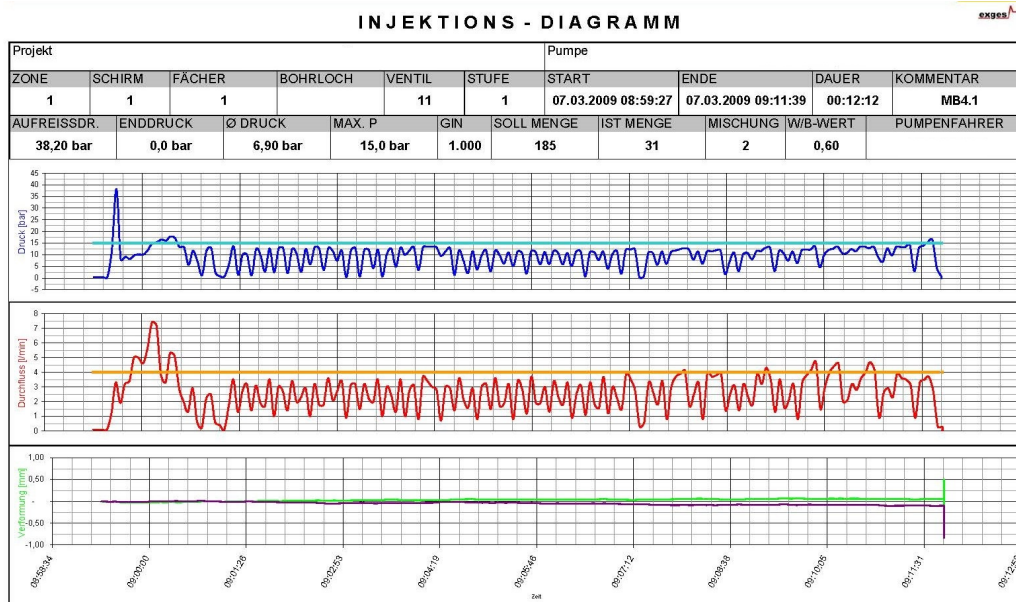


Abbildung 4.4: Beispielhafte Druck-/Mengen-Verläufe mit exges erstellt [24]

Abbildung 4.4 zeigt die Verläufe von Druck, Menge und Durchfluss an. Im Kopf des Diagramms sind sämtliche Informationen, welche für eine korrekte Zuordnung der Datensätze und eine gewissenhafte Dokumentation von Nöten sind, zu finden. Details zu den in den Richtlinien verankerten Vorgaben sind in Kapitel 4.4 zu finden.

Das in Abbildung 3.12 dargestellte Haltekriterium zeigt eine idealisierte Standard-Injektion, welche sich durch ein progressives Ansteigen der Druckkurve bei degressiver Mengenzunahme bis zum Haltedruck charakterisiert. Nach Halten des Druckes für einen gewissen Zeitraum - in dieser Zeit wird keine zusätzliche Menge verpresst - bleibt die Kurve entweder konstant oder der Druck fällt ab. Im zweiten Fall wird der zuvor beschriebene Prozess wiederholt bis der Ruhedruck beim Stopp der Pumpe gleich bleibt. Auch zuvor erwähnte Umläufigkeiten sind durchaus in den Diagrammen zu erkennen. Bei einem Austritt fällt der aufgebaute Druck oft schlagartig ab bzw. steigt er erst gar nicht an, da das Injektionsgut drucklos von Beginn an austritt.

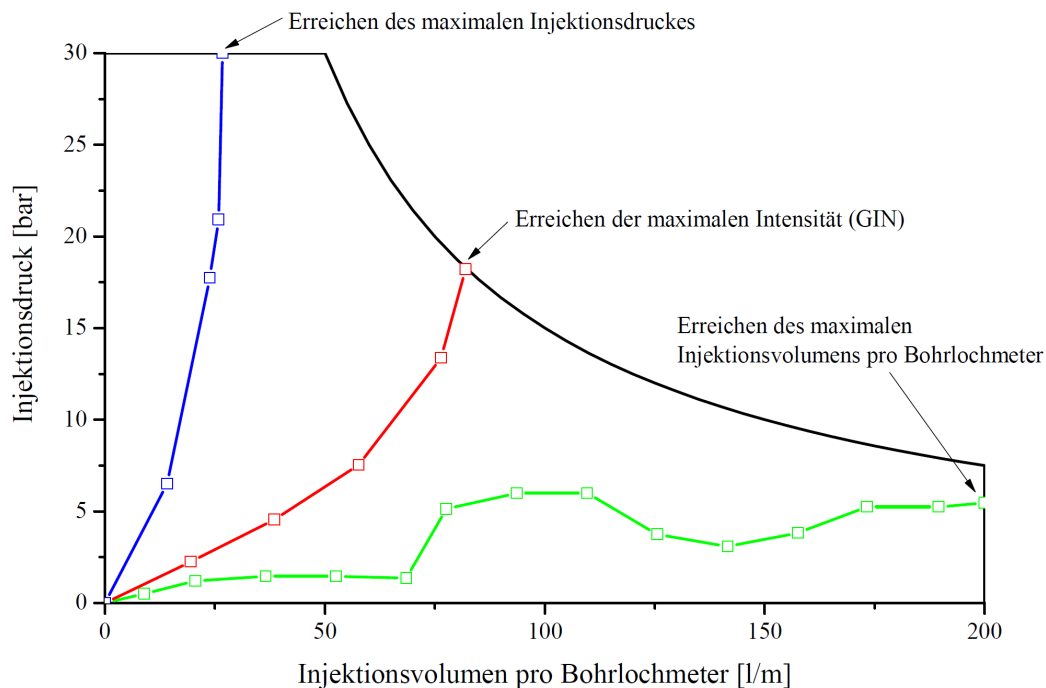


Abbildung 4.5: Beispielhafte Druck-/Mengen-Verläufe für das GIN-Kriterium [10]

Abbildung 4.5 zeigt mögliche Verläufe für Kluftinjektionen anhand des in Kapitel 3.4.2 beschriebenen GIN-Kriteriums. In der Abbildung sind drei mögliche Pfade zu sehen: [10]

Der *blaue Pfad* bildet ein schnelles Ansteigen des Drucks bei geringer Mengenzunahme ab. Daraus lässt sich schließen, dass die Kluft bzw. die Hohlräume sehr eng sind und eine rasche Verfüllung und Stabilisierung des Einpresskörpers erreicht wurde.

Aus dem *roten Pfad* lässt sich schließen, dass eine optimale Wahl der GIN-Kurve erfolgte. Ein Erreichen der maximalen Intensität über gleichmäßige Druck- und Volumszunahme lässt Schlüsse auf eine erfolgreiche Injektion mit einem passenden Mischverhältnis zu.

Der *grüne Pfad* zeigt eine drucklose Verfüllung mit Abbruch aufgrund des Erreichens der Maximalmenge. Bei wiederholten Aufkommen sollte anhand von Bohrkernentnahmen der Injektionserfolg geprüft werden, ob zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen von Nöten sind, da das Injektionsgut sich in umliegende Bereiche verflüchtigt haben könnte.

4.3.2 Analyse

Zum einen erfolgt die beschriebene Aufbereitung für Dokumentationszwecke, das bedeutet, um die Geschehnisse der Ausführung nachvollziehen und den Injektionserfolg bewerten zu können. Zum anderen bietet eine strukturierte und gewissenhafte Aufbereitung die Möglichkeit, zahlreiche Analysen mithilfe der Herstellungsdaten durchzuführen. Dies umfasst beispielsweise:

- Produktivitätsanalysen
- Verbrauchsanalysen
- Aufnahmeanalysen
- Analysen zur ausführungsbegleitenden Planung
- Bauzeitanalysen
- Rückkopplungsanalysen Vorerkundung (Geologie) zu Injektionsmaßnahme

4.4 Normenlage zur Dokumentation

Da bei Niederdruckinjektionen große Mengen an Daten produziert werden, entsteht ein hoher Dokumentationsaufwand. Für den Spezialtiefbau charakteristisch ist der Erfolg der Arbeiten nicht mit dem freien Auge sichtbar, wodurch zunehmend die Dokumentation und Aufbereitung der Daten entscheidend für eine erfolgreiche Beurteilung des Bauvorhabens ist. Normen und Richtlinien (EN 12715 [34], Kommentar der österreichischen Gesellschaft für Geomechanik [29], etc.) geben vor, welche Bestandteile eine ausführliche Dokumentation zu beinhalten hat.

Die **ÖNORM EN 12715**, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen, gibt im Bereich der Dokumentation einige Unterlagen vor, welche vom operativen Baustellenpersonal bei Injektionsbaustellen täglich zu erstellen sind. Es wird somit vom ausführenden Vertragspartner nicht nur verlangt, das Bauwerk in ausreichender Qualität zu erstellen, sondern auch selbst die Dokumentation und das Berichtswesen zu verwalten, welches laut *Chriti* 20% der Zeit von Bauleitern von Tiefbauprojekten in Anspruch nimmt ([5]). Diese Dokumente sind:

- Bautagesberichte
- Bohrberichte
- Injektionsberichte
- Graphische Darstellung der Injektionen
- Schichtberichte
- Maschinenberichte
- Injektionsgutberichte

Eine vor Beginn der Arbeiten vereinbarte *Verfahrensanweisung* legt die Hierarchieebenen der handelnden Personen, die Kriterien für den Injektionserfolg und Einzelheiten zu den Arbeiten fest. Sie stellt die Grundlage der auszuführenden Arbeiten dar und gibt vor, dass als Vorbereitung zur Qualitätssicherung dementsprechende Pläne und Dokumente, in welchen die Wahl und Qualitätskontrolle des Mischguts, die Abfolge der Injektionsarbeiten sowie die maximal zu erwartenden Drücke und Durchflussraten angegeben sind, beigelegt werden. [34]

Die **österreichische Gesellschaft für Geomechanik** gibt in ihrem Kommentar zusätzlich an, dass in der Verfahrensanweisung unbedingt klargestellt sein muss, was eine Abweichung vom SOLL, welches durch Arbeitsanweisungen seitens der Planer festgelegt wird, bedeutet und wie in diesem Fall darauf zu reagieren ist. Sie schlägt außerdem vor, die Anweisung für die unterschiedlichen Hierarchieebenen differenziert zu verfassen.

Bezüglich der zu erstellenden Injektionsberichte ergänzt sie die EN 12715, welche Injektionsparameter dezidiert aufgezeichnet und in den Injektionsberichten abgebildet werden müssen. Dabei handelt es sich um:

- Pumpe (Nummer)
- Art des Injektionsmittels
- Bohlochbezeichnung
- Passe
- Druck
- Rate [l/min]
- Injektionsmenge [l]
- Zeitstempel [$d : h : min : sec$]

Zudem spezifiziert sie, dass die Übergabe der Berichte zusätzlich zur ausgedruckten Form in einem weiterverarbeitbaren Format (z.B. .csv³) zu erfolgen hat. Im Sinne der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit wird auf eine laufende Erstellung von Visualisierungen gepocht, in welchen die verpressten Mengen und die Abbruchgründe dargestellt sind. Diese soll helfen über den Gesamterfolg der Injektionen zu entscheiden und gegebenenfalls die Notwendigkeit von Änderungen in der Ausführung frühzeitig zu erkennen.

Um das Wesen von Injektionen zu verstehen und den damit verbundenen Dokumentationsbedarf nachvollziehen zu können, wird im Kommentar dezidiert darauf verwiesen, dass Injektionsarbeiten in der Umsetzung ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit fordern. Die Planung von Injektionen endet erst nach Abschluss der Baustelle und gründet sich vor allem auf die dokumentierten Daten. [29]

4.5 Qualitätssicherung im Prozessmanagement

Ein jeder Bauprozess besitzt Subprozesse, welche alle gewissenhaft auszuführen sind, um den Hauptprozess erfolgreich abzuschließen. Diese Subprozesse können aufeinander folgend oder simultan vollbracht werden.

Im Falle von Injektionen gilt es insbesondere eine gute Kommunikation zwischen Pumpenfahrer und Anschließer, dem Arbeiter, der die Packer setzt und die Injektionsschläuche im Zuge der Injektionsvorbereitung anschließt, sicherzustellen. Dieser Arbeiter überwacht zudem bei weiterer Entfernung der Pumpen, ob Umläufigkeiten auftreten oder es andere Probleme bezüglich des Anschlusses gibt.

Die regelmäßige Wartung der Injektionspumpen und Injektionsleitungen ist ein weiterer Prozess, welcher zum Zwecke der Qualitätssicherung regelmäßig durchgeführt werden muss. Eine gewissenhafte Wartung mag sich zwar verzögernd auf die Ausführung selbst auswirken, doch erhöht sie die Lebensdauer der Maschinen und Geräte und wirkt sich auf lange Sicht gewinnbringend aus. Dadurch können auch außerplanmäßige Stillstände vermieden werden.

Die Aufschlüsselung der gesamten Subprozesse von Injektionen hilft bei der Kontrolle und Analyse der Bauarbeiten und liefert eine Planungsgrundlage für Aufgaben im Nachtragsmanagement oder für nachfolgende Projekte unter ähnlichen Bedingungen. Teilweise können diese automatisch generiert werden bzw. sind durch Regelmäßigkeiten in der Ausführung Intervalle für periodisch wiederkehrende Prozesse in modernen Systemen programmierbar. Eine Übersicht, welche Quellen die einzelnen Daten besitzen, findet sich in Tabelle 4.2:

³ *Comma-separated values*, eine Textdatei einfach strukturierter Daten

Subprozess	Datenquelle
Reperatur	Manuelle Eingabe / Telematische Erfassung
Wartung	Manuelle Eingabe / Telematische Erfassung
Umsetzen	Logische Sequenz
Packer setzen	Injektionskontrolle / Packersetzer
Injektionsgut	Datenlogger der Injektionspumpen
Waschen und Reinigen	Manuelle Eingabe / Telematische Erfassung
Stillstand	Manuelle Eingabe
Qualitätskontrolle	Manuelle Eingabe / Inspektionsintervall

Tabelle 4.2: Beispiele für Injektionsprozesse und deren Datenquellen [32]

Die Verknüpfung der aus den Subprozessen gewonnen Daten kann für einen Vergleich der geplanten Bauvorhaben zum aktuellen Baufortschritt in Echtzeit führen. Auf dies, sowie welche Möglichkeiten im Bereich der Aufmaßerstellung und Abrechnung ein qualitatives Prozessmanagement noch bieten kann, wird in Kapitel 5.3.3 detailliert eingegangen.

Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik

Für das Datenmonitoring in der Injektionstechnik gibt es einige etablierte Unternehmen, welche Systeme zur Speicherung der physikalischen Herstellungsparameter anbieten und es möglich machen, die aufgenommenen Daten durch Herstellungs- und Tagesprotokolle auszuwerten und zu analysieren.

Die Wichtigkeit eines gut aufbereiteten Protokolls ist nicht zu unterschätzen. In jedem Fall ist der Stellenwert des Bauwerks an sich als entscheidend zu bewerten, doch ist in der Injektionstechnik jenes eben nicht zu sehen. Daher muss vermehrt Bedacht auf eine saubere Dokumentation, welche bei der Speicherung der Daten beginnt, gelegt werden. Ausführender C¹, dessen Input in Kapitel 6.2 detailliert nachzulesen ist, spricht sogar davon, dass *„das erzeugte Bauteil in der Injektionstechnik das Protokoll selbst ist“*.

5.1 Bestehende Produkte

Da die Injektionstechnik selbst nur einen kleinen Bereich der Arbeiten im Spezialtiefbau ausmacht, ist die Liste an Systemanbietern überschaubar. Viele unter Ihnen bieten ein weites Spektrum an Messsystemen an. Nachfolgend werden ausgewählte etablierte Hersteller vorgestellt und im Detail auf deren Angebot im Bereich der Injektionstechnik eingegangen:

- Jean Lutz
- GeTec
- exges IDE
- Gamperl & Hatlapa
- rst instruments

¹Oberbauleiter bzw. Projektleiter einer Spezialtiefbaufirma

- Geosense

Zusätzlich bieten folgende ausgewählte Maschinenhersteller, gekoppelt mit Ihren Injektionspumpen, Systeme zur Datenüberwachung an:

- STS Scheltzke
- Obermann

5.1.1 Hersteller für Messinstrumente und Dokumentationssysteme

Jean Lutz

Jean Lutz ist ein renommierter französischer Hersteller für Mess- und Steuerelemente im Spezialtiefbau und bereits seit über 40 Jahren am Markt vertreten. Das Unternehmen bietet im Bereich der Injektionstechnik Sensoren und Messgeräte, sowie prozessübergreifend die Software *System Vision* an.

System Vision verschafft dem operativen Baupersonal die Möglichkeit, Einsicht auf die aktuell im Einsatz befindlichen Maschinen zu nehmen bzw. mit den Maschinisten vor Ort in Kontakt zu treten. Hierzu wird ein internetfähiges Gerät, egal ob Mobiltelefon, Tablet oder Computer, benötigt. Über die Übersicht der laufenden Geräte erlangt man direkt Zugang zu den aktuellen Herstellungsdaten und hat die Option Kontakt mit dem gewerblichen Mitarbeiter über den integrierten Chat aufzunehmen.

Das System zielt darauf ab, dem Bauleiter einen optimalen Überblick über das Geschehen auf der Baustelle zu verschaffen und Herstellungsdaten in Echtzeit zu präsentieren. Die Verbindung erfolgt über eine SIM-Karte bzw. ein Netzwerk. Im Umkreis von rund 100 Metern kann die Datenübertragung via Bluetooth erfolgen. [15]

GeTec

Dienstleistungen vom Planen über Messen, Berechnen und Visualisieren bis hin zum Analysieren bietet die GeTec Ingenieurgesellschaft mbH. Sie ist Teil der Keller Holding und verfügt über viel Erfahrung und know-how im Spezialtiefbau.

GeTec nutzt ein selbst entwickeltes und patentiertes hydrostatisches Schlauchwaagenmesssystem zum kontinuierlichen Messen von Höhenänderungen an Bauwerken und hydrostatisch wirkende elektronische Drucksensoren zum Aufzeichnen von Lastverschiebungsdiagrammen. Somit können Bauwerke laufend überwacht werden. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt mit einem direkt auf der Baustelle installierten M5-Aufzeichnungscomputer, welcher aus der eigenen Entwicklungsarbeit stammt. Hier können Sensortypen verschiedener Hersteller in ein Monitoringsystem eingebunden werden. Auf diese Weise aufgezeichnete Daten sind mit *LOGIS* (Software von GeTec) verbunden, welche es ermöglicht, die Daten weiterzuverarbeiten, aufzubereiten und zu archivieren.

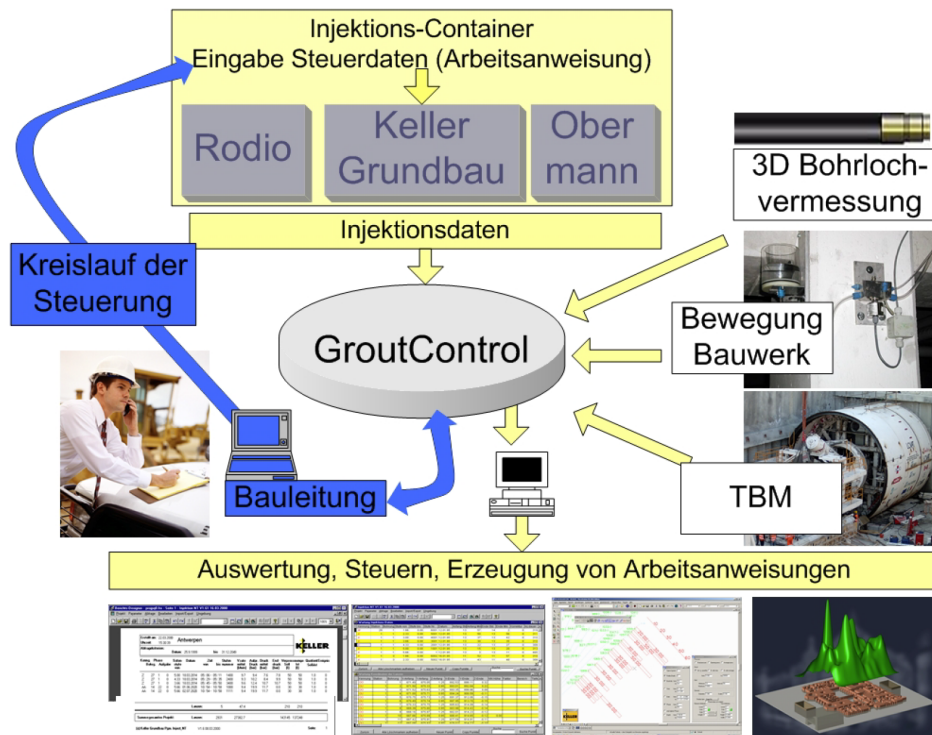


Abbildung 5.1: Grout Control der GeTec [12]

Grout Control (siehe Abbildung 5.1) ist eine von GeTec entwickelte Software zur Abwicklung von Injektionsbaustellen. Sie ermöglicht die Steuerung des Injektionsvorgangs und die Visualisierung der für das Datenmanagement relevanten Injektionsdaten. Die Darstellungen der Baugegebenheiten sind sowohl zweidimensional, als auch dreidimensional verfügbar. Über diese können der Bohrlochverlauf und etwaige Bauwerksverformungen verfolgt werden. Bezüglich der Injektionsdatenerfassung nimmt *Grout Control* Daten zu Bohrung, Injektionsstufe, Druck und Menge auf. Dies erfolgt auf Basis der programmunterstützten Steuerung. [12]

exges IDE

Die Injektionsdatenerfassung (IDE) von exges zielt auf eine einheitliche Steuerung und Überwachung der Pumpen und Mischanlagen ab. Die Containerübersicht zeigt Betriebszustände von Ventilen und Motoren, sowie Daten zum Mischer und den Hydraulikaggregaten an. Im Detail können hier die Mischungsverhältnisse des Injektionsguts sowie die Hydraulikdrücke der Pumpen und die Temperatur im Öltank überprüft werden.

In der Pumpenübersicht werden jegliche Einstellungen zu den Pumpen getroffen. Dies umfasst die Herstellungsparameter, wie Druck und Durchfluss sowie auch Haltezeiten. Durch die Eingabe der Grenzwerte werden Abbruchkriterien definiert, nach welchen das System die Injektion automatisch beendet. In der Praxis geht die Entwicklung daher eher in die Richtung das automatisch ausgeführte Beenden als abschalten und somit die Vorgabe dafür als Abschaltkriterium zu bezeichnen. Dies soll eine Differenzierung zu den Abbruchkriterien fördern. Ebenfalls in

diesem Abschnitt finden sich die Betriebszustände der Pumpen, mit integriertem Warnsystem.

Exges IDE ermöglicht zudem eine Erstellung von Reports und Protokollen direkt im Container bzw. an der Pumpe. Die Reports und Diagramme verfügen über ein normgerechtes Layout und die entscheidenden Parameter. Die Übertragung der Berichte erfolgt mittel eines portablen Speichermediums, wie USB-Stick oder SD-Karte im .csv-Format. [7]

Gamperl & Hatlapa

Gamperl & Hatlapa ist ein deutscher Hersteller von Messdatenempfängern mit Spezialisierung auf Spezialtiefbau und Anlagentechnik. In erster Linie betrifft dies Monitore für die Fahrerkabine zur Kontrolle und Steuerung mittels Visualisierungen der Messdaten.

Zur Auswertung der Datensätze bietet Gamperl & Hatlapa die Software *GuHMa* an. Personalisierte Protokolle können darin nach Übertragung der Datensätze mit einem USB-Stick auf dem Computer bearbeitet und erstellt bzw. exportiert werden. Die Berichte enthalten alle entscheidenden Information, um den Erfolg der Injektion bewerten zu können. [11]

5.1.2 Anlagen- und Maschinenhersteller

Im Anschluss sind die zwei marktführenden Anlagen- und Maschinenhersteller im deutschsprachigen Raum aufgelistet. Die zuvor vorgestellten Unternehmen vermögen mit den Pumpen der Hersteller zu kommunizieren bzw. gibt es Schnittstellen, über welche sie sich vernetzen können.

STS Scheltzke

Die STS Scheltzke GmbH & Co. KG ist Spezialist für Mischanlagen und Förderpumpen in der Injektions-, Verankerungs- und Bohrtechnik. Zu den Anlagen werden im Haus entwickelte Messgeräte (Menge, Durchfluss, etc.) und Datenaufzeichnungsgeräte angeboten. Die Messgeräte sind mit elektromagnetischen Sensoren ausgestattet und direkt mit den Steuerelementen verbunden. Scheltzke bietet mobile Datenaufzeichnungsgeräte an, welche je nach Typ mit einer oder zwei Pumpen kommunizieren können. In eigens den Bedürfnissen angepassten Pumpencontainern sind auch mehrere Pumpen ansteuerbar. [25]

Obermann

Obermann hat ebenfalls ein umfassendes Produktportfolio für den Spezialtiefbau. Sie bieten Pumpen, Mischbehälter, Verpressstationen und Sonderlösungen für Injektionsbaustellen an. Zusätzlich sind Mess- und Registriergeräte Teil ihrer Produktpalette. Abseits der bekannten Mess- und Steuerelemente verfügt Obermann über das *LOG-System*, welches eine Fernsteuerung der Injektionen möglich macht. [23]

5.2 Marktanalyse

Datenaufnahme

Die vorgestellten Systeme arbeiten größtenteils mit draht- bzw. kabelgebundenen Lösungen. Bei Baumaßnahmen in Kellern, in der Nähe von Bahn- und Hochspannungsleitungen, oder auch Untertage ist eine drahtgebundene Option bisher unabdingbar, geht jedoch mit einem hohen Verkabelungsaufwand einher, da Kabel über mehrere hundert Meter Länge keine Seltenheit darstellen. Ein wesentlicher Nachteil der aufwendigen Verkabelung ist, dass bei Anpassungen an neue Bauabschnitte bzw. Änderungen während der Ausführung eine nachträgliche Verkabelung nicht nur hinderlich, sondern auch zeitaufwändig sein kann. In seltenen Fällen wird daher auf drahtlose Kommunikationstechnologien zurückgegriffen, welche jedoch veraltet und somit störanfällig sind und nicht dem Stand der Technik entsprechen.

Auswertung

Die Auswertung der aufgezeichneten Datensätze erfolgt bis dato zumeist mit Tabellenkalkulationsprogrammen wie Microsoft Excel, da die Datenausgabe zu Weiterverwendung und Integration in übergeordnete Systeme primär in Form von .csv-Dateien erfolgt. Dabei können die Messreihen isoliert voneinander betrachtet werden, jedoch kann in den meisten Fällen lediglich die Sensorik oder Aktorik des jeweiligen Herstellers verwendet werden, was zu einer Einschränkung der messbaren physikalischen und chemischen Größen führt.

Analyse

Bei den vorgestellten Produkten handelt es sich um qualitativ hochwertige und dementsprechend kostenintensive Lösungen. Als nachteilig anzusehen ist, dass die Anbieter oft mit eigenen Dateiformaten arbeiten, was die Kunden an die Verwendung der proprietären Software bindet. Die Möglichkeit der kunden- und baustellenspezifischen Adaptierung ist nur in seltenen Fällen gegeben und entspricht im Wesentlichen lediglich einer Personalisierung der Formate für Herstellungsprotokolle.

Vor allem der diesbezügliche Technologierückstand und die Einschränkungen durch einige Hersteller sind als kritisch zu betrachten. Es ist daher augenscheinlich, dass im Bereich des Datenmonitorings von Injektionen viel Raum zur Weiterentwicklung besteht, um den Schritt in Richtung Industrie 4.0 auch im Bauwesen zu setzen. Details dazu sind in Kapitel 5.3.1 nachzulesen

5.3 Weiterentwicklung und Innovation

Ein Forschungspartner im Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der Technischen Universität Wien im Bereich Digitalisierung von Baustellen ist die **eguna GmbH**. Dieses junge Unternehmen ist maßgebend an der Implementierung von digitaler, automatisierter Datenakquirierung und -verarbeitung beteiligt. Ziel des Unternehmens ist, die Vielfalt neuer Technologien auszuschöpfen, um Spezialtiefbaustellen bestmöglich zu vernetzen und ortsunabhängig verwalten

zu können. Hierzu entwickelt eguana an Kundenwünsche angepasste Soft- sowie Hardware, um die Maschinenkommunikation zu verbessern und ein System zu schaffen, welches dem operativen Baustellenpersonal die Möglichkeit gibt, die Herstellungsdaten in Echtzeit einfach zu verwalten. Zusätzlich wird der Gedanke gefördert, dass erfasste Herstellungsdaten zu mehr zu gebrauchen sind, als zur Dokumentation. Zusammen mit der Technischen Universität werden daher zunehmend Schritte hin zu einem zentralen Baustellen Management (Details dazu in Kapitel 5.3.3) gefördert, welches unter anderem eine automatisierte Aufmaßerstellung beinhaltet.

5.3.1 Industrie 4.0

Die am Beginn stehende vierte industrielle Revolution, allgemein bekannt unter Industrie 4.0, strebt die Auflösung der klassischen Produktionshierarchien an. Im Detail bedeutet das, dass Automatisierung, Industrialisierung und Mechanisierung fortschreitend eine dezentrale Selbstorganisation der Produkte vorantreiben. Das Produkt selbst entscheidet über nachfolgende Schritte und lenkt den Produktionsprozess eigenständig. [31]

Kritik an Industrie 4.0 gibt es von vielen Seiten. Vor allem ein blindes Vertrauen auf Technologien ist als kritisch zu betrachten. Im Automatisierungsszenario kommt die Frage, wer wen in dieser Bewegung steuert, vermehrt auf: der Mensch die Maschine oder die Maschine den Menschen. Der Grundgedanke, dass der Mensch frei wird, um kreativen Tätigkeiten nachzugehen, darf nicht in einen Ersatz des Wissens, der Erfahrung und der Intuition von Fachpersonal durch eine Software ausufern. Andernfalls kommt es zu einer Entwertung und Entfremdung der Arbeit. Wesentlich ist daher, die Entwicklung in Richtung des Werkzeugszenarios zu lenken, in welchem Assistenzsysteme mit Werkzeugcharakter unterstützend eingreifen und so Chancen für erfahrungsgestütztes, lernförderliches Arbeiten fördern. [8]

Im Bauwesen wird der Gedanke von Industrie 4.0 im Sinne des Werkzeugszenarios gefördert. Vor allem im Spezialtiefbau obliegt es Menschen zu beurteilen, inwieweit ein Eingriff in die Natur, welcher durch jede anthropogene Schaffung stattfindet, gehen darf. Viele technische Hilfsmittel hierzu sind denkbar, ohne das Zutun von erfahrenem Personal zur Zeit aber nicht qualitativ durchführbar. Daher ist es das Ziel sich den Wissens- und Technologievorsprung anderer Bereiche und somit deren Vorteile, welche Industrie 4.0 mit sich bringen kann, zu Nutze zu machen. [13]

Internet of Things

Das Internet der Dinge (besser bekannt unter *IoT - Internet of Things*) ist ein wesentlicher Bestandteil von Industrie 4.0. Basis dafür bilden Technologien zu Umgebungswahrnehmung, Datenspeicherung, Kommunikation und zum autonomen Handeln. Vor allem das Auslesen von Daten und das Erkennen dieser durch eine Logikeinheit sind bei Bauprozessen entscheidend. Die verlässliche Übertragung ins Internet auf Basis der Nomenklatur und Datenstruktur ist eminent für eine korrekte Zuordnung und Weiterverwendung. [31]

Über das Internet kann zentral auf die erfassten Daten in Echtzeit zugegriffen werden. Im Zusammenhang damit spielt der Datenschutz eine große Rolle. Viele Unternehmen fürchten um den Schutz der Produktions- und Herstellungsgeheimnisse. Daher gilt es für Unternehmen, welche in diesem Bereich aktiv werden wollen, eine gut durchdachte Serverstruktur zu entwickeln. Nur dadurch kann der Schritt zu transparenterer Optimierung und Produktion auf Basis geschützter Betriebsgeheimnisse erfolgen.

