



QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände

Influence de la méthode d'avancement en roche sur la qualité des déblais et sur la quantité des résidus pollués

Influenza del metodo di scavo in roccia sulla qualità del materiale di scavo e sulla quantità di scarti inquinati

Influence of the excavation method in rock on the quality of the spoils and on the amount of polluted remnants

Lombardi SA
Michela Bazzi Pedrazzini

Pagani + Lanfranchi SA
Paolo Lanfranchi

Neuenschwander Consulting Engineers
Matthias Neuenschwander

**Forschungsprojekt AGT 2017/001 auf Antrag der Arbeitsgruppe
Tunnelforschung (AGT)**

Oktober 2020

1686

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände

Influence de la méthode d'avancement en roche sur la qualité des déblais et sur la quantité des résidus pollués

Influenza del metodo di scavo in roccia sulla qualità del materiale di scavo e sulla quantità di scarti inquinati

Influence of the excavation method in rock on the quality of the spoils and on the amount of polluted remnants

Lombardi SA
Michela Bazzi Pedrazzini

Pagani + Lanfranchi SA
Paolo Lanfranchi

Neuenschwander Consulting Engineers
Matthias Neuenschwander

**Forschungsprojekt AGT 2017/001 auf Antrag der Arbeitsgruppe
Tunnelforschung (AGT)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Michela Bazzi Pedrazzini, dipl. Bau- und Umweltingenieurin, TH Milano, Lombardi AG

Mitglieder

Paolo Lanfranchi, dipl. Ing ETHZ, Pagani + Lanfranchi AG

Matthias Neuenschwander, dipl. Ing. ETHZ, Neuenschwander Consulting Engineers SA

Emanuele Catelli, dipl. Bauingenieur TH Milano, Pagani + Lanfranchi SA

Daniele Moro, dipl. Ing. ETHZ, Lombardi AG

Begleitkommission

Präsident

Christophe Carron, PRA Ingénieurs Conseils SA

Mitglieder

Anna Ciaranfi, AlpTransit San Gottardo SA

Christian Gammeter, UVEK, ASTRA, Abteilung Strassennetze

Fabio Gandolfi, Cantone Ticino, DT, Ufficio dei rifiuti e dei siti inquinati

Dr. David Hiltbrunner, UVEK, BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe

Reto Koch, Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Antragsteller

Arbeitsgruppe Tunnelforschung

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	11
Riassunto	13
Summary	15
1 Einleitung	17
1.1 Forschung im Strassenwesen	17
1.2 Forschungsobjekt	17
1.2.1 Forschungsbedarf	17
1.2.2 Untersuchungsgebiet	18
1.3 Forschungsfragen	18
1.3.1 Fragen während der Vorbereitungsphase	18
1.3.2 Bearbeitung der Anträge gemäss den Angaben der Begleitkommission	19
2 Beteiligte Stellen	21
2.1 Forschungskommission (FOKO)	21
2.2 Begleitkommission (BK)	21
2.3 Forschungsstelle	22
2.4 Nutzniesser	22
2.5 Zielpublikum	22
3 Konzept und Arbeitsschema	23
3.1 Grundsatz	23
3.2 Arbeitshypothese	23
3.2.1 Definitionen: Ausbruchmaterial und Rückstände	23
3.2.2 Konzept: Einteilung in Kategorien und Rückständetypologien	26
3.3 Arbeitsschema	28
4 Entwicklung der operativen Phasen	31
4.1 Erste operative Phase: Daten	31
4.1.1 Daten in der Planungs- und in der Abschlussphase	32
4.1.2 Datenerhebung	32
4.1.3 Datenanalyse und -verarbeitung	34
4.2 Zweite operative Phase: QuAntuM-Datenbank	35
4.2.1 Auswahl des Programms	35
4.2.2 Verarbeitung: QuAntuM_Tabellen und QuAntuM_Valori	36
4.2.3 Datenbank "QuAntuM_Datenbank"	37
4.3 Dritte operative Phase: Szenarien	40
4.4 Vierte operative Phase: Anzeige mit Sankey-Diagramm	43
4.4.1 Bedeutung der grafischen Darstellung	43
4.4.2 Konzept	44
4.4.3 Beispiele für Materialflüsse für die beiden Forschungsmodule	44
5 Ergebnisse	53
5.1 Rückstände	53
5.1.1 Rückstände: gepresste MAB-Schlämme	54
5.1.2 Rückstände: überschüssiges Material von MAB	59
5.1.3 Rückstände: Betonschlämme	61
5.1.4 Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung	64
5.1.5 Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen	67
5.1.6 Rückstände: TWA-Schlämme	69
5.1.7 Darstellung der Qualität und Quantität der Rückstände nach der Vortriebsmethode	74

5.2	Vom Rückstand zum Ausbruchmaterial: Ergebnisse nach der induktiven Methode	77
5.3	Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse bei anderen Tunneln	80
6	Schlussfolgerungen	85
6.1	Erreichung der Ziele.....	85
6.2	Kritische Würdigung.....	87
6.3	Einfluss der Ergebnisse auf die Wahl der Vortriebsmethode	87
6.4	Anwendung und Umsetzung.....	88
6.4.1	Möglichkeit der Verwertung mit ökologischen Auswirkungen.....	89
6.4.2	Vorschlag für ein einfaches Berechnungstool	89
7	Kosten, Forschungsdauer, Verdankungen	91
7.1	Kosten der Forschung.....	91
7.2	Forschungsdauer	91
7.3	Verdankungen.....	91
	Anhänge.....	93
	Glossar	109
	Literaturverzeichnis	110
	Projektabschluss	111
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	114

Zusammenfassung

Die Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials von Untertagebauten hat in der Regel erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt.

Diese Auswirkungen sind schwierig zu minimieren, weil das Ausbruchmaterial nach dem Verlassen der Baustelle einen neuen Bestimmungsort braucht, und zwar möglichst mit einer positiven Umweltbilanz. Der Raum für Lagerstätten wird in der Schweiz immer rarer, und die damit verbundenen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Schwierigkeiten immer grösser. Ausserdem beeinflussen die Vortriebsmethoden die Qualität und die Menge der Rückstände des Ausbruchmaterials, was bei der Planung nicht immer ausreichend berücksichtigt wird.

Die Wahl der Vortriebsmethode beruht auf verschiedenen Kriterien, so unter anderem den Eigenschaften des Bauwerkes, der Geologie, den erwarteten Schwierigkeiten beim Ausbruch, den hydrogeologischen Bedingungen, den angestrebten Vortriebsleistungen und dem Transportsystem.

Fast nie wird die Wahl der Vortriebsmethode durch die Art und Menge der Rückstände des Ausbruchmaterials beeinflusst. Mit "Rückstand" ist ein Rest zu verstehen der im Projekt unerwünscht ist, unabhängig vom Grad der Verschmutzung.

Allerdings sind Rückstände unvermeidlich. Ihre Menge ist wesentlich und ihre Qualität reicht von unverschmutzt bis zu einer Verschmutzung, die den Grenzwert für eine Deponie des Typs E übersteigt. Die damit verbundenen Fehler in der Prognose verursachen in der Ausführungsphase leider oft unerwartete und schwerwiegende Folgen für Kosten und Umwelt.

Mit Ausnahme besonderer Vortriebe (wie zum Beispiel Jetting- oder Rohrschirmvortriebe), die in dieser Forschung nicht berücksichtigt sind, bei denen grosse Mengen an Zusatzmitteln für den Ausbruch gebraucht werden, wurde das Ausbruchmaterial bis anhin für gewöhnlich ohne analytische Prüfung bewirtschaftet, mit der stillschweigenden Voraussetzung dass es die Eigenschaften aufweist, die eine Verwertung nach den vier Möglichkeiten nach Art. 19 der VVEA erlauben.

Heutzutage kann aus technischen und finanziellen Gründen das Ausbruchmaterial nicht kontinuierlich und systematisch analysiert werden.

Dies gilt aber nicht für den Grossteil der Rückstände des Ausbruchmaterials, die untersucht werden müssen, um festzustellen ob sie verwertbar sind oder zu entsorgen sind.

Die Analytik muss verantwortungsbewusst erfolgen: einerseits besteht die Gefahr, wichtige Verschmutzungen zu übersehen, andererseits sind wahrscheinlich viele teure Analysen der Rückstände überflüssig, weil die Ergebnisse aufgrund der Ausbruchmethode und der Randbedingungen vorhergesehen werden könnten.

Die Forschung QuAntuM bewegt sich in diesem heiklen und unsicheren Umfeld: sie identifiziert die wichtigsten Arten der Rückstände von Ausbruchmaterial und schätzt deren Menge und Qualität ab. Ausserdem befasst sie sich genauer mit dem Fall der Verwendung von Ausbruchmaterial für die Gewinnung von Gesteinskörnungen für Beton. Dabei beschränkt sie sich auf Ausbrüche im Fels mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) und mit Sprengstoff und befasst sich nicht mit geogenen Verschmutzungen.

QuAntuM beantwortet folgende Fragen:

- Welche und wie viele Rückstände werden auf einer unterirdischen Baustelle mit TBM- oder Sprengvortrieb erzeugt?

- Welche sind die Parameter, die die Rückstände charakterisieren, und welche Werte können sie haben?
- Lassen sich die Qualität und die Menge gewisser Rückstände auf die vermutete Qualität des Ausgangsmaterial zurückführen?

Um die Fragen zu beantworten, wurde ein modularer Ansatz (Modul 1: Gotthard-Basistunnel, Modul 2: Ceneri-Basistunnel) gewählt, der in mehrere operativen Phasen unterteilt ist:

- Prozess der Datenerhebung und -verarbeitung: von der Datendefinition über die Datenerfassung in der gewünschten Form, die Homogenisierung und Reinigung der Daten, die Datenanalyse in numerischer und graphischer Form bis hin zur Interpretation und Modellierung.
- QuAntuM_Datenbank: es handelt sich um ein Arbeitswerkzeug, das zur Beantwortung der Forschungsfragen bestimmt ist, und es ist ein nützliches Arbeitsinstrument vor allem für die Bauleitung und für Unternehmen, die viele Daten eines Ausbruchs in einer einzigen Arbeitsumgebung verwalten wollen, mit einem bekannten Programm und einer Datei, die je nach den Bedürfnissen der Baustelle und des Projekts angepasst werden kann.
- Szenarien und statistische Auswertung: Aus der QuAntuM_Datenbank wurden zahlreiche Szenarien extrapoliert, auf deren Grundlage statistische Auswertungen mit allgemein gültigen Ergebnissen vorgenommen wurden.
- Grafische Visualisierungen: Die QuAntuM_Datenbank wurde mit einer dynamischen grafischen Visualisierung kombiniert, die den Bedürfnissen der Ingenieure und des Zielpublikums entspricht.

Die Untersuchung identifizierte sechs Arten von Rückständen, deren Hauptergebnisse im Folgenden tabellarisch zusammengefasst sind. Für die Erläuterungen der Randbedingungen und getroffenen Annahmen wird auf das Kapitel 5 „Ergebnisse“ verwiesen.

1. Gepresste Schlämme aus der Materialsaufbereitungsanlage (MAB-Schlämme)

TBM	SPV
MAB-Schlämme (t) / MAB-Material = 15 %	MAB-Schlämme (t) / MAB-Material = 8 %
$KW_{C10-C40} < 50 \text{ mg/kg TS}$	$50 \text{ mg/kg} < KW_{C10-C40} < 500 \text{ mg/kg TS}$
$Cr \text{ VI} < 0.05 \text{ mg/kg TS}$	$Cr \text{ VI} < 0.05 \text{ mg/kg TS}$ Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
	$0.05 \text{ mg/kg} < Cr \text{ VI} < 0.1 \text{ mg/kg TS}$ partielle Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
	$Cr \text{ VI} > 0.1 \text{ mg/kg TS}$ keine Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
	Jedenfalls $Cr \text{ VI} < 0.5 \text{ mg/kg TS}$
$NO_2^- < 0.1 \text{ mg/l im Eluat}$	$0.1 \text{ mg/l} < NO_2^- < 1.0 \text{ mg/l im Eluat}$
pH ~8.0 – 10.5	pH ~10.5 - 11
Wassergehalt < 30%	Wassergehalt < 30%

2. Überschüssiges Material von MAB

TBM	SPV
Rückstand (t) / MAB-Material (t) = 30-(35) %	Rückstand (t) / MAB-Material (t) = 15-(20) %
$KW_{C10-C40} < 50 \text{ mg/kg TS}$	$50 \text{ mg/kg} < KW_{C10-C40} < 500 \text{ mg/kg TS}$
Cr VI < 0.05 mg/kg TS Trennung des Rückprallbetons	$0.05 \text{ mg/kg} < \text{Cr VI} < 0.1 \text{ mg/kg TS}$ partielle Trennung des Rückprallbetons
$\text{NO}_2^- < 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat tendenziell unter der Bestimmungsgrenze	$0.1 \text{ mg/l} < \text{NO}_2^- < 1.0 \text{ mg/l}$ im Eluat
pH ~10.5 – 11 abhängig von Zementresten und Geologie	pH ~10.5 – 11 abhängig von Zementresten und Geologie

3. Betonschlämme

TBM	SPV
Die Produktion dieser Rückstände ist unabhängig vom Ausbruchmaterial und hängt von der Menge des produzierten Betons und von der Menge des nicht verwendeten Fertigbetons ab.	
$250 \text{ mg/kg} < KW_{C10-C40} < 2500 \text{ mg/kg TS}$ zu schwankenden Werte, tendenziell >> 500 mg/kg	$250 \text{ mg/kg} < KW_{C10-C40} < 2500 \text{ mg/kg TS}$ zu schwankenden Werte, tendenziell >> 500 mg/kg
Cr VI > 0.05 mg/kg TS abhängig von der Menge an CrVI im verwendeten Zement	Cr VI > 0.05 mg/kg TS abhängig von der Menge an CrVI im verwendeten Zement
$\text{NO}_2^- \sim 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat zu schwankenden Werte, abhängig von der Art der Zusatzstoffe	$\text{NO}_2^- \sim 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat zu schwankenden Werte, abhängig von der Art der Zusatzstoffe
pH ~ 12	pH ~ 12

4. Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) > (2.0) - 2.5 %	Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) > 2.5 %
$KW_{C10,C40}$: in der Größenordnung von 500 mg/kg TS tendenziell < 500 mg/kg	$KW_{C10,C40}$: in der Größenordnung von 500 mg/kg TS tendenziell < 500 mg/kg
Cr VI > 0.05 mg/kg TS aufgrund des Rückpralls	Cr VI > 0.05 mg/kg TS aufgrund des Rückpralls
$\text{NO}_2^- < 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat zu schwankenden Werte	$\text{NO}_2^- > 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat zu schwankenden Werte
pH ~ 11 aufgrund des Rückpralls	pH ~ 11 aufgrund des Rückpralls

5. Separates Ausbruchmaterial bei Spezialfällen

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 1.0 – 1.5 % Abhängig von der Annahme des Trennungsprozesses	Keine Daten

6. Gepresste Schlämme aus der Industrie- und Bergwasseraufbereitungsanlage (TWA-Schlämme)

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 0.5 %	Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 0.3 %
Prozentsatz unabhängig von der Durchflussrate des Drainagewassers	
KW _{C10-C40} >> 500 mg/kg TS tendenziell < 5'000 mg/kg TS	KW _{C10-C40} >> 500 mg/kg TS
Cr VI > 0.05 mg/kg TS	Cr VI > 0.05 mg/kg TS
NO ₂ ⁻ << 1.0 mg/l im Eluat tendenziell < 0.1 mg/l	0.1 mg/l < NO ₂ ⁻ < 1.0 mg/l im Eluat tendenziell 1.0 mg/l
pH ~11	pH ~11
Wassergehalt > 40% 45-50% im Durchschnitt	Wassergehalt > 40% 40-45% im Durchschnitt

Die Forschung QuAntuM hat ausserdem ein funktionelles Tool zur Sammlung, Berechnung, Vorhersage und Auswertung von Daten im Bereich der Materialbewirtschaftung aufgebaut und stellt es zur Verfügung. Es besteht die Möglichkeit, die Funktionalität des Instruments auf andere Parameter und wahrscheinlich auch auf andere Sektoren (insbesondere Geologie, Hydrogeologie, Gewässerschutz) auszuweiten.

Ausserdem weist die Forschung nach, dass bei Vortrieben im Normalfall der Verzicht auf eine systematische Charakterisierung des Ausbruchmaterials gerechtfertigt ist.

Gleichzeitig liefert QuAntuM den Projektverfasser zusätzliche Elemente zur Bewertung von Vor- und Nachteilen der beiden Ausbruchverfahren (TBM- und Sprengvortrieb).

Die vorliegende Arbeit erhebt nicht den Anspruch, eine neue Praxis der Bewirtschaftung der verschiedenen Rückstände einzuführen. Sie zeigt jedoch Ergebnisse aufgrund zuverlässiger statistischer Stichproben, deren Werte deutliche Tendenzen aufweisen. Damit leistet sie einen Beitrag zur Optimierung der Materialflüsse und damit zur Einsparung von Zeit und von Kosten.

Résumé

De manière générale, la gestion des matériaux d'excavation des ouvrages souterrains a des impacts importants sur l'environnement.

Il est difficile de minimiser ces impacts, car lorsque le marin quitte la partie souterraine du chantier, il doit être valorisé ou stocké de manière définitive. Seule une bonne gestion de ces matériaux d'excavation permet d'améliorer de façon significative le bilan environnemental du projet. L'espace pour des décharges devient de plus en plus rare, et les difficultés techniques, économiques et procédurales augmentent. En plus, les méthodes d'avancement conditionnent la qualité et la quantité des résidus du matériau d'excavation, ce qui n'est pas toujours suffisamment considéré dans la planification.

Le choix de la méthode d'excavation d'un projet de travaux souterrains est dicté par différents critères, tels que les caractéristiques de l'ouvrage, la géologie, les difficultés attendues lors de l'excavation, les conditions hydrogéologiques, les rendements espérés ou encore les modes d'évacuation envisageables du marin etc.

Il est rare que les résidus (résidus = restes non désirés dans le projet) que l'on retrouve dans les matériaux d'excavation ou leurs dérivés, n'influencent le choix d'une méthode d'avancement, et ceci quel que soit le degré de pollution potentiel de ceux-ci.

Comme ces résidus sont inévitables, un pronostic fiable de leur quantité et degré de pollution est importante pour garantir l'enveloppe budgétaire et planifier les mesures nécessaires à limiter au mieux les impacts sur l'environnement.

A l'exception d'avancements spécifiques (jetting, voûtes-parapluie etc) qui demandent d'importantes quantités d'agents chimiques pour assurer l'excavation et que ce travail de recherche n'a pas considéré, les matériaux d'excavation sont en général considérés, sans que de grandes études analytiques soient menées, comme répondant aux caractéristiques pour la valorisation définies à l'article 19 de l'OLED.

A l'heure actuelle, en raison de limites technique et financières, il n'est objectivement pas envisageable d'analyser de façon continue la qualité du marin.

Une grande partie des résidus doit toutefois être analysée pour s'assurer de leur destination, soit la valorisation soit l'élimination.

Ces analyses reposent sur la responsabilité des intervenants du projet qui doivent juger des conséquences des impacts possibles sur l'environnement mis en rapport aux coûts des contrôles et de la fiabilité d'une prédiction des résultats de ces contrôles liées à la méthode d'excavation ainsi qu'à d'autres conditions limites.

La recherche QuAntuM se situe dans ce contexte délicat et incertain: elle identifie les principaux types de résidus de matériaux d'excavation et estime leur quantité et qualité. En plus, elle se penche plus précisément sur le cas de la valorisation du matériau d'excavation pour la production de graves à béton. QuAntuM se limite aux excavations en roche avec tunnelier et avec explosifs, et ne s'occupe pas de polluants géogènes.

Un grand nombre de données a été rassemblé pour pouvoir répondre aux questions suivantes de ce travail de recherche:

- Quels et combien de résidus sont produits sur un chantier souterrain avec avancement au tunnelier ou à l'explosif?
- Quels sont les paramètres caractéristiques de ces résidus, et quels valeurs ont-ils?

- Est-il possible de reconduire la qualité et la quantité de certains résidus à la qualité estimée du matériau de départ?

Pour répondre à ces questions, une approche modulaire (Module 1: Tunnel de base du Gothard, Modul 2: Tunnel de base du Ceneri) a été choisie et subdivisée en plusieurs phases opératives:

- Processus de récolte et de traitement des données: de la définition à la récolte dans la forme requise, à l'homogénéisation et le nettoyage des données, à leur analyse en forme analytique et graphique et à l'interprétation et à la modélisation.
- Base de données QuAntuM: il s'agit là d'un instrument pour répondre à des questions de recherche. C'est aussi un instrument utile en particulier pour des maîtrises d'oeuvre et pour des entreprises qui désirent élaborer un grand volume de données d'une excavation, dans un environnement de travail unique avec un logiciel connu et un fichier qui s'adapte aux besoins du projet et du chantier.
- Scénarii et exploitation statistique: de nombreux scénarii ont été extrapolés de la base de données QuAntuM, à partir desquels ont été développés des élaborations statistiques avec des résultats de validité générale.

Visualisations graphiques: La base de données QuAntuM a été combinée avec une visualisation graphique dynamique qui correspond aux besoins des ingénieurs et du public cible.

La recherche QuAntuM a identifié six genres de résidus, dont les résultats principaux sont représentés sous forme tabellaire dans le résumé en langue allemande. Quant aux explications des conditions limite et des hypothèses, elles se trouvent au chapitre 5 « Ergebnisse ».

De plus, la recherche a développé un outil fonctionnel pour la récolte, le calcul, le pronostic et l'évaluation de données dans le domaine de la gestion des matériaux e le met a disposition. La fonctionnalité de l'instrument peut être étendue à d'autre paramètres et, probablement, à d'autres secteurs (géologie, hydrogéologie, protection des eaux).

Aussi, la recherche démontre que pour les cas d'avancements normaux il est justifié de renoncer à une caractérisation systématique des matériaux d'excavation.

Finalement, QuAntuM met à disposition des auteurs de projets des éléments supplémentaires pour l'évaluation des avantages et des inconvénients des deux méthodes d'excavation (au tunnelier et à l'explosif).

Le présent travail ne prétend pas l'introduction d'une nouvelle pratique de gestion des différents résidus. Par contre, elle montre des résultats basés sur des échantillons statistiques fiables dont les valeurs démontrent des tendances évidentes. Elle contribue ainsi à l'optimisation des flux des matériaux et à l'économie de temps et de coûts.

Riassunto

La gestione del materiale di scavo di una galleria ha solitamente un impatto significativo su tutti i campi ambientali considerati in un rapporto d'impatto ambientale.

La minimizzazione dell'impatto è di difficile attuazione, soprattutto perché il materiale di scavo esce dalla galleria e necessita di una nuova destinazione, possibilmente a bilancio ambientale positivo.

Alle difficoltà tecniche, economiche e procedurali riguardanti gli spazi da adibire a deposito o a discariche, sempre più rari in Svizzera, si aggiungono le conseguenze del metodo di avanzamento sulla qualità e sulla quantità degli scarti di materiale di scavo, che non sempre trovano, durante la progettazione, un approfondimento adeguato.

La scelta del metodo di scavo si basa su una serie di criteri, tra cui rientrano generalmente le specifiche dell'opera, la geologia, le classi di scavo attese, le condizioni idrogeologiche, la velocità di avanzamento, le modalità di smarino.

Quasi mai la scelta del metodo di scavo è influenzata dalle tipologie e dai quantitativi di scarti del materiale di scavo, dove con il termine "scarti" si intende ciò che in un progetto si vorrebbe pari a zero, prescindendo dal grado di inquinamento.

Tuttavia, gli scarti non sono mai nulli, la loro quantità è rilevante e la loro qualità va dall'assenza di inquinamento al grado di inquinamento maggiore di quello concesso in una discarica di tipo E. Ciò si traduce spesso in errori di valutazione che comportano purtroppo, in fase esecutiva, degli oneri imprevisti e ingenti a livello finanziario e ambientale.

Con l'eccezione di scavi di gallerie problematici (non oggetto della ricerca), in cui la tecnica richiede tante sostanze esterne per permettere lo scavo, il materiale di scavo è gestito senza caratterizzazione analitica, assumendo di principio che la sua qualità risponda ai requisiti per essere riciclato secondo le quattro possibilità previste dall'Art.19 dell'OPSR.

Al giorno d'oggi per motivi tecnici e finanziari non è possibile analizzare in maniera continua e sistematica tutto il materiale di scavo.

Ciò non vale per la maggior parte degli scarti del materiale di scavo, che devono essere indagati per valutare se possono essere riutilizzati o se devono essere smaltiti.

L'analitica è un'attività che richiede consapevolezza: da un lato vi è il rischio di non rilevare inquinamenti importanti, dall'altro, è probabile che molte analisi onerose sugli scarti siano superflue perché i valori analitici potrebbero essere prevedibili in base al metodo di scavo e alle condizioni al contorno.

La ricerca QuAntuM si inserisce in questo ambito delicato e incerto: identifica le tipologie dei principali scarti di materiale di scavo e ne stima quantità e qualità, concentrandosi sullo scavo in roccia con metodo di avanzamento fresato e con esplosivo. Inoltre si china sul caso particolare dell'utilizzo del materiale di scavo per la produzione di inerti per calcestruzzo. QuAntuM non si occupa di inquinamenti geogeni.

QuAntuM risponde alle domande seguenti:

- Quali e quanti sono gli scarti prodotti su un cantiere in sotterraneo, con metodo di scavo fresato e con esplosivo?
- Quali sono i parametri che caratterizzano gli scarti e quali valori possono avere?
- Dalla qualità e dalla quantità di alcuni scarti è possibile risalire alla qualità presunta del materiale di scavo?

Per rispondere alle domande si è adottato un approccio modulare (modulo 1: Galleria di base del San Gottardo, modulo 2: Galleria di base del Ceneri) suddiviso in più fasi operative:

- Processo di raccolta e di elaborazione dei dati: dalla definizione dei dati alla raccolta dei dati nella forma richiesta, all'omogeneizzazione e alla pulizia dei dati, alla loro analisi in forma numerica e grafica, per finire con l'interpretazione e la modellizzazione.
- QuAntuM_Datenbank: è uno strumento di lavoro pensato per rispondere alle domande della ricerca ed è uno strumento di lavoro utile soprattutto per le direzioni lavori e le imprese che vogliono gestire molti dati di uno scavo in sotterraneo in un unico ambiente di lavoro, con un programma noto e un file adattabile secondo necessità del cantiere e del progetto.
- Scenari e valutazione statistica: dalla banca dati QuAntuM sono stati estrapolati numerosi scenari su cui fare delle elaborazioni statistiche che permettessero dei risultati di validità generali.
- Visualizzazioni grafiche: allo strumento di lavoro della Banca dati QuAntuM è stata affiancata una visualizzazione grafica dinamica che rispondesse alle esigenze dei Committenti e del pubblico di destinazione.

La ricerca QuAntuM ha identificato sei tipi di scarti, i cui risultati principali sono rappresentati in forma tabellare nel riassunto in lingua tedesca. Le spiegazioni delle condizioni al contorno e delle assunzioni fatte si trovano nel capitolo 5 « Ergebnisse ».

La ricerca ha inoltre sviluppato e mette a disposizione uno strumento funzionale di raccolta, calcolo, previsione e valutazione di dati in ambito di gestione materiale, con la possibilità di estendere la funzionalità dello strumento ad altri parametri e, probabilmente, ad altri settori (soprattutto geologia, idrogeologia, settore ambientale delle acque).

Inoltre, la ricerca mostra che, in situazioni di avanzamento ordinario, l'assenza di caratterizzazione sistematica del materiale di scavo è giustificata.

Parimenti, QuAntuM fornisce degli elementi aggiuntivi, oltre a quelli già utilizzati dai progettisti, per valutare vantaggi e svantaggi dei due metodi di avanzamento (fresato o con esplosivo).

La ricerca non pretende di imporre una nuova prassi di gestione per le varie tipologie di scarto, ma illustra delle risultanze basate su campioni statistici attendibili che presentano una tendenza evidente dei valori, fatto che potrebbe contribuire a un'ottimizzazione dei flussi di materiale con risparmio di tempo e riduzione dei costi.

Summary

The handling of excavated material from underground works usually has a significant impact on the environment.

It is difficult to minimise this impact, because after leaving the site the excavated material requires a new destination, possibly with a positive environmental balance. Available space for spoil deposits in Switzerland is rare, and the related technical, economical and procedural difficulties are getting more and more important. Besides, the excavation methods influence the quality and quantity of residues of the excavated material, a fact often not taken into account sufficiently during the design stage.

The choice of the excavation method depends on multiple criteria, i.e. the characteristics of the works, the geology, the expected difficulties during excavation, the hydrogeological conditions, the expected production rates and the transportation system.

Hardly ever the choice of the excavation method is influenced by the type and quantity of residues of the excavated material. "Residue" means a rest that is unwanted in the project, irrespectively of the degree of pollution.

Yet, residues are inevitable. Their quantity is relevant and their quality ranges from non polluted to a pollution that passes the limits of a type E deposit. The connected errors in the forecast unfortunately during realisation often cause unexpected and serious consequences to costs and to the environment.

With the exception of specially challenging headings (not considered in this research) which require large amounts of additives for the excavation, the excavated material is usually managed without analytical testing, based upon the assumption that it conforms to the criteria required for a recovery according to the four possibilities given by Art. 19 of the ADWO.

Nowadays it is technically and financially impossible to continuously and systematically analyse the total of excavated material.

This, however, does not apply to most residues of the excavated material, that must be analysed in order to determine whether they can be recovered or must be eliminated.

The analytics must be carried out responsibly: on one hand there is a risk that relevant pollutions are overlooked, while on the other hand many expensive analyses are unnecessary because their results can be foreseen based on the excavation method and on the boundary conditions.

The QuAntuM research is situated in this delicate and uncertain area: it identifies the most important types of residue of excavated material and estimates their quality and quantity. Moreover, it takes a closer look at the case of the use of excavated material for the production of concrete aggregates. QuAntuM is limited to excavations in rock with tunnel boring machines (TBM) or explosives, and does not consider geogenous pollutants.

QuAntuM answers the following questions:

- What kind and what quantity of residues are produced on an underground construction site with excavation by TBM or by Drill & Blast?
- What parameters are characteristic for the residues, and what values can they have?
- Are the quality and quantity of certain residues due to the presumed quality of the excavated material?

In order to answer these questions, a modular approach was chosen and divided into several operative phases:

- Process of data collection and treatment: from the definition to collection in the required format, the homogenisation and cleaning of the data, their analysis in numerical and in graphic format and finally to their interpretation and modelling.
- QuAntuM Database: a tool designed for answering research questions and a useful tool in particular for supervisors and for contractors who wish to manage a large volume of data in a single work environment, with a known software and a file that can be adapted to the needs of the site and of the project.
- Scenarios and statistical evaluation: many scenarios were extrapolated from the QuAntuM database and served as basis for statistical evaluations with universally valid results.
- Graphical visualisations: the QuAntuM database was linked to a graphical visualisation tool that matched the needs of the engineers and of the target public.

The QuAntuM research identified six types of residues, the main results of which are shown in a tabular form in the summary in German language. As to the explanations of the border conditions and of the assumptions, they can be found in chapter 5 "Ergebnisse".

Besides, the research has developed a functional tool for the collection, calculation, prediction and evaluation of data in the field of management of excavated material, which is made available to the public. It is possible to extend the functions of the tool to other parameters and probably to other sectors (geology, hydrogeology, water).

Moreover, the research proves that for underground excavation in general the renunciation on a systematic characterisation of the excavated material is justified.

Also, QuAntuM provides the designer with additional elements for the evaluation of advantages and drawbacks of the two excavation methods (TBM and Drill&Blast).

This research does not pretend to introduce a new practice of residue management. QuAntuM rather presents results based upon statistically reliable samples, the values of which show clear trends. It so contributes to the optimisation of streams of material and thus to cost and time savings.

1 Einleitung

1.1 Forschung im Strassenwesen

Das schweizerische Strassennetz stellt eine Investition von vielen Milliarden Schweizer Franken dar.

Die vom Bund finanzierten Forschungsprojekte zielen darauf ab, dieses Netzwerk bestmöglich zu nutzen, auf dem Stand der Technik zu halten und nachhaltig weiterzuentwickeln.

Darüber hinaus hat das UVEK folgende allgemeine verkehrspolitische Ziele für die förderungswürdige Forschung festgelegt:

- Schutz der natürlichen Umwelt (ökologische Nachhaltigkeit),
- wirtschaftliche Effizienz (moderne und effiziente Infrastrukturdienstleistungen),
- Gesellschaftliche Solidarität (soziale Nachhaltigkeit).

1.2 Forschungsobjekt

1.2.1 Forschungsbedarf

Diese Forschung verfolgt sowohl das Ziel des Umweltschutzes als auch das der Wirtschaftlichkeit im Sinne der Optimierung und Kostenkontrolle bei der Planung und dem Bau eines unterirdischen Werkes.

Die Auswirkungen der Ausbruchmethode auf die Qualität und Menge der Rückstände sind heute nicht ausreichend erforscht:

- Die Bewirtschaftung von Ausbruchmaterial hat erhebliche Auswirkungen auf Raum und Umwelt. Einerseits beeinträchtigen Ablagerungen und Deponien das Landschaftsbild und belasten die Umwelt, andererseits sind Lager- und Deponiestätten in der Schweiz immer seltener und mit langwierigen und komplexen Planungsverfahren verbunden.
- Es besteht ein Bedarf an interdisziplinärer Betrachtung zwischen Bau- und Umweltingenieurwesen, die einen Gesamtüberblick über die verschiedenen Materialflüsse verschafft und das Bewusstsein für die tatsächlichen Auswirkungen der möglicher Projektentscheide verbessert.

Das Fehlen einer genügenden Analyse führt häufig zu Beurteilungsfehlern, die oft unvorhergesehene finanzielle und ökologische Belastungen bei der Umsetzung zur Folge haben.

Eine ähnliche Überlegung gilt für den Prozess der Verwertung von Ausbruchmaterial für die Herstellung von Gesteinskörnungen, bei dem die Schätzung der bei diesem Prozess unvermeidlich entstehenden Rückstände oft unzureichend ist, so dass in der Ausführung Methoden und Verträge kostspielig angepasst werden müssen.

Hinsichtlich des Einflusses der Vortriebsmethode auf die Verwertbarkeit des Ausbruchmaterials für Gesteinskörnungen liegen umfangreichere Erfahrungen vor.

Der Begriff „Wiederverwendung“ in dieser Arbeit entspricht dem Begriff „Verwertung“ aus dem Umweltschutzgesetz. In der Folge werden daher „Verwertung“ und „Verwertbarkeit“ statt „Wiederverwendung“ und „Wiederverwendbarkeit“ gebraucht.

1.2.2 Untersuchungsgebiet

Die Wahl der Vortriebsmethode basiert auf einer Reihe von Kriterien, zu denen unter anderem der Zweck des Werkes, die geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Bedingungen sowie die angestrebte Vortriebsgeschwindigkeit gehören.

Fast nie wird die Wahl der Vortriebsmethode durch die Art und Menge der beim Ausbruch anfallenden Rückstände beeinflusst, wobei mit "Rückständen" ein Anteil verstanden wird, der in jedem Projekt so nahe als möglich bei 0 sein sollte (diese Klarstellung ist wichtig und wird im konzeptionellen Kapitel aufgegriffen).

Leider fallen bei der Realisierung eines jeden Werkes Rückstände an. Ihre Menge und Qualität können gewichtige Folgen haben, obwohl sie im Vergleich zu den großen Mengen an Ausbruchmaterial einen bescheidenen Anteil ausmachen: finanzielle Belastungen, komplexere Planungs- und Ausführungsprozesse, Verzögerungen und unvorhergesehene Auflagen.

Die Identifizierung der Flüsse aller Materialrückstände und die Abschätzung ihrer Menge und Qualität wird daher zu einer notwendigen Aufgabe, die die Wahl der Vortriebsmethode beeinflussen kann: dies ist das Untersuchungsgebiet dieser Forschung.

Die Forschungsarbeit kann nicht für alle Vortriebsmethoden gleichzeitig angegangen werden. Es würden zu viele Daten benötigt, um allgemeine Ergebnisse für jede Vortriebsmethode zu erhalten: die Forschung QuAntuM konzentriert sich daher auf Vortriebe im Fels mit TBM oder Sprengstoff.

Bezüglich der Lockergesteinsvortriebe werden ausserdem einige Aussagen über Rohrschirmvortriebe gemacht. Die Ausgangsdaten sind jedoch nicht ausreichend, um Bewertungsszenarien zu entwickeln und um zuverlässige statistische Auswertungen zu ermöglichen.

Die Destinationen des Ausbruchmaterials sind auch Gegenstand der Forschung, womit auch dessen Verwertbarkeit für die Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton, von Koffer- und Schüttmaterial erfasst ist.

Der Titel "Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände", abgekürzt mit dem Akronym QuAntuM, fasst das Hauptziel zusammen.

1.3 Forschungsfragen

1.3.1 Fragen während der Vorbereitungsphase

Der Forschungsantrag enthielt die folgenden Hauptfragen:

- In welchem Ausmass beeinflusst die Vortriebsmethode die Qualität des Ausbruchmaterials, insbesondere hinsichtlich chemischen Eigenschaften (KW, NO₂, CrVI, SO₄²⁻), geotechnischen Eigenschaften (Kornverteilung, Kornform, Brechbarkeit, Feinanteile), sowie der Menge und der Qualität der Rückstände?
- Inwiefern ist es möglich aus der Qualität der Rückstände, insbesondere der Schlämme (vor allem aus Tunnelwasseraufbereitung TWAB und Materialaufbereitung MAB) auf die Qualität des Ausbruchmaterials zu schliessen?

1.3.2 **Bearbeitung der Anträge gemäss den Angaben der Begleitkommission**

Mit Bezug auf die detaillierten Erläuterungen in den Kapiteln 3 und 4 zeigten die Datenerhebungs- und Auswahlkriterien, dass eine einheitliche Auswertung von Vortriebs-, Umwelt- und Analysedaten fehlte.

Diese Unzulänglichkeit ist auf Baustellen recht häufig anzutreffen und beruht auf den unterschiedlichen Aufgaben und Ziele der verschiedenen Fachleute bei der Realisierung eines jeden Werkes.

Um dieses Defizit auszugleichen und um das Zusammenwirken von Bau- und Umweltfachleuten auf der Baustelle zu vereinfachen, konzentrierte sich die Forschungsarbeit auf die Entwicklung eines Arbeitsinstruments, mit dem die Daten über die Materialflüsse der unterirdischen Arbeiten unter Berücksichtigung von Umwelt- und Analysedaten dynamisch verwaltet werden können.