Open Source

Open Source Softwares finden im Zuge der Digitalisierung ebenfalls vermehrt Anwendung. Diese ermöglichen zum einen die einfache Integration einer Vielzahl neuer Technologien und Dienste, bedeuten aber zum anderen auch eine erhöhte Komplexität der Systeme in Sachen Kompatibilität von Komponenten und Softwarelizenzen. In jedem Fall müssen bei Verwendung die allgemein gültigen Open Source Lizenzen, welche von der Open Source Initiative² formuliert wurden, eingehalten werden.

5.3.2 Übertragung und Kommunikation

Neue Technologien und Protokolle finden bereits breite Anwendung in den unterschiedlichsten Gebieten, wie im Smart Home Bereich, der industriellen Automatisierung oder in der Umwelttechnik. Eine Nutzung solcher Telekommunikationstechnologien im Bauwesen ist durchaus denkbar, bis dato aber erst in geringem Maße umgesetzt. Die Wahl der passenden Übertragungsart korreliert hoch mit den speziellen Einsatzbedingungen im Bauwesen, welche eine dauerhafte und beständige Lösung erforderlich machen. Vor allem im Spezialtiefbau sind Technologien zu bevorzugen, welche mit Interferenzen durch große schwere Baumaschinen und dem Einsatz unter Tage zurecht kommen.

Durch Industrie 4.0 getrieben setzen mittlerweile Unternehmen vermehrt auf neue Telekommunikationstechnologien, die Baubranche reagiert jedoch zurzeit noch zurückhaltend auf die Anwendung solcher Systeme, da aufgrund obligatorischer Cloud-Anbindungen der Datenschutz oft nicht gegeben ist bzw. für entlegene Baustellen die erforderliche GSM-Verbindung oft nicht ausreicht.

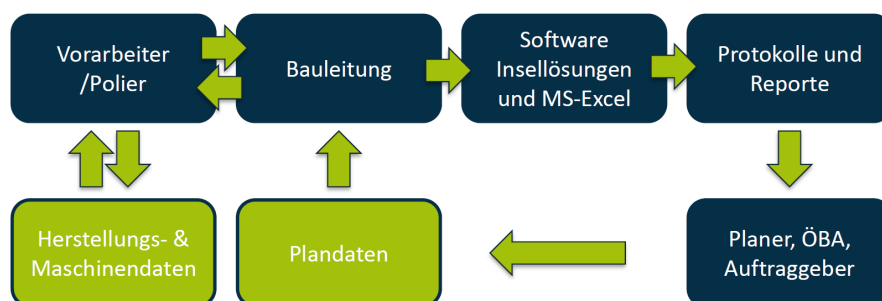


Abbildung 5.2: Klassischer Kommunikationskreislauf

²<https://opensource.org/docs/osd>

Unabhängig von der gewählten Technologie ergibt sich auch die Frage, wie Kommunikation auf der Baustelle definiert wird. Bislang dominiert auf Baustellen ein eher "konservativer" Kommunikationskreislauf, dargestellt in Abbildung 5.2. Maschinen- und Herstellungsdaten müssen bereits auf der Baustelle selbst manuell übertragen und nach der Aufbereitung und Protokollerstellung an die ÖBA, Planer und Auftraggeber übermittelt werden. Bei etwaigen Planungsänderungen erhält die Bauleitung neue Plandaten, an welche die Pumpensteuerung anzupassen ist.

In Abbildung 5.3 sind die Interaktionen mit einem Single-Source System abgebildet. Hier wird im Sinne des Werkzeugszenarios ersichtlich, welche Interaktionen ohne dem Zutun der Menschen als hilfreich angesehen werden können. Die Software interagiert automatisch mit Maschinen und Pumpensteuerungen und ist zentrale Basis für die Interaktion mit den Benutzern. Benutzer sind in diesem Falle nicht nur Mitarbeiter der Baufirmen. Im Unterschied zu herkömmlichen Produkten werden hier auch unternehmensexterne Personen wie Planer oder Auftraggeber über das System direkt miteinbezogen, wodurch der konventionelle Datentransfer zwischen den Interessengruppen wegfällt. Dies fördert die Idee des gemeinsamen Bearbeitens von Projekten und eine modernere Abwicklung. Im Sinne des Datenschutzes löst eguana dies mit so genannten *Feature Flags*, das bedeutet, dass externe Nutzer gewisse Funktionen nicht zur Verfügung gestellt bekommen. Sie haben einen *light*-Zugang, in welchem *Feature Flags*, die für das operative Baustellenpersonal zur Verfügung stehen, deaktiviert sind. [20]

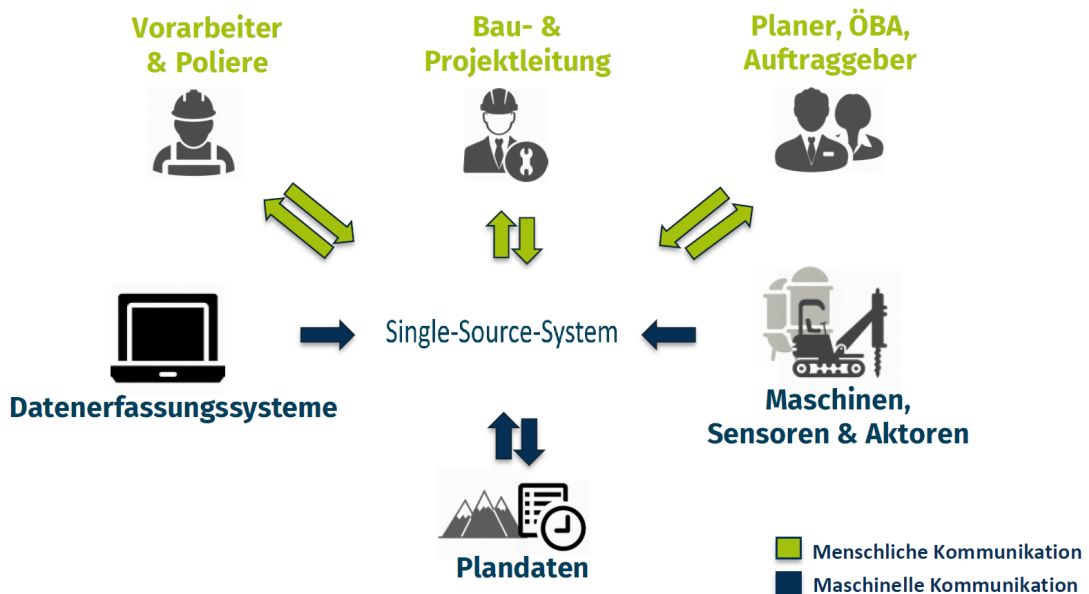


Abbildung 5.3: Single-Source-System adaptiert aus [20]

5.3.3 Aufbereitung und Analyse

Die Dokumentation und Aufbereitung von Daten, welche zur Zeit primär mit Tabellenkalkulationsprogrammen stattfindet, ist der zentrale Punkt des Datenmonitorings bei Injektionen. Doch die Haltung der Daten allein reizt nicht einmal ansatzweise die Potentiale aus, die durch die Sammlung der Herstellungsdaten bestehen.

Innovatives Baustellen Management

Erfolgt eine zentrale Dokumentation der Daten, so können in neuen Monitoring-Systemen direkte Produktivitätsanalysen mit Prozessmanagement-Funktionen gemacht werden. Anhand von Injektions- und Umsetzzeiten, welche sich aus dem ab- und anschließen zwischen den einzelnen Injektionsstellen ergeben und deren minimale bzw. maximale verrechenbare Zeit vertraglich festgelegt ist, ergeben sich direkt die maßgebenden Prozesse für Injektionsbaustellen. Durch Pflege solcher Systeme schafft man zum einen ein Früherkennungssystem von Produktivitätseinbußen und zum anderen eine Kalkulationsgrundlage für nachfolgende Projekte oder Mehrkostenforderungen.

Die Idee dahinter, sich die Maschinendaten für mehr als nur die Dokumentation zu Nutze zu machen, ist keine neue. Nun ist jedoch die Zeit gekommen, dass technische Hilfsmittel einem die Möglichkeit der Integration bieten. Der Weg für ein innovatives Baustellen Management ist seitens der Technik ausgelegt, die Bauwirtschaft braucht diesen "nur noch" zu gehen.

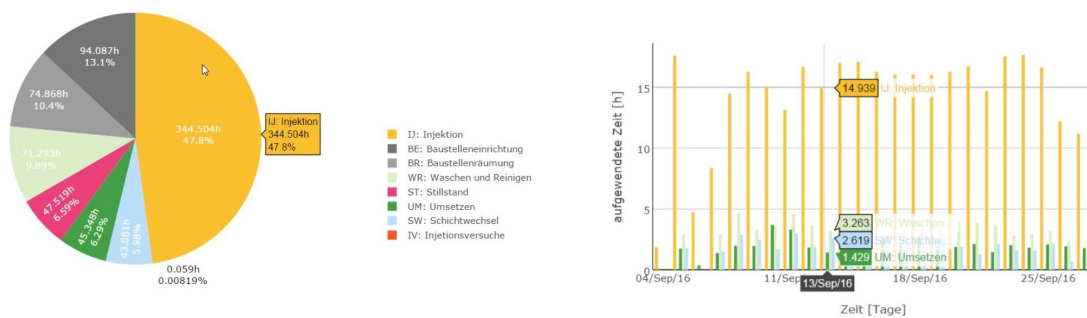


Abbildung 5.4: Mögliche Prozessanalyse mit eguana [20]

Abbildung 5.4 zeigt beispielhaft wie Echtzeitanalysen von Injektionsbaustellen aussehen können. Zum einen sind Aktivitätentrends abgebildet (rechts), an welchen sofort Ausreißer vom Regelbetrieb erkennbar wären, zum anderen ist eine prozentuale Erfassung der Bauprozesse möglich, welche als Kalkulationsbasis herangezogen werden kann. [32]

Diese Art der Prozessanalyse basiert auf den Herstellungsdaten, welche in Abbildung 5.5 dargestellt sind. Die tägliche Wartung der Prozesse, im Sinne eine digitalen Bautagesberichtes und vor allem die genaue Zuordnung der Prozesszeiten, verbessern die Ergebnisse der Analysen.

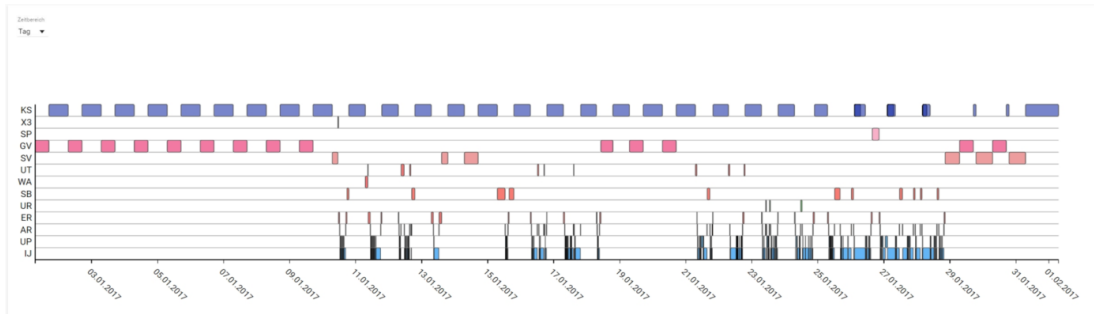


Abbildung 5.5: Aufsplittung der Prozesse mit eguana [20]

Maschinendaten werden automatisch generiert, für die Zeiten dazwischen und für solche während denen keine Datenaufnahme stattfindet, können Standardprozesse definiert werden. Selbiges gilt für Start- und Endprozesse je Schicht.

Diese Daten stellen das Fundament des Baustellen-Managements dar. Je mehr Bauprozesse integriert werden, umso mehr Maschinendaten stehen für umfangreiche Analysen zur Verfügung. Daraus resultieren zahlreiche Möglichkeiten der Analyse, seien diese bauwirtschaftlicher Natur, für z.B. K7-Kalkulationen, oder baubetrieblicher sowie technisch-geologischer Natur.

Input aus der Praxis

Injektionen sind ein Spezialgebiet des leichten Spezialtiefbaus; dieser charakterisiert sich durch einen geringeren Einsatz an großen Baumaschinen. Es sind somit Bauvorhaben, welche grundsätzlich große Verbreitung erfahren, deren Komplexität aber auf keinen Fall unterschätzt werden darf. Der Input von Ausführenden, Planern und Auftraggebern sowie Fachexperten in der Injektionstechnik war daher sehr hilfreich und notwendig, um den Bedarf neuer Monitoringsysteme und deren richtungsweisende Weiterentwicklung korrekt abbilden zu können.

6.1 Erarbeitung des Fragebogens

Hierzu wurde ein zehenseitiger Fragebogen entwickelt (siehe Anhang A) welcher den Gesprächen mit den jeweiligen Fachpersonen als Leitfaden zu Grunde lag. Im Detail umfasst der Fragebogen zuzüglich der Einleitung, in welcher die Position und Erfahrung des Gesprächspartners, sowie die injektionstechnische Bedeutung des Unternehmens festgehalten wird, drei Themenblöcke:

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss
2. Digitalisierung im Spezialtiefbau
3. Optimierung und Weiterentwicklung

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss

Der erste Themenblock des Fragebogens behandelt hauptsächlich ausführungsspezifische Themen. Zum einen wird hier geklärt, welche Herstellparameter wie aufgenommen und transferiert werden, zum anderen geht es auch bereits um die Aufbereitung der Daten seitens der ausführenden Unternehmen für Bauaufsicht und Auftraggeber sowie den Transfer der Protokolle und Reports zwischen den Parteien. Zusätzlich wird erörtert, inwieweit die erfassten Daten weiterverwendet werden (können), zum Beispiel als Kalkulationsgrundlage oder zur direkten Masenermittlung für die Abrechnung.

Zum Abschluss erfolgt eine Festlegung des IST-Stands des Datenmanagements bei

Injektionen, nämlich wie viele Programme derzeit für den gesamten Dokumentationsprozess notwendig sind und die Festlegung der digitalen Entwicklungsstufe für Injektionsarbeiten im Unternehmen bzw. Kenntnis des diesbezüglichen Standes der Technik, auf Basis der Grafik für die digitalen Entwicklungsstufen (Abbildung 6.1)




Datenfluss	1. Messung		2. Speicherung		3. Analyse	
Entwicklungsstufen	Methode		Methode		Methode	
1. analog	analog	indirekt	Protokolle	indirekt	Tabellenkalkulation	-
2. teilweise digital	digital / analog	direkt / indirekt	einzelne Datasets	direkt / indirekt	proprietäre Software	Export – Import Files
3. digital	digital / Maske	direkt	Datenbank	direkt	real-time Analyse	direkt

Abbildung 6.1: Entwicklungsstufen im Datenmanagement [32]

In der Grafik geben die Gesprächspartner im Detail den Digitalisierungsstand (analog - teilweise digital - digital) für Messung, Speicherung und Analyse, sowie den Status der Verlinkung zwischen den Bereichen, an. Die Angaben basieren auf Selbsteinschätzungen der Gesprächspartner und sind dementsprechend zu werten.

2. Digitalisierung im Spezialtiefbau

Zu Beginn des Abschnitts wird der Gesprächspartner gebeten, den Entwicklungsstand des digitalen Datenmanagements bei Injektionsarbeiten im Vergleich zu anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau festzulegen. Zur Auswahl stehen rückständig, up-to-date, fortgeschritten und innovativ.

Daran anknüpfend erfolgt eine Analyse von Vor- und Nachteilen des digitalen Fortschritts sowie eine Erarbeitung von Potentialen, insbesondere des wirtschaftlichen Aspekts der erleichterten und präziseren Abrechnung auf Basis der Herstellungsdaten.

Zudem wird eruiert, in welchem Ausmaß digitales Datenmanagement bereits verbreitet ist und welche Gründe die bisher geringe Ausbreitung solcher Systeme noch hat, insbesondere ob dies mit der Projektgröße bzw. dem Bauherren korreliert.

3. Optimierung und Weiterentwicklung

Im Abschlussblock wird dezidiert auf den Entwicklungsstand der Datenmonitoringsysteme eingegangen, wo deren Schwachstellen liegen, welche Verbesserungen unmittelbar angestrebt werden sollten und essenzielle, wünschenswerte Funktionen erfragt.

Um das Gespräch abzurunden, werden die Gesprächspartner angeregt ihre persönlichen Anforderungen zu überdenken, worauf der Fokus seitens der Entwickler gelegt werden sollte und abschließend welche Schritte Sie selbst als Unternehmen in diesem Bereich einleiten würden, um marktführend in der Digitalisierung von Injektionsprozessen zu sein.

6.2 Fachgespräche

Die Wahl der Gesprächspartner zielt auf eine ausgeglichene Anzahl an ausführenden Unternehmen, Auftraggebern, Planern und Sachverständigen ab. Letztendlich erklärten sich 8 Personen, welche im Weiteren anonymisiert aufscheinen, bereit die Forschungsarbeit zu unterstützen und steuerten wertvolle Ideen und Kenntnis bei. Unterteilt nach Berufsgruppen werden die Gespräche anhand der drei Themenblöcke zunächst zusammengefasst (Details zu jedem einzelnen können Anhang B entnommen werden) und im Weiteren bis hin zur Entwicklung von Anforderungsprofilen analysiert. Insbesondere unternehmerische Kennzahlen werden hierbei ausgeklammert. Die wichtigsten Informationen sind in kurzen Steckbriefen zusammengestellt, im Anschluss erfolgt noch eine detailliertere Vorstellung der Fachleute.

Ausführender A

- Funktion: Abteilungsleiter, Projektleiter, Bauleiter
- Unternehmen: österreichisches Bauunternehmen; international tätig
- Fachspezifisch: alle Arten an Injektionen
- Erfahrung: in allen geotechnischen Bereichen
- Datum des Fachgesprächs: 17.05.2017

Ausführender B

- Funktion: Projektleiter, Oberbauleiter
- Unternehmen: deutsches Spezialtiefbauunternehmen; europaweit tätig
- Fachspezifisch: Injektionen im Tunnel- und Wasserbau
- Erfahrung: Abwicklung zahlreicher Injektionsbaustellen
- Datum des Fachgesprächs: 30.05.2017

Ausführender C

- Funktion: Bauleiter
- Unternehmen: österreichisches Spezialtiefbauunternehmen; internat. tätig
- Fachspezifisch: alle Arten an Injektionen
- Erfahrung: vor allem kleine Baustellen
- Datum des Fachgesprächs: 11.07.2017

Planer und Sachverständiger X

- Funktion: Planer, Berater für Injektionsbaustellen
- Unternehmen: österreichisches Planungsbüro für Geotechnik
- Fachspezifisch: auf Injektionen spezialisiert
- Erfahrung: vor allem Injektionen im Tunnel- und Stollenvortrieb
- Datum des Fachgesprächs: 19.06.2017

Planer und Sachverständiger Y

- Funktion: Geschäftsführer, Planer, ehem. Bauleiter
- Unternehmen: österreichisches Planungsbüro für Geotechnik
- Fachspezifisch: Injektiospezialist
- Erfahrung: Abwicklung von Injektionsbaustellen weltweit
- Datum des Fachgesprächs: 22.06.2017

Planer und Sachverständiger Z

- Funktion: Sachgutachter, ehem. Baueiter, Projektleiter und Institutsleiter
- Unternehmen: im Ruhestand
- Fachspezifisch: Locker- und Festgesteinsinjektionen
- Erfahrung: Abwicklung von Injektionsbaustellen weltweit; zusätzlich langjährige Forschungserfahrung an einer österreichischen Universität
- Datum des Fachgesprächs: 07.07.2017

Auftraggeber 1

- Funktion: Bauaufsicht
- Unternehmen: öffentlicher österreichischer Auftraggeber
- Fachspezifisch: Anker- und Mikropfahlverpressung
- Erfahrung: zahlreiche Schutzbauwerke
- Datum des Fachgesprächs: 16.05.2017

Auftraggeber 2

- Funktion: Technische Projektsteuerung, Bauaufsicht
- Unternehmen: öffentlicher österreichischer Auftraggeber
- Fachspezifisch: Injektionen als Begleitmaßnahme im Tunnelbau
- Erfahrung: Großprojekte im Tunnelbau
- Datum des Fachgesprächs: 31.05.2017

6.2.1 Vorstellung der Gesprächspartner

Ausführender A ist Bauleiter bzw. Abteilungsleiter in einem großen Spezialtiefbauunternehmen. Grundsätzlich sind alle Arten an Injektionen im Leistungsspektrum des Unternehmens vertreten, bei Hinzuzählen von Anker- und Mikropfahlverpressungen steigt der Anteil noch erheblich. Es spielen in der Abteilung Injektionen generell zwar eine den anderen Bauprozessen untergeordnetere Rolle, aufgrund des breiten Spektrums von angewandten Spezialtiefbauarbeiten dieser Abteilung, kann aber ein guter Konnex und Vergleich vom Bauverfahren Injektion zu anderen Prozessen hergestellt werden. Die Auftragslage steuert die Diversität der Baustellen; diese können von mehreren kleinen bis hin zu einer großen über mehrere Jahre reichen.

Ausführender B arbeitet als Projekt- bzw. Oberbauleiter in einem Spezialtiefbauunternehmen, mit vielen Injektionsbaustellen, auch europa- bzw. weltweit. Das Unternehmen führt Boden- wie auch Felsinjektionen durch, insbesondere im Tunnelbau und bei Wasserkraftwerken. Dabei handelt es sich primär um Abdichtungs- und Konsolidierungsinjektionen. Aufgrund der Komplexität solcher Baustellen handelt es sich meistens um nur sehr wenige große pro Jahr, welche sich oft über mehrere Jahre erstrecken.

Ausführender C ist Bauleiter in einem Spezialtiefbauunternehmen, welcher hauptsächlich auf Injektionsbaustellen tätig ist und mit den Anforderungen des Datenmanagements zu tun hat. Seitens des Unternehmens werden alle Arten von Injektionen durchgeführt. Dies betrifft Abdichtungen, Verfüllungen, Verfestigungen, Injektionen zur Vortriebssicherung, Dichtschirmerstellungen, und viele mehr. Dabei handelt es sich meistens um mehrere kleine Baustellen pro Jahr, manchmal wird auch eine große beauftragt, welche sich über mehr als ein Jahr ziehen kann. Grundsätzlich ist das Unternehmen im europäischen Raum tätig, hat aber auch schon Referenzen Übersee aufzuweisen.

Planer und Sachverständiger X arbeitet als Planer in einem auf Geotechnik und im Detail Injektionen spezialisierten Ingenieurbüro. Er kann eine langjährige Erfahrung in der Planung von Injektionskampagnen aufweisen und wurde selbst

des öfteren als Injektionsexperte zu Großbaustellen bestellt, um die ausführungsbegleitende Planung zu unterstützen bzw. den Injektionserfolg zu beurteilen. Er hat vor allem im Tunnel- und Stollenvortrieb viel Erfahrung, im Detail in der Vortriebssicherung, mit Abdichtungen, gebirgsverbessernden Maßnahmen und der Ringspaltverpressung bei Tübbing.

Planer und Sachverständiger Y ist Geschäftsführer eines Ingenieurbüros für geotechnische Planungsaufgaben mit weitreichenden Kontakten in die Privatwirtschaft, welcher selbst an der Weiterentwicklung von innovativen Methoden zur Abwicklung und Dokumentation von Injektionen arbeitet. Er war zuvor auch bei einem Spezialtiefbauunternehmen als Bauleiter angestellt und ist bereits des öfteren als Injektionsexperte bestellt worden. Hinzu hat er aufgrund der Abwicklung von Baustellen weltweit viel Verständnis für verschiedenste Arbeitsweisen und die Kenntnis, was tatsächlich einer Optimierung bedarf. Dank dieser umfangreichen Erfahrung deckt sein Fachwissen alle Injektionsbereiche ab, egal ob in Böden oder Fels.

Planer und Sachverständiger Z kann auf eine erfolgreiche Karriere bei einem einschlägigen Spezialtiefbauunternehmen sowie in der Forschung zurückblicken und arbeitet trotz Ruhestand noch immer als Sachgutachter für Injektionen. Er hat Erfahrung mit Locker- sowie Festgesteinsinjektionen, vor allem im Talsperren- und Tunnel- bzw. Stollenbau. Zudem war er weltweit auf Injektionsbaustellen tätig und verfügt daher über dementsprechend enormes Fachwissen. Dieses überträgt er auch durch sein Mitwirken in Normungsgremien weiter an nachfolgende Generationen von Bauingenieuren.

Auftraggeber 1 arbeitet als Bauherrenvertreter auf Baustellen, welche primär Fundierungen von Schutzanlagen gegenüber Naturgefahren betreffen. Im Bezug auf Injektionen handelt es sich dabei um Rückverankerungen auf Stabankerbasis, welche nach Einbringen des Zuggliedes nachverpresst werden. Das Nachverpressen von Ankern und Mikropfählen ist zwar nicht als klassische Injektion zu sehen, dennoch konnte dem Gespräch viel abgewonnen werden, denn auch bei diesen Arbeiten gibt es Verbesserungspotential im Datenmonitoring und Dokumentationsprozess.

Auftraggeber 2 ist primär in der technischen Projektsteuerung bei Tunnelbauprojekten tätig. Injektionen betreffen dabei Nebenarbeiten zur Vortriebssicherung, Wasserrückhaltung und Verbesserung der Gebirgseigenschaften, so genannte Konsolidierungsinjektionen. Grundsätzlich sind solche Projekte mit sehr hohen Dokumentationsaufwänden versehen, was den Bedarf einer verlässlichen und geordneten Datenhaltung stärkt.

6.2.2 Ausführende Unternehmen

Im Zuge der Fachgespräche fanden sich drei Mitarbeiter von Unternehmen, welche im Spezialtiefbau tätig sind, um bei der Forschungsarbeit behilflich zu sein. Bei

fachlich ähnlichen Antworten wird im Weiteren der Fokus auf die Gesamtaussage gelegt, bei differenzierenden Meinungen und Methoden wird dezidiert nach Unternehmen gegliedert. Aus datenschutzrechtlichen Gründen sind die Gesprächspartner anonymisiert.

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss

Entscheidende Parameter der Pumpe für den Injektionserfolg sind der Druck, die kumulative Menge und der Durchfluss. Alle Unternehmen unterscheiden bei der Durchflussmessung des Injektionsguts nach dem Mittel: für Chemikalien werden Hubzähler verwendet, für Suspensionen induktive Durchflussmesser.

Unternehmen A verwendet die Pumpensteuerung von Obermann und Registriergeräte der Firma Hatlapa. Die Speicherung der Daten erfolgt im ersten Schritt lokal in .csv-Format bei der Pumpensteuerung, die Übertragung auf den PC im Baubüro mit einem portablen Datenspeichergerät. Der Pumpenfahrer gibt die Injektionsstellen manuell vor dem Start jeder Injektion auf Basis der Arbeitsanweisung ein und hat die Möglichkeit besondere Vorkommnisse in der Steuerung zu kommentieren; zumeist werden diese aber nur handschriftlich notiert. Dadurch müssen Falscheingaben und fehlende Kommentare zusätzlich von der Bauleitung ergänzt werden.

Die Bauleiter bzw. Techniker analysieren und bereiten die Daten vorrangig mit Microsoft Excel auf, eine Verknüpfung mit einer baustellenübergreifenden Software erfolgt nicht. Ein Abgleich mit den Handmitschriften der Pumpenfahrer dient dabei als erste Qualitätskontrolle. Nach Abschluss der Aufbereitung werden die Daten je Tag an die ÖBA via E-Mail oder einen Kollaborationsserver übermittelt, in .pdf-Format und auf Wunsch in .csv. Durch die Gegenzeichnung der ÖBA gelten die Arbeiten als kontrolliert und abrechenbar.

Sämtliche beschriebenen Vorgänge sind bei **Unternehmen C** ident, nur dass es als Pumpensteuerung exges IDE verwendet, welche von der im Haus befindlichen Mechatronikabteilung baustellenspezifisch adaptiert wird. So genannte Input-Files können vor Beginn der Injektionsarbeiten in die Pumpensteuerung eingespielt werden, welche alle zu injizierenden Injektionsstellen beinhalten. Die Pumpenfahrer können dann in der Steuerung die Punkte über Filter auswählen, was das Fehlerpotential betreffend Falscheingaben maßgebend reduziert.

Unternehmen B ist an der Entwicklungsarbeit mit eguana beteiligt und verwendet deren Injektionsdatenmanagement. Die Erstspeicherung erfolgt lokal in der Steuerung im herstellerspezifischen Format. Übertragen werden die Datensätze drahtlos über GSM bzw. seltener über WLAN. Bei einem etwaigen Ausfall der drahtlosen Verbindung oder einer Störung des Netzes können die Rohdateien in das System per drag and drop hochgeladen werden. Je nach Größe der Baustelle wird eine detaillierte Arbeitsanweisung erstellt, welche in die Pumpensteuerung integriert wird und woraus der Pumpenfahrer die Injektionsstellen auswählen kann. Ansonsten erfolgt eine händische Eingabe. Je nach Pumpensteuerung kön-

nen Stop-Codes gesetzt werden, welche auf einen Blick erahnen lassen, ob die Injektion planmäßig verlaufen ist oder unerwartete Komplikationen aufkamen. Händisch kann man auch Kommentare hinzufügen. Beides wird im Injektionsdatenmanagement angezeigt.