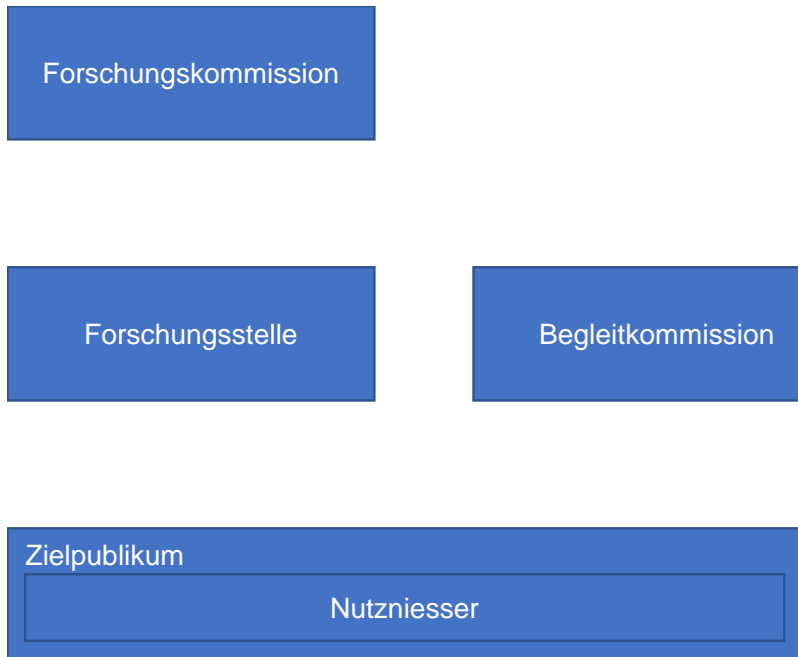
Auf der Grundlage dieses Instruments sollten dessen Anwendungen für die chemischen Eigenschaften verfeinert und erweitert werden. Zur notwendigen Vereinfachung konnten dabei die geotechnischen Eigenschaften nicht als variable, sondern als feste Parameter gelten. Dieser Aspekt wird in Kapitel 4 erläutert.

Die Ergebnisse der für den Gotthard-Basistunnel gewählten Untersuchungsszenarien (Modul 1) waren anhand weiterer Untersuchungsszenarien am Ceneri-Basistunnel zu prüfen (Modul 2). Wenn sich daraus allgemeingültige Ergebnisse ableiten liessen, so waren folgende Fragen zu beantworten:

- Welche und wie viele Rückstände werden auf einer unterirdischen Baustelle mit TBM- oder Sprengvortrieb erzeugt?
- Welche sind die Parameter, die die Rückstände charakterisieren, und welche Werte können sie haben?
- Lassen sich die Qualität und die Menge gewisser Rückstände auf die vermutete Qualität des Ausgangsmaterials zurückführen?

2 Beteiligte Stellen

Folgende Stellen waren bei dieser Arbeit beteiligt bzw. wurden dabei berücksichtigt:



2.1 Forschungskommission (FOKO)

Die Forschungskommission ist ein bedeutendes Kontrollgremium zur Sicherung der Qualität der durch das ASTRA finanzierten Forschung. Bei der Auswahl geeigneter Forschungsvorhaben wird die FOKO neu durch fünf Arbeitsgruppen unterstützt, die die Schwerpunktfelder «Brücken, Geotechnik und Tunnel», «Mobilität 4.0», «Mensch und Fahrzeug», «Trasse und Umwelt» sowie «Verkehrsplanung und Technik» betreuen.

Anlässlich des Erläuterungsgespräches vom 19. Juni 2018 beim ASTRA (Dr. Philipp Stoffel, Frau Michela Bazzi, Herren Raphael Kästli, Richard Kocherhans, Paolo Lanfranchi, Matthias Neuenschwander) wurden die Fragen der FOKO diskutiert und die Grundlage für die Überarbeitung des QuAntuM-Projektes besprochen.

2.2 Begleitkommission (BK)

Jedes Forschungsprojekt wird von einer externen Begleitkommission betreut.

Die Rolle der BK (Begleitgruppe in den gesetzlichen Bestimmungen) ist verankert in der Verordnung des UVEK über die Förderung der Forschung im Strassenwesen (Forschungsverordnung, SR 427.72); insbesondere steht im Artikel 8: "das ASTRA kann Fachpersonen beiziehen, welche die laufende Überwachung und eine von der Forschungsstelle unabhängige fachliche Beurteilung der Forschungsarbeit übernehmen".

Die BK unterstützt die Forschungsstelle und überwacht die Forschungsarbeiten laufend und zwar sowohl inhaltlich wie auch terminlich und finanziell.

Die BK erhöht die wissenschaftliche Qualität der Forschung und sorgt für die effiziente und effektive Erarbeitung der Forschungsergebnisse und die fachliche Beurteilung der Forschungsarbeit insgesamt.

Die Begleitkommission des Projektes QuAntuM wird im Impressum vorgestellt.

Die Mitglieder der Kommission, die sowohl im privaten als auch im öffentlichen Sektor tätig sind und über langjährige Erfahrung verfügen, decken alle von der Forschung berührten Bereiche ab.

Zudem ist die AlpTransit AG Eigentümerin aller für die Module 1 und 2 verwendeten Daten.

2.3 Forschungsstelle

Die Forschungsstelle wird im Impressum vorgestellt.

Die genannten Personen verfügen über langjährige Erfahrung mit den von der Forschung vorgeschlagenen Themen, sowohl in der Planungs- als auch in der Ausführungsphase.

2.4 Nutzniesser

Die Nutznießer sind die Auftraggeber der großen unterirdischen Bauwerke und die für deren Planung und Ausführung verantwortlichen Personen (Bauleiter und Bauunternehmer): Sie erhalten ein Instrument zur Bewertung der Gesamtauswirkungen der Ausbruchmethode auf die Materialflüsse, insbesondere auf die bei den Ausbrucharbeiten anfallenden Rückstände.

Darüber hinaus führt eine zuverlässige Prognose der Qualität der verschiedenen Rückständetypologien zu einer Verringerung und Vereinfachung des Aufwandes für die Überwachung der Umweltbelastung durch die verschiedenen Materialflüsse, mit zeitlichen, räumlichen und finanziellen Vorteilen.

2.5 Zielpublikum

Das Potenzial der Forschung besteht darin, die Materialflüsse von Großprojekten genauer zu beschreiben und dadurch die Risiken für die Umwelt zu verringern und den in den Lagerstätten verfügbaren Raum besser zu nutzen. Personen, die zu einem Tunnelprojekt Stellung nehmen müssen, können umfassender informiert und zum Zielpublikum der Forschung werden.

3 Konzept und Arbeitsschema

3.1 Grundsatz

Bei der Realisierung von Untertagebauten ist es üblich, bestimmte Umweltparameter systematisch zu überwachen, insbesondere hinsichtlich Luft und Wasser.

Für grosse unterirdische Bauwerke wird die Überwachung der wichtigsten Luftparameter und der massgebenden Parameter des gesamten geförderten Wassers im Auftrag des Bauherrn durch den Planer konzipiert. Im Allgemeinen sieht das Konzept spezielle Instrumente vor, um die gewählten Parameter kontinuierlich (nach einem vorgegebenen Intervall) zu erfassen.

Das Monitoring ermöglicht die Erfassung vieler aufgezeichneter Werte und damit die Zusammensetzung umfangreicher Proben. Dies ermöglicht statistische Auswertungen.

Das Ausbruchmaterial kann nicht in dieser Art kontinuierlich überwacht werden, wegen der schieren Menge und weil die Technologie dazu fehlt.

Das Fehlen einer kontinuierlichen Charakterisierung des Ausbruchmaterials ist daher eine Tatsache in jedem Projekt. Dies führte bisher zur Annahme, dass das Ausbruchmaterial als unbelastet gilt, sofern es keine gegenteiligen Hinweise gibt.

Dieses Prinzip ist auch technisch vertretbar, da das Verschmutzungsrisiko (mit Ausnahme der geogenen Verschmutzung) in der ungestörten Gesteinsmatrix gleich Null ist. Es ist allerdings durch geeignete Kontrollen der Prozesse in der Ausführung sicherzustellen.

Der Grundsatz fehlender Hinweise auf Verschmutzung gilt jedoch nicht, wenn die bei den Arbeiten anfallenden Rückstände geprüft werden müssen, oder wenn die Verwendung von Hilfsmitteln von aussen erheblich wird (z.B. Injektionen, Sprengstoffe, Schmierung, usw.).

Heutzutage ist die korrekte Zuweisung zur Verwertung oder Entsorgung von Rückständen und von bestimmten Arten von Ausbruchmaterial eine der anspruchsvollsten Aufgaben der Überwachung einer unterirdischen Baustelle.

Einerseits besteht die Gefahr, dass Verunreinigungen im Ausbruchmaterial nicht erkannt werden, andererseits sind viele teure und aufwändige Analysen von Rückständen wahrscheinlich unnötig, weil die Analysewerte je nach Vortriebsmethode und Randbedingungen vorhersehbar sind.

Die Forschung QuAntuM befasst sich mit diesem heiklen Bereich der Unsicherheit.

3.2 Arbeitshypothese

3.2.1 Definitionen: Ausbruchmaterial und Rückstände

Dieser Bericht ist in Deutsch und Italienisch verfasst, die offizielle Version ist deutsch.

Oft sind sich auch die Fachleute über die Verwendung von Fachausdrücken nicht einig. Die Unterschiede in den Auslegungen nehmen zu, wenn das Projekt auf der Baustelle umgesetzt wird, bei Dokumenten, die in mehreren Sprachen verfasst sind oder auch bei der juristischen Redaktion der technischen Fachsprache. Klare Definitionen der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriffe sind deshalb wichtig, insbesondere derjenigen die sich auf das Ausbruchmaterial und dessen Rückstände beziehen.

Ausbruchmaterial

Das gesamte Ausbruchmaterial, das je nach Projekt auf unterschiedliche Weise zu Tage gefördert wird, ist für die vorliegende Arbeit wie folgt definiert:

$$\begin{array}{c} \text{Ausbruchmaterial} \\ \\ \text{=} \\ \\ \text{Theoretischer Ausbruch (a)} \\ \\ \text{+} \\ \\ \text{Überprofil (b)} \\ \\ \text{+} \\ \\ \text{Überschüsse von extern zugeführte Baustoffen (c)} \end{array}$$

Erläuterung der Unterteilungen:

(a) Theoretischer Ausbruch:

- Ist das Produkt der theoretischen Fläche (m^2) und der entsprechenden Länge (m), kann in m^3 oder t (durch Umrechnungsfaktor oder durch die tatsächliche Masse) oder in % ausgedrückt werden. In der vorliegenden Arbeit wird er in Prozent ausgedrückt, wobei diesem Anteil zur Vereinfachung der Rechnungen 100 % zugeschrieben werden.

(b) Überprofil:

- Ist die Menge, die über den theoretischen Ausbruch hinausgeht, abhängig von der Vortriebsmethode und den geologischen Bedingungen, ausgedrückt in m^3 oder t (durch Umrechnungsfaktor oder als tatsächliches Gewicht) oder in %. In der vorliegenden Arbeit wird sie als Prozentsatz des theoretischen Ausbruchs ausgedrückt und ist eine Variable.

(c) Überschüsse von extern zugeführten Baustoffen:

- Sind die Überschüsse an Beton, Zusatzstoffen, Schaumbildnern, Schmiermitteln, Fetten und anderen Arten von Kohlenwasserstoffen, Harzen, Gelen und/oder anderen Materialien, die für unterirdische Aktivitäten erforderlich sind und die nicht an Ort und Stelle bleiben, sondern mit dem Wasser oder mit den im Projekt vorgesehenen Transportmethoden weggeführt werden. In dieser Arbeit werden sie als Prozentsatz des theoretischen Ausbruchvolumens ausgedrückt, und dieser Einheit wird ein Mindestwert von 0,5% zugeordnet.
- Prozentsatz von "Überschüsse von extern zugeführten Baustoffen,": In Wirklichkeit ist dieser Wert nicht konstant, da die Schwierigkeiten des Ausbruchs, der Sicherheitsmassnahmen an der Ortsbrust oder am Gewölbe und der Auskleidungsarbeiten variable Mengen an Stoffen von aussen erfordern: je grösser die erforderlichen Mengen pro Laufmeter Vortrieb, desto grösser die Wahrscheinlichkeit von Überschüssen, wobei sich der Prozentsatz dieser Überschüsse nicht wesentlich von dem angegebenen Wert unterscheidet und als konstant angenommen wird. Diese Annahme gilt nur für einen Spreng- oder TBM-Vortriebe im Fels.

Kommentar zur Bedeutung von "Überschüsse von extern zugeführten Baustoffen,"

Wenn die Überschüsse gleich Null wären und solange die Gesteinsmatrix frei von geogenen Schadstoffen ist, gäbe es keinen Grund für eine Verschmutzung.

Dies ist wichtig, weil es ein wichtiges Prinzip impliziert: Jede Verschmutzung des gesamten Ausbruchmaterials wird ausschliesslich durch (c) verursacht.

Ursprung jeglicher Verunreinigung des Ausbruchmaterials und seiner Rückstände (ohne Berücksichtigung etwaiger geogener Verschmutzungen):

Theoretisches Ausbruchmaterial	Nein
Überprofil	Nein
Überschüsse von extern zugeführte Baustoffen	Ja ✓

Kommentar zu Maßeinheiten in m³ oder t

Das Material kann in m³ oder t erfasst werden. Beide Systeme haben Vor- und Nachteile, die vor allem die Verfassung von Vertragsdokumenten und die daraus resultierende Vergütung von Ausbruchleistungen betreffen.

Der Bericht vertieft diesen Punkt nicht, zeigt aber hier die Schwächen der beiden Optionen auf:

- Die Umrechnung des ausgebrochenen Volumens in Masse mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors kann bei hohen Mengen und unterschiedlichen geologischen Beschaffenheiten zu erheblichen Unter- oder Überschätzungen führen. Beim Gotthard-Basistunnel wurde der Ausbruch im kompakten Volumen ausgemessen und mit folgendem Faktor umgerechnet: 1 m³ = 2.7 t.
- Die Kontrolle der Materialbewirtschaftung durch Wiegen mag vorteilhafter erscheinen (vor allem, weil Entsorgungen in der Regel in Tonnen ausgemessen werden), aber das Wiegen alleine ist nicht unbedingt gleichzusetzen mit Genauigkeit, da auf einer Baustelle Messfehler und Ungenauigkeiten an der Tagesordnung sind. Beim Ceneri-Basistunnel wurde das Material gewogen.

Rückstände von Ausbruchmaterial

Es ist verboten, verunreinigte mit nicht verunreinigten Materialien zu vermischen oder zu verdünnen, um die Werte der verschiedenen Parameter zu reduzieren und so die verordneten Grenzwerte einzuhalten.

Dies scheint selbstverständlich. Wenn aber Millionen Tonnen von unverschmutztem Ausbruchmaterial umgeschlagen werden, in dem viel kleinere Mengen von Material zweifelhafter Qualität verstreut sein können, sind Zweifel angebracht. Es ist deshalb nützlich daran zu erinnern, wie dieses Verbot zumindest auf operativer Ebene umgesetzt wird.

Beim Ausbruch entstehen verschiedene Arten von Rückständen (feines Material das durch Drainagewasser weggespült wird, Abbruchmaterial, Rückprallbeton, Reinigungsrückstände, Schlämme die auf dem Boden liegenbleiben, zu nasses Ausbruchmaterial das nicht auf normale Weise abgeführt werden kann, durch Unfälle verunreinigtes Material), die technisch und wirtschaftlich vom Ausbruch getrennt werden können.

Diese Rückstände müssen so gesammelt werden, dass eine Verdünnung und damit die Gefahr vermieden wird, dass kleine verunreinigte Mengen die Qualität großer Mengen beeinträchtigen.

Darüber hinaus ermöglicht die Unterteilung der Rückstände in genau definierte Typologien einen zuverlässigen Entscheid über ihre Entsorgungsmöglichkeiten.

Es ist daher wichtig, den Rückstand nicht a priori als etwas zu identifizieren, das entsorgt werden muss, sondern als etwas, das getrennt zu bewirtschaften ist: Nur wenn der Verschmutzungsgrad des Rückstands bekannt ist, kann die Entscheidung über die Verwertung oder Entsorgung getroffen werden.

3.2.2 Konzept: Einteilung in Kategorien und Rückständetypologien

Der Fluss des gesamten Ausbruchmaterials wird in eine Reihe von Kategorien unterteilt, deren Anteil je nach Visualisierungsanforderungen als Prozentsatz des gesamten Ausbruchmaterials oder direkt in Volumen oder Masse ausgedrückt werden kann. Die vorliegende Arbeit verwendet eine prozentuale Darstellung.

Die Kategorie beantwortet die Frage "Wozu kann das Ausbruchmaterial projektgemäss verwendet werden?"

Es wurden sechs Kategorien identifiziert, um alle möglichen Fälle zu erfassen und um die Eineindeutigkeit der Begriffe zwischen Gesetzgebung und Projekt zu gewährleisten, ein wichtiger und in der Planung oft vernachlässigter Aspekt:

Tab. 1 Einteilung in sechs Kategorien in Übereinstimmung mit der VVEA

Ausbruchmaterial: Einteilung in Kategorien	Gesetz	Erwünschte (grün) oder nicht erwünschte Kategorie (violett)
1 als Baustoff auf Baustellen oder Deponien	VVEA, Art.19	Im Projekt erwünschte Kategorie
2 für die Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen	VVEA, Art.19	Im Projekt erwünschte Kategorie
3 für bewilligte Terrainveränderungen	VVEA, Art.19	Im Projekt erwünschte Kategorie
Ausbruchmaterial 4 als Rohstoff für die Herstellung von Baustoffen	VVEA, Art.19	Im Projekt erwünschte Kategorie
5 Rückstände aus dem Feststoffprozess	VVEA, Anhänge 3/4/5	Im Projekt nicht erwünschte, aber unvermeidbare Kategorie
6 Rückstände aus dem Wasserbehandlungsprozess	VVEA, Anhänge 3/4/5	Im Projekt nicht erwünschte, aber unvermeidbare Kategorie

Die ersten vier Kategorien betreffen die Vorgaben des Projekts und, falls erforderlich, laufende Änderungen oder unvorhergesehene Ereignisse. Es handelt sich um vom Projekt gewünschte Kategorien. Die Reihenfolge der Kategorien entspricht der Abbildung in den Kapiteln 4 und 5, nicht der Priorität gemäss der VVEA.

Die fünfte und die sechste Kategorie betreffen unvermeidliche Rückstände, welche durch die Bauarbeiten anfallen.

Die Einteilung in Kategorien begründet noch nicht einen Entscheid zu Entsorgung oder Verwertung, obwohl auf den ersten Blick davon ausgegangen werden kann, dass es sich bei den ersten vier Kategorien um verwertbares Material und bei den beiden anderen um zu entsorgende Rückstände handelt. Aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich, dass diese Annahme nur teilweise richtig ist und dass die Kategorien tatsächlich stärker artikuliert sind:

Tab. 2 Faktoren für Mengenschwankungen der Kategorien

Ausbruchmaterial: erwünschte (grün) oder nicht erwünschte Kategorie (violett)		Faktoren für Mengenschwankungen
1	als Baustoff auf Baustellen oder Deponien	Projekt und Änderungen während Bauarbeiten.
2	für die Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen	Projekt, Vortriebsmethode und Änderungen während Bauarbeiten.
3	für bewilligte Terrainveränderungen	Projekt, Vortriebsmethode und Änderungen während Bauarbeiten.
4	als Rohstoff für die Herstellung von Baustoffen	Betonzuschlagstoffe (Gesteinskörnungen)
		Rückstände: gepresste Materialbewirtschaftungsschlämme (MAB-Schlämme)
		Rückstände: überschüssiges Material von Materialaufbereitungsanlage
5	Rückstände aus dem Feststoffprozess	Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlenreinigung
		Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen
6	Rückstände aus dem Wasserbehandlungsprozess	Rückstände: gepresste Tunnelbehandlungsanlageschlämme (TWA-Schlämme)

Darüber hinaus soll die Forschungsarbeit einen Überblick über die Auswirkungen der verschiedenen Arten von Rückständen geben, die beim Bau eines unterirdischen Bauwerks entstehen. Dabei ist hervorzuheben, dass die Verwendung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Beton einen sekundären Prozess beinhaltet, bei dem Zementschlämme entstehen:

Tab. 3 Sekundärprozess: Betonschlämme

Kategorie	Folge	Faktoren für Mengenschwankungen
4	Betonzuschlagstoffe	Rückstände: Betonschlämme
		Die Mengenschwankungen hängen davon ab, wie viel einsatzbereiter Beton tatsächlich eingebaut wird.

Die Unterteilung in Kategorien beinhaltet die Identifizierung von sechs Arten von Rückständen. Einige davon können klar unterschieden werden, während andere Arten mehrere Rückstände umfassen, die mit dem gleichen Verfahren behandelt werden.

Diese Arten von Rückständen sind der Gegenstand der vorliegenden Forschung:

Rückstände: gepresste MAB-Schlämme	➔ einheitlich
Rückstände: überschüssiges Material von MAB	➔ mehrere Rückstände
Rückstände: Betonschlämme	➔ einheitlich
Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung	➔ mehrere Rückstände
Rückstände: separates Ausbruchmaterial bei Spezialfällen	➔ mehrere Rückstände
Rückstände: gepresste TWA-Schlämme	➔ einheitlich

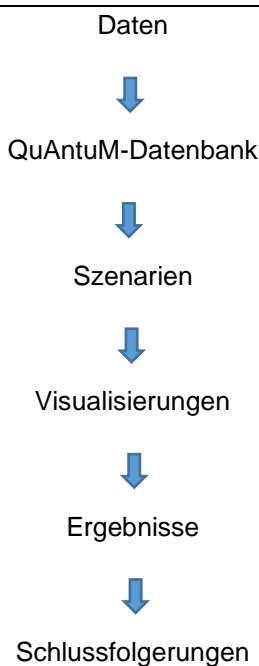
In Kapitel 5 „Ergebnisse“ werden die erwarteten Prozentsätze der identifizierten Arten von Rückständen dargestellt, wobei den anderen (erwünschten) Kategorien behelfsweise ein Prozentsatz zugeschrieben wird, um die Ströme zu visualisieren und auszugleichen.

3.3 Arbeitsschema

Es wird ein modularer Ansatz verfolgt:

- Modul 1 betrifft die Verarbeitung der während des Baus des Gotthard-Basistunnels (GBT) gesammelten Daten.
- Modul 2 dient dazu, die Verlässlichkeit der in Modul 1 erzielten Ergebnisse durch Verarbeitung der am Ceneri-Basistunnel (CBT) gesammelten Daten zu prüfen.
- Modul 3: Die in Modul 1 entwickelten und in Modul 2 getesteten Arbeitsinstrumente werden auf andere Arbeiten angewandt, um sowohl das Potenzial des Arbeitsinstruments selbst als auch die allgemeine Gültigkeit der vorgelegten Ergebnisse zu überprüfen.

Das angenommene Arbeitsschema gliedert sich in die folgenden operativen Phasen:



Zusammenfassende Erläuterung der Phasen:

Daten: Erfassung und Verarbeitung von Daten aus den beiden Modulen. Die Daten liegen in großen Mengen für einen Zeitraum von 10 (CBT) bzw. 16 (GBT) Jahren vor, wurden allerdings während des Baus unterschiedlichen Bedürfnissen entsprechend gespeichert und liegen daher ursprünglich in einer Form und Struktur vor, die für diese Arbeit ungeeignet ist. Sie erfordern daher eine umfangreiche Aufarbeitung und Validierung.

QuAntuM-Datenbank: Realisierung eines dynamischen und funktionellen Arbeitsinstruments zur Bewirtschaftung der gesammelten Daten, aufgrund derer die verschiedenen Auswertungen aufbereitet und die interessanten Szenarien für Forschungszwecke ausgewählt werden können. Die Datenbank erlaubt das Sammeln und Bewirtschaften von Daten der verschiedenen Ströme des Ausbruchmaterials.

Szenarien: Die mit der QuAntuM-Datenbank ausgewählten Szenarien werden nach einer Reihe von Kriterien abgefragt. Die Auswertungen der Ergebnisse dieser Abfragen ermöglichen es zu verstehen, ob Aussagen von allgemeiner Bedeutung extrapoliert werden können.

Visualisierungen: Aus der Datenbank QuAntuM werden dynamische grafische Darstellungen generiert

Ergebnisse: Die Ergebnisse der Forschungsarbeit werden im Detail vorgestellt.

Schlussfolgerungen: Mit Bezug auf die Forschungsfragen und auf die Ergebnisse aus weiteren Bauwerken wird die Anwendbarkeit des Arbeitsinstruments geprüft und dessen Vor- und Nachteile dargestellt.

4 Entwicklung der operativen Phasen

4.1 Erste operative Phase: Daten

Der Prozess der Datenerhebung und -verarbeitung ist von grösster Bedeutung, da die Forschungsarbeit darauf basiert.

Der Prozess beginnt mit der Definition der für das Thema benötigten Daten, geht dann über die Datenerhebung in der gewünschten Form, die Homogenisierung und Reinigung der Daten, zur Datenanalyse in numerischer und grafischer Form und schließlich zur Interpretation und Modellierung.

Das folgende Diagramm stellt die Abfolge der Operationen für diese erste Arbeitsphase dar:

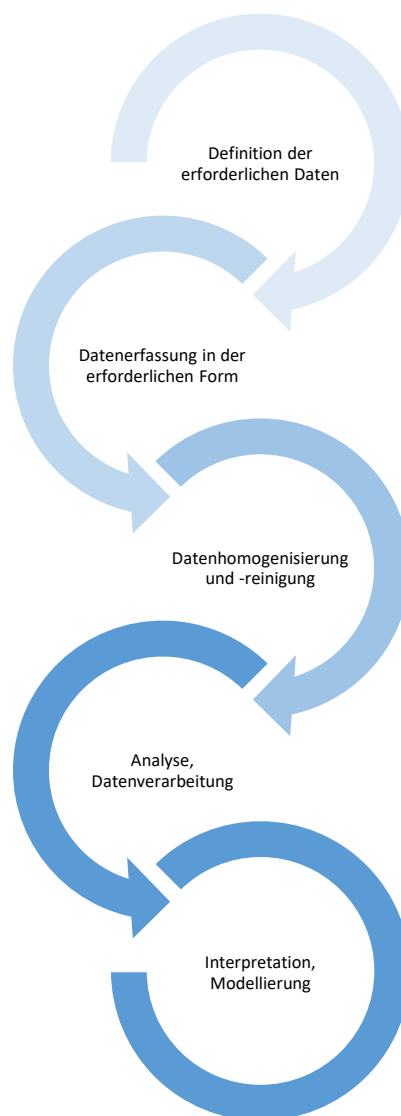


Abb. 1 Allgemeines Diagramm des Datenanalyseprozesses

Im vorliegenden Fall konnten einige Operationen (Definition der erforderlichen Daten, Sammlung von Daten in der erforderlichen Form) erst zum Schluss durchgeführt werden: der Forschungsbedarf wurde erst erkannt, nachdem die Daten (für andere Zwecke) bereits

definiert und gesammelt worden waren. Dies bedeutete, dass die vorhandenen Daten in heterogener Form erhoben worden waren und nicht zu den Forschungszielen passten.

Die für die Forschung benötigten Daten mussten aus vorhandenen Daten ausgewählt werden, unabhängig von ihrer Herkunft, Qualität und Anzahl.

Die Komplexität dieser Arbeitsphase ist vor allem auf die große Datenmenge zurückzuführen, die für zuverlässige Auswertungen benötigt wird, sowie auf das "Layout" der verfügbaren Daten und auf die fast immer heterogenen Standortbedingungen, die die statistische Repräsentativität einiger Parameter beeinträchtigen.

Daher wurden so viele Daten wie möglich in die Suche integriert; die extreme Heterogenität verursachte einen erheblichen Aufwand für die Datenaufbereitung.

Die aus den Modulen 1 (GBT) und 2 (CBT) gewonnenen Daten mussten strukturiert, aufbereitet und zahlreichen Kontrollen unterzogen werden, um alle anomalen und/oder nicht objektiv begründeten Werte auszuschneiden.

4.1.1 Daten in der Planungs- und in der Abschlussphase

Während der Entwurfsphasen eines Untertagebauwerks beurteilt der Projektverfasser dessen Eigenschaften und Randbedingungen. Gewisse Parameter können ohne weiteres definiert werden und ermöglichen die Entwicklung des Projekts, die Ausarbeitung des Kostenvoranschlags und die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen, andere müssen mehr oder weniger grob geschätzt werden.

Generell zeigt der Vergleich der ursprünglichen Annahmen (Ausbruchmethode, tatsächliche geologische und hydrogeologische Eigenschaften, technische Entscheidungen, Zeit, zu überwachende Parameter, erwartete Mengen, erwartete Ausbruchklassen usw.) mit den in der Ausführung erhobenen Daten (tatsächliche Mengen, untersuchte Geologie, aufgezeichnete Zuflüsse, Ergebnisse von Analysen, Bearbeitungszeiten, tatsächliche Unterbrüche, tatsächliche Ausbruchklassen, Verwertungsraten, Entsorgungen, ...) projektspezifisch variable Unterschiede.

Während gewisse Abweichungen vernachlässigbar sind, führen andere oft zu höheren Kosten sowie zu technischen Schwierigkeiten und Problemen im Verfahren bei der Realisierung eines Werkes.

Zu den problematischen Projektannahmen gehören diejenigen, die von der Forschung QuAntuM abgedeckt werden: Zuverlässige Vorhersagen über die Menge und Qualität der verschiedenen Arten von Rückständen des Ausbruchmaterials ermöglichen eine bessere Bewirtschaftung des gesamten Projekts.

Darüber hinaus ermöglicht ein korrekter Abgleich dieser Daten mit anderen Referenzdaten, z.B. dem gesamten aus dem Bauwerk entstehenden Ausbruchmaterial, eine Beurteilung im Nachhinein der Güte getroffener Projektentscheidungen und damit die Möglichkeit zur Verbesserung bei künftigen Projekten.

4.1.2 Datenerhebung

Die benötigten Daten wurden nach den Dimensionen "Zeit" (Mindesteinheit auf 1 Tag festgelegt) und "Menge" des Ausbruchmaterials strukturiert.

Die Datensammlung ist auf drei großen bestehenden Datenfamilien aufgebaut:

- Vortriebsdaten: die vorliegende Forschung befasst sich mit mehreren Baustellen, einige davon sind in Vortriebsmethode, Geologie und begleitenden Aktivitäten sehr ähnlich, andere haben ihre eigenen Besonderheiten.

- Daten zu Rückständen: Die Daten zu den in Kapitel 3 vorgestellten Arten von Rückständen werden auf der Grundlage von Produktionsdaten, Entsorgungsdaten, Korrelation mit geologischen, hydrogeologischen und Vortriebsparametern gesammelt.
- Analytische Daten: Diese beziehen sich auf Hunderte von Analysen von Materialien und Wasser, ergänzt durch systematische In situ-Messungen. Diese Gruppe von Daten erforderte am meisten Aufmerksamkeit und Verarbeitung.

Die Daten waren ursprünglich nicht zur Beantwortung der Forschungsfragen erhoben worden und mussten homogenisiert (Eliminierung der Einflüsse der sich im Laufe der Zeit ändernden Erhebungsbedingungen) und gereinigt werden (Ausnahmen, Fehler, doppelte, fehlende, inkonsistente, unnötige Daten), was sowohl bei der Definition der Datenverarbeitung als auch bei der Datenverarbeitung selbst erheblichen Aufwand verursachte.

Die Gründe dafür sind vielfältig. Die wichtigsten werden im Folgenden dargestellt:

- Die lange Dauer der beiden Baustellen (Gotthard- und Ceneri-Basistunnel) hat zu mehreren Wechseln in den Teams und zu Änderungen in Form und Inhalt der Datenaufzeichnung geführt.
- Während die Aufzeichnung der Vortriebsdaten gemäss immer gleichen Regeln erfolgte, haben sich alle flankierenden Maßnahmen in den verschiedenen Umweltsektoren und Aussenarbeiten im Laufe der Zeit entwickelt, was zum Aufbau spezifischer Tools geführt hat, um den verschiedenen Bedürfnissen gerecht zu werden.
- Die Daten mussten vor allem die folgenden Anforderungen erfüllen:
 - die Erstellung der Ausmassprotokolle für die Vorbereitung der monatlichen Rechnungen,
 - Vorbereitung von Dokumenten für Sitzungen auf verschiedenen Ebenen,
 - Präsentation von Themen oder Zeiträumen, die auf das Zielpublikum zugeschnitten sind,
 - Erstellung von Baustellen-, Management- und Projektberichten für den internen und offiziellen Gebrauch,
 - Erklärung besonderer Themenkreise (Umweltbelastung, Funktionsstörungen, Verzögerungen, Schwierigkeiten im Vortrieb, geologische Spezialfälle, finanzielle Aspekte usw.).

Deshalb wurden viele Daten nur für einen begrenzten Zeitraum erhoben, und wenn sie später erneut erhoben werden mussten, waren die Modalitäten nicht mehr die gleichen.

- Viele Daten waren in nicht editierbaren Formaten erfasst worden, und auch wenn dies der Fall war, gab es keine Eineindeutigkeit in Bezug auf den Inhalt, auf die Maßeinheiten oder auf Ausmasse (fest oder lose).
- Die Wechsel der Verantwortlichen und das Fehlen genauer Vorgaben haben dazu geführt, dass in den Übersichtstabellen die Informationen unterschiedlich und teils fehlerhaft eingetragen wurden (z.B. römisch "IV" mit grossem „I“ oder kleinem "L", variable Angaben, Mischung zwischen Deutsch und Italienisch). Dies kam tausendfach vor, was es schwierig machte, alle diese Daten in eine einzige Berechnungstabelle zusammenzustellen.
- Die Vortriebsdaten wurden mit verschiedenen Arten der Kilometrierung aufgezeichnet, verschiedene Laborberichte verwendeten unterschiedliche Einträge, jede Deponie verwendete ihr eigenes Ausmasssystem.

- Viele Einträge wiesen unmögliche Werte auf. Dies war völlig irrelevant für die Bewirtschaftung von Millionen von Tonnen und für eine so große Baustelle, machte aber die Daten für die Auswertung unbrauchbar.

4.1.3 Datenanalyse und -verarbeitung

Die Prüfung und Verarbeitung der Daten war vor allem für die Werte der Laboranalysen notwendig.

Während der Realisierung zielt die Analytik im Wesentlichen darauf ab, bestimmte Parameter, wenn möglich durch akkreditierte Laboratorien zu überwachen, um Entscheidungen über den Bestimmungsort des Ausbruchmaterials zu treffen.

Die im Laufe der Jahre gesammelten analytischen Daten wurden mit dem Ziel diversifiziert, den Entsorgungs- oder Verwertungsweg für das Ausbruchmaterial und seine Rückstände zu bestimmen, und nicht, um die Messwerte im Detail zu verstehen.

Diese Daten stammen aus Labormessungen chemischer Parameter in Wasser und fester Matrix (Ausbruchmaterial, Schlamm), aber auch aus in situ-Messungen physikalisch-chemischer Parameter von Wässern unterschiedlicher Herkunft. Die gemessenen Werte wurden mit dem entsprechenden gesetzlichen Grenzwert verglichen, um zu beurteilen, ob die Proben konform waren oder nicht.

Die Forschung QuAntuM interessiert sich nicht für den gesetzlichen Grenzwert, der im Laufe der Zeit Schwankungen unterworfen sein kann, sondern für den absoluten Messwert, unabhängig von gesetzlichen Regelungen. Natürlich wurden die Analyseprogramme (Liste der zu analysierenden Parameter) ursprünglich im Sinne einer Risikoanalyse der verschiedenen Arbeiten an jedem Standort so angelegt, dass die verfügbaren Analysen auch diesen Anforderungen gerecht werden.

Dieser gemessene absolute Wert wird dann unverändert (wie in den Analyseberichten angegeben) für Überlegungen im Rahmen des Forschungsprojekts verwendet.

Um über repräsentative Stichproben zu verfügen war es notwendig alle Daten zu analysieren, die Ergebnisse zufälliger Vorkommnisse zu eliminieren, die Güte aller analysierten Parameter zu überprüfen, die Berichte, die nicht zu den untertägigen Aktivitäten gehören, zu ignorieren und jeden Bericht mit den Besonderheiten der untertägigen Aktivitäten zu verbinden (Zeit, Ort, Geologie, Ausbruchmethode, Schwierigkeiten, Wassermenge, produzierte Rückstände, andere parallele Analysen). Dieses Verfahren wurde bereits während der Bauüberwachung angewendet.

Wie bei allen anderen Daten wurden die Werte der Laboranalysen auf die Dimension „Zeit“ bezogen, wobei als Mindesteinheit der Tag gewählt und die Daten in chronologischer Reihenfolge angeordnet wurden: das Datum wurde so zum gemeinsamen Nenner aller für die Forschung gesammelten Daten.

Diese Wahl führte zu einigen wichtigen Entscheidungen: zum Beispiel darf es nicht zwei Aufzeichnungen desselben Parameters für dasselbe Datum geben. Wenn am selben Tag mehrere Messungen erfolgten (kaum mehr als zwei und fast immer sehr ähnlich), wurde die Zuordnung eines Berichts auf den folgenden Tag verschoben. Eine solche Verschiebung des Tages war nur möglich, wenn das Datum der Probenahme kein ausschlaggebendes Element war. In den Fällen, in denen es am selben Tag zwei Datensätze gab, die nicht unterschieden werden konnten, wurde einer der beiden Datensätze (den mit den geringeren Werten) aufgegeben. Es gab nur wenige solche Fälle.

Darüber hinaus wurde eine Laboranalyse, die an einem bestimmten Datum durchgeführt wurde, als repräsentativ für diesen Tag angesehen, unabhängig davon, ob die Probenahme ein bis zwei Tage früher hätte durchgeführt werden können oder ob der entsprechende Prozess einige Tage früher begonnen hatte (z.B. Schlammanalyse von Wasseraufbereitungsanlagen oder Waschen von Zuschlagstoffen).

In vielen Jahren der analytischen Datenerhebung wurden einige Labormessmethoden geändert: obwohl für die Homogenisierung der Daten diese Tatsache grundsätzlich berücksichtigt werden sollte, wird sie für die Zwecke dieser Forschung als irrelevant betrachtet, da die Änderungen die Messwerte insgesamt nicht verändert haben. Würde die Forschung dagegen tiefer auf die analytischen Aspekte eingehen, müsste diese Überlegung neu bewertet werden.