Die Analyse und Auswertung der Datensätze wird direkt im System von eguana durchgeführt, eine Ausgabe ist, je nach Wunsch des Bauherren in .pdf- und .csv-Format möglich. Grundsätzlich ist dies jedoch gar nicht notwendig, da Bauaufsicht und Auftraggeber selbst Zugänge von eguana bekommen können, in welchen sie sich die freigegebenen Injektionsdaten ansehen und Protokolle nach ihren Bedürfnissen erstellen. Die Daten sind direkt mit im Prozessmanagement abrufbar und hier mit anderen Prozessen auf der Baustelle verknüpfbar, um so Produktivitätsanalysen, etc. machen zu können.

Die Überprüfung des Materialstands und die Koordination der Lieferungen läuft bei allen Unternehmen ähnlich ab. In Abhängigkeit der Materialhaltung, in Sackware oder in Silos, werden die Mischen, also die Anzahl der Suspensionsanmischungen anhand des Materialverbrauchs an Säcken bzw. über die automatische Einwaage bei Silos, handschriftlich festgehalten. Bei chemischen Injektionen werden die verbrauchten Kanister gezählt. Durch abklopfen des Silos kann zur Kontrolle auf den Materialstand geschlossen werden.

Unternehmen B arbeitet gemeinsam mit eguana an der Integration einer automatischen Materialstandkontrolle im Baustellen Management, welche eine tägliche Kontrolle ermöglichen soll.

Visualisierungen sind bei den meisten Injektionskampagnen de-facto nicht existent. Grundsätzlich wird der Baufortschritt handschriftlich durch Markieren und Abhaken auf den Plänen dargestellt oder eine weitere Excel-Tabelle erstellt, in welcher der Baufortschritt und die verpressten Mengen abgebildet sind. Diese ist jedoch ebenfalls manuell zu pflegen. Bei Sanierungsarbeiten gilt zudem die Prämisse Dichtheit im Sanierungskörper herzustellen. Diese Arbeiten bedürfen keiner Visualisierung, da die Injektionen erst bei Erreichen der Dichtheit als abgeschlossen gelten.

Unternehmen B hat auf einigen Baustellen bereits mit Visualisierungen von eguana zu tun, zusätzlich ist die Verknüpfung von Plandaten mit Kartenmaterial in Entwicklung. Grundsätzlich sieht es die Aufbereitung der Daten in Visualisierungen als zu fehleranfällig unter viel mühsamer Arbeiten. Ein Ampelsystem des Bausolls bringt für das Controlling mehr, am besten verknüpft mit einer einfachen Liste der Injektionsstellen.

Die Weiterverwendung der Daten als Referenzwerte, Kalkulations- oder Abrechnungsgrundlage ist grundsätzlich in den Unternehmen möglich, meistens dienen sie aber eher als Sammlung, weil für Nachfolgeprojekte mehr die Erfahrung und das Gespür der handelnden Personen zählt. Zur Aufmaßerstellung im Detail werden die Massen von Summenblättern abgelesen und in das Abrechnungsprogramm übertragen. Über das Prozessmanagement von eguana verfolgt Unternehmen B,

wie in Kapitel 5.3.3 beschrieben, die Aktivitäten und Prozesse auf der Baustelle; darauf aufbauend ist ein Auswertungstool denkbar.

Die digitale Entwicklungsstufe (Abbildung 6.2) ist in **Unternehmen B** nahezu vollständig digital (grüne Ellipse), bis auf wenige Ausnahmen, wie die Datenübertragung via USB wegen WLAN Ausfall und dem Erstellen von Handprotokollen zusätzlich zum Injektionsdatenmanagement als Qualitätssicherung bzw. Backup.




Datenfluss	1. Messung		2. Speicherung		3. Analyse	
Entwicklungsstufen	Methode		Methode		Methode	
1. analog	analog	indirekt	Protokolle	indirekt	Tabellenkalkulation	-
2. teilweise digital	digital / analog	direkt / indirekt	einzelne Datasets	direkt / indirekt	proprietäre Software	Export – Import Files
3. digital	digital / Maske	direkt	Datenbank	direkt	real-time Analyse	direkt

Abbildung 6.2: Entwicklungsstufen in den Unternehmen

Die Entwicklungsstufe ist für die anderen beiden Unternehmen als teilweise digital einzuordnen, die Analyse erfolgt mit Tabellenkalkulationsprogrammen (rote Ellipsen). Vor allem die fehlende direkte Verlinkung zwischen Datenschreiber und Auswertungs-PC wird als mühsam und zeitintensiv empfunden.

Kernaussagen

Alle Ausführenden richten den Fokus im ersten Abschnitt des Fragebogens auf die Dokumentationstätigkeiten als Bauleiter, welche - wie unter Kapitel 4 beschrieben - umfangreich sind. Erleichterungen im Datenmanagement werden definitiv begrüßt, Ausführender B hebt sich dabei von den anderen beiden ab (siehe Abbildung 6.2).

2. Digitalisierung im Spezialtiefbau

Ausführender A

Injektionen sind in ihrem digitalen Status insofern up-to-date, als die anderen Bereiche des Spezialtiefbaus auch nicht weit entwickelt sind. Es bestünde die Möglichkeit sämtliche Herstellungsdaten aufzuzeichnen, doch wird dies bisher in der Praxis nicht durchgeführt, da der Bedarf bislang noch nicht gegeben war. Mit zunehmenden Forderungen durch den Auftraggeber, gilt es somit dann, sich im Bereich des digitalen Datenmanagements Gedanken zu machen. Besser digitalisierte Prozesse im Spezialtiefbau sind das Düsenstrahlverfahren, sämtliche Bodenmischverfahren (Mixed-In-Place, etc.) und die Rüttelstopf-/Rütteldruckverdichtungen.

Das Potential für Digitalisierung ist demnach sehr groß, jedoch ist ein höherer Automatisierungsgrad als kritisch zu betrachten. Die Befürchtung besteht, dass

durch eine zunehmende Digitalisierung ein Abfluss von Fachwissen passieren kann. Vor allem mit der Entwicklung von Visualisierungen vertrauen Auftraggeber und ÖBA viel mehr auf aufbereitete Bilder und weniger auf Fachwissen. Es wird befürchtet, dass das ingenieurmäßige Denken verloren geht. Beim Bohren zum Beispiel, haben Herstelldaten eine gewisse Aussagekraft, sind aber mit Vorsicht zu genießen. Nur isoliert betrachtet kann keine qualitative Aussage getroffen werden. Während der Herstellung ist unter anderem der Zustand der Bohrkronen von Belang, welcher nicht aufgezeichnet wird.

Grundsätzlich wird der fortschreitenden Digitalisierung in jedem Fall Positives abgewonnen, solange der damit umgehende Mensch sich mitentwickelt. Daraus können nicht nur ein angenehmerer Tagesablauf, sondern vor allem eine erhöhte Qualität und Abrechnungsgenauigkeit resultieren. Dafür verfügt Unternehmen A jedoch aufgrund der geringen Größe der Injektionsbaustellen über wenig Erfahrung.

Neue Datenmonitoringsysteme sind bekannt und es wird davon ausgegangen, dass ein steigender Einsatz solcher Systeme durch die Aufnahme in Ausschreibungen erfolgen wird. Vor allem ab dem Zeitpunkt der Verankerung dieser in den Normen.

Ausführender B

Laut Ausführendem B ist die Digitalisierung von Injektionsbaustellen als fortgeschritten einzustufen. Unternehmen B verwendet seit geraumer Zeit das Datenmonitoringsystem von eguana. Grund für den vergleichsweise fortschrittlichen Stand der Injektionstechnik ist nicht zuletzt der viel höhere Stellenwert von aussagekräftigen Herstellungsdaten im Vergleich zu anderen Bauprozessen.

Das größte Potential hat das Prozessmanagement, da hier auch der wirtschaftliche Nutzen besser ersichtlich ist. Große Vorteile des Systems liegen in der Qualitätssicherung, dem Komfort, der Zeitersparnis und der Abrechnungsgenauigkeit. Daraus resultieren klarere Bauzeitprognosen, Risikoverminderung und Grundlagenoptimierung. Durch mögliche Personaleinsparung kann zudem ein großer Kostenfaktor minimiert werden, Bauleiter sind dank des Systems durchaus in der Lage, mehrere Aufgaben zu übernehmen, es bleibt ihnen vor allem Zeit für wesentlichere Tätigkeiten.

Auch Ausführender B sieht den größten Nachteil im falschen Umgang digitaler Hilfsmittel. Diese sollen unterstützen und als Tool dienen, müssen jedoch ingenieurmäßig genutzt werden. Zudem können Systemfehler bei später Erkennung gravierende Auswirkungen haben.

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig mehr Bauherren digitale Dokumentationssysteme fordern werden, denn der Bedarf für Überwachungstools ist bei allen Interessengruppen vorhanden. Vor allem bei Hebungsinjektionen interessieren sich alle Beteiligten bereits dafür, da die Planung hier ausführungsbegleitend nach Analyse abgeschlossener Injektionsstellen, erfolgt.

Ausführender C

Die Arbeitsschritte aktueller Lösungen sind im Datenmonitoringbereich bei kleinen Baustellen noch durchführbar, bei steigenden zu verarbeitenden Massen in

kurzer Zeit, muss der Aufwand reduziert werden. Die Erleichterung durch eine automatisierte Abrechnung empfindet er als besonders interessant, sie hat aber nicht so hohen Einfluss auf die Abrechnungsgenauigkeit von Injektionen. Aus Erfahrung sind die Bohrungen der kostentreibende Faktor, bei welchen es sehr oft zu unvorhergesehenen Problemen kommt.

Durch die automatische Übertragung fällt der manuelle Datentransfer weg und das Aufbereiten von Protokollen und Diagrammen nach Schichtende reduziert sich zu einer Kontrolle; somit wird die Entlastung der Bauleitung als Hauptnutzen gesehen. Durch das Abspeichern von .csv-Dateien muss nämlich jede Datei geöffnet und zumindest kurz bereinigt werden, obwohl womöglich bereits durch ausführungsbegleitende Kontrollen der Erfolg sicher gestellt wurde. Gegenpol zu diesem Nutzen ist die eingeschränkte Bearbeitbarkeit der Daten in automatisierten Monitoringsystemen.

Kernaussagen

Zur Digitalisierung bei Injektionen offenbarten die Gesprächspartner Befürchtungen bezüglich des falschen Umgangs mit digitalen Hilfsmitteln seitens der Anwender und einen damit verbundenen Informationsverlust. Abseits dieser natürlichen Schwachstelle sehen sie großen wirtschaftlichen Nutzen durch Anwendung von neuen Datenmonitoringsystemen. Eine weite Verbreitung solcher wird jedoch erst nach Verankerung in Ausschreibungsunterlagen erfolgen.

3. Optimierung und Weiterentwicklung

Ausführender A

Bei der Optimierung und Weiterentwicklung muss zwischen arbeitserleichternden Programmen und Zusatzangeboten von IT-Firmen, welche lediglich die Darstellungsart betreffen, unterschieden werden. Es wird als problematisch angesehen, dass immer mehr IT-Unternehmen in den Baumarkt eindringen wollen und neue Systeme anbieten, welche vor allem durch innovatives Design und weniger durch Know-how zu bestechen wissen. Bauherren sehen solche Systeme und nehmen diese in die Ausschreibung auf, ohne ausreichend zu hinterfragen, ob diese wirklich mehr nützen, als dass sie zusätzliche Arbeit verursachen.

Grundsätzlich erfolgt die Planung von Injektionen anhand der Vorversuche. Nach Abschluss der Arbeiten kann analysiert werden, ob ein Injektionserfolg gegeben ist oder noch Arbeiten erforderlich sind. Kürzere Dokumentationsprozesse fördern die schnellere Entscheidungsfindung, eine simultane Adaptierung ist aber eher nicht möglich. Eine automatisierte Rasteranpassung wäre dennoch denkbar und von großem Vorteil, vor allem bei großen Kubaturen oder der Körperherstellung (z.B. Dichtsohlen), um so leichter das Erreichen des Injektionsziels gewährleisten zu können.

Entscheidend für die qualitative Entwicklung eines Produktes ist, dass die handelnden Personen selbst Erfahrung mit dem Produkt haben und wissen, wieso dieses gebraucht wird. Es nützt nichts, dass ein begabter Programmierer alles umsetzen kann, was von ihm verlangt wird, wenn er den Sinn dahinter nicht versteht. Solche

Entwickler, welche aus Ihrem eigenen Bedürfnis heraus Verbesserungen anstreben, gehören gefördert, da nur sie auch wirklich dem Bausektor zu nützlichen Werkzeugen verhelfen können. In jedem Fall hat das System, unabhängig von der detaillierten Funktionsweise, einfach, verlässlich, herstellerunabhängig, intuitiv und optimaler Weise preiswert zu sein.

Ausführender B

Ausführender B bezieht sich aufgrund der Mitentwicklung eines Systems mit einem Softwarehersteller auf eine andere Basis. Diesbezüglich beschränken sich die Aussagen eher auf spezifische Optimierungen des Produkts, als auf generelle im Sektor Injektionstechnik. Entscheidend für den Erfolg ist die Forderung des Systems seitens der Bauherren, da in deren Ausschreibungen der Einsatz verankert wird.

Die Datenkontrolle ist als vollkommen ausgereift anzusehen. Aufwendige Bearbeitungen sind durch diese obsolet; damit einher vermindert sich auch die Datenverzerrung, was für viele ein Umdenken bedeutet. Auf Dauer überwiegt der Vorteil von Transparenz in der Ausführung; um damit zurecht zu kommen, müssen nur manche Anwender die Philosophie des transparenteren Arbeitens verstehen lernen.

Bahnbrechend wird die Möglichkeit die injektionsspezifischen Daten in einen digitalen Plan hochladen zu können, damit diese auf der Baustelle durch Klick abrufbar sind. Im Zusammenhang solcher Verknüpfungen ist die Integrierung eines Ampelsystems, anhand welchem man sofort die Einhaltung des Bauzeitplans erkennen kann, wünschenswert. Aufbauend auf das Prozessmanagement und im Zusammenhang damit folgt der Wunsch nach aktuellen Bauzeitprognosen, zum Beispiel via Monte-Carlo-Simulationen, welche auf realen Daten aus dem Prozessmanagement basieren. Entscheidend dafür ist es neben den Herstellungsprozessen auch die Randprozesse mitzuerfassen, um so Tendenzen früh genug zu erkennen.

Ausführender C

Wegweisende Weiterentwicklungen müssen vor allem darauf abzielen sowohl Experten der Injektionstechnik als auch unerfahrene Anwender zufrieden zu stellen. Durch die Komplexität des Injektionswesens ist oft schwer nachzuvollziehen, warum aus einer kleinen Änderung der Parameter große Schlüsse gezogen werden. Daher ist es entscheidend immer eine gute Vergleichsbasis zu erhalten, im Sinne einer sauberen Dokumentation und Datenhaltung bzw. visuellen Darstellung der Parameter im Bauumfeld.

Eine der unmittelbar ansteuerbaren Verbesserungen in diesem Bereich ist das Generieren eines personalisierten Berichtslayouts, welches so adaptiv wie möglich gehalten werden muss, da ein jeder Anwender eigene Vorlieben bzw. Techniken der Kontrolle hat. In einem weiteren Schritt liegt es daran die Grafiken der Injektionsergebnisse zu verbessern. Wenige Baufirmen arbeiten in diesem Bereich mit visuellen Aufbereitungen, da der Aufwand für den messbaren Ertrag zu gering ist. Doch sind gerade Visualisierungen zur Interpretation von Injektionen interessant, es können zum Beispiel bereits Schemen der injizierten Gesamtmassen

das Verständnis für die Vorgänge im Untergrund schärfen.

Persönlich wünscht sich Ausführender C, dass das System baustellenspezifisch anpassbar ist und die Bearbeitung der Daten weniger eingeschränkt wird. Zudem glaubt er, dass sich eine große Verbreitung erst bei einem Preis des Datenmonitoringsystems von $< 0,5\%$ des gesamten Auftragsvolumens einstellt.

Zur Erhöhung des Bekanntheitsgrades sind Pilotprojekte wichtig. Vor allem erste Baustellen, auf welchen die Nutzen und die steigende Qualität der Ausführung ersichtlich sind, gilt es erfolgreich und mit geringeren Kosten für den Anwender abzuschließen. Dadurch kommt es dann automatisch zu einer Wiederverwendung, bei welcher dann mit realen Preisen die Gewinnspanne steigt. Dies funktioniert natürlich nur unter der Prämisse, dass die Höhe der Investitionen zu Beginn keine Rolle spielen und das System einen hohen Entwicklungsstand hat, bei welchem vor allem der reibungslose Ablauf gewährleistet werden kann.

Kernaussagen

In Bezug auf Weiterentwicklung und Optimierung ist Ausführenden eine sichere Datenhaltung und die Beschleunigung des Dokumentationsprozesses wichtig, da so eine schnellere Entscheidungsfindung sowie Planungsanpassung erfolgen kann. Des weiteren sind einfache Visualisierungen, welche das Verständnis der Vorgänge im Untergrund schärfen, hilfreich; im Sinne einer Integration der injektionsspezifischen Daten in digitale Pläne. Anhand von Ampelsystemen, welche einen SOLL-IST-Vergleich abbilden können daraufhin Bauzeitprognosen und Produktivitätsanalysen abgeleitet werden.

6.2.3 Planer und Sachverständiger

Analog zu den ausführenden Unternehmen erklärten sich drei Injektionsspezialisten von der Planungs- bzw. Forschungsseite für Fachgespräche bereit. Der Aufbau der Gesprächsanalyse gleicht somit dem bisherigen: Ähnlicher Input als allgemeine Aussage, differenzierende Meinungen nach anonymisierten Gesprächspartner.

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss

Grundsätzlich wird der Fokus bei den Gesprächen mit den Planern weniger auf den ersten Punkt gelegt, die wesentlichen Antworten sind viel mehr in den anderen zwei Themenblöcken vorzufinden. Nichts desto Trotz gab es auch hier einiges an Ergänzungen, welche wie gehabt zunächst als allgemeine Aussagen formuliert sind, um die wesentlichen Kommentare noch besser hervorzuheben.

Der zeitliche Verlauf muss bei der Datenaufzeichnung im Fokus stehen, die Entwicklung hat mehr Aussagekraft über den Injektionserfolg, als absolute Endwerte. Eine auf einander abgestimmte Taktung zur Harmonisierung der Parameter ist auch maßgeblich für die erfolgreiche Datenaufnahme und Berechnung von GIN-Kriterien oder ähnlichen. **Planer und Sachverständiger Z** gibt ergänzend an, dass im Sinne des gebirgsschonenden Injizierens die Druckentwicklung vor allem

nach Abschalten der Pumpe weiter aufgezeichnet werden soll, da nur so der aktiv wirksame Druck im Einpresskörper ersichtlich ist. Anhand dieses Drucks sollten dann Abbruchkriterien formuliert werden.

Als problematisch erweist sich meistens die Zuordnung der Daten, da es immer ein auf die Baustelle zugeschnittenes System für die Codierung gibt. Der Code muss eindeutig, darf aber auch nicht zu komplex sein, da ansonsten sehr schnell Falscheingaben passieren können, welche dann zu einer Misinterpretation führen. Für die Qualitätskontrolle ist es zudem entscheidend, dass die Pumpenfahrer Abweichungen vom Regelbetrieb oder spezielle Beobachtungen während der Injektion, wie etwa druckloses Verpressen bzw. den Abbruchgrund, gewissenhaft kommentieren. Im Regelbetrieb schaltet die Pumpe nach Erreichen eines Kriterium ab, denkbar wäre auch ein Warnsystem, welches anhand statistischer Analysen das Abweichen vom Regelbetrieb erkennt und dementsprechend eine Kommentierung verlangt.

Bislang gab es bei größeren Projekten immer Plattformen, auf welche alle Interessengruppen zugriffen. Bei langen Bohrungen mit mehreren Passen fassen betreuende Geologen oft diese, mit Beziehung auf Bohrlochaufzeichnungen und geologischen Schnitt, in einem Blatt zusammen. Dieser Prozess kann durch einen direkten Zugriff auf Live-Daten bzw. eine direkte Abbildung solcher Sammelblätter beschleunigt werden. Außerdem diene dies einer Vereinheitlichung; bislang gab es immer nur eigens entwickelte Sonderlösungen, welche sehr zeitaufwändig und dementsprechend mit Verzögerungen zum Bauablauf behaftet waren. **Planer und Sachverständiger Y** entwickelt zum Beispiel solche selbst gestrickten Lösungen mit Programmen wie AutoCAD oder Tableau und hat dementsprechend Erfahrung mit den Schwierigkeiten der Datenübertragung. Eine Integration in übergreifende Baustellensoftwares hält er außerdem für äußerst sinnvoll, da so großes Konfliktpotential, im Sinne der Logistik und des Informationsdefizites anderer Gewerke, eliminiert wäre.

Die Injektionsdaten sind als Grundlage für neue Planungen denkbar, unter der Prämisse, dass die Projekte nach Verfahren, Geologie und Materialeinsatz vergleichbar sind. Weiters sieht **Planer und Sachverständiger Y** den wirtschaftlichen Nutzen in der Analyse der Umsetzzeiten. Gerade weil Mengen und Pumpenstunden die verrechenbaren Lesitungspositionen sind, haben Nebenleistungen eigentlich einen umso höheren Stellenwert. Kurze Pumpzeiten bedeuten nämlich mehr Aufwand an Nebenleistungen und somit mehr Verlust, was die Umsetzzeit zum entscheidenden Leistungswert macht. Zusätzliche wirtschaftliche Bedeutung hat eine automatisierte Massenermittlung anhand der Baustellendaten, welche er teilweise zum ersten Mal vor kurzem auf einer Baustelle zu Gesicht bekam. Im Detail handelte es sich dabei um das Aufmaß-Tool von eguana, welches eine Integration der Daten in das Abrechnungsprogramm iTwo ermöglicht.

Kernaussagen

Bei der Datenaufnahme ist laut den Planern und Sachverständigen der Fokus auf den zeitlichen Verlauf der Parameter zu legen. Um qualitative Planungsanpassungen durchführen zu können, wünschen sie sich den Zugang zu Daten in Echtzeit mit klarer Ablagestruktur. Auch die Qualitätssicherung kann so besser erfolgen,

da Abweichungen und Materialkontrollen sowie die verbauten Massen schneller erkennbar sind.

2. Digitalisierung im Spezialtiefbau

Planer und Sachverständiger X

Die Frage, inwieweit digitalisiertes Datenmonitoring nötig ist, korreliert sehr zwischen den Produktkosten und dem tatsächlichen Nutzen. Mit größeren Datenmengen bzw. Baustellen steigt der Bedarf an einem höheren Digitalisierungsgrad. Bei solch großen Kampagnen, welche sich durch vorseilende Injektionen, große Bohrlängen oder viele Bohrungen je Querschnitt charakterisieren, sind vor allem Visualisierungen sehr hilfreich.

Eine 100%ige Automatisierung des Bauverfahrens ist in der Injektionstechnik aufgrund der Art der Prozesse niemals möglich, da immer mit unvorhersehbaren Ereignissen gerechnet werden muss, welche nur durch die verbale Dokumentation, somit dem Austausch mit den gewerblichen Mitarbeitern, zu erhalten sind.

Hauptnutzen einer fortschreitenden Digitalisierung sieht er in der Verarbeitung großer Datenmengen in kurzer Zeit und deren Darstellung, welche es ermöglichen, Problemstellen früher zu erkennen. Nur so kann zeitnah reagiert werden, sei es durch eine Nachinjektion oder das Fortschreiben der Parameter.

Das Injizieren an sich ist eine gewachsene Kunst, welche sich immer durch Eigenheiten auszeichnet. Der damit einher gehende Nachteil ist die stetige Anpassung an neue Injektionskampagnen und der damit verbundene Personalbedarf in der IT. Generell sieht auch er das Anwenderproblem vordergründig, aufgrund von Bequemlichkeit durch die Automatisierung kommt es zu Nachlässigkeiten seitens des Personals und somit zu einem reinen Verlassen auf die digitalen Daten.

Planer und Sachverständiger Y

Digitales Datenmanagement ist an sich im Spezialtiefbau rückständig, bei keinem der einzelnen Prozesse gibt es bisher die Möglichkeit, die Daten in Echtzeit abzugreifen. Durch Echtzeitdaten und deren schnelle Integration können erst beispielsweise die Auswirkungen von Injektionsmaßnahmen auf die statische Bemessung der Ortsbrust und dergleichen erfasst werden. Ein weiteres Beispiel für den Spezialtiefbau allgemein wäre die Herstellung einer lückenlosen Bohrfahlwand anhand eines digitalen Längenschnitts.

Um sich am Markt etablieren zu können, sind erfolgreiche Pilotprojekte notwendig, nach deren Abschluss qualitative Aussagen getroffen werden. Diese sind essenziell, um den Bauherren den Nutzen vor Augen zu führen, da eben sie über den Einsatz innovativer Dokumentationssysteme entscheiden. Laut Planer und Sachverständiger Y macht es aber auf jeden Fall bereits ab einer Laufzeit von einem Monat Sinn, digitales Monitoring anzuwenden.

Einher mit der Investition in solche Systeme geht nämlich die zeitliche Entlastung der Mitarbeiter, vor allem die aufwändige Datenaufbereitung nach Schichtende, womit eine hohe Anzahl an Überstunden, entfiel. Zudem wird die Transparenz

gefördert, das bedeutet das Wissen über Zwischenstände, welches die Kostensicherheit erhöht und Gewissheit über den Kostenverlauf schärft. Neben den wirtschaftlichen Faktoren ist auch durch Integration von Handlungsempfehlungen eine Qualitätssteigerung denkbar und auch die Aufbereitungsmöglichkeiten steigen.

Nachteile gibt es seitens digitaler Datenerfassungssysteme für Planer und Sachverständiger Y eigentlich keine. Es besteht zum einen das grundsätzliche Problem bei Bodenverbesserungsmaßnahmen, wie die Interaktion zwischen Boden und Baumaßnahme erfolgt und, dass anhand weniger Parameter die Auswirkungen erkannt werden müssen. Zum anderen ist die Datengenauigkeit immer von der exakten Arbeitsweise der Mitarbeiter abhängig, egal mit welchem System. Auf jeden Fall müssen die Daten akkurat sein, dann erst kann es erstmalig zu einer genauen Abrechnung und Auswertung kommen.

Planer und Sachverständiger Z

Um den Digitalisierungsgrad von Spezialtiefbauprozessen einstuft zu können, muss man das Wesen der einzelnen Vorgänge kennen und verstehen. Laut Planer und Sachverständiger Z sind womöglich die Aufzeichnungen bei Rüttelstopfverdichtung, Einbringen von Schmalwänden oder auch die Energieaufzeichnung beim Bohren besser digitalisiert, doch ähnelt keine dieser dem Wesen der Injektion, welche vielmehr mit der neuen österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT) vergleichbar ist. Diese charakterisiert sich durch die ausführungsbegleitende Planung und das ständige Anpassen der Ausbaufestlegung an die Gegebenheiten des Gebirges. Am ähnlichsten der Injektion ist im Bezug auf die Dokumentation das Düsenstrahlverfahren, nur dass bei diesem mehr Parameter Einfluss haben und nicht wie bei Injektionen die Bewertung des Erfolgs auf Druck und Durchfluss herunterzurechnen ist.

Großes Potential in der Digitalisierung bietet die geordnete Datenverwaltung, die insbesondere die Beantwortung technologischer Fragestellungen, welche während der Arbeiten aufkommen, ermöglicht. So wird der Dialog zwischen den Disziplinen erleichtert und die Qualität der ausführungsbegleitenden Planung erhöht. Durch eine gewissenhafte Datenhaltung sind dann automatische Massenermittlungen nicht nur möglich, sondern auch erforderlich, um die bauwirtschaftliche bzw. baubetriebliche Verknüpfung der Triade - Leistungsverzeichnis, technische/wirtschaftliche Optimierung und Datenerfassung/Abrechnung - durchführen zu können. Entscheidend dafür ist ein vertraglich anpassbares System, welches auf die Besonderheiten des im Leistungsverzeichnis verankerten Bauprojektes eingeht.

Nachteile der zunehmenden Digitalisierung sieht Planer und Sachverständiger Z zum einen im "Zurücklehneffekt", welcher durch die scheinbare "alles unter Kontrolle" - Prozessleitung gefördert wird. Die Tendenz zum Injizieren nach Leistungsverzeichnis mit gleichzeitiger Generierung der Abrechnungsunterlagen reduziert die Aufmerksamkeit der dialogorientierten Planungsphilosophie in der Injektionstechnik. Für Unternehmer ist die steigende Transparenz als nachteilig zu sehen, da durch die Klarheit der Verhältnisse Nachtragspotential entfällt. Grundsätzlich sollte im Zusammenhang mit mehr Transparenz bereits in der Angebotsphase Umdenken stattfinden, weg von den hoch spekulativen Preisen,

welche erst über Nachträge oder Mehrmengen wirtschaftlichen Ertrag bringen.

Kernaussagen

Grundsätzlich steigt der Bedarf an Digitalisierung, Echtzeit-Daten sowie die Verarbeitung großer Datenmengen in kurzer Zeit werden immer wichtiger. Das Verständnis über die dialogorientierte Planungsphilosophie beim Injizieren ist eminent, um auch eine baubetriebliche und bauwirtschaftliche Verknüpfung herstellen zu können. Probleme mit Digitalisierung resultieren zumeist aus einer falschen Anwendung, was zu Beginn den Personalbedarf an IT verstärkt.

3. Optimierung und Weiterentwicklung

Planer und Sachverständiger X

Große Bedenken äußert Planer und Sachverständiger X betreffend die Veränderung der Kommunikation auf der Baustelle, da vor allem der dialogorientierte Informationsaustausch entscheidend für das Überbringen aller Informationen ist. Denn nicht jegliche Information ist digital erfassbar. Zudem sieht er eine Reduktion der menschlichen Kontrollmöglichkeit, denn Maschinen arbeiten ohne das Zutun von Menschen auch alleine.

Unmittelbare Verbesserungen sind trotzdem in jeden Fall erreichbar, allein eine zeitnahe, komplettere sowie sauberere Dokumentation und eine klare Ablagestruktur mit erleichtertem Zugriff, seien bereits äußerst hilfreich. Damit im Zusammenhang wäre die Entwicklung von Sammelblättern pro Bohrloch mit sämtlichen Passen, möglicherweise noch verknüpft mit Bohrlochscans, wünschenswert. Vor allem das Erkennen der Gegebenheiten auf einen Blick mit Hilfe von visuellen Lösungen ist immer enorm hilfreich. Zum Beispiel anhand eines Zylinders je Passe, aus welchem gleich drei Informationen geholt werden: Die Menge an Injektionsmittel über die Größe, die Art des Injektionsmittels (chemisch, zementbasiert, Mischungsverhältnis) über die Farbe bzw. Farbintensität und der Enddruck über eine Schattierung.

Um Erfolg zu haben, muss ein System intuitiv und übersichtlich, somit für alle möglichen Anwender geeignet sein. Zudem sieht auch er die einzige Möglichkeit sich am Markt etablieren zu können im Beeindrucken von Auftraggebern, welche das System dann in ihre Ausschreibungen mitaufnehmen.

Planer und Sachverständiger Y

Als Schwachstelle ist bei manchen Systemen noch die Gefahr des Datenverlusts während der Übertragung zu sehen. Diesem Umstand wird aber bereits Abhilfe, durch die Verwendung stabilerer Kommunikationstechnologien und eine sicherere Serverstruktur verschafft. In der Sicherstellung von Stabilität und Genauigkeit der Daten liegt das größte Potential.

Weiteres Optimierungspotential haben Visualisierungen, vor allem bei Sonderlösungen. Diese können Rückschluss für Planänderungen geben, Interaktionen zwischen Bauwerk und Umgebung ersichtlich machen und eine Analyse des SOLL-IST

Vergleichs vereinfachen. Eine Verknüpfung der Daten mit Plänen bzw. geologischen Aufschlüssen ergäbe ebenso zahlreiche Vorteile. Die Entwicklung solcher ist zwar kostspielig und für die breiten Massen vermutlich unnahbar, für die Injektionsspezialisten aber bestimmt das spannendste und, wenn erfolgreich, das aussagekräftigste Werkzeug.

Damit ein System dauerhaft erfolgreich sein kann, muss es sich stetig weiterentwickeln, Datenverluste ausschließen können, herstellerunabhängig und von überall aus auch via Handhelds (Smartphones, Tablets) bedienbar sein. In jedem Fall ist nämlich der Komfort des Endusers entscheidend, ob ein Produkt heutzutage angenommen wird. Es muss dem Benutzer freies Arbeiten ermöglichen, ohne dass er sich damit beschäftigen muss, was im Hintergrund abläuft.

Planer und Sachverständiger Z

Die große Schwachstelle neuer Datenmonitoringsysteme ist zur Zeit noch die geringe Flexibilität in der Ausführung. Nach Festlegung des zu generierenden Systems läuft man Gefahr, an Wachsamkeit nachzulassen. Generell offenbart es sich als keine Unbekannte, dass in der Planung zu wenig flexibel auf Probleme eingegangen wird. Zum Beispiel würde das Vorhalten mehrerer Injektionsmittel und Mischungen diesem Phänomen bereits etwas Abhilfe verschaffen.

Der entscheidendste Faktor für den Erfolg von neuen Monitoringsystemen und damit die unmittelbarste Verbesserung, an welcher gearbeitet werden muss, ist die Qualitätssicherung; die korrekte Reihenfolge der zu bearbeitenden Injektionsstellen in der Ausführung steht dabei im Mittelpunkt. Anomalien, also Abweichungen vom Regelbetrieb und die weitere Vorgehensweise lassen sich nur anhand der aufgezeichneten Daten festlegen. Im Zusammenhang damit ist eine bildliche Darstellung der Parameter pro Passe interessant.

Injektionen sind historisch gesehen mehr eine Kunstform als ein ingenieurmäßiger Prozess. Diesen Kunstfaktor gilt es zu neutralisieren und zu ordnen, denn digitalisiert bedeutet unter anderem geordnet. Viele Fachleute wehren sich noch erfolgreich dagegen, doch muss einem Ingenieur bewusst sein, dass Fortschritt nicht in Verbindung mit Furcht vor Neuem zu bringen ist. Vor allem wenn dieser unaufhaltsam voranschreitet und eher einer geordneten Förderung als einer Vernachlässigung bedarf.

In der Entwicklung und bei der Integration von zusätzlichen Funktionen gilt es, mehr die Ingenieurgeologen einzubinden, da erfahrungsgemäß die Verformbarkeit des Gebirges wesentliche Auswirkungen auf den Injektionserfolg hat. In diesem Zusammenhang ist eine Verknüpfung vorstellbar, welche eine automatische Analyse der abgeschlossenen Injektionsstellen zulässt, beispielsweise zur Eruiierung wie viele der Sekundärpassagen mehr als 50 % der Primäraufnahmen vorweisen.

Zukunftsorientierte Digitalisierung im Datenmonitoring wird sich grundsätzlich auch mit dem Einbau von Algorithmen und der Integration von Abbruchkriterien in der Steuerung beschäftigen. Zu achten haben Entwickler diesbezüglich auf eine breite Anwendbarkeit des Produktes, je spezieller das Thema ist und die Fachphilosophien divergieren, umso mehr ist die Anzahl der Unterstützer aus der Fachwelt entscheidend. Zum Beispiel sieht Planer und Sachverständiger Z

die Integration von *Real Time Grouting Control* (RTGC) zwar als interessant und innovativ an, doch empfindet er das Abbruchkriterium als zu komplex für eine Massenanwendung. Mehr Chancen für eine erfolgreiche Umsetzung gibt er der *Apparent-Lugeon-Methode*, der *Transient Pressure Analysis* (TPA) und dem *Aperture Controlled Grouting* (ACG).

Um selbst als Entwickler auf diesem Gebiet erfolgreich sein zu können, muss man vor allem den Stellenwert des Datenmonitorings verstanden haben. Die digitale Optimierung liegt in der Schnittstelle zwischen den klassischen Zielen von Bauherr und Bauunternehmen: geringe Kosten zu maximalem Ertrag. Um beide Seiten zufrieden stellen zu können, gilt es vor allem normentreu, sauber zu arbeiten und die Schnittstelle zum Leistungsverzeichnis für eine nachvollziehbare, korrekte Abrechnung zu schließen.

Kernaussagen

Optimierung basiert auf einer sicheren Datenhaltung und Ablagesruktur. Daraus können Kontrollen über die korrekte Ausführung, in beispielsweise Form von Sammelblättern je Bohrloch zur Qualitätskontrolle gebildet werden. Die Visualisierung von Körpern mit Struktur und die Einbindung von Ingenieurgeologen zur interdisziplinären Abwicklung der Injektionskampagnen ist dafür ein hilfreiches Mittel. Auch eine Integration von Algorithmen in Bezug auf Abbruchkriterien wäre durchaus denkbar. In jedem Fall gilt es Flexibilität zu bewahren, damit die Systeme variabel einsetzbar sind. In der Anwendung sollen diese intuitiv sowie übersichtlich sein und dabei stets ein normentreues Arbeiten fördern.

6.2.4 Auftraggeber

Zwei Gesprächspartner ließen sich auf Seiten der Auftraggeber finden, welche zwar beide noch nie selbst Injektionen ausgeführt haben, aber beide neben der Ausschreibung auch als Bauherrenvertreter auf Injektionsbaustellen in der Funktion von Bauüberwachung bzw. technischer Projektsteuerung tätig waren. Somit verfügen sie über fundiertes Wissen im Datenmanagement und konnten qualitativ hochwertigen Input beisteuern. Da es sich nur um zwei Gesprächspartner handelt, werden deren Aussagen im Anschluss durchgehend gemeinsam analysiert bzw. gegenübergestellt.

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss

Wie bereits bei den Auftragnehmern beschrieben, gehören Druck- und Durchflussmesser zur Standardausrüstung seitens der Messelemente. Auch der Datenakquirierungsprozess wurde bereits ausführlich erörtert, weshalb nachfolgend vor allem auf besondere Bedürfnisse seitens der Auftraggeber eingegangen wird. Die Art der Datenaufzeichnung sowie Aufbereitung obliegt den ausführenden Unternehmen, die Qualität der Aufzeichnungen ist von Bedeutung, nicht wie diese zustande kommt. Im Gegensatz zu bisherigen Erläuterungen muss an dieser Stelle nur erwähnt werden, dass die Dokumentation bei Ankerverpressungen noch komplett

handschriftlich erfolgt. Details zu Anforderungen im Datenmanagement beziehen sich daher immer auf klassische Injektionen im Tunnelbau.

Entscheidend für Auftraggebervertreter ist vor allem die korrekte Datenaufnahme in Abhängigkeit der Zeit, nach Tiefe sowie Pässe. Die Übermittlung erfolgt bei großen Projekten über eigens eingerichtete Austauschserver, ansonsten via E-Mail oder im Falle der Handprotokolle nach Übergabe bei periodisch festgelegten Baubesprechungen. Grundsätzlich ist die Art der Speicherung und der Datentransfer für den Auftraggeber irrelevant, solange die vertraglich vereinbarten Fristen eingehalten werden.

Zur Qualitätskontrolle der ausgeführten Arbeiten ist ein Vertreter der Bauaufsicht vor Ort, um zum einen die korrekte Zuweisung der Injektionsstellen und zum anderen, um Störungen im Arbeitsablauf richtig zuordnen zu können. Eine gewissenhafte Kommentierung der Geschehnisse wird von den ausführenden Unternehmen gefordert, je detaillierter umso besser, in welcher Form dies geschieht, ist jedoch für den Auftraggeber irrelevant. Da das Baugrundrisiko beim Bauherren liegt, ist es auch entscheidend, eine möglichst detailreiche Arbeitsanweisung zu verfassen. Vor allem bei der Ankerverpressung muss festgelegt sein, unter welchen Umständen ein Schutzstrumpf bei der Injektion verwendet wird, damit das Injektionsgut sich nicht im Erdreich verflüchtigt sondern gezielt den Anker ummantelt. Die Bestätigung der korrekten Ausführung der Arbeiten erfolgt zunächst durch die Bauaufsicht; nach der Unterzeichnung durch den Auftraggeber werden diese in digitaler und auch in Papierform abgelegt.

Die Qualität der Injektionsmittel ist ein großes Anliegen der Gesprächspartner. Eine regelmäßige Kontrolle der Materialparameter Dichte, Viskosität, Absetzmaß und W/B-Gehalt hat zu erfolgen. Bei großen Injektionskampagnen mit automatischer Einwaage ist von höherer Qualität der Mischungen auszugehen, als bei händischer Mischung mit Kompaktanlagen, womit dies vor allem bei der Ankerverpressung große Relevanz hat.

Die Dokumentation des Arbeitsfortschritts erfolgt bei Kleinbaustellen noch durch Abzeichnen der Injektionspunkte auf den Plänen mittels Leuchtmarkern. Bei Großbaustellen gibt es teilweise Sonderlösungen im Sinne einer automatisierten Vortriebsmitteilung. Da Injektionen bei solchen Bauvorhaben jedoch meist nur als nicht konstante Begleitmaßnahme auftreten, wird dies oft vernachlässigt bzw. nicht weiter hinterfragt. Der Einsatz von Visualisierungen zeichnet sich als Kostenfrage ab. Diese sind zwar interessant aber nicht immer relevant, da normalerweise Injektionsexperten vor Ort sind, von welchen erwartet wird, dass sie auch ohne visuelle Aufbereitung in der Lage sind die Daten zu analysieren; nicht zuletzt deshalb, weil sie auch in Ländern tätig sind, in welchen sie ohne technische Hilfsmittel dieses Ausmaßes zurecht kommen müssen. Unter "Optimierung und Weiterentwicklung" wird darauf noch detaillierter eingegangen.

Eine Definition der Elementkosten erfolgt anhand abgeschlossener Baustellen, Datensätze dienen somit als Kalkulationsgrundlage. Jede größere Baustelle hat jedoch eigene Randbedingungen seitens Geologie und Stand der Technik, weshalb oft nur eine generelle Erfahrungsgewinnung aus den Daten abgeleitet wird. Eine automatische Aufmaßerstellung steht den Bauunternehmen frei, auf jeden Fall

muss die Transparenz der Massenermittlung und die Abrechnungsgenauigkeit gewährleistet sein. Bei Ankerverpressungen entsprechen die einzelnen Protokolle den Aufmaßblättern.

Die digitale Entwicklungsstufe im Datenmanagement hängt stark von der beauftragten Baufirma ab; im Falle von Pfahlverpressungen gab es bislang keine andere Variante, als diese handschriftlich und daher komplett analog, auszuführen. Sobald vermehrt Kenntnis über Monitoringsysteme herrscht, werden diese vermutlich in die Ausschreibung mitaufgenommen, jedoch unter Berücksichtigung des freien Wettbewerbs, was bedeutet, dass selbst kleinen Bauunternehmen nicht die Möglichkeit genommen werden darf, mit anzubieten.

Kernaussagen

Der Fokus ist in der Aufzeichnung auf die Qualität zu legen, ohne dabei die Einhaltung von Fristen im Dokumentationsprozess zu vernachlässigen. Wichtig ist zudem eine gewissenhafte Kommentierung der Geschehnisse, um alle Informationen transparent weitergeben zu können. Die Qualitätskontrollen der Injektionsmittel soll ebenfalls aufgezeichnet werden.

2. Digitalisierung im Spezialtiefbau

Der digitale Fortschritt in der Injektionstechnik im Vergleich zu anderen ist aufgrund mangelnder Kenntnis über andere Bauprozesse im Spezialtiefbau schwer einzuschätzen. Vermutungen über bessere Digitalisierung bei Großbohrpfählen und Litzentankern bestehen, da diese meist auf Baufeldern errichtet werden, welche sich im Vergleich zu Schutzverbauungen weniger in der Länge erstrecken. Bei solchen Arbeiten mangelt es oft an digitalen Lösungen, da die Positionierung der Geräte in unwegsamem Gelände erfolgt und keine Station im Sinne eines Injektionscontainers oder Ähnlichem vorzufinden ist.

Generell wird der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten großes Potential eingeräumt; im Auge ist jedoch immer der Nutzen und eine Effizienzsteigerung zu behalten, ohne dabei Expertisen ersetzen zu wollen. Die Entwicklung von Algorithmen, welche die Herstellung analysieren, um dann Handlungsempfehlungen auszusprechen, ist durchaus vorstellbar, im Sinne von *Pressure Sensitive Grouting* oder *Real Time Grouting Control*.

Der große Nutzen der vorangehenden Digitalisierung ist die klar strukturierte Datenhaltung. Sie ermöglicht, den Überblick über große Datenmengen zu bewahren. Ein effizientes Dokumentationssystem geht auch mit einer Genauigkeitssteigerung einher. Durch eine klare Strukturierung und Ablage wird für Sanierungsprojekte in Zukunft eine optimale Grundlage geschaffen. Als vorteilhaft für ausführende Unternehmen wird vor allem die Zeitersparnis gesehen, um sich auf entscheidendere Aufgaben, ohne Verlust der sauberen Aufbereitung, konzentrieren zu können.

Als nachteilig erweist sich primär der Umgang mit digitalen Errungenschaften, da oft ein blindes Vertrauen mit der Schaffung entlastender Systeme einhergeht und Anwender vermehrt verlernen, ingenieurmäßig zu denken. Auch in diese Kerbe

schlägt das Bedenken, wie die Reaktion auf einen Ausfall des Systems entfällt. Die Entwicklung darf nicht zu einer Systemabhängigkeit führen.

Durch die Integration der Abrechnung gäbe es eine denkbare Fehlerminimierung und Zeitersparnis, da sich grundsätzlich die Minderung von Zwischenschritten senkend auf die Gefahr von Datenverlusten im Form von Ziffernstürzen oder Ähnlichem auswirkt. Entscheidend, ob eine automatisierte Abrechnung erfolgen darf, ist jedoch das Vertragsmodell zwischen Injektionssubunternehmer und ARGE.

Vor allem bei großen Sonderlösungen, wie beispielsweise Verkehrstunneln mit einer Bauzeit von mehreren Jahren, wird ein erhöhter Grad der Digitalisierung und Automatisierung gefordert, da allein die schier unendliche Menge an Daten bei solchen Projekten kaum zu bewältigen ist.

Kernaussagen

Digitale Systeme sind erst dann hilfreich, wenn sie überall funktioniert; auch in unwegsamem Gelände oder unter Tage. Eine klare Datenstruktur und sichere Ablage gilt es vor allem bei Großprojekten mit hohem Datenaufkommen zu bewahren. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Systemstabilität zu legen.

3. Optimierung und Weiterentwicklung

Die Aufzeichnung der Daten muss verlässlich funktionieren, egal in welchem Bereich. Daher hat das System möglichst einfach, intuitiv und auch durch Personen mit geringerer Ausbildung bedienbar zu sein. Generelle Schwachstellen und somit Optimierungspotential gibt es zurzeit noch in der Datenkalibrierung, welche vor allem auf die noch nicht vollständig ausgereifte Sensorstabilität fußt.

Aus Sicht der Auftraggeber ist vor allem der korrekte Umgang untereinander und das Einhalten der Zuständigkeiten für eine ausführungsbegleitende Planung und das Früherkennen von ungünstigen Entwicklungen im Bauablauf wichtig. Die Zuteilung, wer für welchen Prozess die Verantwortung trägt und somit die Entscheidungsgewalt inne hat, wirkt sich direkt darauf aus. Bei der Erstellung von Anker wäre die Integration des Bohrfortschritts in das Monitoringsystem sehr hilfreich.

Persönliche Anforderungen aus Sicht der Auftraggeberseite sind vor allem Stabilität des Systems und Datengenauigkeit. Der Fokus muss auf einheitliche Protokolle und Datenverarbeitung gelegt werden. Standardisierung dient nämlich der Übersichtlichkeit und ist Basis für eine genauere Abrechnung. Der Schritt hin zur in den letzten Jahren immer fortschrittlicheren Ausführung muss seitens des Datenmanagements erfolgen.

Um in diesem Bereich unternehmerisch erfolgreich sein zu können, gilt es vor allem, einen guten Support zu bieten, da die Anwender selbst meistens nicht auf eine umfassende IT-Ausbildung zurückgreifen können. Für eine optimierte Entwicklung wäre es zudem empfehlenswert, eine Fachperson auf dem Gebiet der Injektionstechnik im Team aufzunehmen.

Kernaussagen

Optimierungsbedarf liegt vor allem in einer stabilen Anwendung und der Schaffung von verlässlichen Automatisierungsprozessen. Dann können Daten beispielsweise als Basis für genaue Abrechnung fungieren. Die Integration des Bohrfortschritts wird als wichtig erachtet; dieser ist nämlich oft leistungsentscheidend. In jedem Fall muss auf einen guten Support und die Einbindung von Injektionsfachleuten Wert gelegt werden.

6.2.5 Kernaussagen

In Tabelle 6.1 sind zum Abschluss stichwortartig die Kernaussagen der Gesprächsteilnehmer, gegliedert nach Berufsgruppen, zusammengefasst.

Kernaussagen	Ausführende	Planer und Sachverständige	Auftraggeber
Datenaufnahme	Vereinfachung der Dokumentationsarbeiten	Zeitlicher Fokus, Echtzeit-Daten, Qualitätssicherung	Fokus auf Qualität, Fristen einhalten, Kommentierung
Digitalisierung	Wirtschaftlicher Nutzen, Verankerung in Ausschreibungen, Befürchtungen zu falschem Umgang	Verarbeitung großer Datenmengen, Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Verknüpfung, Personalbedarf IT	Systemstabilität - auch abgelegen oder unter Tage, klare Datenstruktur
Optimierung und Weiterentwicklung	sichere Datenhaltung, Visualisierungen, SOLL-IST-Vergleich, Bauzeitprognosen, Produktivitätsanalysen	sichere Datenhaltung, Körper mit Strukturen, interdisziplinär, Algorithmen, Abbruchkriterien, Intuitive und einfache Anwendung, normentreu	Verlässlichkeit, Abrechnungsgrundlage, Bohrfortschritt, Support, Einbindung von Fachleuten

Tabelle 6.1: Kernaussagen der Gesprächspartner

Anforderungen an Datenmonitoringsysteme

Um die Potentiale neuer Datenmonitoringsysteme definieren zu können, muss zunächst verstanden werden, welche Anforderungen an diese seitens der Bauwelt bestehen. Demnach gilt es, die Gespräche zu analysieren und auf die Analyse aufbauend Anforderungsprofile zu entwickeln. Daraufhin kristallisieren sich die Potentiale heraus, welche zukunftsweisende Entwicklung ermöglichen.

7.1 Analyse

Die Fachgespräche zeigen in den vorliegenden Argumentationen die Komplexität von Injektionsarbeiten auf. Damit im Zusammenhang steht, dass es noch keine Standards gibt, wie Lösungen für neue Datenmonitoringsysteme auszusehen haben. Abhängig von Berufsgruppe und Erfahrung streuen diesbezüglich die Meinungen. Insofern lassen sich eher Tendenzen erkennen, welche Ideen einer Förderung würdig sind und sich für innovative Entwicklungen eignen.

Vor allem die Unterscheidung der Berufsgruppen hat die Interessen der Gesprächspartner, egal ob wirtschaftlicher oder technischer Natur sowie die Befürchtungen bzgl. Digitalisierung und in einem weiteren Schritt Industrie 4.0, aufgezeigt.

7.1.1 Kategorisierung

Kapitel 6.2 stellt eine Zusammenfassung der Gesprächsinhalte dar und gibt einen Überblick über das umfangreiche Thema. Basierend auf der im Anhang B befindlichen Notizen zu den Gesprächen wurden Kategorien erarbeitet, welche durch **fettes Hervorheben** am Ende der jeweiligen Frage erkennbar sind.

In den Abbildungen 7.1 und 7.2 sind die unterschiedlichen Kategorien inklusive Unterkategorien aufgelistet. Nach Berufsgruppen und Gesprächspartnern unterteilt, erfolgt eine Einstufung (Skala von 1-5) nach Relevanz der Unterkategorie für die jeweilige Person. Details zur Bewertung sind im Anschluss nachzulesen:

Gesprächspartner		Ausführende Unternehmen				Planer und Sachverständige				Auftraggeber					
Kategorie	Unterkategorie	A	B	C	Ø	%	X	Y	Z	Ø	%	1	2	Ø	%
Qualitätskontrolle	Injektionsgut	1	3	1	1,7	33	5	3	5	4,3	87	5	5	5,0	100
	Kommentierung - Dialog	3	2	3	2,7	53	5	5	5	5,0	100	4	4	4,0	80
	Korrekte Ausführung	1	2	1	1,3	27	4	5	4	4,3	87	3	4	3,5	70
	Σ = 83/120 Punkte	5	7	5	17/45	38	14	13	14	41/45	91	12	13	25/30	83
Datenhaltung	Sicherheit - Firmenschutz	3	2	3	2,7	53	1	2	2	1,7	33	2	4	3,0	60
	Belastbarkeit - Qualität	3	4	3	3,3	67	3	5	5	4,3	87	4	5	4,5	90
	Datenbank	2	4	2	2,7	53	5	5	5	5,0	100	2	5	3,5	70
	Σ = 81/120 Punkte	8	10	8	26/45	58	9	12	12	33/45	73	8	14	22/30	73
Vorteile	Entlastung auf der Baustelle	4	5	5	4,7	93	2	4	2	2,7	53	2	2	2,0	40
	Transparenz	2	3	2	2,3	47	3	5	4	4,0	80	3	4	3,5	70
	Aufbereitungsmöglichkeiten	1	3	3	2,3	47	4	5	4	4,3	87	2	2	2,0	40
	Σ = 76/120 Punkte	7	11	10	28/45	62	9	14	10	33/45	73	7	8	15/30	50
Weiterverwendung der Daten	Abrechnung	2	4	3	3,0	60	1	3	4	2,7	53	5	4	4,5	90
	Leistung - Kalkulation	2	4	3	3,0	60	3	3	3	3,0	60	2	2	2,0	40
	Planung - Projektmanagement	2	5	2	3,0	60	4	5	4	4,3	87	3	2	2,5	50
	Σ = 75/120 Punkte	6	13	8	27/45	60	8	11	11	30/45	67	10	8	18/30	60
Visualisierungen	Listen (je Bohrung/Pfahl)	1	5	2	2,7	53	4	4	3	3,7	73	4	1	2,5	50
	Integration der Planung	2	3	1	2,0	40	5	5	3	4,3	87	2	2	2,0	40
	Körper mit Eigenschaften	1	2	4	2,3	47	5	5	5	5,0	100	3	1	2,0	40
	Σ = 73/120 Punkte	4	10	7	21/45	47	14	14	11	39/45	87	9	4	13/30	43
Datenaufnahme	Zuverlässigkeit - Genauigkeit	3	3	3	3,0	60	3	5	3	3,7	73	4	5	4,5	90
	Zeitfaktor	1	1	1	1,0	20	5	3	5	4,3	87	1	3	2,0	40
	Live-Daten	1	4	2	2,3	47	4	4	2	3,3	67	2	3	2,5	50
	Σ = 71/120 Punkte	5	8	6	19/45	42	12	12	10	34/45	76	7	11	18/30	60

Abbildung 7.1: Kategorisierung - Teil 1

Gesprächspartner		Ausführende Unternehmen				Planer und Sachverständige					Auftraggeber					
Kategorie	Unterkategorie	A	B	C	Ø	%	X	Y	Z	Ø	%	1	2	Ø	%	
Projekteignung für Investition in Datenmonitoring	Baustellengröße nach Umsatz	1	1	4	2,0	40										
	Datenreiche Kampagne	1	1	4	2,0	40	2	2	2	2,0	40	2	2	2,0	40	
	Abhängig von AG bzw. Norm	4	2	3	3,0	60	5	4	4	4,3	87	3	4	3,5	70	
	Σ = 66/120 Punkte	6	4	11	21/45	47	11	7	10	28/45	62	8	9	17/30	57	
Protokollwesen	Schnelle Bearbeitung	3	4	4	3,7	73										
	Einheitlichkeit der Protokolle	1	4	2	2,3	47	4	5	3	4,0	80	2	4	3,0	60	
	Individuelles Arbeiten	3	4	4	3,7	73	1	2	1	1,3	27	4	3	3,5	70	
	Σ = 66/120 Punkte	7	12	10	29/45	64	6	11	5	22/45	49	7	8	15/30	50	
Handhabung der Datenverarbeitung	Intuitiv - Einfach	4	4	4	4,0	80										
	Support	3	3	3	3,0	60	5	5	3	4,3	87	3	3	3,0	60	
	Ortsungebunden	2	4	3	3,0	60	1	2	1	1,3	27	1	3	2,0	40	
	Σ = 65/120 Punkte	9	11	10	30/45	67	7	11	5	23/45	51	5	7	12/30	40	
Nachteile neuer Datenmonitoring-systeme	Systemausfälle - Datenverlust	3	3	2	2,7	53										
	Personalbedarf IT	4	1	1	2,0	40	2	3	2	2,3	47	4	3	3,5	70	
	Kosten	4	2	4	3,3	67	3	1	1	1,7	33	1	1	1,0	20	
	Σ = 53/120 Punkte	11	6	7	24/45	53	7	5	4	16/45	36	6	7	13/30	43	
Nachteile in der Anwendung	Ingenieurmäßiges Denken	5	3	2	3,3	67										
	Komplexität - Fehleranfälligkeit	3	2	2	2,3	47	1	3	3	2,3	47	3	3	3,0	60	
	Datenbearbeitung	3	2	4	3,0	60	1	2	1	1,3	27	1	3	2,0	40	
	Σ = 53/120 Punkte	11	7	8	26/45	58	3	6	6	15/45	33	5	7	12/30	40	
Innovative Weiterentwicklung	Abbruchkriterien	1	1	1	1,0	20										
	Bauzeitprognose	1	4	1	2,0	40	1	3	4	2,7	53	1	1	1,0	20	
	Analysen nach Algorithmen	1	3	1	1,7	33	1	3	2	2,0	40	4	3	3,5	70	
	Σ = 48/120 Punkte	3	8	3	14/45	31	4	9	8	21/45	47	6	7	13/30	43	

Abbildung 7.2: Kategorisierung - Teil 2

Methodik der Bewertung, Berechnung und Auswertung

Die **Bewertung** der Unterkategorien ist wie folgt zu verstehen:

- 1 Absolut irrelevant bzw. gar nicht genannt
- 2 Irrelevant bzw. indirekt genannt
- 3 Neutral bewertet bzw. einmal genannt
- 4 Relevant bzw. öfters genannt
- 5 Äußerst relevant bzw. dezidiert darauf hingewiesen

Jede Unterkategorie ist mit einer Bewertung betreffend jedes Gesprächspartners nach obiger Einteilung versehen. **Berechnet** wird daraufhin zum einen der Durchschnittswert (Formel 7.1) der jeweiligen Unterkategorie und zum anderen die Summe (3-15) dreier Unterkategorien je Gesprächspartner, welche zu einer Kategorie zusammengefasst sind.

$$\text{Durchschnitt}_{\text{Unterkategorie}} = \frac{\text{Summe Gesprächspartner}}{\text{Anzahl Gesprächspartner}} \quad (7.1)$$

Die Quersumme ergibt einen Gesamtwert der Kategorie je Berufsgruppe. Das Aufsummieren der drei Berufsgruppen - somit aller 8 Bewertungen der Gesprächspartner - führt zur Gesamtpunktezahl je Kategorie. Diese kann maximal **120 Punkte** (45 - 45 - 30) betragen. Die Ordnung der Kategorien in den Abbildungen 7.1 und 7.2 erfolgte anhand der Punktezahlen je Kategorie. Die Summen je Kategorie sind in Abbildung 7.3 dargestellt. Aus dieser Ordnung heraus folgen die Schlüsselbereiche im Anschluss (Kapitel 7.1.2).

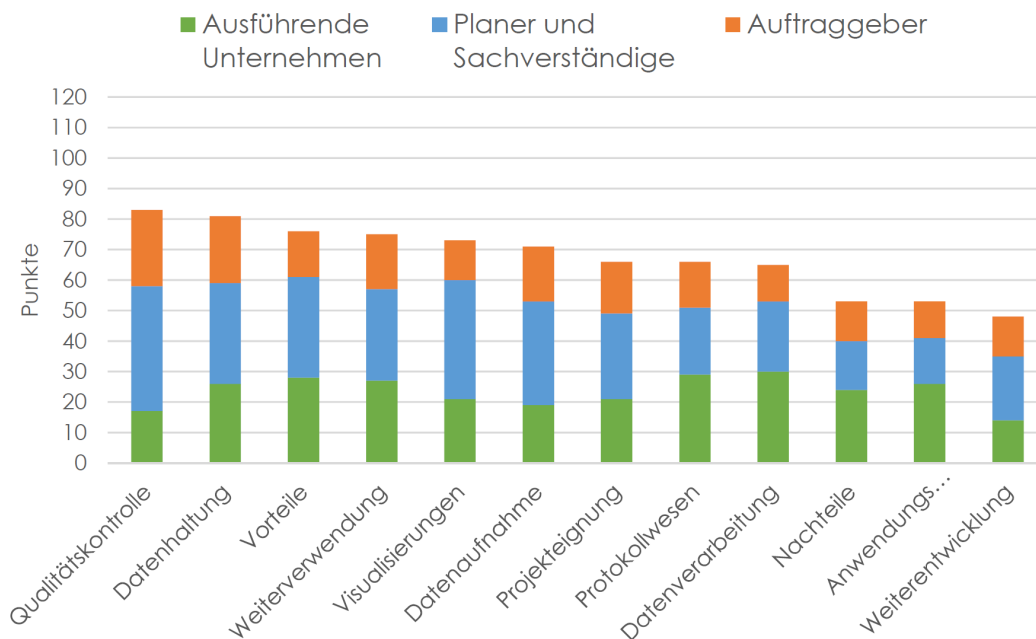


Abbildung 7.3: Ordnung der Kategorien nach der Gesamtpunktezahl

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass sich nur zwei Auftraggeber im Vergleich zu drei Gesprächspartnern der anderen Berufsgruppen finden ließen, werden zur **Auswertung** die prozentualen Werte herangezogen. Für Auftraggeber beträgt die Vergleichssumme 30 Punkte; im Gegensatz zu den anderen beiden Berufsgruppen mit 45 Maximalpunkten je Kategorie. Prozentual gesehen lassen sich die drei Berufsgruppen, wie in Abbildung 7.4 beispielhaft anhand der Kategorien Qualitätskontrolle, Weiterverwendung und Visualisierungen dargestellt, gut vergleichen.