Kommentar zu Schwellenwerten

Laboranalysen haben die Eigenschaft, wenn die Konzentration des gesuchten Parameters besonders niedrig ist, einen Messwert "kleiner als" einen Schwellenwert (Nachweisgrenze oder Bestimmungsgrenze / Quantifizierungsgrenze, meist letztere) zu liefern.

Der verfügbare Datensatz zeigte für mehrere der gemessenen Parameter eine große Anzahl solcher Daten.

Diese Werte sind von erheblicher Bedeutung, weil sie aus durchgeführten Analysen stammen und Daten darstellen, die zwar nicht absolut quantifiziert sind, aber eine niedrige Konzentration des Parameters in der analysierten Matrix anzeigen.

Daher können sie nicht durch Homogenisierung und Bereinigung der Daten eliminiert werden. Sie sind aber schwierig zu verwenden, da sie nicht numerisch sind und es unmöglich ist, sie direkt in die Berechnungen der deskriptiven statistischen Werte einzubeziehen oder in die Diagramme zu integrieren.

Ohne zu sehr ins Detail über statistische Erwägungen zu gehen ist festzuhalten, dass das Problem der Integration dieser Daten in die Analyse und Verarbeitung während der Forschung diskutiert wurde. Schliesslich wurde beschlossen, einen fiktiven Zahlenwert zu verwenden, der der Hälfte des im Laborbericht angegebenen Schwellenwertes entspricht.

Eigentlich wäre dies aus statistischer Sicht unangemessen: solche Daten mit einem Wert "kleiner als" würden nur in Ordinal- oder Häufigkeitsauswertungen (Ordnungsstatistiken, Histogramme), nicht aber in numerischen Auswertungen (Mittelwert, Korrelationen) verwendet.

Für den Zweck dieser Forschung wird die Entscheidung jedoch als akzeptabel und funktionell angesehen.

4.2 Zweite operative Phase: QuAntuM-Datenbank

4.2.1 Auswahl des Programms

Millionen von Daten sind aus der vorherigen Arbeitsphase hervorgegangen, die über mehrere Jahre hinweg Tag für Tag in Hunderte von Parametern aufgeschlüsselt wurden.

Diese riesige Informationsmenge erfordert ein leistungsfähiges Tool zur Verwaltung von Daten, Tabellen und Diagrammen.

Die Forschungsstelle legte fest, dass der Zweck der dieser Arbeit nicht darin bestand ein optimales, ad hoc entwickeltes Programm zu suchen oder zu entwickeln, sondern ein allen bekanntes, weit verbreitetes und allgemein verwendetes Informatiktool zu verwenden. Ausgewählt wurde die Software Microsoft Excel zur Erstellung und Bewirtschaftung von Tabellenkalkulationen, weil die technischen Merkmale (Arbeitsmappe mit Blättern, sehr große Zeilen (2^{20}) und Spalten (2^{14}), viele nützliche Formeln zur Verwaltung der verschiedenen Daten und zur Erstellung grafischer Darstellungen) für den Zweck geeignet waren.

Diese Entscheidung bleibt jedoch nicht ohne Folgen: die beträchtliche Datenmenge und die häufige Verwendung von Formeln verlangsamten die Verarbeitung und erzeugten Wartezeiten (für die Ausführung von Berechnungen) bei der Kalkulation.

Daher wurden zur Lösung dieser Schwierigkeiten mehrere Maßnahmen ergriffen.

4.2.2 Verarbeitung: QuAntuM_Tabellen und QuAntuM_Valori

Beim vierjährigen Vortrieb am Gotthard Süd fielen rund 5 Mio. Tonnen Ausbruchmaterial an. Die Daten waren durch Störfaktoren wenig beeinflusst und bildeten eine gute Basis für die Strukturierung der Arbeitsmappe (QuAntuM_Tabelle) aufgrund der täglichen Schlammproduktion der Tunnelwasserbehandlungsanlage.

Es handelte sich um bereits vielfach verwendetes, seit Beginn der Baustelle gesammeltes Datenmaterial, das besser bekannt war als alle anderen, da sowohl die Masse als auch das Volumen laufend verifiziert wurden, was bei den anderen Parametern, von denen jeweils die eine oder die andere Größe (Volumen oder Masse) gewählt wurde, nicht der Fall war.

Neben diesem Parameter werden in separaten Blättern die Daten zum Baufortschritt und andere mehr aufgeführt wie in der Folge dargestellt (um nur die wichtigsten Datengruppen zu erwähnen):

Tab. 4 Verarbeitung: Datengruppen

Datengruppen

Rückständigdaten: TWA-Schlämme

Vortriebs- und Überprofilaten

Rohmaterial-Daten

Analytische Daten

Geologische Daten

Daten über die Aufbereitungsanlage

Daten zu Abfall und Entsorgung

Daten zum Wasser

Daten der Vorarbeiten

Auf diese Weise wuchs die Tabelle im Zuge der Erhebung der Grundlagendaten entsprechend an. Sobald die Daten in die Tabelle integriert waren, wurden sie den oben beschriebenen Homogenisierungs- und Bereinigungsverfahren unterzogen, wo möglich automatisch anhand von Formeln. Die homogenisierten und bereinigten Daten wurden dann in ein einziges Arbeitsblatt übernommen, das alle verwendeten Parameter enthielt.

Jedem Parameter ist eine Spalte (Feld) zugeordnet. Insgesamt wurden in der endgültigen Version 406 Parameter in 433 Spalten eingegeben.

Alle Daten werden, wie bereits erläutert, nach der Dimension „Zeit“ geordnet, so dass das Datum der Bezugsparameter war. Die bei der Suche verwendeten Daten sind im Datumsbereich vom 1. Januar 2001 bis zum 30. Juni 2014 enthalten, für insgesamt 4928 Daten (Records), was einschließlich der Titelzeilen 4943 Zeilen ergibt.

Die Integration der Daten in die Arbeitstabelle verlief iterativ; die Datei QuAntuM_Tabelle umfasste mehr als zwanzig Versionen, die immer detaillierter waren und immer weniger Fehler enthielten, bis sie eine Größe erreichte die die Grenzen für eine effektive Bewirtschaftung mit der gewählten Software sprengte, nicht so sehr wegen der Anzahl der vorhandenen Daten, sondern wegen der zahlreichen vorhandenen komplexen Formeln (3D- und Matrixformeln).

Es wurden Optimierungen notwendig, ohne das Programm zu ändern, insbesondere im Hinblick auf die Aufarbeitung und Analyse der Ergebnisse, die für die Forschung noch durchgeführt werden mussten.

Tab. 5 Verarbeitung: QuAntuM_Tabellen und QuAntuM_Valori

QuAntuM_Tabelle	➔	QuAntuM_Valori
Rohdaten		Überprüfte Daten
Homogenisierung und Reinigung		Grafische Darstellungen, Szenario-Studie

Es wurde daher beschlossen, eine zweite Arbeitsdatei zu erstellen, die Datei QuAntuM_Valori, in der alle Daten ohne Formeln zusammenfließen. Eine Alternative hätte darin bestehen können, die Verwendung von Code-Makros aus Visual Basic for Applications in die Datei zu integrieren; diese Alternative wurde verworfen, da sie den Schwerpunkt zu sehr auf das IT-Tool selbst verlagert hätte. Damit wäre die Bedeutung des Forschungsziels geschmälert worden, und es hätten Ressourcen umdisponiert werden müssen.

Diese Entscheidung war mit Risiken verbunden, da sie davon ausging, dass die letzte Version der Datei QuAntuM_Tabelle keine Fehler mehr enthalten würde. Um die Fehlerfreiheit zu überprüfen, wurden zahlreiche Kontrollszenarien eingerichtet, bei denen die Daten abgerufen, miteinander abgeglichen und immer wieder mit den Quellblättern geprüft wurde, ob es keine Abweichungen gab.

Bei der Arbeit mit Millionen von Daten, die nicht dazu bestimmt sind koordiniert gesammelt zu werden, die sich für den Betrieb einer Baustelle und nicht für ein Labor oder eine Forschung eignen, die von verschiedenen Spezialisten für unterschiedliche Zwecke erhoben werden, kann das Fehlerrisiko nie ganz ausgeschlossen werden. Aufgrund der durchgeführten Kontrollen wird das Restrisiko jedoch als akzeptabel betrachtet. Zahlreiche Prüfungen mit verschiedenen Szenarien (bezogen auf unterschiedliche Zeiträume, Vortriebe, geologische Situationen usw.) zeigen, dass die verbliebenen Fehler die Forschungsergebnisse nicht beeinträchtigen.

Viele Parameter werden auf unterschiedliche Weise erhoben, z.B. als Tagesdurchschnitt, als kumulativer Durchschnitt oder als Monatssumme, was weitere Gegenkontrollen der Güte der eingegebenen Daten ermöglicht hat.

Die Datei QuAntuM_Valori, die in zahllosen Aktualisierungen je nach den Bedürfnissen der Suche verfeinert wurde, hat sich als eine leichter zu handhabende Datei erwiesen, die für die Untersuchung von Szenarien geeignet ist, aus denen allgemein gültige Ergebnisse extrapoliert werden können.

Im Februar 2020 war die Datei QuAntuM_Valori bereit, die Datei QuAntuM_Datenbank zu werden.

Tab. 6 Verarbeitung: Datenbankerstellung

QuAntuM_Valori	➔	QuAntuM_Datenbank
----------------	---	-------------------

4.2.3 Datenbank “QuAntuM_Datenbank“

Die Datei QuAntuM_Datenbank ist ein Arbeitswerkzeug zur Beantwortung von Forschungsfragen und kann vor allem für Bauleiter und Unternehmen, die viele unterirdische Ausbruchsdaten in einer einzigen Arbeitsumgebung mit einer bekannten Software und einer nach den Bedürfnissen der Baustelle anpassbaren Arbeitsmappe verwalten wollen, ein nützliches Instrument sein.

Die Datenbank wurde auf den für den Gotthard-Basistunnel gesammelten Daten aufgebaut und befasst sich mit allem, was aus dem Südportal des Tunnels herauskommt.

Für viele Parameter wurde eine ähnliche Datenbank für den Ceneri aufgebaut, jedoch bestand der Zweck für den Ceneri darin, die aus den Gotthard-Szenarien abgeleiteten Ergebnisse zu testen, was es ermöglichte, die Datenbank des Ceneri auf gezielte Fragestellungen auszurichten. Dabei wurden viele Zwischenverarbeitungen weggelassen.

Folglich ist die Referenz QuAntuM_Datenbank für alle Ausarbeitungen die Gotthard-Datenbank, Modul 1, und diese wird im Folgenden vorgestellt.

Einige der Arbeitsblätter sind in italienischer Sprache beschriftet: leider gab es im Zusammenhang mit den Arbeitsblättern viele Verarbeitungen und Formeln, die bei einer Namensänderung auf Deutsch ein zu hohes Fehlerrisiko mit sich gebracht hätten.

Sollte das Arbeitswerkzeug für andere Projekte verwendet werden, eine Situation, die die gesammelten Daten zum Start einer neuen Datenbank auf Null setzen würde, ist es ratsam, die Blätter korrekt umzubenennen und die Funktionalität der eingegebenen Formeln zu überprüfen.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass die Datenbank völlig frei von geschützten Zellen ist, was bedeutet, dass für den Benutzer das Risiko besteht, wichtige Verbindungen zu löschen mit den Folgen einer Fehlfunktion der gesamten Datenbank.

Arbeitsblätter

Die Arbeitsmappe QuAntuM_Datenbank.xlsx besteht aus 16 Blätter (oder Spreadsheets), wie unten aufgeführt:

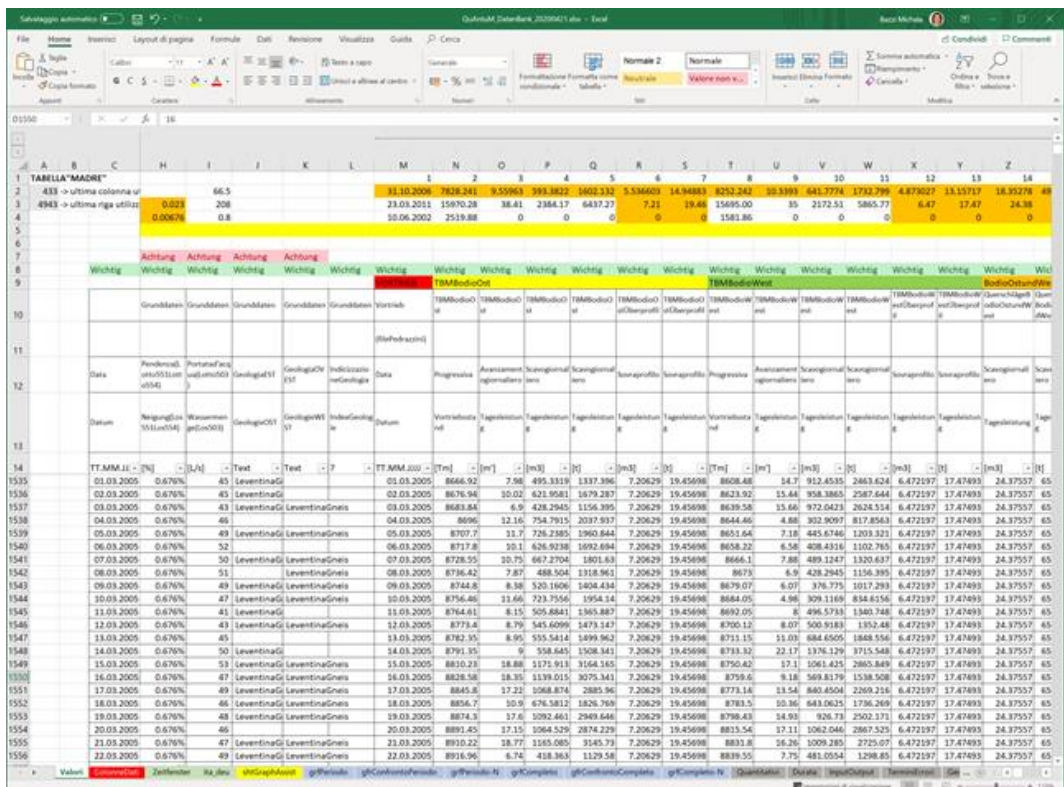


Abb.2 QuAntuM_Datenbank

Die 16 Blätter können wie folgt klassifiziert werden:

Tab. 7 *Zweite operative Phase: QuAntuM_Datenbank*

Datenblätter	Bemerkungen
Valori	1 Blatt (Tab ohne Farbe) ist das Blatt Werte (Valori), die Datenbank.
ColonneDati	1 Blatt (roter Reiter) ist das Blatt <i>ColonneDati</i> (ColumnsData), das alle Ausarbeitungen des Blattes <i>Valori</i> , d.h. der Datenbank, erlaubt.
Zeitfenster	2 Blätter (grüner Reiter) sind das <i>Zeitfenster</i> -Blatt (gewählte Szenarien in Abhängigkeit vom <i>ColonneDati</i> -Blatt) und das <i>ita_deu</i> -Blatt (Mehrwert für die Suche, um sofortige Übersetzungen zwischen mehreren Sprachen zu ermöglichen).
Ita_deu	
shtGraphAssist	1 Blatt (gelber Reiter) ist das Blatt <i>shtGraphAssist</i> , von dem die 6 oben genannten Blätter abgeleitet sind.
grfPeriodo	
grfConfrontoPeriodo	
grfPeriodo-N	6 Blätter (blauer Reiter) sind grafische Darstellungen, abhängig von der Auswahl, die der Benutzer im Blatt <i>shtGraphAssist</i> getroffen hat.
grfCompleto	
grfConfrontoCompleto	
grfCompleto-N	
Quantitativi	
Durata	
InputOutput	5 Blätter (Registerkarte in grau) werden verwendet, um einen Teil der im ersten Blatt <i>Valori</i> enthaltenen Daten zusammenzufassen, zu prüfen oder zu verarbeiten.
TerminiErrori	
Geologia	

Eine Erläuterung in Form eines Benutzerhandbuchs findet sich im Anhang I.

4.3 Dritte operative Phase: Szenarien

Nach der Erarbeitung der QuAntuM-Datenbank wurde beschlossen, die Ergebnisse der Szenarien in einer separaten Excel-Arbeitsmappe zu bearbeiten.

Die Entscheidung wurde getroffen, weil ein Weg gefunden werden musste, die Ergebnisse in einer redaktionellen Form mit leicht verständlichen Bildern darzustellen.

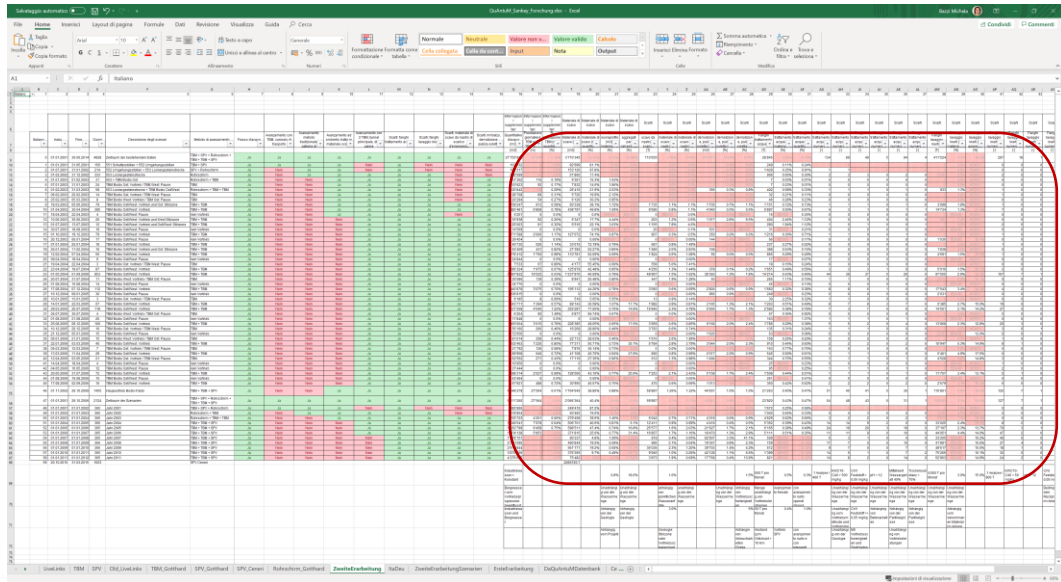


Abb.3 Szenarien

Mit dieser Datei ist es möglich, die Ergebnisse der Szenarien auszuwerten, und vor allem ist sie für eine Schnittstelle mit dem bei dieser Suche verwendeten Programm e!Sankey vorbereitet.

Die Überlegungen der Forschungsstelle lauteten wie folgt:

- Wenn die Variationen in den Ausgabedaten im Vergleich zu hypothetischen Randbedingungen zu zufällig sind, muss daraus abgeleitet werden, dass es für diesen Parameter schwierig ist, Ergebnisse von allgemeinem Wert zu begründen.
- Wenn stattdessen die Variationen, obwohl sie wichtig sind, durch plausible Randbedingungen definiert werden können, ist es möglich, Ergebnisse von allgemeiner Gültigkeit abzuleiten.

Auf der Grundlage dieser Überlegungen wurden alle für jedes der identifizierten Szenarien gewählten Parameter neu bewertet und die Ergebnisse verworfen, die keine zuverlässige Erklärung in den Randbedingungen finden konnten, auch wenn sie mit anderen übereinstimmten.

Alle Zellen im Kasten in der vorherigen Abbildung enthalten einen Wert.

Alle Zellen, im rot markierten Kasten können für allgemeine Auswertungen nicht berücksichtigt werden.

Es ist klar, dass angesichts der getroffenen Entscheidungen viele Parameter nur sehr wenig oder gar nichts zu den Ergebnissen der Forschung beigetragen haben. Sie haben es jedoch ermöglicht, die Flexibilität der Datenbank und damit ihre Anwendbarkeit in einem Projekt zu testen; darüber hinaus haben, wie in den Schlussfolgerungen dargelegt, viele der gesammelten Daten noch Potenzial für weitere Untersuchungen.

Von allen in der Datenbank gesammelten Daten wurden für jedes Szenario die Daten und Berechnungen ausgewählt, die die Forschungsfragen beantworten konnten.

Tab. 8 Dritte operative Phase: Szenarien

Datenklasse	Für jedes Szenario ausgewählte Daten und Berechnungen
zusätzliche Information	Wassermenge (m ³)
zusätzliche Information	Tagesleistung TBM Ost+ TBM West (m)
zusätzliche Information	Tagesleistung (m) / Wassermenge (m ³)
Ausbruchmaterial	Ausbruchmaterial (m ³)
Ausbruchmaterial	Ausbruchmaterial (m ³) / Wassermenge (m ³)
Ausbruchmaterial	Überprofil (m ³) / Ausbruchmaterial (m ³)
Ausbruchmaterial	Betonzuschlagstoffe (t) / Ausbruchmaterial (t)
Rückstände	Ausbruchmaterial bei Spezialfällen (t)
Rückstände	Ausbruchmaterial bei Spezialfällen (t) / Ausbruchmaterial (t)
Rückstände	Ausbruchmaterial bei Spezialfällen (t) / Wassermenge (t)
Rückstände	Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlenreinigung (m ³)
Rückstände	Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlenreinigung / Wassermenge
Rückstände	Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlenreinigung (t) / Ausbruchmaterial (t)
Rückstände	TWA-Schlämme (t)
Rückstände	TWA-Schlämme (t) / Ausbruchmaterial (t)
Rückstände	TWA-Schlämme (t) / Wassermenge (t)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Untersuchungen)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Analysen mit KW _{C10-C40} >500 mg/kg)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Analysen mit CrVI Feststoff >0.05 mg/kg)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Analysen mit pH>12)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Analysen mit Wassergehalt>40%)
Rückstände	TWA-Schlämme (Anzahl der Analysen mit Trockensubstanz >70%)
Rückstände	MAB-Schlämme (t)
Rückstände	MAB-Schlämme (t) / Ausbruchmaterial (t)
Rückstände	MAB-Schlämme (t) / Betonzuschlagstoffe (t)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Untersuchungen)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Analysen mit KW _{C10-C40} > 50 mg/kg)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Analysen mit pH>12)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Analysen mit CrVI Feststoff >0.05 mg/kg)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Analysen mit Wassergehalt >30%)
Rückstände	MAB-Schlämme (Anzahl der Analysen mit Trockensubstanz >80%)
Rückstände	Beton-Schlämme (m ³)
Rückstände	Beton-Schlämme (m ³) / Ausbruchmaterial (m ³)
Rückstände	MAB-Schlämme (t) / MAB-Material (t)
Rückstände	MAB-Schlämme (t) / KStelle-Material (t)

Insgesamt wurden 68 Szenarien ausgewählt, 58 für Modul 1 und 10 für Modul 2.

Bei einigen Szenarien sind gewisse Ergebnisse nicht verwertbar.

Dabei handelt es sich hauptsächlich um Ergebnisse für Szenarien mit Zeiträumen von weniger als einem Monat.

Der Hauptgrund für diese nicht verwertbaren Ergebnisse liegt darin, dass mehrere Parameter, insbesondere diejenigen, die sich auf die Zuschlagstoff-Bewirtschaftungsanlage (Zuschlagstoffe für Beton, von der Waschanlage gepresster Schlamm) und auf die Entsorgung (Abbruchabfälle, Rückprall) beziehen, erst am Monatsende in der Datenbank vorhanden sind, da sie aus den verschiedenen Ausmassen abgeleitet werden, die einmal im Monat stattfanden.

Dies ist ein wichtiger Aspekt, der durch diese Forschung nicht behoben werden kann (es sei denn, wir gehen auf Zehntausende von Ausmassblättern zurück), der uns aber daran erinnert, wie wichtig es ist, Aufzeichnungen zu machen, die häufig, sogar täglich, anfallen, um eine optimale Datenverwaltung zu ermöglichen.

Das Problem, bestimmte Szenarien mit begrenzten Zeiträumen gewählt zu haben, musste gelöst werden, denn für die Zwecke der Forschung war es wichtig, über eine zuverlässige statistische Stichprobe zu verfügen, um aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen ziehen zu können. Es wurde daher beschlossen, zusätzlich zu allen gewählten Zeiträumen jährliche Szenarien hinzuzufügen, anhand derer die Gültigkeit der Ergebnisse der Szenarien bewertet werden konnte, die für diese Parameter mit weniger dichten Werten als gültig erachtet wurden.

Die Abbildung zeigt die zeitliche Verteilung der für den GBT gewählten Szenarien:

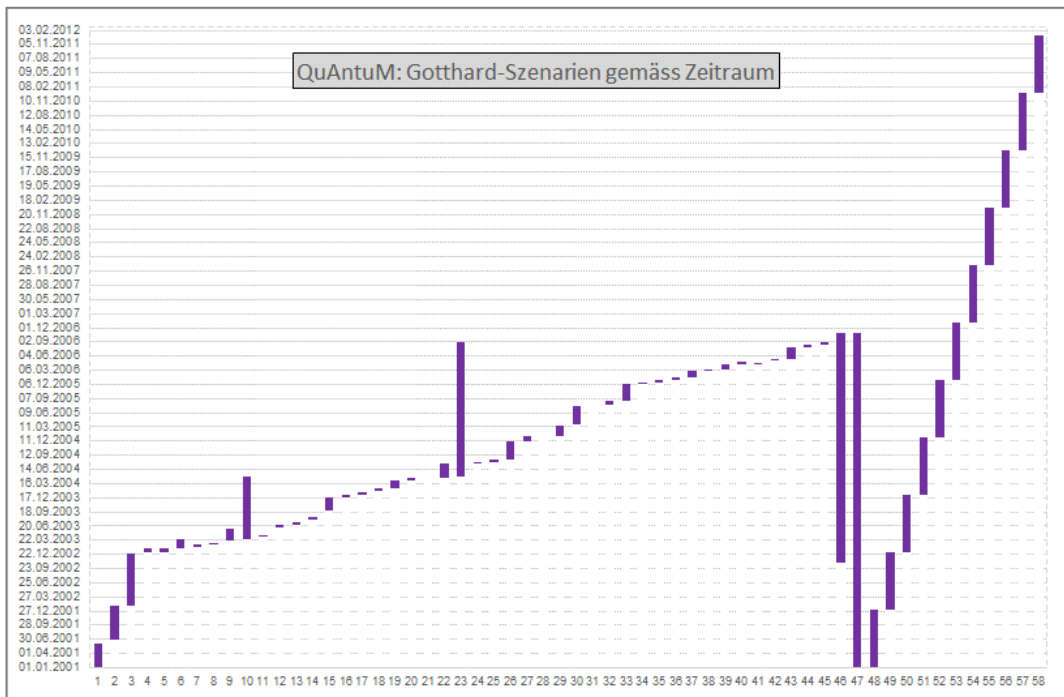


Abb.4 Zeitliche Verteilung der für den Gotthard gewählten Szenarien

Die 4 jährlichen Szenarien der Jahre 2008, 2009, 2010 und 2011 sind nützlich, um die Mengen verschiedener Parameter (Gesamtausbruchmaterial, Wassermenge, verschiedene Rückständetypologien) zu liefern, jedoch können die Ergebnisse der Berechnungen, die mehrere Parameter gleichzeitig einbeziehen, nicht als gültig für Forschungszwecke angesehen werden, da die Entfernung der Vortriebe vom Portal, die jetzt mehr als 15-20 km beträgt, keine zuverlässige Kontrolle des zeitlichen Zusammenhanges zwischen Ein- und Ausgabedaten erlaubt.

Für den CBT wurden 9 Szenarien mit SPV und an mehreren Vortrieben mit variablen Zeiträumen gewählt: Das erste Szenario deckt einen langen Zeitraum ohne gezielte Aufteilung der Vortriebe ab, was hingegen bei den anderen 8 Szenarien der Fall ist.

Die Abbildung zeigt die zeitliche Verteilung der für den CBT gewählten Szenarien:

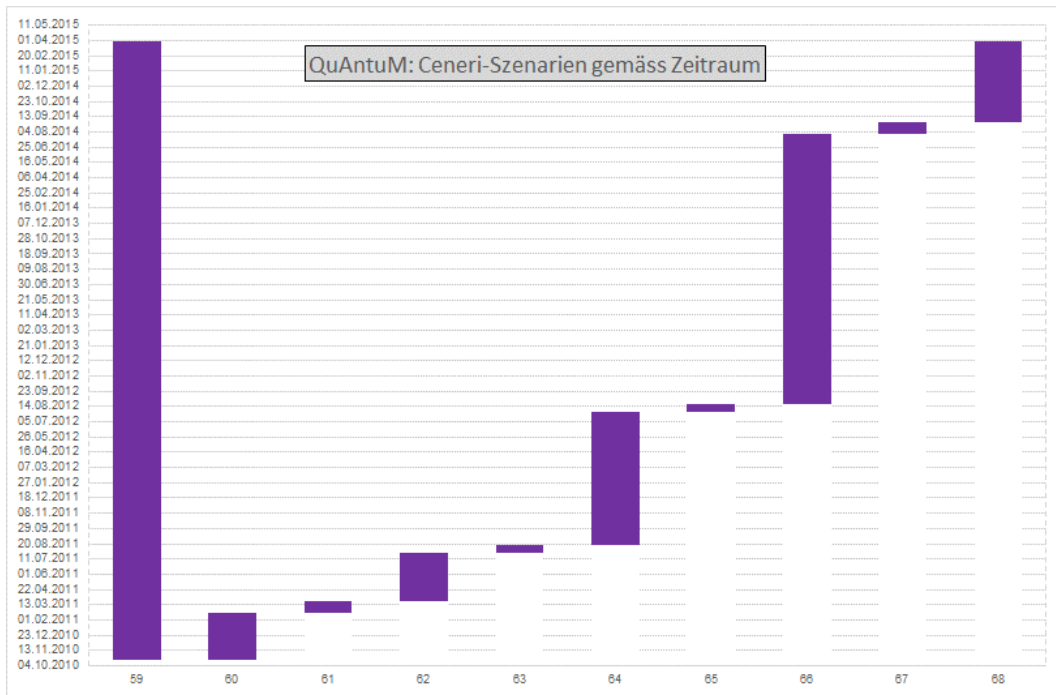


Abb.5 Zeitliche Verteilung der für den Ceneri gewählten Szenarien

4.4 Vierte operative Phase: Anzeige mit Sankey-Diagramm

4.4.1 Bedeutung der grafischen Darstellung

Forschungsarbeiten, die auf der Analyse von Millionen von Daten basieren, aus denen Aussagen von allgemeiner Gültigkeit extrapoliert werden können, bergen die Gefahr, dass der Forscher von der zunehmenden Informationsflut überwältigt wird. Dies veranlasst ihn immer tiefer ins Detail zu gehen und sich von seinem Zielpublikum zu entfernen, das zum besseren Verständnis eine Visualisierung benötigt.

Die Begleitkommission machte die Forschungsstelle im Februar 2020 auf dieses Risiko aufmerksam und forderte sie auf ihm mit geeigneten Massnahmen zu begegnen.

Es war daher klar, dass das Arbeitsinstrument der QuAntuM-Datenbank, das den Bedürfnissen des Ingenieurs zur Erfassung und Verwaltung der quantitativen und qualitativen Daten der verschiedenen Ausbruchmaterialströme entspricht, von einer dynamischen grafischen Darstellung begleitet werden musste, die den Bedürfnissen der Auftraggeber und des Zielpublikums entspricht.

4.4.2 Konzept

Nach verschiedenen Evaluationen, welche Aspekte vorwiegend dargestellt werden sollten, wurde das Konzept des Sankey-Diagramms gewählt. Es bildet unter anderem bereits die Grundlage für einige der verwendeten Modelle, wie z.B. das Modell KAR zur Beschreibung von Abfallströmen, das von rund einem Dutzend Kantonen und dem BAFU übernommen wurde.

Das Sankey-Diagramm ist nach Kapitän Matthew Henry Phineas Riall Sankey, einem irischen Ingenieur (1853-1925), benannt.

Ein Sankey-Diagramm ist ein Flussdiagramm, in dem die Breite der Pfeile die Menge des Flusses widerspiegelt. Es wird für eine Vielzahl von Ansichten verwendet, wenn es notwendig ist, einen Fluss zu veranschaulichen, der von einer Quelle zu einem Ziel "fließt".

Anders als im Flussdiagramm, werden die Mengen durch mengenproportional dicke Pfeile dargestellt.

Sankeys Diagramme werden daher zu wichtigen Werkzeugen zur Darstellung von Energie- und Stoffströmen, zumal sie es leicht machen, sowohl Ineffizienzen als auch potenzielle Ressourceneinsparungen zu erkennen.

Mit Sankey-Diagrammen wird die Aufmerksamkeit des Lesers in erster Linie auf die Hauptströme gelenkt. Darüber hinaus müssen die unterschiedlichen Anteile der einzelnen Ströme und ihr Prozessbezug(-abhängigkeit) auf den ersten Blick deutlich werden. Auf diese Weise ist es möglich, schnell Input/Output-Bewertungen vorzunehmen und die Effizienz innerhalb der Produktionsprozesse hervorzuheben und zu veranschaulichen.

Die Forschung QuAntuM beschränkt sich jedoch nicht darauf, quantitative oder qualitative Endwerte nach gewünschten Szenarien zu liefern, da ihr Mehrwert darin besteht, Werte je nach Vortriebsmethode und festgelegten Bedingungen vorherzusagen.

Infolgedessen muss die Visualisierung dynamisch und flexibel sein, damit der Projektingenieur die Ausgabedaten auf der Grundlage der Projekteingabedaten vorhersagen kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Ergebnisse der gewählten Szenarien in ein Excel-Arbeitsblatt eingegeben, das als Unterstützung für die Visualisierung dient.

Eine Änderung der Daten im Arbeitsblatt bewirkt eine automatische Änderung der Anzeige.

Ermöglicht wurde die Arbeit durch das Programm e!Sankey, das vom Hamburger ifu-Studio entwickelt wurde, einer Firma für Umweltinformatik, die Arbeitsinstrumente zur effizienten Ressourcennutzung und zur Entwicklung umweltfreundlicher Produkte anbietet.

4.4.3 Beispiele für Materialflüsse für die beiden Forschungsmodule

Kurzbeschreibung des GBT in Modul 1

Der Gotthard-Basistunnel ist ein zweiröhriger Tunnel (56'978 km Weströhre und 57'091 km Oströhre), der zwischen den Portalen Erstfeld und Bodio liegt.

Die beiden Röhren sind alle 312 Meter durch Querschläge verbunden. Die Gesamtlänge des gebauten unterirdischen Netzes, einschließlich der Verbindungstunnel, Zwischenverbindungen, Zugangswege und Schächte, erreicht 152 km, wobei die Stärke des darüber liegenden Gesteins im Abschnitt mit maximaler Überdeckung mehr als 2.300 Meter beträgt.

Zwei von den Zwischenangriffen in Faïdo und Sedrun gebaute, mit Nothaltestellen und Gleiswechselbereichen ausgestattete Multifunktionsstellen teilen die beiden Tunnelröhren in drei mehr oder weniger gleich lange Abschnitte.

Am 15. Oktober 2010 erfolgte der Durchschlag der Oströhre des Gotthard-Basistunnels, 30 km vom Südportal in Bodio und 27 km vom Nordportal in Erstfeld entfernt, mit einer Ausbruchabweichung von nur 8 cm horizontal und 1 cm vertikal. Am 23. März 2011 wurde die Weströhre durchgeschlagen.

Der Ausbruch der beiden Tunnel, meist mit TBM und zu einem Fünftel mit SPV, führte zur Gewinnung von über 28 Millionen Tonnen Ausbruchmaterial.

Modul 1 konzentriert sich auf die rund 10 Millionen Tonnen Ausbruchmaterial, die zwischen 2001 und 2011 aus dem Südportal von Bodio transportiert wurden.

Kurzbeschreibung des CBT in Modul 2

Der Ceneri-Basistunnel ist ein 15,4 km langer zweiröhriiger Tunnel, der zwischen den Portalen von Camorino und Vezia liegt. Die eingleisigen Tunneln liegen etwa 40 m auseinander und sind alle 325 m durch Quertunnel miteinander verbunden.

Am Portal von Camorino wurde für den Regionalverkehr des Tessins die Verbindungstrasse "Locarno-Lugano" gebaut, die eine direkte Verbindung zwischen Lugano und Locarno ermöglichen wird.

Mit Ausnahme des Zwischenangriffs von Sigrino, der mit einer TBM ausgebrochen wurde, erfolgte der Ausbruch im Sprengvortrieb, und es wurden fast 9 Millionen Tonnen ausgebrochen.

Modul 2 betrachtet das gesamte Bauwerk und konzentriert die Szenarien auf etwa 5,5 Millionen Tonnen, die zwischen 2010 und 2014 mit Sprengstoff ausgebrochen wurden.

Anzeige einiger Szenarien für die Module 1 und 2

Die Szenarien der dritten operativen Phase können mit einem Sankey-Diagramm dargestellt werden.

Die Konstruktion des unterstützenden Arbeitsblattes muss sorgfältig ausgeführt werden, damit eine maximale Flexibilität gewährleistet ist und damit alle Werte und Indizes, die als Variablen in der Anzeige identifiziert werden sollen, genau ausgewählt werden.

Obwohl die diese Visualisierung vor allem zur Darstellung der Forschungsergebnisse (Kapitel 7) notwendig war dachte man daran, die Güte der QuAntuM_Datenbank auch an den gewählten Szenarien zu testen. Insbesondere werden zwei Szenarien des Moduls 1 und zwei Szenarien des Moduls 2 betrachtet:

- Modul 1, GBT; Szenarium 46:
 - Es handelt sich um die 2 Vortriebe mit TBM des Gotthard-Basistunnels, mit Sprengvortrieben zum Ausbruch der Querschläge (allerdings in kleinen Mengen).
 - Ausbruchmaterial: $\sim 1.700.000 \text{ m}^3$ (= $\sim 4.700.000 \text{ t}$).
 - Leventina-Gneis mit einigen Störzonen und seltenen Passagen in Lukmanier-Konformationen.
 - Zeitraum von 1455 Tagen.
 - Merkmale: Überprofil < 1%.

- Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.
- Wasserabfluss gemessen.
- Modul 1, GBT, Szenarium 2:
 - Das Szenario ist interessant, weil es eines von nur zwei Szenarien in Modul 1 ist, bei denen ausschliesslich Sprengvortrieb stattfand. Obwohl bei diesem Szenario zwei Arten von Vortrieb erfolgten (SPV im Fels und Lockergesteinstrecke im Rohrschirmvortrieb), wird es als interessant erachtet.
 - Es handelt sich um den SPV des Umgehungstunnels (Los 552) mit einem langsameren Rohrschirmvortrieb im Lockergestein (Los 553).
 - Ausbruchmaterial: ~150.000 m³ (= ~510.000 t), davon 135.000 m³ des Umgehungstunnels und 15.000 m³ des Lockergesteinsstrecke.
 - Leventina-Gneis mit glimmerreichen Paragneislinsen.
 - Zeitraum von 214 Tagen.
 - Merkmale: 5% Überprofil für den Vortrieb im Umgehungstunnel.
 - Keine Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.
 - Wasserabfluss gemessen.
 - Ausbruchmaterial, das zur Gestaltung des Baustelleareals verwendet wurde.