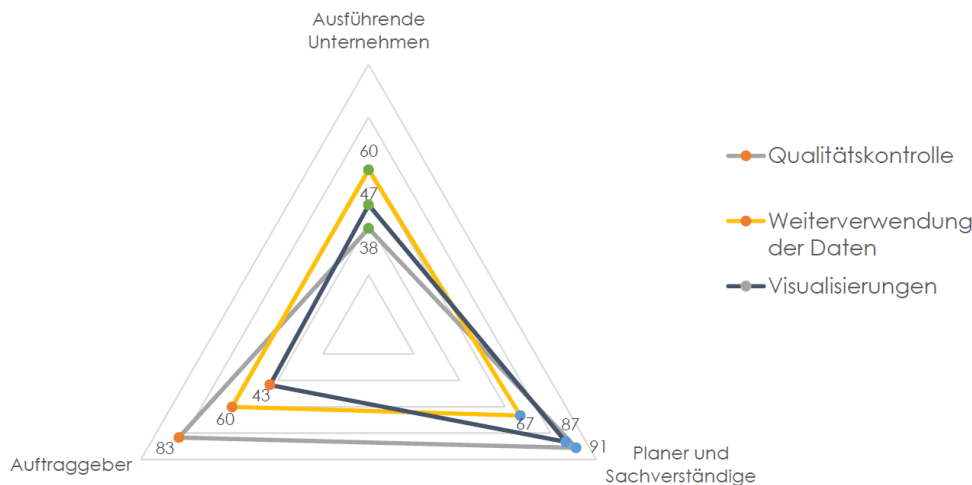


Abbildung 7.4: Vergleich der Berufsgruppen in drei Kategorien

7.1.2 Schlüsselbereiche

Um den umfangreichen Input der Fachleute filtern zu können, wurden zunächst Unterkategorien herausgearbeitet, welche zu Kategorien gemäß Abbildungen 7.1 und 7.2 zusammengefasst sind. Aus thematisch gleichen Kategorien werden nachfolgend Schlüsselbereichen gebildet. Diese umfassen zumindest eine Kategorie, wobei hier der Fokus auf die Gesamtaussage und weniger auf die Unterscheidung nach Berufsgruppen gelegt wird. Geordnet nach den Gesamtpunktezahlen der einzelnen Kategorien und nach thematischer Verknüpfung sind diese:

- Qualitätskontrolle
- Datenmanagement (Datenaufnahme und Datenhaltung)
- Vorteile neuer Datenmonitoringsysteme
- Visualisierungen und andere Datenverwendungsmöglichkeiten
- Projekteignung
- Datenanalyse (Handhabung und Protokollwesen)
- Nachteile (von Datenmonitoringsystemen und in der Anwendung)
- Innovative Weiterentwicklung

Qualitätskontrolle

Für den Injektionsablauf im Detail wünschen sich viele Experten zur Qualitätssicherung eine Kontrollmöglichkeit der abgeschlossenen Injektionsstellen, zum Beispiel in Form eines Ampelsystems. Dieses soll auf einen Blick die Übersicht des gesamten Projektes bieten, im Idealfall auch in Zusammenspiel mit den Bohrarbeiten, da diese meistens leistungsentscheidend sind. So kann im Sinne einer kompletten Qualitätskontrolle sichergestellt werden, dass die Ausführung korrekt ablief.

Den Planern und Auftraggebern ist die Qualität der Injektionsmittel enorm wichtig. Die ständige Kontrolle der Mischungen hat sich aus Erfahrungen oft als erfolgentscheidend erwiesen. Auch die gewissenhafte Kommentierung der Ereignisse bzw. das Aufrechterhalten des Dialogs unter den Parteien sei maßgebend auf Injektionsbaustellen. Das Wesen der NÖT komme hier zu tragen, das dialogorientierte Arbeiten ist in jedem Fall zu erhalten.

Datenmanagement

Die korrekte und schnelle Übertragung der Herstellungsdaten erweist sich als das Um und Auf bei Injektionen. Auf die Daten muss Verlass sein, bezogen auf deren Vollständigkeit und Belastbarkeit. Planer und Sachverständige fordern zudem, dass die Datenaufzeichnung erweitert wird. Vor allem der Druckabfall auch nach Abschalten der Pumpe ist von großem Interesse und bildet die Grundlage für einige Abbruchkriterien. Als Ablageort für die Daten sind vermehrt Datenbanken gewünscht, in welchen die Daten strukturiert und über Jahre hinweg vorgehalten werden. Dies ermöglicht zum einen die Planung basierend auf Datensätzen und zum anderen das gezielte Suchen nach Injektionsstellen.

Dabei spielt vor allem die Datensicherheit eine große Rolle. Jedes Unternehmen fürchtet um den Verlust von Daten bzw. um die Offenlegung von Firmengeheimnissen. Auch der mögliche Abfluss von know-how zu Konkurrenzfirmen wird kritisch gesehen, im Sinne davon, dass durch die Erfahrungsgewinnung des Monitoring-Anbieters auch dessen andere Kunden von einem Wissenszuwachs profitieren. Dieser Umstand wird durch das Sicherstellen von geschützten Servern und die Schaffung einer soliden Rechtsgrundlage zwischen den Partnern entschärft. Auf Konkurrenz basierende Befürchtungen überschatten bedauerlicherweise das konstruktive gemeinsame Arbeiten nicht nur im Bereich des Datenmanagements; steigende Transparenz wirkt dem jedoch grundsätzlich entgegen.

Vorteile neuer Datenmonitoringsysteme

Vorteile neuer Datenmonitoringsysteme liegen in der Entlastung des Baustellenpersonals, in der Schaffung von Transparenz zwischen den Parteien und den etwaigen Aufbereitungsmöglichkeiten. In Kapitel 8 - Ausblick wird im Anschluss auf erste Produktivitätsanalysen verwiesen, welche das zeitliche Einsparungspotential aufzeigen. Aus der Abbildung 7.5 wird anhand der Durchschnittswerte je Unterkategorie ersichtlich, dass die drei großen Vorteile auch eindeutig den jeweiligen Berufsgruppen zuzuordnen sind.

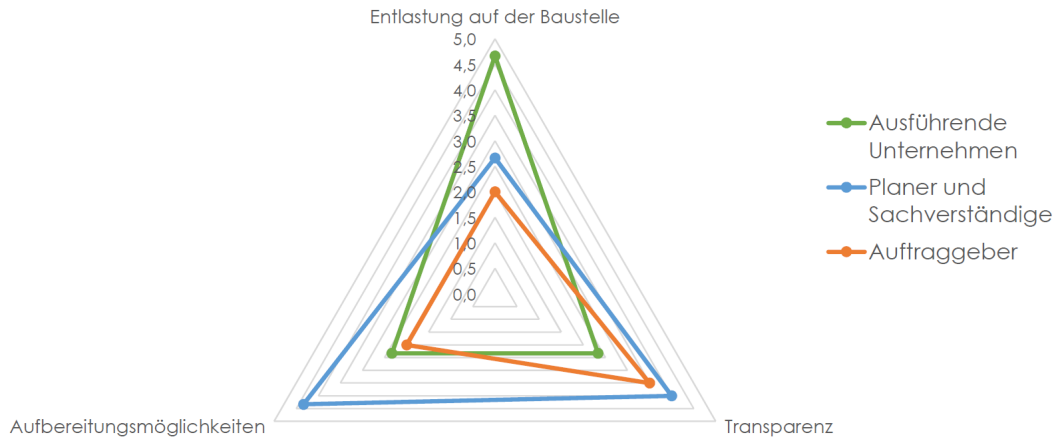


Abbildung 7.5: Gegenüberstellung der Vorteile nach Berufsgruppen

Ausführende Unternehmen - grün - sehen vor allem die Entlastung des Baustellenpersonals als großen Benefit; diese wirkt sich auf die anderen beiden Berufsgruppen nicht großartig aus und wird daher weniger stark gewertet. Ganz im Gegenteil stufen Planer und Sachverständige - blau - die steigende Transparenz sowie zunehmende Aufbereitungsmöglichkeiten als sehr wichtig ein. Auftraggeber selbst - orange - sind hauptsächlich an der Transparenz der Injektionsarbeiten interessiert, um stets Bauzeitplanveränderungen und Kostenentwicklungen abschätzen zu können.

Visualisierungen und andere Datenverwendungsmöglichkeiten

Es bedarf grundsätzlich Visualisierungen, welche als nützliches Werkzeug zur qualitativen Abwicklung von Injektionsbaustellen gesehen werden. Maßgebend ist, wie solche Visualisierung aussehen und welche Information sie zu übertragen vermögen. Es herrscht Einigkeit darüber, dass sobald visualisiert wird, hohe Kosten anfallen, welche sich auch durch einen steigenden Informationsgehalt rentieren müssen.

Übersichten in Form von Listen, welche das Ausbreitmaß, den maximalen Druck und die Menge darzustellen vermögen, sind wünschenswert. Vermehrt positives Feedback bekommt die Entwicklung eines Sammelblatts, auf welchen neben den Injektionsdaten noch der Bohrlochscan und einzelne zylindrische Körper je Injektionsstelle mit Eigenschaften versehen sind, um so auf einen Blick den Erfolg abschätzen zu können. Auch eine Integration der Plandaten im Sinne von BIM stößt auf grundsätzliche Zustimmung, unter Umständen auch mit der Zusammenlegung von Kartenmaterial. Bei einem Blick auf Abbildung 7.1 fällt auf, dass vor allem Planer und Sachverständige den Nutzen dieser sehen, weil die Kosten nicht vorrangig sind.

Die direkte Weiterverwendung der Daten zu Abrechnungszwecken wird positiv aufgefasst, eine weitere Nutzung für Leistungsanalysen und Kalkulationen halten viele für grundsätzlich möglich. Da dies bislang noch nicht wirklich erfolgte, sondern eher Erfahrung und projektspezifische Anpassung Vorrang hatten, fehlt

diesbezüglich noch der Weitblick. Planer glauben indes sehr wohl an den Nutzen der Daten zur Planung und Planer und Sachverständiger B wies dezidiert auf den großen Vorteil des Projektmanagements auf Basis von Herstellungsdaten hin.

Projekteignung

Der Bedarf an neuen Lösungen steigt nach Meinung aller Gesprächspartner an. Lediglich auf die Frage, ab welcher Baustellengröße die Investition in neue Systeme Früchte trägt, teilen sich die Meinungen. Die meisten der Gesprächspartner sehen den Bedarf und wirtschaftlichen Nutzen erst bei Projekten mit hohem Datenaufkommen. Den Vorteil einer generellen Standardisierung, somit zum Einsatz auf allen Baustellen, nennen nur Planer und Sachverständiger Y und Ausführer B, welcher eguana bereits auf all seinen Baustellen einsetzt. Grund dafür mag die knappe Kalkulation von Projekten sein, ein jeder Bauleiter fürchtet um den Ertrag auf seiner Baustelle und steht daher zusätzlichem Aufwand, selbst wenn dieser sich nach anfänglicher Investition wieder revalorisiert, kritisch gegenüber.

Auch die Eignung aufgrund des Injektionsverfahrens wurde diskutiert; dabei kristallisierten sich vor allem große Injektionskampagnen, wie etwa Dichtsohlen oder Tunnelanierungen, als sehr geeignet heraus, da bei diesen Maßnahmen enorme Mengen an Daten produziert werden. Bei Felsinjektionen ergibt sich stets der Zwiespalt mit dem eingesetzten Abbruchkriterium, eine Integration möglichst vieler Kriterien ist grundsätzlich möglich, aber mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Datenanalyse

Die Datenanalyse hat einfach und intuitiv, ohne große Einschulungen in neue Programme zu erfolgen. Zudem muss sie auch für Personen auf Polierebene zugänglich sowie leicht verständlich sein. In jedem Fall ist auf einen verlässlichen Support zu achten, denn bei etwaiger Verkomplizierung der Arbeitsprozesse kommt es definitiv nicht zur Anwendung. Unabhängig von der Art des Produktes, wünschen sich Planer und Sachverständige auch das Abrufen des Systems auf Handhelds (Tablets, Smartphones), um wirklich ortsungebunden arbeiten zu können.

Die Vorstellungen bezüglich Details des Produkts selbst driften bereits auseinander. Einigkeit herrscht beim Wunsch der schnellen Datenbearbeitung, Auftraggeber pochen auf Einheitlichkeit der Protokolle, Anwender der ausführenden Unternehmen wünschen sich hingegen viel Spielraum zur individuellen Formatierung.

Genannte Nachteile und deren Ursache

Schwierigkeiten für das Etablieren von neuen Produkten liegen vor allem auf Seite der Anwender. Befürchtungen über das blinde Vertrauen auf digitale Hilfsmittel und den Verlust ingenieurmäßigen Denkens kehren immer wieder. Diese resultieren aus einem falschen Umgang mit digitalen Hilfsmitteln. Solche sollen nicht den Zurücklehneffekt und das Injizieren nach Leistungsverzeichnis fördern, sondern vielmehr eine Basis für zeitnahe Entscheidungen während der Ausführung bieten. Das Wesen des dialogorientierten Injizierens soll nicht verloren gehen. Die Sorge, dass Anwender an Aufmerksamkeit einbüßen, weil das System ohne viel

Zutun zurecht kommt, tritt vermehrt auf (siehe Abbildung 7.6); Nachlässigkeiten resultieren in einer späteren Erkennung von fehlerhaften Entwicklungen. Die Anwender müssen sich mitentwickeln, um das Werkzeugszenario (siehe Kapitel 5.3.1) umzusetzen, welches in der Industrie 4.0 das bevorzugte Ziel sein soll.

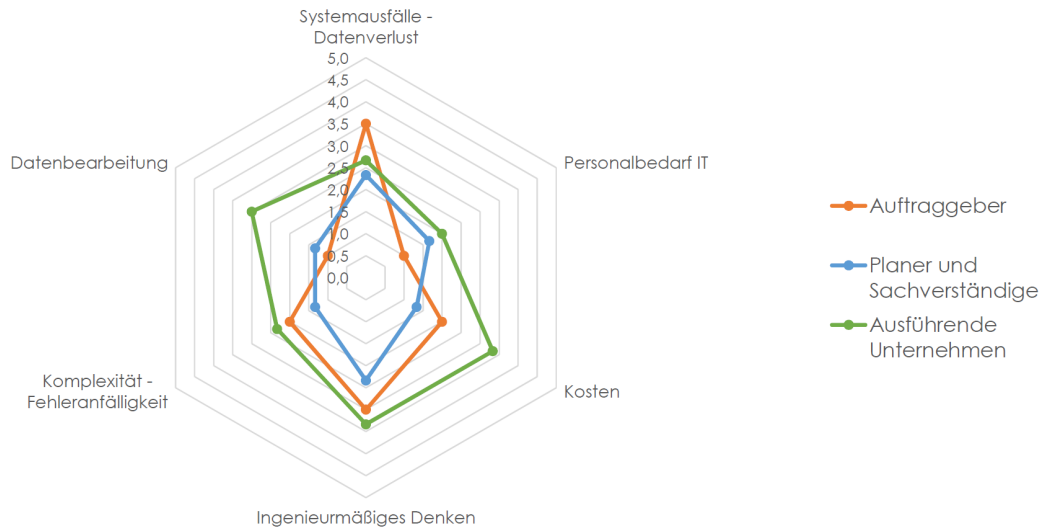


Abbildung 7.6: Gegenüberstellung der genannten Nachteile nach Berufsgruppen

Wie in der Gegenüberstellung (Abbildung 7.6) ersichtlich wird, fürchten viele Gesprächspartner - vor allem der Ausführungsseite (*grüner Pfad*) - eine eingeschränkte Möglichkeit der Datenbearbeitung bzw. Rückhaltung für etwaige Mehrkostenforderungen. Damit verbunden haben sie Bedenken über möglichen Datenverlust bei Ausfall des Systems. Es wird vermutet, dass durch die fortschreitende Digitalisierung zudem etliche Arbeitsplätze für Bauingenieure wegrationalisiert werden und sich stattdessen der Personalbedarf betreffend IT erhöht. Bedenken werden zudem geäußert, dass Entwickler Produkte auf den Markt bringen, welche nicht zielorientiertes Arbeiten fördern. Es gilt die Komplexität des Injektionswesens zu verstehen, um auch qualitative Produkte umsetzen zu können. Einige Gesprächspartner empfehlen daher in jedem Fall, einen Bauingenieur im Team zu haben, der den nötigen Input liefert.

Letztendlich basiert jegliche Diskussion auf einer Kosten-Nutzen-Rechnung; wenn Investitionen grundsätzlich nicht getätigt werden wollen, finden sich stets Gründe, um Entwicklung zu lähmen.

Innovative Weiterentwicklung

Auf Basis der Fachgespräche lassen sich einige unmittelbare Entwicklungen, welche für einen Erfolg nötig sind, ableiten. Auf den beschriebenen Soll-Ist-Vergleich aufbauend können die abgeschlossenen Stellen auf deren Erfolg analysiert werden, zum Beispiel wie sich die Aufnahme von Primär- zu Sekundärinjektionen veränderte. Basierend auf der Aufnahme und vor allem der Abweichung vom Soll wäre es zudem möglich, eine automatische Rasteranpassung zu entwickeln.

Abbruchkriterien sind unter Injektionsexperten stets ein heißes Thema, die Integration möglichst vieler - unter der Prämisse, dass sich ein Finanzier dafür finden ließe - sei von Vorteil, um den Vertretern der verschiedenen Philosophien Werkzeuge zur Verfügung zu stellen.

Grundsätzlich ist auch eine Bauzeitprognose mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen denkbar, welche in einem bestimmten Intervall das Fertigstellungsdatum anhand der abgeschlossenen Injektionsstellen errechnet.

7.2 Auswertung

7.2.1 Grundlagen

Die Auswertung der Kategorien, und vor allem deren grafische Darstellung (Abbildungen 7.7 und 7.8), nach Gesichtspunkt der Berufsgruppen lässt schnell erkennen, dass Planer und Sachverständige, welche sich vermehrt mit der Weiterentwicklung des Prozesses Injektion beschäftigen, die höchsten Anforderungen an neue Datenmonitoringsysteme besitzen bzw. einen größeren Vorteil der Entwicklung dieser sehen. Im Detail lässt sich anhand der Pfade in nachfolgenden Netzdiagrammen dieser Trend sehr schön erkennen:

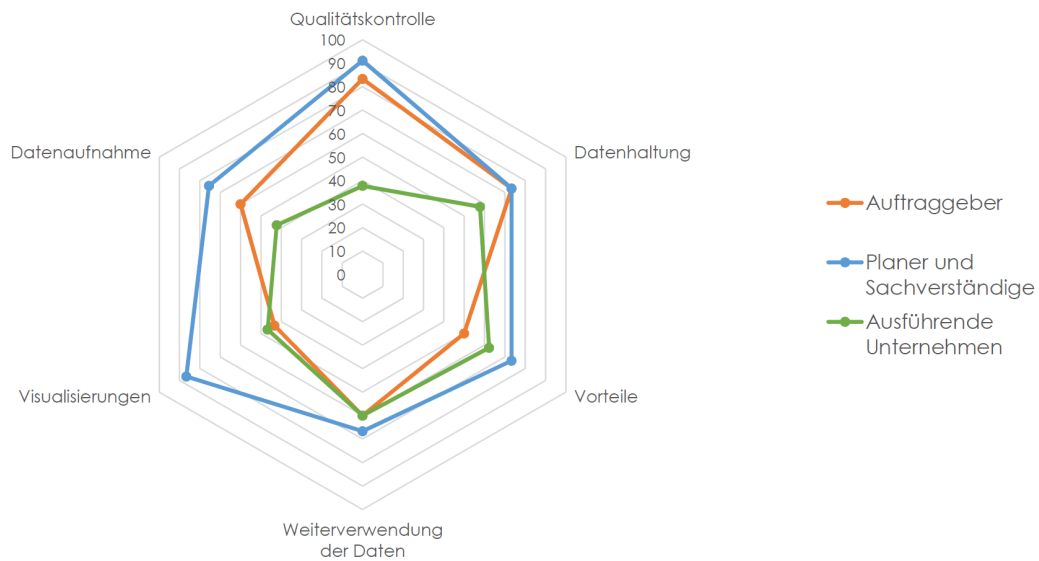


Abbildung 7.7: Gegenüberstellung der Kategorien Teil 1

Der *blaue Pfad* in Abbildung 7.7 zeigt die prozentuale Bewertung der **Planer und Sachverständigen** für die ersten sechs Kategorien. Sämtliche Maximalwerte werden durch diese Berufsgruppe eingenommen, der Pfad umschließt die beiden anderen. Die Qualitätskontrolle dieser weist mit 91 % den höchsten aller Werte im Diagramm auf. An sämtliche dargestellte Kategorien werden durch die Berufsgruppe hohe Ansprüche gestellt und somit enormes Potential gesehen. Anhand der großen Divergenz zu den anderen beiden Berufsgruppen in der Kategorie

Visualisierungen ist zudem ersichtlich, dass trotz des zweithöchsten Wertes der Bereich einen weniger hohen Stellenwert in der Gesamtaussage einnimmt.

Vor allem der *orange Pfad* weicht hier enorm von der sonst eher parallelen Bahn ab. Dieser beschreibt die prozentual gewichteten Meinungen der **Auftraggebervertreter**. Die Qualität steht für sie im Vordergrund, unabhängig ob im Daten- oder im Materialbereich. Im Punkt der Weiterverwendungsmöglichkeiten stimmen sie mit den Ausführenden Unternehmen überein und schließen beinahe zu den Planern und Sachverständigen auf.

Der *grüne Pfad* spiegelt die Meinungen der **Ausführenden Unternehmen** wider. Generell sind die Werte eher als gering anzusehen, diese stellen keine hohen Ansprüche an Innovation und detaillierte Qualitätskontrolle. In den Kategorien Datenhaltung und Weiterverwendungsmöglichkeiten schließen Sie zu den anderen Berufsgruppen auf.

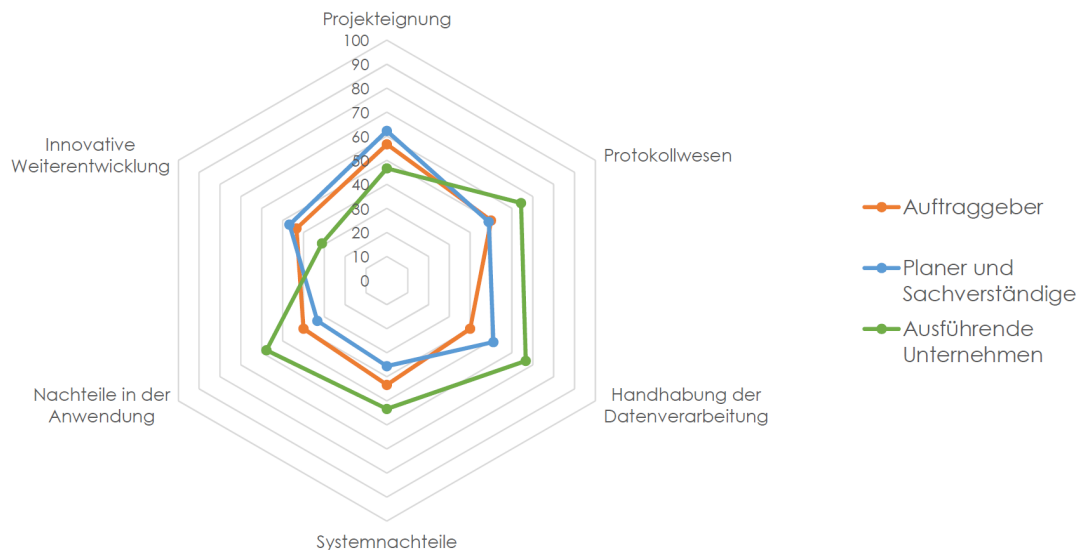


Abbildung 7.8: Gegenüberstellung der Kategorien Teil 2

In Abbildung 7.8 zeigt sich ein grundsätzlich anderes Bild; in den sechs unteren Kategorien (7.2) ist neben den geringeren Werten auch die Aufteilungen grundverschieden:

Die Bewertung der **Ausführenden**, zu sehen anhand des *grünen Pfads*, zeigt, dass ihnen vor allem die Handhabung von Datenmonitoringsystemen ein großes Anliegen ist; in den Kategorien Protokollwesen und Handhabung der Datenverarbeitung erzielen sie die Maximalwerte. Konträr dazu sehen sie jedoch auch die meisten Nachteile. Wie unter Kapitel 7.1.2 - Genannte Nachteile und deren Ursache - bereits beschrieben, gibt es klare Gründe für die hohen Werte des Bereichs. Es fällt auf, dass die Ausführenden wenig Punkte in innovativen Bereichen verbuchen. Die Forderung von neuen Datenmonitoringsystemen seitens der Auftraggeber bzw. das Verankern solcher in den Normen, wird diesem Umstand

Abhilfe verschaffen. Sobald damit gearbeitet werden muss, werden auch Visionen und Verbesserungsvorschläge Raum finden.

Der *orange Pfad* der **Auftraggeber** bewegt sich recht konstant um die 50 %-Marke. Die meisten Kategorien werden als neutral angesehen, laut den Gesprächspartnern eignen sich aber mehr Projekte bereits zur Anwendung von Datenmonitoringsystemen, als von den Ausführenden angenommen.

Die **Planer und Sachverständigen** erweisen sich nach Blick auf den *blauen Pfad* erneut als am positivsten und visionär eingestimmt; sie sehen kaum Nachteile und legen größeren Wert auf Innovation. Grund für den relativ geringen Prozentsatz der Kategorie Innovation ist, dass jeder Gesprächspartner Wert auf eine andere Weiterentwicklung legt; nicht alle haben dieselbe Idee, was unweigerlich zu einer Punkteminimierung, indes aber auf keinen Fall zu einer Schmälerung des Potentials, führt. Nachteile sind für sie kaum vorhanden und wenn man die Furcht vor Datenverlusten ausklammert, gar nicht existent.

7.2.2 Anforderungsprofile

Die Auswertung lässt bereits darauf schließen, dass sich die Anforderungsprofile der einzelnen Berufsgruppen unterscheiden. Anhand der Abbildungen 7.7 und 7.8 wurden bereits die entscheidenden Unterschiede abgeleitet. Im Anschluss findet sich daher eine Ausformulierung der Anforderungsprofile, in welchen dezidiert auf die entscheidendsten Punkte je Berufsgruppe für eine qualitative Entwicklung von neuen Datenmonitoringsystemen eingegangen wird.

Ausführende Unternehmen

Die Anforderungen ausführender Unternehmen liegen vor allem in der stabilen, einfachen und intuitiven Handhabung des Produkts. Vor allem soll bei Zukauf eines Systems, dieses ohne zusätzliche Programme, wie bisher Microsoft Excel, auskommen. Eine persönliche Anpassung und Adaption an die speziellen Baustellenbedingungen wird gefordert. Bauleiter sind zudem immer darauf bedacht, die Kosten auf ihren Baustellen gering zu halten bzw. nur zusätzliches Geld für Leistungen auszugeben, welche sich bereits im selbigen Bauprojekt amortisieren. Daher ist die Investitionshöhe auch von der Bauzeit bzw. des Auftragsvolumens abhängig. Im Falle von Datenmonitoringsystemen muss zudem der Vorteil auch monetär bewertbar sein.

Die Rentabilität des Systems zeichnet sich vor allem durch die Möglichkeit der Weiterverwendung der Daten ab; für eine automatische Aufmaßerstellung, die Materialstandskontrolle oder das Ableiten von Leistungen und Aufwänden als Basis für nachfolgende Projekte. Die Verknüpfung mit anderen Prozessen auf der Baustelle ist erwünscht, da so auch Injektionen im Zusammenspiel mit anderen Vorgängen analysierbar sind.

Der Bedarf an Visualisierungen ist grundsätzlich gegeben, da diese in ihrer Entwicklung als kostspielig eingestuft werden, muss der Nutzen dementsprechend groß sein. Die Integration von Planunterlagen in die Visualisierung, im Sinne eines BIM-Modells hat Sinn; zur Qualitätskontrolle vor allem die farbliche Kodierung in

Form eines Ampelsystems der abgeschlossenen, in Arbeit befindlichen oder noch zu injizierenden Injektionsstellen.

Befürchtungen liegen vor allem in der Übernahme künstlicher Intelligenz und der Wegrationalisierung von Fachpersonal. Der Verlust des ingenieurmäßigen Denkens durch das Verlassen auf digitale Systeme muss verhindert werden. Das wiederkehrende Thema des Werkzeug Szenarios schlägt in diese Kerbe.

Planer und Sachverständige

Die Anforderungen von Planern und Sachverständige an Datenmonitoringsysteme unterscheiden sich im Vergleich zu ausführenden Unternehmen darin, dass vermehrt die Innovation im Vordergrund steht und die Kosten diese nicht überschatten.

Bei der Datenaufnahme bedeutet dies zum Beispiel, den Fokus auf die zeitlichen Verläufe zu legen und auch den Druck nach Abschalten der Pumpe aufzuzeichnen, weil dieser dem im Einpresskörper vorherrschendem Druck am nächsten kommt. Der Transfer der Daten soll so schnell als möglich erfolgen, der Optimalfall wäre live, da so unmittelbare Entscheidungen zur Verbesserung der Ausführung schnellstmöglich getroffen werden können. Dazu müssen die Systeme auch auf Handhelds laufen und die Verarbeitung von großen Mengen in kurzer Zeit möglich sein. Die aufgenommenen Daten sind geordnet abzulegen. Der große Vorteil liegt darin, dass nachfolgend bei etwaigen Sanierungen eine gute Planungsgrundlage und Dokumentation des Ist-Standes vorliegt. Die Daten sind nicht nur als Grundlagen neuer Planungen, sondern auch für Auswertungen, wie der Analyse von Umsetzzeiten zu gebrauchen.

Visualisierungen sind neben kompletten Datensätzen das wichtigste Werkzeug zur Bewertung des Injektionserfolgs für Planer. Durch Visualisierungen ist der Rückschluss auf eine erfolgreiche Planung bzw. Änderungen dieser erst wirklich möglich. Viele haben bisher mit eigens gestrickten Lösungen gearbeitet. Die Integration von Visualisierungen in das System, an die speziellen Baugegebenheiten angepasst, welche die Verteilung des Injektionsmittels im Einpresskörper im Zusammenspiel mit Druck und Menge zeigen, sind die Anforderung an Entwickler. Dafür sollen diese aber unbedingt mit Fachleuten auf dem Gebiet zusammenarbeiten, um ein qualitativ hochwertiges Produkt zu liefern. Zusätzlich gibt es Bedarf von automatischen Analysen abgeschlossener Injektionsstellen, um zum einen das Verhalten im Baukörper besser zu verstehen und zum anderen Prognosen der Bauzeit erstellen zu können.

Die Reduktion von Kommunikation zwischen den handelnden Personen wird von Planer in Bezug auf neue Datenmonitoringsysteme befürchtet. Der Dialog zwischen den Interessensgruppen ist das Herz der Injektionstechnik; ohne diesen läuft man Gefahr, nur stur nach Leistungsverzeichnis zu injizieren. Diese Anwenderproblematik kann durch das richtige Schulen der Benutzer umgangen werden. Auf große Veränderungen in der Industrie müssen Anpassungen der Menschen folgen.

Auftraggeber

Für den Auftraggeber ist maßgebend, dass die Dokumentation sauber verläuft und die Fristen stets eingehalten werden. Wie die Arbeitsschritte der Ausführenden im Detail aussehen, ist für ihn nicht unbedingt von Belang. Das Abrufen der Daten nach einer klaren Struktur zu jeder Zeit hat hohe Priorität, eine schnelle und zuverlässige Übermittlung sind eminent. Die Qualität der Dokumentation steigt durch eine Vereinheitlichung des Ablagesystems.

Diese Einstellung gründet sich vor allem darauf, dass Injektionen zumeist Begleitmaßnahmen auf den Baustellen der befragten Auftraggeber sind. Das genaue Einhalten von Fristen ist entscheidend für Großprojekte, dies betrifft auch die Übermittlung der Dokumentation. Da Injektionen ein sehr spezielles Thema sind, bestellen Auftraggeber oft Spezialisten, welche sich der Interpretation derer annehmen. Diese Injektionsexperten haben andere, detailreichere Anforderungen an die Dokumentation.

Wünschenswerte Erweiterungen, welche auch für den Auftraggeber denkbare Vorteile in der Abwicklung von Injektionen brächten, sind beispielsweise Algorithmen, die Handlungsempfehlungen vorschlagen und so die Qualität in der Ausführung stärken, ohne dass Rücksprache gehalten werden muss. Diese sind zusammen mit den Injektionsexperten einzubauen. Die Übersicht des Bohrfortschritts zu jedem Zeitpunkt, da dieser meistens leistungsentscheidend ist, wird gewünscht.

Eine zentrale Anforderung ist auch die Systemstabilität, Ausfälle sind zu vermeiden, der Anwender weitestgehend zu entlasten. Grundsätzlich sehen auch Auftraggeber die Gefahr, dass die Benutzer digitaler Hilfsmittel diese mit zu wenig Bewusstsein der Prozesse im Hintergrund gebrauchen und so sich so eine Vernachlässigung einstellt. Gewisse Eingaben müssen daher bleiben, um die Aufmerksamkeit hoch zu halten.



Ausblick

Mit vorliegender Arbeit wurde der erste Schritt betreffend Meinungsforschung von Injektionsentwicklung und Digitalisierung im Spezialtiefbau gesetzt. Bereits nach der Befragung einer gezielten Auswahl an Fachpersonen lassen sich schon eindeutige Tendenzen erkennen. Diese gilt es in weiteren Gesprächen und umfassenderen Analysen weiterzuentwickeln bzw. zu bestätigen.

Das Feld der Injektionsfachleute offenbart sich als ein kleines, aber aufgrund der Komplexität und divergierenden Meinungen ist es gerade umso wichtiger, möglichst viele Standpunkte miteinzubeziehen, um eine optimale Grundlage für die positive Entwicklung von Datenmonitoringsystemen zu schaffen.

Nachfolgend werden auf Basis der Fachgespräche und ersten Analysen noch Potentiale neuer Systeme aufgezeigt. Denn eine fortschreitende Digitalisierung wird in jedem Fall stattfinden; Ziel muss es sein, mit der Zeit zu gehen und als Ingenieur die Potentiale dieser zu erkennen und sich die Vorteile zu Nutzen zu machen.

Potentiale

Wenn in der Bauwirtschaft von Potentialen gesprochen wird, lassen sich diese in den meisten Fällen auf eine Kostenminimierung zurückführen. Die österreichische Baulandschaft präsentiert sich mit dem Billigstbieterverfahren als eine sehr knapp kalkulierende, weshalb jeder ersparte Euro den Unterschied ausmachen kann.

Nachfolgend aufgezählte Potentiale mögen auf den ersten Blick nicht direkt den wirtschaftlichen Nutzen zeigen, bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass jedem Punkt - sei dies Zeitersparnis oder steigende Qualitätssicherung - eine monetäre Bewertung abzugewinnen ist.

- Drahtlose Datenübertragung
- Verkürzung der Dokumentationszeiten
- Entlastung des operativen Baustellenpersonals
- Zeitnähere Planungsanpassungen

- Materialstandskontrolle
- Automatisierte Aufmaßerstellung und Abrechnung
- Integration der Daten zur Prozessübersicht
- Bauprozesserfassung
- Echtzeitdatenerfassung
- Interaktionsalgorithmen Boden zu Injektion

Vor allem die Entlastung des Baustellenpersonals konnte durch erste Analysen im Zuge des Forschungsprojektes bereits bestätigt werden. Diese liegt bei **70 %**. Dieser hohe Wert resultiert vor allem aus der Eliminierung von für den Dokumentationsprozess unwichtigen Aufgaben, wie das Überspielen, Öffnen und erneut Speichern der Daten in einem anderen Format. Durch die Schaffung einer Datenbank, in welcher die Daten alle gespeichert sind, und den zentralen Zugriff auf diese über die Webplattform von *equana*, verringert sich der Aufwand für das Baustellenpersonal enorm. Was bleibt, ist mehr Zeit für eine qualitative Analyse und andere erfolgsentscheidende Aufgaben. [21]

Zusammenfassung

Die Durchführung von Injektionsarbeiten ist im Vergleich zu anderen Spezialtiefbauverfahren als nicht äußerst schwierig einzustufen, der Anschluss von Pumpen an vorgebohrte Löcher und das Überwachen der Maschine stellt eine Routinetätigkeit dar. Die Komplexität liegt vielmehr in der Vereinigung von verschiedenen Wissensbereichen. Das Wissen um Materialtechnologie, Untergrundverhältnisse, Geräteausrüstung und Mess- bzw. Steuerungstechnik haben entscheidenden Einfluss auf den Erfolg von Injektionen. Vor allem gewissenhafte Vorerkundungen sind eminent für das Erreichen des Injektionszieles.

Der Erfolg wird großteils anhand von den Maschinendaten bewertet. Die in der Dokumentation zu erstellenden Protokolle spiegeln das im Untergrund befindliche Bauwerk wider. Deshalb sind Datengenauigkeit, saubere Datenhaltung und schnelles Protokollieren in Echtzeit wichtig für die Analyse der durchgeführten Arbeiten. Die Untersuchung verschiedener Produkte hat ergeben, dass viel Optimierungspotential betreffend Anwenderfreundlichkeit und Automatisierung von Dokumentationsprozessen besteht.

Durch die Ausarbeitung eines Fragebogens, welcher gezielt den Datenfluss sowie den aktuellen Digitalisierungsstand in der Injektionstechnik abbildet, und durch die auf diesen aufbauenden Gespräche mit Experten, wurden die auftretenden Prozesse im Detail analysiert, Schwächen und Potentiale aufgezeigt sowie Optimierungen für Entwicklungsarbeiten definiert. Durch die Analyse des Inputs der Gesprächspartner konnten Schlüsselbereiche für eine konstruktive Herangehensweise betreffend Digitalisierung des Datenmonitorings von Injektionen gebildet und in einem weiteren Schritt dezidierte Anforderungsprofile der Interessengruppen definiert werden. Diese sollen als Basis für richtungsweisende Entwicklungen im Zuge der Digitalisierung von Spezialtiefbaustellen im Industriezeitalter 4.0 dienen.

Abschließend sei gesagt, dass in vorliegender Arbeit der Injektionsprozess als solcher vorgestellt und durch das Einbinden der Fachwelt erste Schritte in Richtung digitaler Entwicklung gesetzt wurden. Die Arbeit stellt den Beginn einer erfolversprechenden Reise dar, um allerdings eine zukunftsweisende Aussage treffen zu können, bedarf es umfangreicherer Analysen sowie weiterer Studien.

9.1 Forschungsfrage I

Wie und in welchem Umfang entstehen Herstellungsdaten in der Injektionstechnik und wie werden diese verknüpft?

Herstellungsdaten in der Injektionstechnik sind das Produkt aus dem Prozess des Einpressens von Injektionsgut. Während dieses Vorgangs werden Druck und Durchflussrate mittels Messsensoren erfasst und nach Abhängigkeit der Zeit in der Pumpensteuerung gespeichert. Der Datenfluss vom Erstspeicherort weg bis hin zum Enddatenträger in verarbeiteter Form wird ausführlich in Kapitel 4 - Der Datenfluss bei Injektionen - erläutert und analysiert.

Die Verknüpfung der Herstellungsdaten erfolgt auf unterschiedliche Weisen. Klassisch werden sie manuell über mobile Massenspeichergeräte auf den Baustellencomputer übertragen, um danach mit Tabellenkalkulationsprogrammen verarbeitet und in seltenen Fällen mit anderen Datensätzen verknüpft zu werden. Der Austausch von Daten bedarf erneut eines eigenen Schrittes, in vielen Fällen erfolgt die Übergabe an Auftraggebervertreter noch in Papierform. Moderne Systeme zeichnen sich vor allem durch eine Optimierung der Datenübertragung mittels neuen Kommunikationstechnologien und das Vermeiden von externen Programmen aus. Dies zielt auf eine Eliminierung und Entlastung im Dokumentationsprozess ab. Ein Austausch kann demnach ebenfalls durch die Ermöglichung von externen Zugriffen auf Datenbanken entfallen.

9.2 Forschungsfrage II

Wo liegen die Schwachstellen aktuell am Markt befindlicher Systeme?

Im Vergleich zu anderen Ingenieurwissenschaften und zu anderen Bauprozessen gibt es im Datenmanagement von Injektionen einen generellen Technologierückstand. Die Kommunikation der meisten Systeme basiert auf kabelgebundenen Lösungen, welche vor allem bei Infrastrukturprojekten, die mit einer hohen Längserstreckung einhergehen, zu aufwändigen Verkabelungen führen. Werden drahtlose Technologien eingesetzt, sind diese meist veraltet und aufgrund ihrer Störanfälligkeit unzureichend verlässlich. Details dazu sind in Kapitel 5 - Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik - zu finden.

Bezüglich Datenverarbeitung muss zumeist auf Tabellenkalkulationsprogramme zurückgegriffen werden, woraus eine isolierte Betrachtung der Messreihen resultiert. De facto erfolgt dann keine bzw. wenn überhastet eine unzureichende Verknüpfung mit anderen Datensets. Wird eine eigene Software angeboten, ist diese nur mit der Sensorik und Aktorik des jeweiligen Herstellers kompatibel. Die Produkte der Anbieter besitzen meist spezifische Dateiformate, welche eine übergreifende Verknüpfung erschweren. Kunden sind zudem in einigen Bereichen, vor allem in Bezug auf Adaptierung und Personalisierung, durch die Bindung an die proprietäre Software des jeweiligen Herstellers eingeschränkt.

9.3 Forschungsfrage III

*Wo liegt der entscheidende Entwicklungsbedarf für neue Datenmonitoringsysteme?
Wie können Daten in Zukunft zusammengeführt und analysiert werden?*

Der entscheidendste Faktor für die Entwicklung und Anwendung neuer Datenmonitoringsysteme ist die unkomplizierte Bedienbarkeit durch potentielle Anwender. Ingenieure auf Baustellen sind oft nicht versiert in Bezug auf neue Informationstechnologien, weshalb zum einen neue Systeme intuitiv und einfach gestrickt sein sollten und zum anderen Bedarf an einem verlässlichen Support gestellt wird. Die Verlässlichkeit der Daten ist zudem sehr wichtig, in Verbindung damit die Datensicherheit und Stabilität der Sensorik.

Neue Entwicklungen in der Kommunikationstechnologie ermöglichen das Abrufen von Daten in Echtzeit (siehe Kapitel 5.3 - Weiterentwicklung). Ob mittels WLAN oder GSM-Verbindung, über das Internet können Daten einfach auf Server geladen werden. Hohe Anforderungen werden dann an die Server betreffend Datensicherheit und Verarbeitungsgeschwindigkeit gestellt. Eine klare Struktur schafft ein einfaches schnelles Abrufen. Vor allem die Hintergrundprozesse müssen stabil ablaufen, die Zeit sich mit diesen zu beschäftigen bleibt im Baualltag nämlich nicht.

Erst wenn das Basiskonstrukt der Datenanalyse und -haltung stabil ist, kann man sich Gedanken über innovative Entwicklungen machen. Sämtliche Gesprächspartner wiesen (siehe Kapitel 6.2 - Fachgespräche) darauf diesen Umstand hin. Auch Innovationen müssen den Anforderungen der Anwender gerecht werden, weshalb diese stets unter enger Zusammenarbeit mit Ingenieuren und Experten erfolgen sollten. Ob diese im Bereich von Visualisierungen oder weiterführenden Analysewerkzeugen liegen, ist somit immer von den neuen Anforderungen der jeweiligen Interessensverteter sowie der Art der Baustelle abhängig. Ohne tatsächliches Ziel etwas zu entwickeln, was zwar imposanten Eindruck vermittelt aber keine breite Anwendung findet, ist auf Dauer nicht mit Erfolg zu bedenken.

9.4 Forschungsfrage IV

Welche Potentiale bzw. welchen Nutzen hat digitales Datenmanagement an sich?

Großes Potential bietet sich durch die Weiterverwendung von digitalen Daten (siehe Kapitel 8 - Ausblick). Grundsätzlich sind viele Möglichkeiten der Datenverknüpfung möglich. Ob diese in neue Planungen, bauwirtschaftliche Analysen oder auch technische Weiterentwicklung einfließen bleibt den Entwicklern offen. Fakt ist, die Existenz der Daten alleine schöpft nicht annähernd den Mehrwert aus, den diese besitzen.

Neben den weiterführenden Potentialen liegen die größten Vorteile von digitalem Datenmanagement in der Anwendung selbst. Die zeitliche Entlastung und die Schaffung einer automatisierten Datenhaltung entlasten das operative Baustellenpersonal. Diese Entlastung ist zum einem aufgrund des reduzierten Aufwandes monetär bewertbar und mindert auch die Fehleranfälligkeit. Zudem ist die physische Anwesenheit auf der Baustelle bzw. der Austausch mit jemandem auf dieser nicht unbedingt nötig, um sich einen Überblick über laufende Geschehnisse zu

verschaffen. Ortsunabhängiges Arbeiten wird als modern und innovativ angesehen, durch digitales Baudatenmanagement reduzieren sich Wegzeiten und es bleibt mehr Zeit für eine wirtschaftlich erfolgreiche Steuerung.

Aus den in Kapitel 7.1.2 erarbeiteten Schlüsselbereichen lassen sich die unmittelbaren Anforderungen ableiten. Diese liegen zuallererst in den Bereichen der Qualitätskontrolle, sowohl auf Material- wie auf Ausführungsebene, des verlässlichen Datenmanagements und der Weiterverwendungsmöglichkeiten in bauwirtschaftlicher sowie planerischer Hinsicht.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Porenengstellen im Lockergestein [28]	6
2.2	Schema Aufbrecheinjektion [16]	7
2.3	Schema Verdichtungsinjektion [16]	7
2.4	Einfachpacker	8
2.5	Doppelpacker [6]	8
2.6	Schema Manschettenrohrinjektion [19]	9
2.7	Anwendungsgrenzen von Injektionsmitteln nach <i>Kutzner</i> [17]	13
2.8	Injektionskomponenten einer Felsinjektion [10]	15
2.9	Kompakte Injektionsmischanlage der Firma Häny [14]	16
2.10	Kolbenpumpe [24]	17
2.11	Pumpencontainer [24]	17
3.1	Tiefenreichweiten von Bohr- und Sondierungserkundungen [2]	20
3.2	Bohrkiste mit beschrifteten Bohrkernen einer Rotationskernbohrung [24]	22
3.3	Beispielhaftes Bohrprofil nach ÖNORM B4400-2 [38]	23
3.4	Wellenausbreitungsprinzip seismischer Verfahren. a.) Reflexionsseismik, b.) Refraktionstomographie, c.) Oberflächenwellenseismik (nach <i>Freudenthaler</i>) [9]	25
3.5	Standrohrversuch nach ÖNORM B4422-2 [37]	27
3.6	Prüfungsaufbau eines WAPs [10]	28
3.7	Datenaufzeichnung eines Lugeon-Tests [10]	29
3.8	Flussdiagrammtypen nach <i>Kutzner</i> [17]	29
3.9	Anwendungshinweise nach ÖNORM EN 12715 [34]	31
3.10	Laborprüfungen nach ÖNORM B4454 [36]	33
3.11	Druck- und Volumenbegrenzung [10]	34
3.12	Schematische Darstellung des Haltekriteriums [7]	36
3.13	Schematische Darstellung des GIN-Kriteriums [10]	37
4.1	Entwicklungsstufen im Datenmanagement [32]	40
4.2	Prinzipskizze magnetisch-induktiver Durchflussmesser [22]	42
4.3	Beispielhafter Ausschnitt eines Injektionsberichts [24]	45
4.4	Beispielhafte Druck-/Mengen-Verläufe mit exges erstellt [24]	45
4.5	Beispielhafte Druck-/Mengen-Verläufe für das GIN-Kriterium [10]	46

5.1	<i>Grout Control</i> der GeTec [12]	53
5.2	Klassischer Kommunikationskreislauf	57
5.3	Single-Source-System adaptiert aus [20]	58
5.4	Mögliche Prozessanalyse mit eguana [20]	59
5.5	Aufspaltung der Prozesse mit eguana [20]	60
6.1	Entwicklungsstufen im Datenmanagement [32]	62
6.2	Entwicklungsstufen in den Unternehmen	69
7.1	Kategorisierung - Teil 1	86
7.2	Kategorisierung - Teil 2	87
7.3	Ordnung der Kategorien nach der Gesamtpunktezahl	88
7.4	Vergleich der Berufsgruppen in drei Kategorien	89
7.5	Gegenüberstellung der Vorteile nach Berufsgruppen	91
7.6	Gegenüberstellung der genannten Nachteile nach Berufsgruppen	93
7.7	Gegenüberstellung der Kategorien Teil 1	94
7.8	Gegenüberstellung der Kategorien Teil 2	95
1	Übersicht der Gesprächspartner	123

Tabellenverzeichnis

3.1	Beschreibung der Diagrammtypen nach [17]	30
4.1	Einsatzgebiete und Prinzipien verschiedener Durchflussmesser	41
4.2	Beispiele für Injektionsprozesse und deren Datenquellen [32]	50
6.1	Kernaussagen der Gesprächspartner	83

Literaturverzeichnis

- [1] ADAM, D. ; KOHLBÖCK, D. : *Skriptum Fels- und Tunnelbau*. 4. Auflage. Institut für Geotechnik : Technische Universität Wien, 2011
- [2] ADAM, D. ; SZABO, M. : *Skriptum Grundbau und Bodenmechanik*. 2. Auflage. Institut für Geotechnik : Technische Universität Wien, 2010
- [3] BRANDL, H. : *Studienblätter zur Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik*. Institut für Geotechnik : Technische Universität Wien, 2006
- [4] BRUCKER, A. : *Durchflussmesstechnik*. München : Oldenbourg Industrierivlag, 2008
- [5] CHRITI, M. : *Aufnahme des zeitlichen Arbeitsaufwandes und Ermittlung von Stundenaufwandswerten des technischen Führungspersonals bei Bauvorhaben im Bereich Tiefbau/Infrastrukturbau (Diplomarbeit, eingereicht an der TU Wien)*. Wien : Technische Universität Wien, 2015
- [6] *Einfach- und Doppelpacker der Firma Desoi*. <http://www.desoi.de/produkte/injektionstechnik/injektionssysteme/hydraulikpacker.html>. – Eingesehen am 23.02.2017
- [7] EXGES (Hrsg.): *Spezialtiefbau Datenerfassungssystem IDE - Benutzerhandbuch*. Exges
- [8] FLECKER, J. : Digitalisierung der Arbeit. In: *uniMind Lecture* (2017)
- [9] FREUDENTHALER, A. : *Geophysikalische Erkundungen, Hochwasserschutzdamm March*. Salzburg : Pöyry Infra GmbH, 2006
- [10] GABRIEL, P. : *Abbruchkriterien bei Felsinjektionen (Diplomarbeit, eingereicht an der TU Wien)*. Wien : Technische Universität Wien, 2016
- [11] *Gamperl & Hatlapa Internetbroschüre*. <http://www.guh-messtec.de/deutsch/produkte/index.html>. – Eingesehen am 16.06.2017
- [12] *GeTec Internetbroschüre*. <http://www.getec-ac.de/>. – Eingesehen am 13.06.2017

- [13] GÜNTNER, W. ; BORRMANN, A. : *Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Bauen*. Springer Verlag, 2011
- [14] *Kompakte Injektionsmischanlage der Firma Häny*. <http://www.haeny.com/misch-und-injektionstechnik/produktuebersicht/details/kompakte-injektionsanlagen-ic-300/>. – Eingesehen am 16.03.2017
- [15] *Jean Lutz Internetbroschüre*. <http://www.jeanlutzsa.fr/DNN/de/UnsereProdukte.aspx>. – Eingesehen am 13.06.2017
- [16] KELLER GRUNDBAU GMBH (Hrsg.): *Prospekte zu den THemen Soilfrac, Compaction Grouting*. Keller Grundbau GmbH, 2016
- [17] KUTZNER, C. : *Injektionen im Baugrund*. Saarbrücken : SDV Saarbrücker Druckerei und Verlag GmbH, 1991
- [18] LOMBARDI, G. ; DEERE, D. : Grouting Design and Control Using the GIN Principle. In: *International Water Power and Dam Construction* (London, 1993)
- [19] *Schema Manschettenrohrinjektion*. http://www.geodz.com/deu/d/images/2120_manschettenrohrinjektion.png. – Eingesehen am 23.02.2017
- [20] MAROSCHEK, P. : *eguana Produktfolder*. eguana GmbH, 2016
- [21] MAROSCHEK, P. ; OUSCHAN, M. : Benefits of implementing eguana on sites, studies of four pilot projects. (2016)
- [22] *Funktionsweise von magnetisch-induktiven Durchflussmessern*. <http://www.mecon.de/de/magnetisch-induktive-durchflussmessgeraete.html>. – Eingesehen am 25.04.2017
- [23] *Obermann Internetbroschüre*. <http://muehlhaeuser-obermann.com/de>. – Eingesehen am 16.06.2017
- [24] OUSCHAN, M. : *Eigenes Bildarchiv*
- [25] *STS Scheltzke Internetbroschüre*. <http://www.scheltzke.de/>. – Eingesehen am 16.06.2017
- [26] SCHULZE, B. : Neue Zusatzmittel für feststoffreiche Feinstzement-Suspensionen. In: *Bauingenieur 67* (Karlsruhe, 1992)
- [27] SCHULZE, B. : Neuere Untersuchungen über die Injizierbarkeit von Feinstbindemittel-Suspensionen. In: *Grouting in Rock and Concrete* (Rotterdam, 1993)
- [28] SMOLTZYK, U. : *Grundbau Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren*. 6. Auflage. Böblingen : Ernst und Sohn, 2001

- [29] ÖSTERREICHISCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOMECHANIK (Hrsg.): *Kommentar zur EN 12715 - Injektionen*. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Salzburg, 2016
- [30] TENTSCHERT, E. : *Skriptum Geologie*. Institut für Geotechnik : Technische Universität Wien, 2010
- [31] WINDELBAND, L. : Zukunft der Facharbeit im Zeitalter Industrie 4.0". In: *Journal of Technical Education(JOTED)* (2015)
- [32] WINKLER, L. ; PISKERNIK, M. ; MAROSCHEK, P. : Cooperative Knowledge Management Systems for Grouting Works at Tunnel Sites. In: *4th Arabian Tunneling Conference* (Dubai, 2017)
- [33] Norm ÖNORM B 1997-2 2012-03-15. *Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen*
- [34] Norm ÖNORM EN 12715 2001-02-01. *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Injektionen*
- [35] Norm DIN EN ISO 22282-3 2012-09-01. *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 3: Wasserdruckversuch im Fels*
- [36] Norm ÖNORM B 4454 2001-09-01. *Erd- und Grundbau - Injektionen in Fest- und Lockergestein - Prüfungen*
- [37] Norm ÖNORM B 4422-2 2002-06-01. *Erd- und Grundbau - Untersuchung von Böden - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit*
- [38] Norm ÖNORM B 4400-2 2010-03-15. *Geotechnik - Teil 2: Benennungen und Definitionen, Beschreibung und Klassifizierung von Fels*
- [39] Norm ASTM D6910 / D6910M 2009-04. *Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Clay Construction Slurries*

Anhang A: Fragenkatalog

Fragebogen

Datenmonitoring bei Injektionen

Erstellt von: Michael Ouschan, BSc.

Zweck: Zur Untersuchung und Weiterentwicklung der Digitalisierung von Injektionen, im Zuge meiner Diplomarbeit am Forschungsbereich für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der TU Wien, unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Gerald Goger und der Betreuung durch Herrn Univ.-Ass. Leopold Winkler



Kurze Erläuterung:

Die letzten beiden Jahrzehnte waren geprägt durch eine Digitalisierung des Alltags. In allen Bereichen des Lebens stehen uns digitale Hilfsmittel zur Verfügung, durch welche alltägliche Prozesse optimiert werden. Die Entwicklung von Hilfsmitteln zur Abwicklung von Baustellen hinkt im Vergleich zu anderen Sektoren etwas nach. Während im Hochbau zwar schon planungsübergreifende Systeme wie das Building Information Modelling (BIM) Form annehmen, gibt es im Tiefbau noch wenige unterstützende Programme, obwohl vor allem dieser, durch seine Unzugänglichkeit des Baukörpers, prädestiniert für neue Softwares im Datenmanagement ist.

Es existieren bereits Ideen zur Optimierung des Datenmanagements im Spezialtiefbau, welche die Dokumentationsprozesse für das operative Baustellenpersonal zu verkürzen vermögen und somit Zeit schaffen, den Fokus auf wesentliche Aufgaben zu legen.

In meiner Arbeit analysiere ich daher im Detail die **Datenflüsse bei Injektionsarbeiten**, in welcher Form diese auftreten und welche Möglichkeiten der Verarbeitung und Analyse es bereits am Markt gibt. Zusätzlich möchte ich die Ideen der im Sektor tätigen Unternehmen miteinbeziehen, um Potentiale für Entwickler aufzudecken. Meine Arbeit soll Aufschluss über die zu bewältigenden Anforderungen und Ansatzpunkte für innovative Ideen liefern. Sie entsteht in Zusammenarbeit mit dem FFG-geförderten Projekt, **Digitalisierung von Bauprozessen im Tiefbau**.

Bei der Beantwortung der Fragen bitte ich Sie nach bestem Gewissen vorzugehen und etwas über den Tellerrand hinauszublicken.

Danke für Ihre Mitarbeit!

Unternehmen/Firma:

Namen:

Funktion:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Forschung & Entwicklung | <input type="checkbox"/> Planer |
| <input type="checkbox"/> Ausführender (z.B. Bauleitung) | <input type="checkbox"/> Kalkulation |
| <input type="checkbox"/> Techniker | <input type="checkbox"/> Andere |

Genauere Bezeichnung der Funktion:

Führen Sie als Unternehmen selbst Injektionen durch?

Ja Nein

Haben Sie persönlich auf einer Injektionsbaustelle gearbeitet?

Ja Nein

Wenn ja, in welcher Funktion?

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen?

Ja Nein

Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

1. Datenaufnahme im Herstellprozess und Datenfluss

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt?
Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten?

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert?
In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar?

Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?



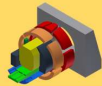
Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet?

Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanagements bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest.

Datenfluss	1. Messung		2. Speicherung		3. Analyse	
Entwicklungsstufen	Methode		Methode		Methode	
1. analog	analog	indirekt	Protokolle	indirekt	Tabellenkalkulation	-
2. teilweise digital	digital / analog	direkt / indirekt	einzelne Datasets	direkt / indirekt	proprietäre Software	Export – Import Files
3. digital	digital / Maske	direkt	Datenbank	direkt	real-time Analyse	direkt

2. Digitalisierung im Spezialtiefbau

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl?

- rückständig
- up-to-date
- fortgeschritten
- innovativ

Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit?

Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)?

Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

**Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich?
Welche?**

3. Optimierung und Weiterentwicklung

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Anhang B: Fachgespräche

	Funktion	Unternehmen	Fachspezifisch	Erfahrung	Datum
Ausführender A	Abteilungsleiter, Projektleiter, Abteilungsleiter	öster. Bauunternehmen; international tätig	alle Arten an Injektionen	in allen geotechnischen Bereichen	17.05.2017
Ausführender B	Projektleiter, Oberbauleiter	deutsches Spezialtiefbauunt.; europaweit tätig	Injektionen im Tunnel- und Wasserbau	Abwicklung zahlreicher Injektionsbaustellen	30.05.2017
Ausführender C	Bauleiter	österreichisches Spezialtiefbauunt.; internat. Tätig	alle Arten an Injektionen	vor allem kleine Injektionsbaustellen	11.07.2017
Planer und Sachverständiger X	Planer, Berater für Injektionsbaustellen	österreichisches Planungsbüro für Geotechnik	auf Injektionen spezialisiert	vor allem Injektionen im Tunnel- und Stollenvortrieb	19.06.2017
Planer und Sachverständiger Y	Geschäftsführer, Planer, ehemaliger Bauleiter	österreichisches Planungsbüro für Geotechnik	Injektionsspezialist	Abwicklung von Injektionsbaustellen weltweit	22.06.2017
Planer und Sachverständiger Z	Sachgutachter, ehemaliger Bauleiter, Projektleiter und Institutsleiter	im Ruhestand	Locker- und Festgesteins- injektionen	Abwicklung von Injektionsbaustellen weltweit; zusätzlich langjährige Forschungs- erfahrung an einer österreichischen Universität	07.07.2017
Auftraggeber 1	Bauaufsicht	öffentlicher österreichischer Auftraggeber	Anker- und Mikropfahl- verpressung	zahlreiche Schutzbauwerke	16.05.2017
Auftraggeber 2	Technische Projektsteuerung, Bauaufsicht	öffentlicher österreichischer Auftraggeber	Injektionen als Begleitmaßnahme im Tunnelbau	Großprojekte im Tunnelbau	31.05.2017

Abbildung 1: Übersicht der Gesprächspartner

Fachgespräch vom 16.05.2017 - Auftraggeber 1

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

*Fundierungen von Schutzanlagen gegenüber Naturgefahren; Rückverankerungen auf Stabankerbasis, Mikropfähle
rund 5%*

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Es wird pro Jahr ca. 1km Steinschlagverbau gebaut; ca. 10 Baustellen/Jahr

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

*Marktanteil für Auftraggeber irrelevant
Nur national tätig*

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

*Bislang erfolgte die Dokumentation gemäß ONR 24810
Auf vereinheitlichten Protokollen (Datum, Uhrzeit, Temperatur, Witterung, Bohrloch, Ankerart, Tiefe, Injektionsmenge, besondere Vorkommnisse während Bohren - Lagerungsdichten) Nachverpressen entscheidend (Menge + Druck)
Mitschrift erfolgt vom Bohristen*

Einheitlichkeit

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

*Druckmesser
Durchflussmesser
Schneckenpumpe; je nach Förderleistung unterschiedlicher Druck*

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

*Die Details bzgl. Messung und Aufzeichnung werden der Baufirma überlassen.
Für AG entscheidend ist die Qualität des Injektionsguts; Kontrollen gemäß ÖNORM EN 445 und EN 446*

Qualität - Injektionsgut; Zuverlässigkeit

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Eine Dokumentation bei der Ausführung von Mikropfählen erfolgt im Baubuch; somit nur in Papierform

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Über die Kennzeichnung der Bohrlöcher auf den Protokollen, welche vorab in einem Plan festgelegt sind.