Die folgende Abbildung veranschaulicht schematisch die Ausbruchsegmente mit Schraffur, wobei die beiden als Beispiele gewählten Szenarien hervorgehoben sind:

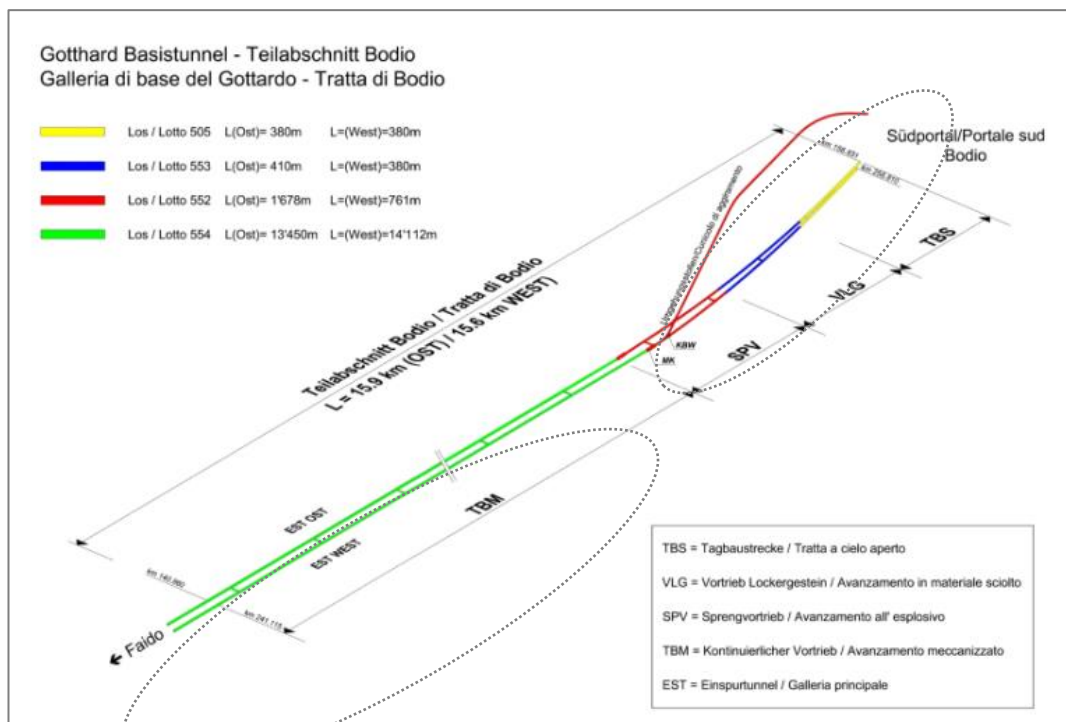


Abb.6 Schema der wichtigsten Ausbruchsegmente für den Gotthard

- Modul 2, CBT, Szenario 64:
 - Betrifft 4 SPV in NE-NO-SE-SO-Richtungen.
 - Ausbruchmaterial: ~1.500.000 t.
 - Vortrieb in NE- und NO-Richtung: Amphiboliten.
 - Vortrieb in Richtung SE und SO: Gneis Stabbiello.
 - Zeitraum von 348 Tagen.
 - Überprofil von 14.1%.
 - Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.
 - Getrenntes Ausmass des Rückprallbetons und des Sohlenreinigungsmaterials, aber zusammen angezeigt.
 - Wasserabfluss nicht gemessen.
- Modul 2, CBT, Szenario 66:
 - Es handelt sich um 4 SPV in den Richtungen NE-NO-SE-SO.
 - Ausbruchmaterial: ~2.500.000 t.
 - Vortrieb in NE- und NO-Richtung: OCG-Orthogneise und GM-Mischgneise.
 - Vortrieb in Richtung SE und SO: Stabbiello-Gneis.
 - Zeitraum von 711 Tagen.
 - Merkmale: Überprofil von 16,5%.
 - Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.
 - Getrenntes Ausmass des Rückprallbetons und des Sohlenreinigungsmaterials, aber zusammen angezeigt.
 - Wasserabfluss ungemessen.

Die Ansichten zeigen die Ausbruchmaterialströme für den Zeitraum des gewählten Szenarios, ausgedrückt als Prozentsatz des gesamten Ausbruchmaterials.

Ausgewählte Szenarien auf GBT: Ausbruchmaterialflüsse

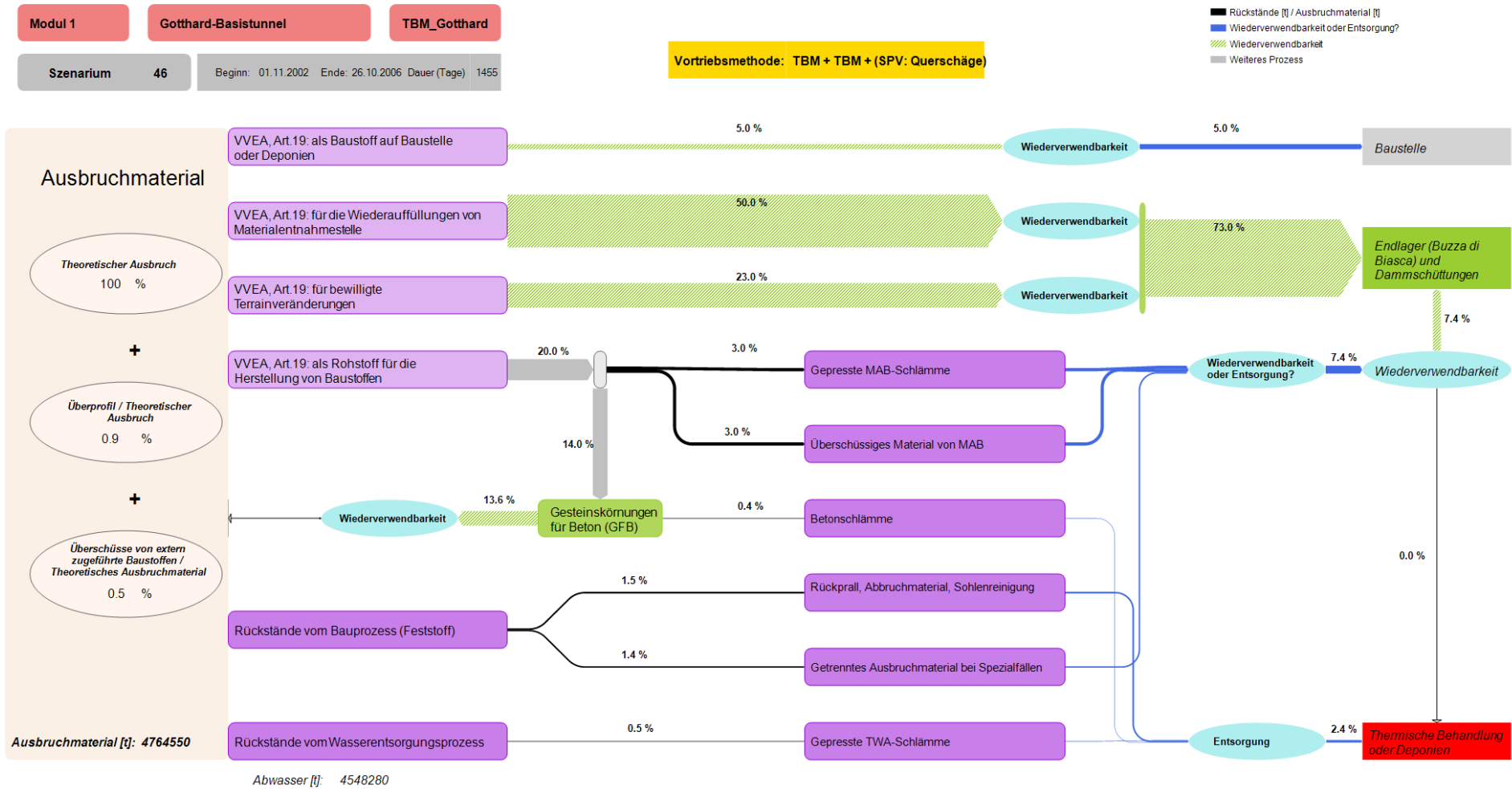


Abb.7 Modul 1, GBT, Szenarium 46

Ausgewählte Szenarien auf GBT: Ausbruchmaterialflüsse

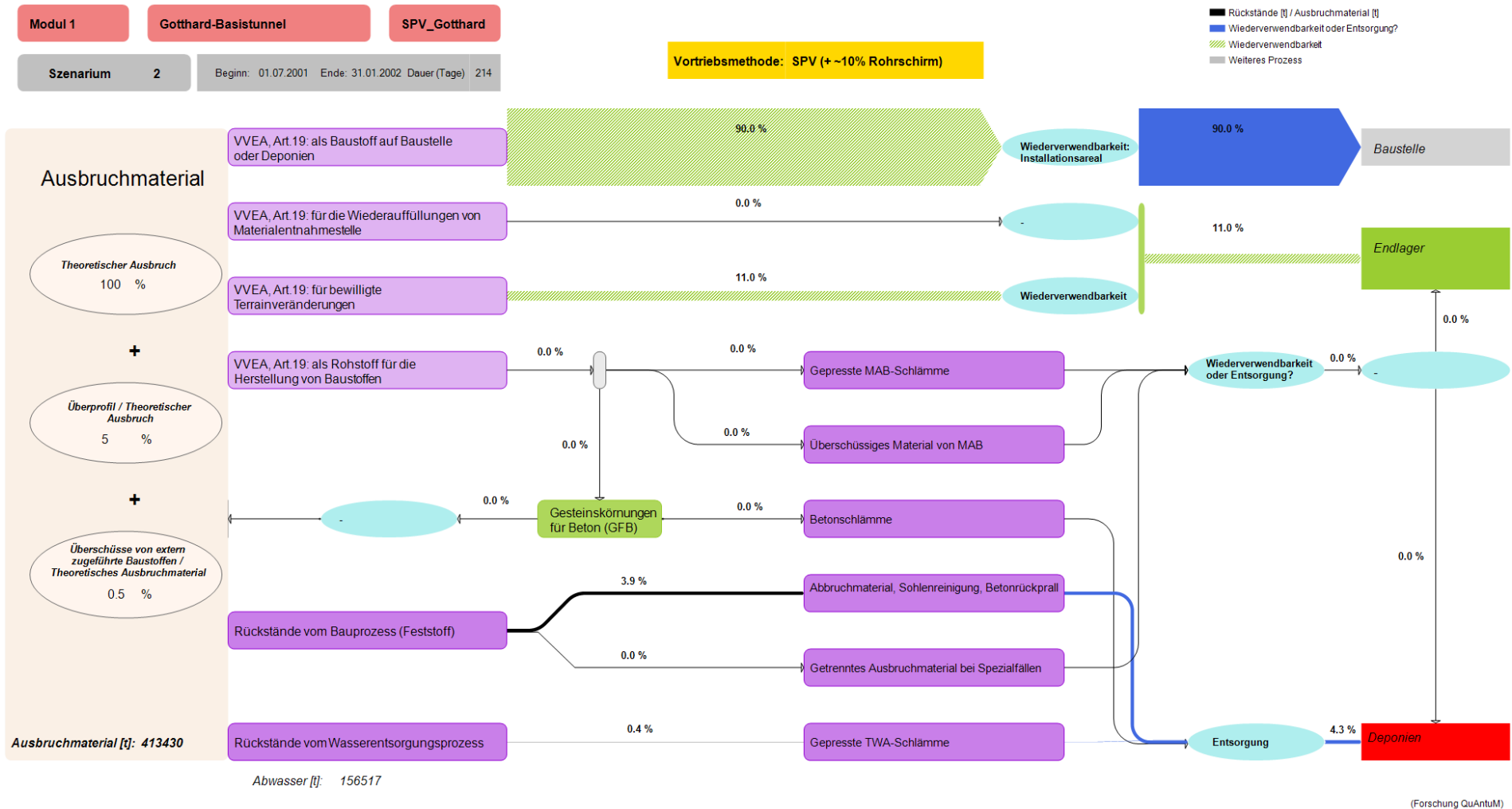


Abb.8 Modul 1, GBT, Szenarium 2

Ausgewählte Szenarien auf CBT: Ausbruchmaterialflüsse

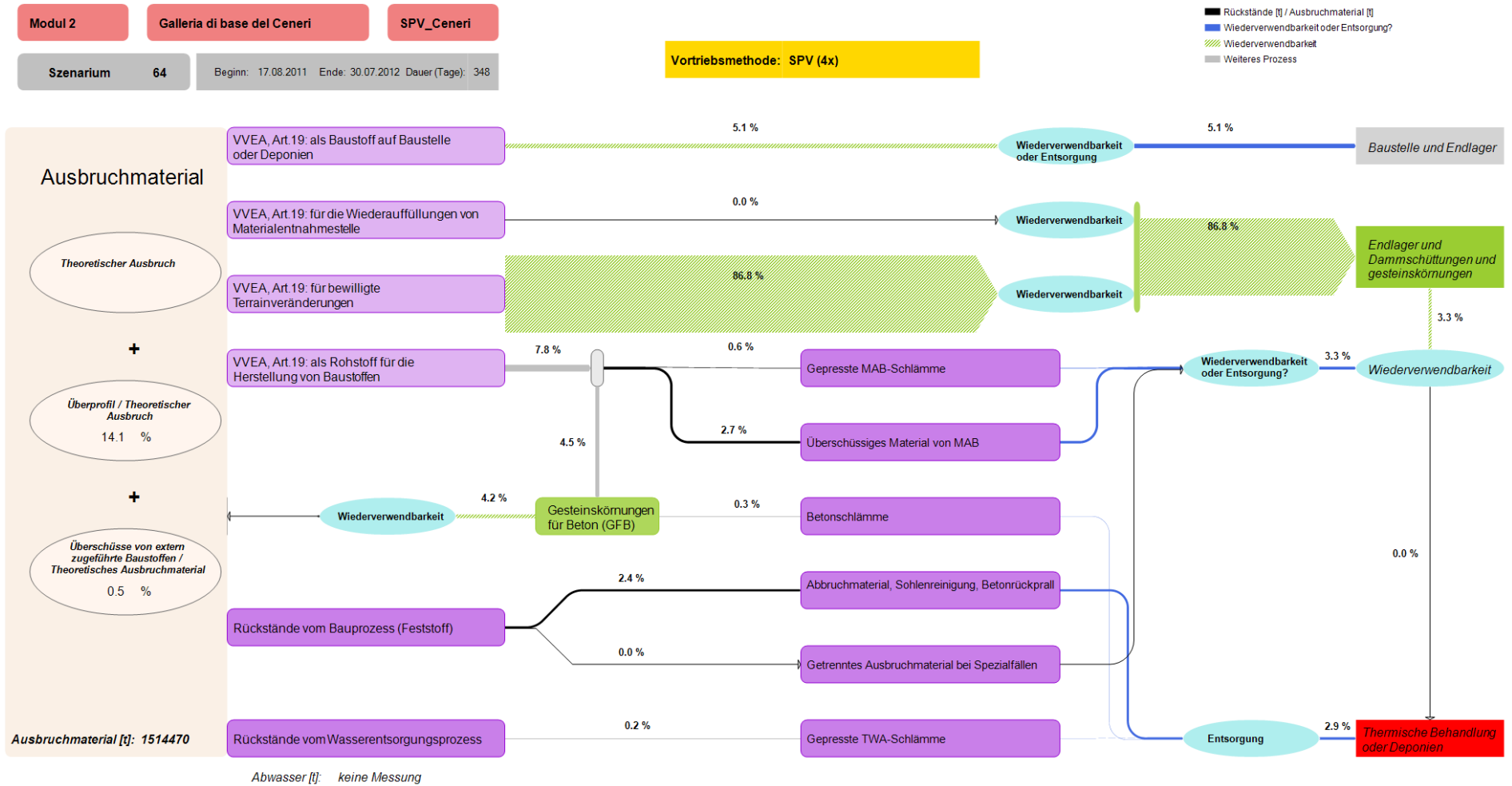
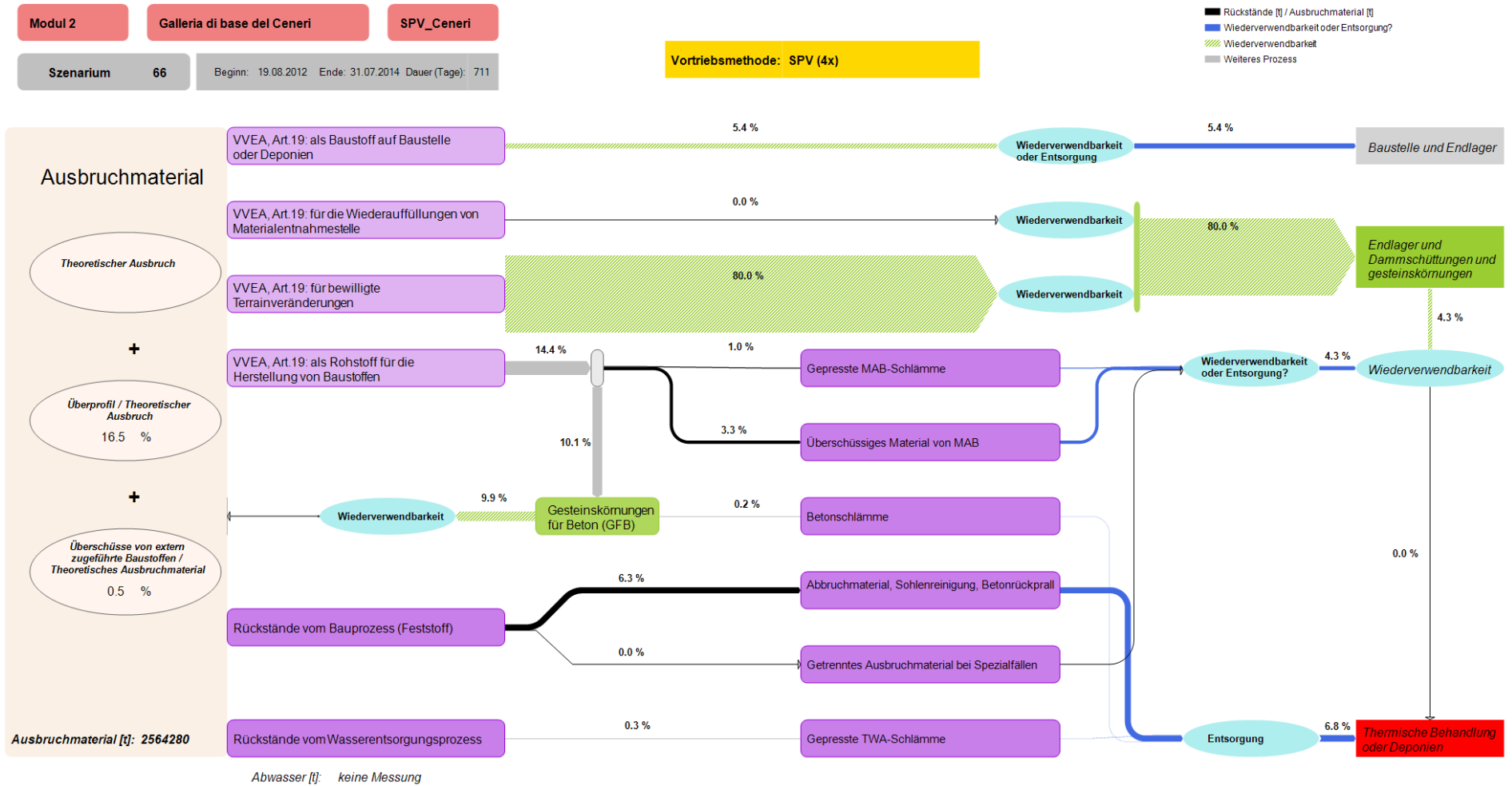


Abb.9 Modul 2, CBT, Szenarium 64

Ausgewählte Szenarien auf CBT: Ausbruchmaterialflüsse



(Forschung QuAntuM)

Abb.10 Modul 2, CBT, Szenarium 66

5 Ergebnisse

5.1 Rückstände

Wie im Kapitel 3 erläutert, ist es schwierig, alle Arten von Rückständen genau abzugrenzen, insbesondere wegen der Komplexität und der Unvorhersehbarkeit einiger Ströme sowie der technischen und verfahrenstechnischen Änderungen, die sich während dem Bauprozess ergeben.