ÖBA ist bei solchen Baustellen ständig vor Ort und beaufsichtigt die ausgeführten Arbeiten

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

Endspeicherort: Baubuch

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Dokumentation im Baubuch; Abrechnungsgrundlage

Abrechnung

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

Nein

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Material in Sackware; Kompaktanlage (Pumpe + Mischer)

Verpressmenge wird rein über Mörtel-, Zementverbrauch abgerechnet.

Pumpe kann nur in einem gewissen W/B-Gehalt (fest-flüssig) fördern; Suspensionsmischung wird über Absatzmaß, usw. kontrolliert

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

Grundsätzlich ist immer ein Mitarbeiter der Bauaufsicht vor Ort und kontrolliert die Ausführung der Arbeiten. Da das Baugrundrisiko auf Bauherren-Seite liegt, gilt es in der Ausschreibung bereits genau festzulegen, unter welchen Bedingungen ein Strumpf bei der Verpressung zu verwenden ist, usw.

Zur Qualitätskontrolle des Injektionsmittels ist es bei Sackware (bei Silos erfolgt

ein automatisches Einmischen) essenziell, das Absetzmaß und das Ausbreitmaß kontinuierlich zu prüfen.

Eine Kommentierung der Ereignisse erfolgt handschriftlich am Protokoll

Qualität: Injektionsgut + Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Mittels der Unterzeichnung seitens der Bauaufsicht und AG werden die Arbeiten als abgeschlossen gekennzeichnet. Bei Baubesprechungen prüft ein Auftraggebervertreter nochmals die Arbeiten und unterzeichnet die Protokolle.

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Baubesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

Pläne im Baucontainer auf Papier mit nummerierten Mikropfahrlaster. Durch abhaken wird der Stand der Arbeiten gekennzeichnet und die Situierung festgehalten

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

Für Kostenschätzungen werden die Unterlagen herangezogen. Elementkosten werden in der Ausschreibung anhand von abgeschlossenen Baustellen definiert: Kosten Laufmeter Mikropfahl, etc.

Kalkulation

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Die Protokolle entsprechen im Prinzip den Aufmaßblättern, nach Laufmeter Mikropfahl und kg Injektionsgut wird abgerechnet.

AUER und ABK

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Office (Word, Excel)

Outlook (Mail)

ABK, AUER (Abrechnung)

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanage-

ments bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest. Bitte begründen Sie Ihre Auswahl im Anschluss!

Komplett analog;

Bislang hat noch keine Firma ein digitales System für Datenmonitoring mit angeboten.

Wenn es ein System am Markt gibt, kann in der Ausschreibung ein digitales System gefordert werden. Sonst würden kleinere Firmen ausgeschieden werden, da Sie nicht in der Lage sind, in diesem Bereich nachzurüsten. -> Der faire Wettbewerb muss gewährleistet sein

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Besser digitalisierte Bauprozesse im Spezialtiefbau sind Großbohrpfähle, Litzenanker, usw.

Grundsätzlich alles, wo man sich gut positionieren kann; wo die Arbeiten konzentriert durchgeführt werden können.

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Ja, großes Potential.

In sämtlichen Herstellungsprozessen passiert zunehmende Digitalisierung; Bohrgeräte werden immer besser, die Firmen rüsten stetig auf

Digitalisierung an sich hinkt hinten nach.

Auf jeden Fall ist eine 100 %ige Digitalisierung möglich, problematisch ist das Baufeld, die Situierung und flächendeckende Netzabdeckung.

Diese ist jedoch nur effizient, wenn die Prozesse erleichtert und nicht unnötig verkompliziert werden

Komplexität

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Noch keine Erfahrung.

Eine automatische Abrechnungserstellung wäre sehr wünschenswert zur Fehlerminimierung und Zeitersparnis

Abrechnung

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationsysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig

von Bauherr und/oder Projektgröße?

Keine bekannte Baustelle; jedoch wenig Einblick in andere Abteilungen

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

- *Genauigkeit (für Auftraggeber entscheidend)*
- *Fehlerminimierung*
- *Vereinfachung der Arbeitsprozesse*
- *Zeitfaktor (vor allem für Auftragnehmer)*

Entlastung; Genauigkeit

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

*Die Abrechnungsgenauigkeit ist bei Mikropfählen bereits sehr genau, aufgrund Ihrer Länge und relativ konstanten Injektionsmenge je Laufmeter
Als Hauptvorteil wird der Zeitfaktor genannt.*

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Wie verhalte ich mich, wenn das System auf der Baustelle versagt. Wie überbrücke ich einen Ausfall klassisch analog?

Zu großes Vertrauen auf digitale Systeme ist als nachteilig anzusehen.

Systemausfall, Ingenieurmäßiges Denken

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Ausfall auf der Baustelle

Fehlende Abrechnungsgrundlage

Systemausfall

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Zur Zeit keine bekannten Verbesserungen in dem Bereich

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Bohren: Aufzeichnung des Bohrfortschritts

Injektionen: Nachinjektionen bei Gewi-Pfählen sollte mitprotokollierbar sein

Bauzeitprognose

Welche Funktion sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

Zur Zeit gibt es stichprobenartige Injektionsmittelprüfungen

Interessant wäre eine laufende Kontrolle des W/B-Gehalts zur Verbesserung der Qualitätskontrolle

Injektionsgut

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Standardisierte Protokolle und Übersichten.

Wichtig ist, auf einen Blick alles finden zu können

Basis für Abrechnung

Einheitlichkeit; Abrechnung

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Im Bereich der Mikropfahlverpressung wird von 0 weg gestartet. Somit bedürfen alle Bereiche einer Entwicklungsarbeit

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Datenaufzeichnung pro Mikropfahl; immer ein Dokument pro Pfahl, auf welchem jederzeit eingesehen werden kann welche Lasten dieser aufnehmen kann, wann dieser hergestellt wurde, usw. -> entscheidender Schritt für Wartung

Listen

Fachgespräch vom 17.05.2017 - Ausführer A

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Es werden alle Arten von Niederdruckinjektionen von Zeit zu Zeit durchgeführt, jedoch stellen Injektionen nur einen Bruchteil der Arbeiten des Leistungsspektrums im Spezialtiefbau dar.

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Die Größe der Baustellen ist stark von der Auftragslage abhängig; es können sowohl große Projekte mit gutem Umsatz über mehrere Jahre, als auch mehrere kleine sein.

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

In Deutschland besteht eine höhere Auftragslage betreffend Injektionen, unter anderem gibt es große Injektionsbaustellen. Die Auftragslage kann jedoch nicht als konstant angenommen werden.

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

Es werden, abhängig vom Injektionsteam und der Art der Injektion, einfache Druck-Mengen-Schreiber (Hatlapa) oder die vom Pumpenhersteller (z.B. Obermann) bereitgestellten Systeme zur Datenaufzeichnung verwendet.

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Durchflussmesser: Hubzähler bzw. elektromagnetische Durchflussmesser für Suspensionen, etc.

Zeitaufnahme

Druckmessgeräte

Hatlapa

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Hängt vom System ab. Obermann über Hubzähler, andere direkte Durchflussaufzeichnung mittels elektromagnetischer Messgeräte.

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Die Erstspeicherung erfolgt lokal bei der Pumpensteuerung in .csv oder .txt Format. .txt-Dateien werden in .csv umgewandelt

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Pumpenfahrer gibt den Punkt manuell ein und anhand der Eingabe wird gespeichert. Das bedeutet, dass Falscheingaben der Mitarbeiter später überprüft und korrigiert werden müssen, um die Injektionen zuordnen zu können.

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

Die Daten werden lokal gespeichert und dann auf einen USB-Stick, eine SD-Karte oder ein ähnliches mobiles Datenspeichergerät übertragen, um Sie so auf den PC im Baubüro/den Baucontainer zu transferieren.

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Die Analyse erfolgt vorrangig (zu ca 95 %) mit Microsoft Excel. Zur Kontrolle der Daten werden diese mit den Handmitschriften der Pumpenfahrer abgeglichen.

Kommentierung

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

Die erhobenen Messwerte werden lediglich für sich ausgewertet. Eine Verknüpfung mit anderen Dokumenten erfolgt nicht. Die Übertragung erfolgt manuell.

Weiterverwendung

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Bei kleinen Baustellen wird das Material in Sackware auf Paletten angeliefert. Der Verbrauch wird festgehalten, indem manuell der Verbrauch an Säcken aufgezeichnet wird.

Bei größeren Baustellen erfolgt die Materialzufuhr über Silos, welche mit einem Materialstand versehen sind. Von Zeit zu Zeit werden sie abgeklopft, um die Genauigkeit der Anzeige zu gewährleisten.

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

Theoretisch hat der Pumpenfahrer die Möglichkeit bei der Punkteingabe auch Kommentare zu ergänzen. In der Praxis erfolgt solch eine Anmerkung jedoch nur handschriftlich. Diese muss vom Bauleiter/Techniker dann in die Protokolle mitaufgenommen werden. Eine automatische Kommentierung ist nicht möglich.

Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen

bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Die ÖBA erhält die fertiggestellten Protokolle, sowie auf Wunsch die .csv-Quellcodes. Die Protokolle werden in ausgedruckter Form unterzeichnet übergeben. Durch die Unterschrift der ÖBA gelten diese dann als abgeschlossen.

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

Eine Visualisierung wird de-facto nicht gemacht. Der Baufortschritt wird handschriftlich durch Markieren und Abhaken auf den Plänen dargestellt.

Zu Beachten ist, dass ein hoher Anteil der Baustellen Sanierungsarbeiten betreffen, bei welchen das Ziel ist, die Dichtheit herzustellen. Diese bedürfen keiner Visualisierung, da erst abgeschlossen wird wenn die Dichtheit gewährleistet werden kann.

Eine Verknüpfung mit Plänen erfolgt nicht.

Visualisierung

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

Die Daten werden in nur seltenen Fällen als Referenzwerte herangezogen. Für Gewöhnlich spielen Erfahrung und Gefühl eine übergeordnete Rolle.

Weiterverwendung

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Theoretisch ist es über das Abrechnungsprogramm möglich. Die Abrechnung der Massen erfolgt jedoch meist über eine Aufsummierung der einzelnen Massen in Excel. Die ermittelten Werte werden dann händisch in das Abrechnungsprogramm überführt.

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

AUER - Abrechnung

Outlook - E-Mail

Hatlapa, Obermann-System - Datenschreiber

Microsoft Excel - Tabellenkalkulationsprogramm zur Auswertung

pdf-creator - Prtokollerstellung

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanage-

ments bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest. Bitte begründen Sie Ihre Auswahl im Anschluss!

Bezüglich der Entwicklungsstufe im Unternehmen wurde in Datenschreiber zur Aufzeichnung von Daten investiert, jedoch gibt es noch keine direkte Verknüpfung zwischen Datenaufnehmer und Bearbeitungsgerät. Die Speicherung erfolgt in Datensets und zusätzlich mittels Protokollen durch die Pumpenfahrer. Bezüglich der Analyse werden nach wie vor Tabellenkalkulationsprogramme verwendet.

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Up-to-date insofern, da die anderen Bereiche des Spezialtiefbaus auch nicht weit in der digitalen Entwicklung sind. Es bestünde die Möglichkeit sämtliche Herstellungsdaten aufzuzeichnen, doch wird dies bisher in der Praxis nicht durchgeführt, da der Bedarf bislang noch nicht gegeben war. Mit zunehmenden Forderungen durch den Auftraggeber, gilt es somit dann auch sich im Bereich des digitalen Datenmanagements Gedanken zu machen.

Besser digitalisiert sind Prozesse wie DSV, sämtliche Bodenmischverfahren (Mixed-In-Place, etc.) und auch Rüttelstopf-/Rütteldruckverdichtung.

Datenhaltung; Belastbarkeit

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

*Das Potential wird als sehr groß eingeschätzt, jedoch auch als kritisch betrachtet. Die Befürchtung besteht, dass durch eine zunehmende Digitalisierung sich das ingenieurmäßige Denken verringert. -> **Ingenieurmäßiges Denken***

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Keine Erfahrung

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Es ist bekannt, dass Konkurrenzfirmen mit equana zusammenarbeiten und hat deren Systeme gesehen, jedoch noch nie selbst damit gearbeitet. Das Unternehmen habe zu wenig große Injektionsbaustellen, deren Fachkompetenzen liegen schlicht in einem ganz anderen Bereich.

Je öfter mit solchen Systemen gearbeitet wird, desto eher werden Auftraggeber in Ihren Ausschreibungen solche Systeme verlangen. Fraglich ist, wie lang es dauert bis diese Forderung auch in der Norm verankert ist. Sobald dies passiert, werden vermehrt solche Datenmonitoringsysteme gefordert.

Norm

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

Zeitersparnis denkbar

Die erleichterte Qualitätskontrolle

Entlastung

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass eine genaue Abrechnung erfolgt.

Abrechnung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Auftraggeber und ÖBA vertrauen viel mehr auf bunte, aufbereitete Bilder und weniger auf Fachwissen. Es wird befürchtet, dass das ingenieurmäßige Denken verloren geht.

Erfahrung geht verloren und es wird mehr den Maschinen blind vertraut. Außerdem geht die Entwicklung weg vom Fachingenieur mehr in Richtung zum Fachinformatiker/-elektroniker.

Als Beispiel wird beim Bohren darauf hingewiesen, dass Herstelldaten zwar eine gewisse Aussagekraft besitzen, aber mit Vorsicht zu genießen sind. Nur isoliert betrachtet kann keine qualitative Aussage getroffen werden. Während der Herstellung ist unter anderem der Zustand der Bohrkronen von Belangen, welcher nicht aufgezeichnet wird.

Ingenieurmäßiges Denken

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Es muss unterschieden werden zwischen arbeitserleichternden Programmen und Zusatzangeboten, welche von IT-Firmen angeboten werden und nur die Darstellungsart betreffen. Es wird als problematisch angesehen, dass immer mehr IT-Unternehmen in den Baumarkt eindringen wollen und neue Systeme anbieten, welche vor allem durch innovatives Design und weniger durch know-how zu bestehen wissen. Bauherren sehen solche Systeme und nehmen diese in Ihre Ausschreibung auf, ohne ausreichend zu hinterfragen, ob diese wirklich mehr nützen, als dass sie Arbeit verursachen.

Personalbedarf IT

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Im Moment kann nichts konkretes genannt werden.

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Eine automatisierte Rasteranpassung wäre wünschenswert: Für Kubaturen oder Körperherstellung (z.B. Dichtsohlen) wäre eine selbstschreitende Adaptierung des Bohrrasters von Vorteil.

Planung

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

Es wird zunächst nach den in der Planung und anhand der Vorversuche ermittelten Parameter gearbeitet. Nach Abschluss der Arbeiten kann analysiert werden, ob ein Injektionserfolg gegeben ist oder noch Arbeiten erforderlich sind.

Analysen

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

- Einfach, Selbsterklärend
- Verlässlich
- Billig
- Herstellerunabhängig (Stichwort: Lizenz)

Zuverlässigkeit; Intuitiv - Einfach; Kosten

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Als wirklich ausgereift kann noch kein Prozess angesehen werden

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Entscheidend für die qualitative Entwicklung eines Produktes ist, dass die handelnden Personen selbst Erfahrung mit dem Produkt haben und wissen, wieso dieses gebraucht wird. Es nützt nichts, dass ein begabter Programmierer alles umsetzen kann, was von ihm verlangt wird, wenn er den Sinn dahinter nicht versteht.

Solche Entwickler, welche aus Ihrem eigenen Bedürfnis heraus Verbesserungen anstreben, gehören gefördert, da nur sie auch wirklich dem Bausektor zu nützlichen

Werkzeugen verhelfen können.

Personalbedarf IT

Fachgespräch vom 30.05.2017 - Ausführer B

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Böden und Fels, insbesondere bei Tunnelbau und Wasserkraftwerken; Kontakt- und Konsolidierungsinjektionen; Abdichtungsinjektionen; Sowohl zementbasiert als auch chemisch

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Wenige große Baustellen

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

Tunnelbau Injektionen groß; international sehr sehr klein; Schweden, Dänemark, Österreich, Norwegen, Deutschland, Indien, Chile

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

equana IDM

Zuvor: Leuchtmarker, Excel, Übersichtsplan, Herstellspezifische Software für Injektionsprotokolle (Scheltzke, Obermann, etc.) für Tagesprotokolle und Listen

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Druckaufnehmer

Mengenmessung: Induktive Durchflussmesser für leitende Flüssigkeiten

PU: Kolben-Hub-Messung -> dann kumulative Menge

Druck, kumulatives Volumen, Durchfluss; Durch Pumpe bestimmt

Zuverlässigkeit

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Kolben-Hub: Druck und kumulative Menge; Es muss ein Volumskriterium angewandt werden bei Haltekriterium kann das zu Problemen führen, daher gibt man

hier die kumulative Menge pro Zeit an

Induktiv: Hier kann der Durchfluss als Kriterium angewandt werden, im Bereich von Sekunden-Bruchteil -> Genauigkeit von Zehntel-Liter oder Zehntel-bar

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

In der Steuerung im Herstellerspezifischen Format (z.B. Scheltzke geo-h-Dateien)

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Handprotokolle; Nominklatur wird in die Steuerung eingetragen

bei hohen Datensätzen laut Arbeitsanweisung automatisch (bedeutet, dass der Arbeitsablauf schon bekannt sein sollte)

bei geringen Datensätzen händische Eintragung

Zukunft: Injektionsspezifischen Daten in einen digitalen Plan hochladen, damit diese auf der Baustelle durch Klick abrufbar sind

Planung - Projektmanagement

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

2 Möglichkeiten: 1: Drahtlos über GSM bzw. WLAN (eher weniger)

2: USB-Stick, im Falle einer Verbindungsstörung oder Baustelle ohne Netz

Live-Daten

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

*Über eine Ausgabe als csv. kann eine weitere Bearbeitung erfolgen (ohne IDM)
GeTec für Analyse und Auswertung besser geeignet*

IDM: pdf. oder csv. Format, je nach Wunsch des Bauherren

Zukunft: Kein Sinn ein Format zu erzeugen, wenn jeder Zugriff auf die Daten hat und sich Protokolle nach eigenen Vorstellungen erstellen kann. Alle Beteiligten arbeiten an einem System

Individuelles Arbeiten

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

IDM offeriert Prozessmanagement; hier können alle Prozesse mit aufgenommen werden (durch zuvor definierte Prozesse)

Prozessmanagement

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Zur Zeit in Excel, verbrauchte Mengen (Chargen oder Kanister) werden täglich eingetragen; Zusätzlich wird der Materialverbrauch auch über Mischprotokolle kontrolliert

Eingabe der Liefermengen; Abgleich mit Protokollmengen -> neues Tool im IDM soll eine Echtzeit-Kontrolle liefern (zumindest periodisch - tagesgenau)

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

*Stop-Codes in der Steuerung (nur exges), bei manuellem Abbruch; Austritte, Umlauf, Kontrolle der Messsensoren, Nachgiebigkeit Packer
händische Eingabe als Kommentar*

Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Vision: Im gleichen System die Daten zu betrachten, Kontrolle der Protokolle, Listen und Aufmaß im System des Erstelltes

Kollaborationsserver, Mail; Übertragung von csv und pdf

Kennzeichnung durch Unterschrift setzen; Protokoll=gemeinsames Aufmaß

Datenbank

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

Vision: Schematische Digitalisierung des Bausolls via Ampelsystem

An einer Planverknüpfung wird gearbeitet, man kann sich die Visualisierung sparen, eine Liste wird als ausreichender angesehen; Visualisierung zu kompliziert und Fehleranfällig

Liste

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

Bisher die Excel-Blätter nicht

*Leistungskontrolle gibt Aufschluss über Kalkulation -> Erfahrungswerte sammeln
Mit IDM wäre es möglich, dass man sich Aktivitätentrends und Kreisdiagramme generiert. Für IST-Darstellung okay, Auswertungstool noch möglich -> Auch für Bauzeitprognose dann nützlich, via Monte-Carlo-Simulation basierend auf realen*

Daten (prozentuale Abschlussgenauigkeit - Risikobasiert)

Im Kleinen Beginnen und dann auf komplexere Sachen erweitern

Projektmanagement; Leistung - Kalkulation; Bauzeitprognose; Analysen

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Zuvor mit Excel, nun mit Aufmaßerstellung von IDM als csv, an einem iTwo export wird gearbeitet

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Früher: Steuerung, Firmenspezifische Software für Protokoll-/Listenerstellung, Excel, Auer, iTwo, Email

Heute: IDM, iTwo, E-Mail

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanagements bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest. Bitte begründen Sie Ihre Auswahl im Anschluss!

Eigentlich komplett digitale Entwicklungsstufe, bis auf wenige Ausnahmen: z.B. Datnübertragung via USB wegn WLAN Ausfall; Handprotokoll zusätzlich zur Qualitätssicherung bzw. als Backup (z.B. Stromausfall)

Systemausfall

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Weil bei Injektionen Herstelldaten eine große Rolle spielen, ist hier die Digitalisierung weiter entwickelt. (Im Datenmanagement)

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

App mit Speichereinheit; Übertragung via Bluetooth; Hardware besteht -> Nachrüsten erforderlich

Größtes Potential im Prozessmanagement

In 5-10 Jahren Digitalisierung als Standard zu sehen

Projektmanagement

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

eguana IDM
Abrechnung

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Das Unternehmen forciert die Entwicklung digitaler Dokumentationssysteme und steht in Zusammenarbeit mit eguana GmbH

Zukünftig werden mehr Bauherren digitale Dokumentationssysteme fordern; der Bedarf unterscheidet sich

zwischen operativen Baustellenpersonal und ÖBA/BÜ nicht, beide benötigen Überwachungstools

Vor allem bei Hebungsinjektionen interessieren sich alle Beteiligten dafür; die Planung erfolgt hier ausführungsbegleitend nach Analyse abgeschlossener Injektionsstellen

Abhängig von AG

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

Qualitätssicherung, Komfort, Zeitersparnis, Klarere Prognosen, Grundlagenoptimierung, Risikominimierung, Abrechnungsgenauigkeit

- Personaleinsparung, ein Bauleiter kann leichter mehrere Baustellen betreuen, da ihm mehr Zeit bleibt

Entlastung; Qualität; Transparenz

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Wirkt sich bis zu 2-3 % gestützt auf Erfahrungen aus

Abrechnung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Systemfehler können gravierende Auswirkungen haben, da sie verspätet erkannt werden

Systeme sollen unterstützen und als Tool dienen, müssen jedoch ingenieurmäßig genutzt werden. Dabei handelt es sich noch nicht um Industrie 4.0

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Zu wenig Verwendung; mit der Erfahrung kommt die Optimierung. (dabei handelt es sich um eine natürliche/logische Schwachstelle)

Sollte von Bauherrenseite gefordert werden

Eingeschränkte Möglichkeit der Verzerrung; an sich jedoch gut, weil der Computer weniger Daten verzerrt, was zu besserer Qualität führt

Systemausfall; Datenbearbeitung; Transparenz; Abhängig von AG

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

1. Prozessmanagement, analysieren und auswerten für zukünftige Baustellen -> Bauzeitprognose auf PM aufbauen

2. Visualisierung in Listenform und auch grafisch

Prozessmanagement; Listen

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Prozessmanagement; Entscheidend dafür ist es neben den Herstellprozessen die Randprozesse mitzuerfassen, um so Tendenzen früh zu erkennen

Prozessmanagement

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

w.o.

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

- Projektmanagement - erleichterte und zeitnahe Kontrolle

- Übersichtlichkeit dank Visualisierungen

- Bauzeitverkürzung

- erleichterte Aufmaßerstellung

Prozessmanagement; Visualisierungen; Bauzeit; Abrechnung

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Datenkontrolle vollkommen ausgereift über eguana IDM

bei GeTec sind auch die Visualisierung sehr ausgereift

Visualisierungen mit integrieren; Alles in einem Programm

Datenhaltung

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Partner bei eguana werden; IDM auf dem Markt vertreiben, etablieren und finanziell fördern

Fachgespräch vom 31.05.2017 - Auftraggeber 2

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Hauptsächlich Felsinjektionen; Wasserrückhaltung, Konsolidierungsinjektion (Verbesserung der Gebirgseigenschaften)

Diskrepanz zwischen ausgeschriebenen und tatsächlich abgerechneten Volumen Nach Ausschreibung ca. 5%

extrem abhängig vom Bauzeitmodell im Tunnelbau (dynamisches Modell)

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Ein Großprojekt über Jahre + Begleitinjektionen kleinere Projekte (Schirminjektionen, Tübbinghinterlegung)

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

Auftraggeber in Ö - daher irrelevant

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

AG gibt Auflagen vor, wann gewisse Datensätze fällig sind (z.B. am Morgen des Folgetages)

Da das Gebirge Eigentum des AG ist, werden Kriterien und Herstellungsparameter immer für den AN vorgegeben

Datenqualität; Live-Daten

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Messelemente wählt ausführendes Unternehmen Entscheidende Parameter: Druck und Durchfluss in Darstellung nach Zeit, Tiefe und Pässe AG will ständigen Zugriff auf die gewünschten Herstellungsdaten; Durch ÖBA direkt vor Ort vertreten
Zeitfaktor

Nach welcher Taktung/Abtaste erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Unternehmens- bzw. Ausführungsspezifisch; Bei geringen Mengen sind die Pumpenhübe entscheidend

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Herstellerspezifisch

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Zuordnung über einen Code (z.B. Bohrung-Pässe(Länge)-Tiefe-Ventil)

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

betrifft Ausführende

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

ausgewählte Daten im Excel; Rest nach Aufbereitung durch Injektionsexperten

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

kein Bedarf für AG

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Ausführende

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

seitens AG: Kontrolle der Injektionsparameter, Kontrolle des korrekt eingesetzten Injektionsguts: stichprobenartige (regelmäßige - AN) Qualitätskontrolle der Injektionsgut-Prüfungen -> Viskosität, Dichte etc.

ÖBA ist immer zur Qualitätskontrolle anwesend (um Störungen in den Datensätzen richtig zuordnen zu können); Deklarieren des Abbruchgrundes obliegt dem AN
Injektionsgut; Kommentierung; korrekte Ausführung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Zumeist Übermittlung an ÖBA/AG über Email oder Servern

Übergabe an AG in Excel bzw. auf Papier, Standardprogramm wünschenswert -> Einheitliche Software wird kritisch gesehen; scheitert oft an Firewall der Unternehmen

durch Gegenzeichnung der ÖBA des Bautagesberichts bzw. der Protokolle wird der Empfang bestätigt; Nach Beurteilung durch ÖBA, Experten -> Ablage (digital sowie Papier)

Einheitlichkeit; Sicherheit - Firmenschutz

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

*Obliegt dem AN oder der ÖBA; bei größeren Maßnahmen gibt es Speziallösungen; Bsp.: Tunnelbau - automatisch generierte tägliche Vortriebsmitteilung als Mail
Planungsbesprechungen: Visualisierungen zwar interessant, aber nicht immer notwendig -> Kostenfrage; Injektionsexperte sollte auch ohne Aufbereitung in der Lage sein zu analysieren, da er normaler Weise in Ländern tätig ist, wo solche Systeme aufgrund des Stands der Technik nicht denkbar sind*

Visualisierungen; Kosten

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

eher nicht; nur generelle Erfahrungsgewinnung für zukünftige Planungen, Ausschreibungen -> jede Baustelle eigene Randbedingungen (Geologie, Stand der Technik, etc.)

Leistung - Kalkulation

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Für AN entscheidend; ÖBA benötigt Kontrollmöglichkeit der Massenermittlungen, Abrechnungen -> Transparenz durch automatische Abrechnung beibehalten

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Word, Excel, E-Mail, pdf-creator

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Datenhaltung; im Nachhinein oft schwer nachvollziehbar was bei alten Baustellen geschehen ist; was der Bestand beim Bauobjekt (für Tunnelsanierung, usw.) ist -> Daher ist eine langfristige Haltung der Daten wünschenswert

100%ige Automatisierung nicht erwünscht; Automatisierung soll Experten entlasten und sie unterstützen, ist aber auf keinen Fall als Ersatz zu sehen; die Bewertung und die Kontrolle muss durch Menschen gegeben sein -> Vorstellbar ist, dass Algorithmen die Herstellung analysieren und Handlungsempfehlungen abgeben (z.B.: Pressure Sensitive Grouting - Kölnbreinsperre)

Datenbank; Analysen nach Algorithmen

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Auftragnehmer; Vertragsmodell zwischen Subunternehmer für Injektionen und ARGE entscheidend dafür

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Ja, aber im Sinne von digitaler Lagerstandskontrolle, etc.

Ja, abhängig von Projekten; vor allem denkbar für große Sonderlösungen mit großen Datenmengen

Baustellengröße; Datenreiche Kampagne

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

Um den Überblick über große Datenmengen und die Menge an Dokumentationsmaterial zu bewahren

Datenbank; Belastbarkeit

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Zwischenschritte zu vermeiden hilft bestimmt die Abrechnungsgenauigkeit zu verbessern; die Gefahr von Ziffernstürze usw. zu minimieren

Abrechnung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Verlust des ingenieurmäßigen Denkens; Wegrationalisierung von Menschen problematisch, sind nicht ersetzbar

Ingenieurmäßiges Denken

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Fehlerhafte Datenkalibrierung; Aufzeichnung muss funktionieren, egal in welchem Bereich; Falscher Umgang mit Filtern seitens der Anwender -> führt zu Datenverlust

Im Endeffekt muss jemand mit Menschenverstand die Aufzeichnungen kontrollieren; Menschen nicht ersetzbar

Fehleranfälligkeit - Komplexität; Genauigkeit

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Die Sensorstabilität ist noch nicht ausgereift; Ausmerzen der genannten Schwachstellen (s.o.)

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Keine direkte Funktion im System, aber: Klare Definition des Prozesses und der Verantwortlichen im Prozess; Abweichungen vom SOLL-Verhalten meist aufgrund Fehlverhalten der Verantwortlichen (Planer-Experten-ÖBA-Geologen-Geotechniker-AG-AN)

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

Klare Definition des Prozesses und der Verantwortlichen im Prozess; Abweichungen vom SOLL-Verhalten meist aufgrund Fehlverhalten der Verantwortlichen (Planer-Experten-ÖBA-Geologen-Geotechniker-AG-AN)

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Datengenauigkeit und Verlässlichkeit

Zuverlässigkeit - Genauigkeit

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Die Datenverarbeitung in den Tabellen und Protokollerstellung; Fokus ist auf Stabilität und Support im Falle von Problemen zu legen

Schnelle Bearbeitung

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Vor allem auf einen guten Support achten und Spezialisten auf dem Gebiet ins Team holen

Support

Fachgespräch vom 19.06.2017 - Planer und Sachverständiger X

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Sicherungen bei Stollenvortrieben, gebirgsverbessernde Maßnahmen, Abdichtungsmaßnahmen, Tunnelvortriebssicherung, Ringspaltverpressung bei Tübbingern

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

*Stollenbau 20 – 30 %, Beratungsleistung bis zu 100 %
ansich alle Großprojekte im Wasser- und Tunnelbau*

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

kleiner Markt generell; eigentlich nur in Österreich

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

Nein

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt?
Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Druck-Mengen-Verläufe über die Dauer

Injektionsgut (zement, basisch) + Rezeptur

spezielle Beobachtungen während Injektion (druckloses Verpressen, usw.)

welches Abbruchkriterium schlagend war (Druck, Menge, Intensität,...)

Zeitfaktor; Kommentierung

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Pumpenabhängig

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Ausführungsspezifisch

Excel-Format

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Manschettenrohr: Loch - Passe - Daten über Zeit + Dokumentation vom Pumpenfahrer

Bohrlochinjektion: Ergebnisse je Loch; km - Nummer Bohrloch (+ Länge, Durchmesser) - Injektionsgut - Herstellungsdaten + Verläufe

Datenbank

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

Ausführungsspezifisch

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Ausführungsspezifisch

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

Ausführungsspezifisch

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Baustelle muss ausreichend Injektionsgut sicherstellen

Planer legt Mengen fest, zu haltendes Injektionsmittel ermittelt das Unternehmen laufend muss Kenntnis über zu erwartende Massen eingeholt werden

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

*Qualitätskontrolle Injektionsgut: Güteprüfung (mechanisch, rheologisch), Viskosität
Qualitätskontrolle Ausführung: Kommentare Pumpenfahrer wichtig; Abschalten der Pumpe ist nämlich ein vorprogrammiertes Kriterium*

Injektionsgut; Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Plattformablage; ÖBA, Planer können möglichst bald darauf zugreifen

Betreuende Geologen fassen dann die Daten oft zusammen

Datenbank; Live-Daten

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

Durch AN oder ÖBA bei Geotechnik Besprechungen

Interpretation etwas verspätet - nach Abstimmung

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

AN

Injektionsdaten als Grundlage für neue Planungen

Vergleichbarkeit der Projekte entscheidend (Material, Verfahren, Geologie, Durchlässigkeit, Volumen...)

Leistung - Kalkulation

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

CAD-Programme (Darstellung, Pläne)

Excel, Word

übliche Grafikprogramme

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

*bisher ausreichend digitalisiert, sehr stark von Datenmengen abhängig
bei großen Baustellen ist ein höherer Digitalisierungsgrad von Vorteil
Kosten-Nutzen/Aufwand*

Baustellengröße; Kosten

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

bei sehr großen Kampagnen (vorausseilende Injektion, große Bohrlänge, viele Bohrungen pro Querschnitt)

insbesondere Visualisierung der Ergebnisse: Darstellung in Modellen (Zylinderstrukturen in Farben: Ausbreitung, Menge und Druck)

100 % nie möglich; immer unvorhersehbares, verbale Dokumentation durch Pumpenmannschaft bei Störungen und bei Fortschreiben der maximalen Parameter

Datenreiche Kampagne; Körper mit Eigenschaften; Dialog

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

vorgestellt, noch kein Einsatz

Baufirmen im Hintergrund bereits - als Planer bisher noch kein Zugriff

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

- *Verarbeitung großer Datenmengen innerhalb kurzer Zeit*

- *Problemstellen früher erkennen: schnelleres Reagieren (Nachinjizieren, Fortschreiben)*

Visualisierung

Schnelle Bearbeitung; Planung - Projektmanagement; Visualisierung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Kosten; Wartung: zusätzliches Personal zur Anpassung an Injektionskampagne, weil jede Injektion für sich eigenständig ist

Wesentliches übersehen

Verlassen auf digitale Daten

Kosten; Personalbedarf IT; Systemausfälle

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Bedenken: Kommunikation Baustelle - Expertise; Informationsaustausch entscheiden, darf aber NICHT verloren gehen, denn nicht alle Informationen können digital erfasst werden

Dialog

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Handhabung muss leicht sein

Intuitiv - Einfach

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

*zeitnahe, komplette, saubere Dokumentation
gezielter Zugriff auf einzelne Daten (z.B. Passe)
Strukturierte Ablage*

Datenbank; Live-Daten

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

siehe oben

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

*einfache Handhabung
Übersichtlichkeit des Programms
kurze Wege, intuitiv*

Intuitiv - Einfach; Einheitlichkeit

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

*- Verläufe (Druck, Menge)
- Darstellung wichtiger Parameter wie Enddruck, Menge, Dauer
Fokus auf Visualisierung von Injektionsdaten (z.B. Zylindermodell: Größe=Menge, Farbe=Injektionsgut, Intensität=Druck)*

Körper mit Eigenschaften

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie

tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

bei Großprojekten wie Verkehrstunnel eine Versuchsstrecke einrichten dem Bauherren dadurch die Vorteile des Produkts vorstellen über öffentliche Auftraggeber Projekte akquirieren

Nach AG

Fachgespräch vom 22.06.2017 - Planer und Sachverständiger Y

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

jegliche Bodeninjektionen; jegliche Felsinjektionen; Vorspanninjektionen

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

ca 30%; sowohl große, als auch kleine Baustellen

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

Injektionsmaßnahmen auf jeder Baustelle - Tunnelbau wenig; Kraftwerksbau enorm viel; Österreich, Deutschland, Kanada, Äthiopien, Ecuador, Italien, Schweiz, Iran, Indien, Bhutan, Sri Lanka, Thailand

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

GeTec - reines Visualisierungstool; eguana bekannt - Vorteil wie die Daten abgegriffen werden, direkte Verfügbarkeit, drahtlos; Tools wie Excel, Tableau und Arcgis (geographisches Informationssystem); im AutoCAD 3D selbst Skripten schreiben und Körper mit Eigenschaften versehen

Ortsungebunden

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

*Durchflussmesser, Druckmessinstrumente, Prozessviskosimeter (zukünftig)
Druck, Menge, Durchfluss über Zeit*

Zeitlicher Fokus

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Sekundenweise, reicht komplett aus; Chemisch über Hübe, bis dato wurden Kanister Injektionsgut gezählt, weil Ergebnisorientiert (v.a. PUR); neu, auch über Durchfluss steuern (Acrylate)

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Am Gerätespeicher, bei Sonderlösungen direkt mit Baustellencomputer (Niagara); zumeist csv-Dateien, bzw. irgendeine lesbare Datei

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

Immer auf die Baustelle zugeschnittenes System; komplex - fehleranfällig; Punktezuordnung nach Abschluss oft schwierig; Stichwort: gewerbliche Mitarbeiter vorgefertigtes Konstrukt wünschenswert

Komplexität; Datenbank

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

Bis dato Ablage auf Computer in unterschiedlichen files; Übertragung via USB

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Exceldateien (Hauptsächlich); teilweise selbst gestrickte Lösungen; vielen Bauherren nicht bewusst, dass für Gesamtauswertung ein übergreifendes System (Datenbank) notwendig

Datenbank

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

*Bis dato nicht; Übersicht über gesamte Baustelle absolut wünschenswert -> besseres Konfliktmanagement (weniger Überraschungen) **Integration der Planung***

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

*Chemisch: Händische Kanisterzählung; Zement: Lieferscheine
Problematisch weil großer Kostenfaktor*

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

Abbruch nach Kriterien automatisch; Sonderabbrüche (Umlauf, Austritt) Handmitschrift Pumpenfahrer; auch Abbrüche nach Umläufigkeiten, usw. durch Kriterien früher erkennen

Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

*USB-Stick, Austauschserver, nur einzelne Files, das Mindestmaß wird übergeben
Transparenz erwünscht, aber ohne Kontrollverlust*

Unterschrift durch ÖBA

Transparenz

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

*Auch bei AutoCAD wird aus einem vorgeschriebenen File die Information geholt;
Datenbankauswertungssysteme wie Tableau, selbst gestrickte Lösungen*

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

*Nur wenige Firmen nutzen die Daten zur weiteren Nachkalkulation;
der eigentlich entscheidende Leistungswert ist die Umsetzzeit, Datenhaltung dafür entscheidend um Analysen darüber zu machen;*

Nebenleistungen neben dem Pumpen werden oft unterschätzt, kurze Pumpzeiten bedeuten den Bedarf an mehr Arbeitern

Leistung - Kalkulation; Prozessmanagement

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Erstmals auf Baustelle in Stuttgart automatische Aufmaßerstellung, importieren ins iTwo; Zuvor Massenermittlung über Excel und händische Übertragung

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche?

(z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Excel; Outlook; Pdf; Auer; AutoCAD; Tableau u.ä.; Mathlab

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanagements bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest. Bitte begründen Sie Ihre Auswahl im Anschluss!

Messung digital+analog; Verlinkung eher nur indirekt; Speicherung, von Protokoll (95%) bis Datenbank; Analyse, hauptsächlich Tabellenkalkulation, am Anfang von der Verwendung von proprietären Software

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Fehleranfällig, mit Zettel

grundsätzliches Problem bei Bodenverbesserungsmaßnahmen Interaktion zwischen Boden und Maßnahme wenig bekannt; Geologie oft entscheidend, Verlassen auf wenige Parameter - oft kein verknüpfendes Denken über Auswirkungen auf Baukörper

Datenmanagement an sich gleich rückständig bei DSV, auch kein real time abgreifbar

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Eine statische Integration in der geotechnischen Analyse (Bsp.: Injektionsmaßnahmen vor der Ortsbrust -> welche Auswirkungen hat das auf die statische Bemessung)

Bohrpfahlwand um den Pfahl, Visualisierungen nötig um Lücken zu erkennen und qualitative Aussagen über noch nötige/mögliche Maßnahmen zu machen; wie qualitativ hochwertiger geologischer Längenschnitt zu sehen

Integration der Planung; Analysen nach Algorithmen

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Pilotprojekt, nach Abschluss können qualitative Aussagen getroffen werden

Abhängig von AG

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Selbst Förderer von innovativen Dokumentationssystemen, immer erwünscht, zur Zeit vermutlich aber erst rund 10%; Insofern abhängig vom Bauherren, dass auf seine Forderung eingegangen werden muss

Ab einem Monat Laufzeit hat es auf jeden Fall Sinn

Baustellengröße

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

- Zeitliche Entlastung der Mitarbeiter; Schichtingenieure müssen nach Schichtende noch Daten aufbereiten

- Transparenz; Wissen über Zwischenstände, Kosten -> erhöhte Sicherheit

- Qualitätssteigerung denkbar mit zukünftigen gesteuerten Systemen

- Bessere Aufbereitungsmöglichkeiten

Transparenz; Entlastung auf der Baustelle; Aufbereitungsmöglichkeiten; Qualität - Korrekte Ausführung

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Abhängig von der akkuraten Arbeitsweise der Mitarbeiter; genaues Arbeiten ist so oder so essenziell -> Datenverlust, usw.

Dadurch erstmalig genaue Abrechnung und Auswertung möglich

Fehleranfälligkeit - Komplexität; Abrechnung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Eigentlich keine; ich habe die gleichen Daten ich verkürze nur die Wege und Sorge für schnelleres Daten- und Dokumentationsmanagement; Daten müssen belastbar sein und akkurat

Belastbarkeit - Qualität

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Datenverlust bei Übertragung; Optimierungspotential in der Visualisierung; Ergebnis hängt vom Modell im Hintergrund ab (z.B: in Kanada war die Visualisierung der Schlüssel zum Erfolg)

Datenverlust; Körper mit Eigenschaften

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Rückschluss von Visualisierung mit Eingabemodellen (Grundlage der Arbeiten)
Integration der Planung

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Übersichten, welche Interaktionen des gesamten Bauwerks ersichtlich machen -> Zusammenspiel Baugrund - Injektionen auf täglicher Basis und möglichst zeitnah (z.B: Hebungsinjektion)

Listen; Integration der Planung

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

SOLL zu IST ständig beschreiben; wird durch die Maßnahme eine Verbesserung oder Verschlechterung erreicht (Stichwort: fracking aufgrund falscher Annahmen)

Listen; Korrekte Ausführung

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Datenverluste ausschließen; Systemunabhängig; von überall zugänglich; auch von Tablet oder Smartphone (Handheld) aus bedienbar

Komfort des Endusers entscheidend; freies Arbeiten ohne sich mit dem was im Hintergrund abläuft beschäftigen zu müssen

Live-Daten; Ortsungebunden; Intuitiv - Einfach

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Datenmanagement - Zugriff auf Daten ohne Verluste

Fokussierte Arbeit in der Visualisierung und Verknüpfung mit Plänen/geologischen Aufschlüssen, etc.

Zuverlässigkeit - Genauigkeit

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Größtes Potential in der Stabilität und Genauigkeit der Daten; Visualisierungen als Gadget für Spezialisten zu sehen

integration von Abbruchkriterien

Zuverlässigkeit - Genauigkeit; Visualisierungen; Abbruchkriterien

Fachgespräch vom 07.07.2017 - Planer und Sachverständiger Z

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Lockergesteins- (Alluvial-) Injektionen zur Abdichtung: Baugrubensohlen, Dichtschürzen unter Dämmen, im Umfeld um Lockergesteinstunnel/Stollen, wvm.

Felsinjektionen: im Umfeld um Tunnel/Stollen, unter Dämmen, zur Reperatur und Instandhaltung von Talsperren, Umweltaufgaben

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

Aufzeichnung des Drucks weiter nach Pumpenstopp für 20 sec. (TPA) PSG-Ansatz: TPA + GIN; aktiv wirksamer Druck, nicht der an der Pumpe oder am Bohrlochmund -> TPA programmierbar

Zeitfaktor; Abbruchkriterien

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

wichtig zu wissen

harmonisiert zwischen den Parametern -> für GIN-Multiplikatoren zum Beispiel

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

Rate und Druck stehen im Zentrum

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

keine Existenz von ähnlich komplexen Vorgängen; Hebungsinjektionen am Weitesten bzgl. Visualisierungen, usw.

RSV, Schmalwand, usw. gut digitalisiert (weil mechanische Aufzeichnung); Energieaufzeichnung beim Bohren (Empasol); Schneckenbohren: ein Vorgang (Betonieren während Rückzug)

DSV womöglich besser digitalisiert und am besten vergleichbar

Komplexität

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Dialog mit anderen Disziplinen erleichtert weil technologische Fragestellungen, die während der Arbeit aufkommen, durch geordnete Datenverwaltung besser zu

beantwortet sind;

Injektion nämlich ein Prozess, bei welchem der Dialog mit der Planung nicht aufhört, sondern während der Ausführung entscheidend ist

Datenbank; Dialog; Belastbarkeit - Qualität

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

Aufgezeichnete Daten müssen prinzipiell für Massenermittlungen verwendet werden; es gibt aber kein Standard Leistungsverzeichnis beim injizieren.

Verknüpfung Triade: LV - technische/wirtschaftliche Optimierung - Datenerfassung/Abrechnung entscheidend

Abrechnung

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Fehlerpotential schwer abschätzbar; man glaubt, genau abzurechnen

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Zurücklehneffekt wird durch die scheinbare alles unter Kontrolle - Prozessleitung gefördert; Untergriffe des AN in Richtung Optimierung des Ertrags verharmlost; die Tendenz zum injizieren nach LV mit gleichzeitiger Generierung der Abrechnungsunterlagen reduziert die Aufmerksamkeit der design-as-you-go-Philosophie beim Injizieren (ähnlich essenziell wie bei der ebenso dialogorientierten NÖT);

Die steigende Transparenz wird oft als Nachteil gesehen, da die Macht des Nachtrags im Unbekannten liegt; je unklarer die Verhältnisse sind, desto leichter gelingt der Nachtrag -> Für Spekulationen sollte man jedoch nicht studiert haben; Anmerkung: ONB 2061 für sachlich-wirtschaftlich gerechten Einsatz

Ingenieurmäßiges Denken; Fehleranfälligkeit - Komplexität; Transparenz; Datenbearbeitung

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

einmal das System generiert und festgehalten, läuft man Gefahr, weniger flexibel auf Phänomene der Ausführung zu reagieren; generelles Problem in der Injektionsplanung: Bsp. GIN: nur eine Mischung?

Verleiten zum Nachlassen der Wachsamkeit in der Ausführung

Ingenieurmäßiges Denken

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

- Überprüfung, ob alle Injektionsstellen (lt. Norm) tatsächlich injiziert werden (Qualitätssicherung);

1. Reihenfolge korrekt

2. Schlussfolgerung aus aufgezeichneten Mengen

3. Anomalien erkennen

Korrekte Ausführung

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

- *Bauwirtschaftlich und baubetriebliche Verknüpfung der Triade: LV - technische/wirtschaftliche Optimierung - Datenerfassung/Abrechnung; Schwierigkeit: Unternehmer - Ertrag : Bauherr - geringe Kosten; dazwischen digitale Optimierung;*

- *bildliche Darstellung der Parameter pro Pässe*

Abrechnung; Leistung - Kalkulation; Körper mit Eigenschaften

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

Injektionen: man muss quasi Spezialist sein (geologisch, hydraulisch,...); Bsp. bei Kontrollbohrungen -> Verformbarkeit spielt extrem große Rolle

Komplexität

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Neutralisierung des Kunstfaktors -> geordnet = digitalisiert; aus Injektion vermehrt einen ingenieurmäßigen Prozess machen

Datenbank; Belastbarkeit - Qualität

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Möglicher Anwendungspunkt: Piezometer Hebung von Schicht im Untergrund nachvollziehen; Dazwischen komprimierbare Schichten

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

In jeden Fall NORMEN getreues Arbeiten!

Grundsätzlich ist viel machbar/programmierbar, doch gibt es bei speziellen Entwicklungen immer viele Gegner die eine Verbreitung verhindern, weil es womöglich

ihrer eigenen Philosophie widerspricht;

*RTGC: Analysen der Kluftweiten - 2 Schwächen: 1. Verteilung der Kluftweiten aus WAP nicht aussagekräftig, 2. Gebirgsverformung nicht berücksichtigt; zusätzlich Schwäche in der Anwendung: für baustellentaugliche Anpassung zu komplex
ACG: im Vergleich besser durchsetzbar, aber hoher Anspruch an Geologen (Nordamerika - v.a. Kanada)*

Abhängig von Norm; Abbruchkriterien

Fachgespräch vom 11.07.2017 - Ausführender C

Welche Injektionen führen Sie in Ihrem Unternehmen durch/werden seitens Ihres Unternehmens geplant? In welchem Verhältnis steht das Volumen von Injektionsbaustellen zur Gesamtleistung der Firma?

Jegliche Art von Injektionen: Abdichtung, Verfüllung, Verfestigung, Vortriebssicherung, Dichtschirme, TBM-Bergung, etc.; geringer Anteil an Gesamtleistung der Firma, weil Umsatz bei schwerem Spezialtiefbau wegen Geräten viel höher

Wie hoch schätzen Sie Ihr jährliches Auftragsvolumen betreffend Niederdruckinjektionen? Handelt es sich dabei eher um mehrere kleine Baustellen oder um wenige große?

Zum Teil mehrere kleine parallel, sonst eine größere; Projektspezifisch

Wie hoch schätzen Sie Ihren Marktanteil in der Injektionstechnik national wie auch international ein? Sofern Sie international tätig sind, in welchen Ländern haben Sie bereits Baustellen abgewickelt bzw. sind Sie zur Zeit aktiv?

bisher europäischen Raum

Haben Sie Erfahrung im Datenmanagement von Injektionen? Wenn ja, beschreiben Sie bitte kurz den Namen und die Funktionsweise Ihres vertrauten Monitoringsystems bei Injektionen.

Ja, unter anderem geringe Erfahrungen mit equana

Welche Messgeräte werden bei Injektionsarbeiten in Ihrem Unternehmen benutzt? Welche für den Injektionserfolg entscheidenden Parameter werden dabei gemessen?

*Vor allem Druck und Menge;
Pumpensteuerung exges IDE*

Nach welcher Taktung/Abtastrate erfolgt die Messung bzw. Aufzeichnung der Daten? Mit welcher Genauigkeit erfolgt die Messung

Chemisch über Hubzähler; Leitende Flüssigkeiten über elektromagnetische Durchflussmesser

Wo werden die aufgezeichneten Daten als erstes gespeichert? In welchem Format erfolgt die Speicherung?

als csv am Steuercomputer

Wie erfolgt nach Abschluss mehrerer Injektionen pro Arbeitstag die Zuordnung der aufgenommenen Daten zu den injizierten Bohrlöchern?

*Nach der Eingabe des Pumpenfahrers in die Injektionsdatenerfassung werden die Punkte zugeteilt;
auch hochladen von Input-Files in die Steuerung möglich, nach welchen der Pumpenfahrer nur die Stellen auswählt*

Ist der End-Speicherort lokal, oder werden diese im 2. Schritt an eine übergreifende Datenbank gesandt, wo die Daten der gesamten Baustelle zusammengefasst werden? Wie erfolgt dieser Datentransfer (WLAN, USB, Bluetooth, etc.)?

*lokaler Endspeicherort;
Transfer mittels USB-Stick*

Wie und durch wen werden diese Messwerte dann analysiert bzw. ausgewertet? Wie erfolgt die Ausgabe dieser Daten (Quellcode, Exceldatei, ...)?

Exceldateien in Diagrammen und Tabellen

Kann man die erhobenen Messwerte in eine Software, in welcher die gesamten Baustellendaten gesammelt und dokumentiert werden, importieren? Kann in diesem System eine Übersicht über die gesamten Prozesse der Baustelle erhalten werden?

könnte gemacht werden mit Exceltabelle

Wie wird auf den Baustellen der Materialstand kontrolliert? Gibt es ein digitales System, welches Ihnen hilft einen Überblick über Materialbeschaffung und -lagerung zu behalten?

Fortlaufende händische Mitschrift der Pumpenfahrer bei der Einwaage; zusätzlich abklopfen der Silos

Wie erfolgt die Qualitätskontrolle der durchgeführten Injektionsarbeiten? Welche Möglichkeiten haben die gewerblichen Mitarbeiter, um den Grund eines etwaigen Injektionsabbruchs zu deklarieren?

Bei Stopp der Pumpe kann ausgewählt werden, warum die Injektion beendet wurde (Umlauf, Maximaldruck, Maximalmenge, Austritt, etc.)

Kommentierung

Wie erfolgt der Datenaustausch zwischen ausführendem Unternehmen, ÖBA/BÜ und Auftraggeber? Wie werden geprüfte Arbeiten für gewöhnlich als abgeschlossen bzw. abgenommen gekennzeichnet?

Digital in Form von pdf-Dateien bzw. in ausgedruckter Form

Wie stellen Sie den Baufortschritt bei Bausbesprechungen/Präsentationen dar? Gibt es eine Möglichkeit die erfassten Daten direkt mit Plänen/Visualisierungen zu verknüpfen?

durch Übersichten, aufbereitet in Excel; keine Möglichkeit der Verknüpfung

Listen

Können bzw. werden die gesammelten Daten im Weiteren als Referenzwerte (z.B. für Nachkalkulation, Aufwandswerte, Leistungswerte, Abschätzungen für zukünftige Baustellen, etc.) verwendet werden? Wie funktioniert dies in der Praxis?

Grundsätzlich in Form von Tabellen als Grundlage vorhanden, aber de facto keine Anwendung

Leistung - Kalkulation

Gibt es die Möglichkeit mithilfe der erfassten Daten direkt eine Massenermittlung für Abrechnungen zu generieren? Wie wird hier normaler Weise vorgegangen?

Die injizierten Massen und Pumpenstunden können als Tagessummen aus den Tagesberichten abgelesen werden

Abrechnung

Wie viele unterschiedliche Programme werden zur Bearbeitung der Daten (von der Entstehung, über den Transfer bis hin zur Abrechnung) verwendet? Welche? (z.B. Excel, Outlook, pdf-Creator, Auer, etc.)

Excel, Outlook, Pdf-creator, iTwo

Bitte legen Sie, anhand vorangegangener Fragen und folgender Grafik der digitalen Entwicklungsstufen, abschließend den Stand des digitalen Injektionsdatenmanagements bezogen auf das Datenmanagement bei Injektions- und Bohrarbeiten fest. Bitte begründen Sie Ihre Auswahl im Anschluss!

Teilweise digital; vor allem die fehlenden automatischen Verlinkungen sind zeitintensiv für das Baustellenpersonal

Wie ordnen Sie das digitale Datenmanagement von Injektionen, verglichen mit anderen Bauprozessen im Spezialtiefbau, in Bezug auf dessen Entwicklungsstand ein? Worauf stützen Sie Ihre Auswahl? Welche Prozesse sind im Spezialtiefbau bereits besser digitalisiert?

Für kleinere Baustellen das bisherige System ausreichend; Verarbeitung von größeren Massen in kurzer Zeit, steigt der Aufwand für das Berichtswesen sehr; diesen

gilt es zu reduzieren

Baustellengröße; Datenreiche Kampagnen

Wo sehen Sie großes Potential in der Digitalisierung von Tiefbauarbeiten? Wie lange wird es Ihres Erachtens noch dauern bis Datenmonitoring und Datenmanagement in der Ausführung zu 100% automatisiert und digitalisiert sind?

Erleichterung der Abrechnung; direkte Übernahme der Massen in Abrechnungsprogramme

Abrechnung

Vereinzelt erfolgt bereits mit den aufgenommenen Herstellungsdaten eine automatische Abrechnung bzw. eine Abrechnung in Echtzeit. Die aufgenommenen Daten können auch für andere wichtige Dokumentationen direkt exportiert werden. Haben Sie bereits Erfahrung damit? Falls ja, beschreiben Sie bitte den Umgang mit solchen:

nein

Kennen Sie Baustellen, auf welchen solche digitalen Dokumentationssysteme bereits angewandt werden? Wenn ja, bei wie vielen (prozentuell)? Ist dies abhängig von Bauherr und/oder Projektgröße?

Bauherr entscheidet im Endeffekt über den Einsatz

Abhängig von AG

Welchen Nutzen können Sie persönlich einer fortschreitenden Digitalisierung auf Baustellen abgewinnen? (Bei Mehrfachnennung bitte gewichten)

Entlastung der Bauleitung durch geringeren Dokumentationsaufwand

Entlastung auf der Baustelle

Ein kürzerer und direkterer Datenfluss vereinfacht nicht nur das Datenmanagement sondern senkt auch das Fehlerpotential. Inwieweit wirkt dies sich Ihres Erachtens auf die Abrechnungsgenauigkeit Ihrer Massen aus?

Abrechnungsgenauigkeit bereits sehr genau; außerdem vor allem das Bohren der kostentreibende Faktor

Abrechnung

Bringt die zunehmende Digitalisierung auch Nachteile mit sich? Welche?

Korrektur, Bearbeitbarkeit der Daten könnte erschwert und eingeschränkt werden

Datenbearbeitung

Wo liegen die Schwachstellen neuer Datenmonitoringsysteme in der Injektionstechnik nach heutigem Stand der Technik?

Geringe Adaptivität an die Vorlieben der Anwender, relativ starr

Individuelles Arbeiten

Ständig wird an Verbesserungen gearbeitet. Was sind unmittelbare Verbesserungen, die angestrebt werden sollen?

Breites Kundenfeld schaffen, durch intuitives, einfaches System; soll auch bei wenig Erfahrung verständlich bleiben - Injektionen an sich schon komplex genug;

Intuitiv - Einfach

Welche Funktionen sind für Sie essentiell, bzw. welche Funktionen wünschen Sie sich, um eine ausführungsbegleitende Planung durchführen zu können?

Grafische Darstellung der Injektionskörper im Untergrund, um auch injizierte Gesamtmassen überblicken zu können

Körper mit Eigenschaften

Welche Funktionen sehen Sie als essentiell um ungünstige Entwicklungen während der Bauausführung schnell aufzeigen zu können und diesen möglichst schnell entgegenzusteuern?

w.o.

Was sind Ihre persönlichen Anforderungen an moderne Datenmonitoringsysteme?

Baustellenspezifische Anpassung, Personalisierung des Layouts;

Preis < 0,5% des gesamten Auftragsvolumens;

geringere Einschränkung bzgl. Bearbeitbarkeit der Daten

Individuelles Arbeiten; Bearbeitbarkeit; Kosten

Was ist Ihrer Meinung nach in der Digitalisierung solcher Dokumentationsprozesse schon vollkommen ausgereift? Welche Bereiche bedürfen einer fokussierten Entwicklungsarbeit?

Datenhaltung schon gut, auch Übertragung funktioniert größtenteils reibungslos

Datenbank; Zuverlässigkeit - Genauigkeit

Nehmen wir an Sie persönlich sind Unternehmer und sehen großes Potential in der Digitalisierung von Injektionsprozessen. Sie haben ausreichend viel Geld und Zeit für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet zur Verfügung. Was würden Sie tun bzw. in welchen Bereichen würden Sie Innovationen fördern, um in Zukunft Marktführender Unternehmer auf diesem Gebiet zu sein? Wo steckt Ihrer Meinung nach noch das größte Potential für Weiterentwicklungen?

Pilotprojekte entscheidend; zeigen Bauherren den Nutzen für geringes Geld; Nur möglich wenn Anfangsinvestitionen zu machen kein Problem darstellt

Abhängig von AG

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt bzw. die wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die vorliegende Diplomarbeit ist mit dem elektronisch übermittelten Textdokument identisch.

Wien, am 01.10.2017

(Michael Ouschan)