Bei der Untersuchung wurden sechs Rückständetypen identifiziert:

gepresste MAB-Schlämme

überschüssiges Material von MAB

Betonschlämme

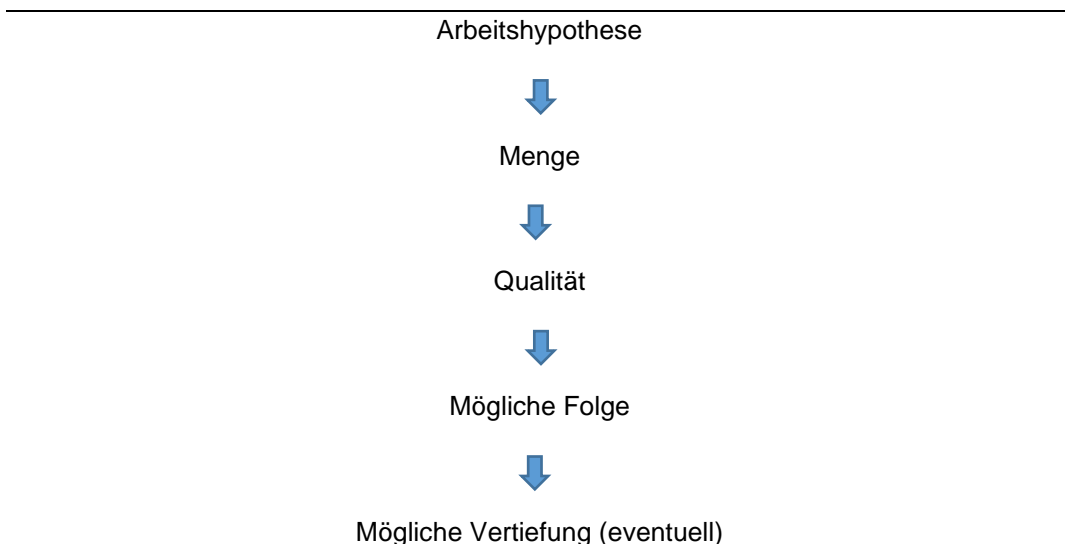
Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung

separates Ausbruchmaterial bei Spezialfällen

gepresste TWA-Schlämme

Es ist anzunehmen, dass mit diesen sechs Typen alle Arten von Rückständen ausreichend abgedeckt werden, die auf einer unterirdischen Baustelle anfallen können und für die über Verwertung oder Entsorgung zu entscheiden ist.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Forschungsergebnisse zu den sechs ausgewählten Rückständetypen vorgestellt, wobei die Ergebnisse wie folgt strukturiert sind:



Zur Information werden einige für die verschiedenen Rückständetypologien repräsentative Fotos beigelegt.

Für jeden Rückständetyp gibt es einen Satz von Referenzdaten im QuAntuM_Datenbank: einige Sätze sind voll von Informationen, andere etwas weniger, weshalb die Ergebnisse einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad aufweisen.

Rückstandqualität bezieht sich auf die analytische Umweltcharakterisierung, die zur Entscheidung über die Verwertung oder Entsorgung beiträgt.

Zum Abschluss eines jeden Kapitels werden die Zusammenfassungen der erzielten Ergebnisse grafisch dargestellt.

Es darf nicht vergessen werden, dass eine Baustelle auch in der Zeit zwischen dem Ende der Ausbrucharbeiten und dem definitiven Rückbau weitere Rückstände produziert: Diese Rückstände sind nicht Gegenstand der Forschung (kein Vortrieb).

Die Forschung geht nicht auf einzelne Rückstände ein, die z.B. auf Hilfsdekantierungen oder Unfälle zurückzuführen sind, da es sich hierbei um unbedeutende Mengen handelt.

Das Arbeitsinstrument QuAntuM_DatenBank kann problemlos angepasst werden, wenn spezifische Anforderungen an ein bestimmtes Untertagewerk bestehen.

5.1.1 Rückstände: gepresste MAB-Schlämme

Bei diesem Rückstand handelt es sich um gefilterten, gepressten Schlamm (Filterkuchen) aus der Materialaufbereitungsanlage (MAB), der Teil der Verarbeitung des Ausbruchmaterials zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton ist.

Dieser Rückstand entsteht nur, wenn das Ausbruchmaterial zur Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton verwendet wird.

MAB-Schlamm im Absetzbecken



Gepresster MAB-Schlamm in der Probenahmephase



Abb.11 Rückstände: gepresste MAB-Schlämme

Arbeitshypothese

Zu diesem Rückstand wurden folgende Annahmen getroffen:

- Das zum Waschen verwendete Wasser wird recycelt und kontinuierlich ergänzt. Es handelt sich dabei um Grund- oder Trinkwasser oder möglicherweise um Oberflächenwasser. In keinem Fall verwendet die Waschanlage Tunnelwasser, selbst wenn es in der Tunnelwasserbehandlungsanlage behandelt wird. Die GUS aus dem

Tunnelwasser würden die Qualität der Gesteinskörnungen für Beton beeinträchtigen und den Verschmutzungsgrad des Schlammes beeinflussen.

- Die Materialaufbereitungsanlage richtet sich nach der Produktion des Ausbruchmaterials, obwohl einige Phasenverschiebungen zwischen Ausbruch und Materialaufbereitung möglich sind: Aus diesem Grund hat sich die Bewertung dieses Rückstandes auf Szenarien mit eher langen Zeiträumen konzentriert, um die zeitliche Verschiebung zwischen Vortrieb und Behandlungszeitpunkt (Puffereffekte) zu begrenzen.
- Dieser Rückstand stammt im Wesentlichen aus der Abtrennung des Feinanteils des Rohmaterials (< 63 µm) im Waschprozess.
- Der Schlamm wird gewogen und seine Maßeinheit ist Tonnen.
- Die Eigenschaften sind unabhängig von der Entfernung von der Ortsbrust bis zur MAB-Anlage, von der Menge des aus dem Tunnel abfließenden Wassers und von der Art und Weise, wie das Ausbruchmaterial abtransportiert wird. Hingegen sind sie abhängig von der Vortriebsmethode.
- Der Schlamm hat eine ziemlich heterogene Korngrößenverteilung (Hypothese durch Laboranalyse nachgewiesen, siehe Erläuterungen zur Qualität).

Menge

Die Produktion von gepresstem Schlamm hängt von der Menge ab die von der Aufbereitungsanlage behandelt wird, und nicht von der Gesamtmenge des Ausbruchmaterials.

Dies ist wichtig, da der Entscheid einen Teil des Ausbruchmaterials zur Betonherstellung zu verwenden, die erwartete Menge dieses Rückstands bestimmt.

In den grafischen Darstellungen wird der prozentuale Anteil dieses Rückstands bezogen auf den Ausbruch ausgedrückt.

Der Prozentsatz dieses Rückstandes in Bezug auf die Beschickungsmenge der Materialaufbereitungsanlage (MAB) beträgt etwa 15% bei einem TBM-Vortrieb und etwa 8% bei einem Sprengvortrieb.

Der Grund für diesen Unterschied liegt vor allem darin, dass das mit TBM gewonnene Material mehr Feinanteile aufweist als das SPV-Material.

Tab. 9 MAB-Schlämme: Menge

TBM	SPV
MAB-Schlämme (t) / MAB-Material = 15 %	MAB-Schlämme (t) / MAB-Material = 8 %
Prozentuale Abweichungen je nach Anlagentechnik (Vorabsiebung, Zyklonierung, Pressen)	Prozentuale Abweichungen je nach Anlagentechnik (Vorabsiebung, Zyklonierung, Pressen)
Prozentsatz unabhängig von der Entfernung der Vortriebsbrust von der MAB-Anlage	Prozentsatz unabhängig von der Entfernung der Vortriebsbrust von der MAB-Anlage
Prozentsatz unabhängig von Aktivitäten im Zusammenhang mit unterirdischem Ausbruch	Prozentsatz unabhängig von Aktivitäten im Zusammenhang mit unterirdischem Ausbruch

Zu Informationszwecken wurden bei diesem Rückstand fast 500'000 t berücksichtigt: Bei Modul 1 verliessen mehr als 410'000 t die Baustelle Bodio beim Gotthard-Südportal, bei Modul 2 wurde die gesamte Menge von 80'000 t in Sigirino produziert.

Qualität

Die Qualität dieses Rückstandes wurde seit den ersten Produktionen für beide Module im Labor analysiert.

Obwohl die Ergebnisse von den ersten Proben an unbestreitbar waren (mit eindeutigen Hinweisen auf die Auswirkungen von TBM- und Sprengvortriebsmethoden), sah das "Vorgehenskonzept für die Umsetzung auf den GBT-Baustellen: Entsorgung von Schlämmen aus der Tunnelwasser-, der Material- und der Betonaufbereitung" vor, dass alle 1'000 t Schlamm systematisch analysiert werden sollten.

Fast 500 Analyseberichte wurden in die Untersuchung einbezogen und als zuverlässig angesehen, da die Probenahme mit Ausnahme seltener Episoden immer unter normalen Bedingungen erfolgte.

Für einige Parameter ist die Qualität dieses Rückstands vorhersehbar.

Die regelmäßig analysierten Parameter sind: Kohlenwasserstoffe C₁₀-C₄₀, sechswertiges Chrom, Nitrite (NO₂⁻), pH-Wert und Trockensubstanz (TS) oder Wassergehalt.

Im Laufe der Jahre wurden einige Analysen auf den Schwermetall- und Aluminiumgehalt (abgeleitet von Flockungsmitteln, die in der Klärtanks verwendet werden) ausgedehnt. Es ist jedoch zu bemerken, dass es keine ausreichend repräsentativen Werte gibt, aus denen allgemeine Regeln extrapoliert werden könnten.

Tab. 10 MAB-Schlämme: KW_{C10-C40}

TBM	SPV
KW _{C10,C40} < 50 mg/kg TS	50 mg/kg < KW _{C10,C40} < 500 mg/kg TS
Im Durchschnitt enthalten diese Rückstände eine geringe Menge an Kohlenwasserstoffen, wobei die SPV-Vortriebsmethode einen höheren Gehalt zeigt.	

Tab. 11 MAB-Schlämme: CrVI

TBM	SPV
Das sechswertige Chrom (CrVI) in diesem Rückstand stammt aus den Spuren von Zement im Material, das in die Aufbereitungsanlage gelangt; es wird angenommen, dass es grösstenteils aus Spritzbeton-Rückprall und aus Betonresten stammt.	
Bei einem TBM-Vortrieb ist das Trennverfahren technisch durchführbar, wenn auch kostspielig, sodass die Qualität des Rückstands positiv beeinflusst wird.	Beim SPV ist eine Trennung im rückwärtigen Bereich möglich, allerdings schwierig, wenn Sicherungsspritzbeton aufgebracht und der Rückprall bei der nächsten Sprengung mit dem Ausbruchmaterial vermischt wird.
Tatsächlich liegen die Werte des sechswertigen Chroms fast immer unter der Bestimmungsschwelle, wenn der TBM-Vortrieb unter normalen Bedingungen erfolgt.	Aus diesem Grund schwanken die Werte des sechswertigen Chroms, obwohl sie fast immer unter 0,5 mg/kg TS liegen.
Cr VI < 0.05 mg/kg TS	Cr VI < 0.05 mg/kg TS Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
	0.05 mg/kg < Cr VI < 0.1 mg/kg TS partielle Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
	Cr VI > 0.1 mg/kg TS keine Trennung des Spritz- und Rückprallbetons
Jedenfalls Cr VI < 0.5 mg/kg TS	

Tab. 12 MAB-Schlämme: NO₂⁻

TBM	SPV
Das mögliche Vorhandensein von Nitriten in diesem Rückstand ist auf die Stickstoffverbindungen zurückzuführen, die im Sprengstoff enthalten und im Ausbruchmaterial gebunden sind.	
NO ₂ ⁻ < 0.1 mg/l im Eluat	0.1 mg/l < NO ₂ ⁻ < 1.0 mg/l im Eluat
Es ist zu beachten, dass der Einsatz von Sprengstoff auch beim Vortrieb mit TBM möglich ist, z.B. bei Querstellen, Nischen, Kreuzungen, usw	Quelle: Stickstoffverbindungen aus Sprengstoffen

Tab. 13 MAB-Schlämme: pH-Wert

TBM	SPV
pH ~8.0 – 10.5	pH ~10.5 - 11
Im Falle eines TBM-Vortriebs mit ordnungsgemäßer Trennung des Rückprallbetons schwankt der pH-Wert zwischen 8.0 und 10.5.	Das Vorhandensein von alkalischen Zementresten im Rückprallbeton, hauptsächlich aufgrund fehlender oder unzureichender Trennung des Rückprallbetons, führt im Schlamm zu pH-Werten im Bereich von ca. 10,5 – 11.

Tab. 14 MAB-Schlämme: Wassergehalt

TBM	SPV
Wassergehalt < 30%	Wassergehalt < 30%
Die am MAB-Schlamm durchgeführten granulometrischen Analysen ergaben eine ziemlich homogene (aber heterogener als anderer TWA-Schlamm) Zusammensetzung des Materials, die von der Korngrösse von Ton bis zu der von Sand reicht. Deshalb weist diese Art von Schlamm einen reduzierten Wassergehalt auf, insbesondere im Vergleich, zum Schlamm aus der Tunnelwasseraufbereitungsanlage. Die Partikelgröße beträgt jedoch definitionsgemäß weniger als 0,63 mm.	
Obwohl der Parameter Wassergehalt auf den ersten Blick nicht zur Umweltcharakterisierung gehört, ist seine Bestimmung eigentlich grundlegend für die Beurteilung von Entsorgung und Transport.	
Tatsächlich ist der Wassergehalt des gepressten Schlammes sowohl hinsichtlich der Bewirtschaftung (mehr Wasser im Abfall bedeutet mehr Transport- und Entsorgungskosten) als auch hinsichtlich des Umweltschutzes (mehr Wasser im Abfall bedeutet mehr produzierten Abfall) von erheblicher Bedeutung. Daher wird er in den Ergebnissen dieser Untersuchung berücksichtigt.	
Der Hinweis auf ein recht heterogenes Material aus der Korngrößenverteilungskurve führt zu einem Gefüge mit mittelhohem Verdichtungszustand und damit einer geringen Porosität.	
Der MAB- Schlamm hat fast immer einen Wassergehalt von weniger als 30%: Es ist anzumerken, dass dieser Schlamm trotz des geringen Wassergehalts nasser erscheint als der Schlamm aus der Tunnelwasseraufbereitungsanlage, der oft einen Wassergehalt von 50% erreicht.	

Mögliche Folge

Die Ergebnisse zeigen, dass die gepressten MAB-Schlämme systematische und vorhersehbare Eigenschaften für eine Reihe von Parametern aufweisen und sich nach den beiden Ausbruchmethoden (TBM und SPV) gut unterscheiden.

Die mögliche Konsequenz ist der Verzicht auf die Analytik (außer bei Stichproben) für diese unverschmutzte Art von Rückständen, wenn der Vortrieb mit TBM erfolgt.

Was den bei SPV anfallenden Schlamm anbelangt, ist zu prüfen ob auf die Analyse verzichtet werden soll, da der Gehalt an Nitriten in jedem Fall höher als 0,1 mg/kg ist. Das genügt, um seine Entsorgung in eine Deponie festzulegen, abgesehen vom Gehalt an sechswertigem Chrom, wenn die Abtrennung des Rückprallbetons nicht mit grösster Sorgfalt erfolgt.

Tab. 15 MAB-Schlämme: mögliche Folge

TBM	SPV
Reduzierung oder Verzicht auf die Analytik	Verzicht auf die Analytik, außer Stichproben
Verwertung als unverschmutztes Material	Entsorgung als verschmutztes Material

Der Vorteil besteht darin, sowohl die mit der Analyse verbundenen Kosten (von der homogenen Probenahme bis zur Leistung des Labors) als auch die erforderliche Wartezeit bis zu den Laborergebnissen zu sparen. Darüber hinaus lassen sich Kosten und Platz für die Zwischenlagerung sparen.

Mögliche Vertiefung

Die Kenntnis der Verteilung des Gehalts an Stickstoffverbindungen über die verschiedenen Korngrößen des Ausbruchmaterials könnte nützlich sein, um die Entsorgung oder Verwertung zu steuern.

5.1.2 Rückstände: überschüssiges Material von MAB

Dieser Typ umfasst eine Reihe von Rückständen, die aus dem Prozess der Aufbereitung für die Produktion von Gesteinskörnungen für Beton entstehen.

Dabei handelt es sich hauptsächlich um Feinanteile und Überschusskörnungen.

Arbeitshypothese

Die Überschüsse aus der Verarbeitung von Ausbruchmaterial zu geeigneten Gesteinskörnungen für die Herstellung von Beton hängen nicht nur von der Geologie ab die während des Ausbruchs angetroffen wird, sondern auch von der Effizienz der verschiedenen Prozessphasen der Aufbereitungsanlage.

Um das Gestein in Einzelkomponenten zu klassieren, wird das Material in mehreren Stufen gebrochen und gesiebt.

Darüber hinaus ist es oft notwendig die Feinanteile herauszuwaschen.

Diese Gruppe von Rückständen umfasst alles Material aus der MAB, das nicht zur Herstellung von Beton verwendet wird und das nicht gepresster Schlamm mit definierter Typologie ist.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dieser Prozess keine unmittelbare Korrelation zwischen ein- und ausgehendem Material zulässt, da die Zwischenlagerung die Zeitspanne zwischen Materialanfall und -aufbereitung beeinflusst. Am Ende des Aufbereitungsprozesses verbleiben ausserdem Bestände (Überschusskörnungen), die eventuell anderweitig verwendet werden oder zur Endablagerung gelangen.

Dieser Aspekt ist in den gewählten Szenarien konsequent berücksichtigt.

Menge

Im für die Betonherstellung geeigneten Material entsteht sowohl vor dem Eintritt in die Aufbereitungsanlage (z.B. durch die Vorabsiebung, mit erheblichen Unterschieden zwischen TBM und Sprengstoffvortrieb) als auch während des eigentlichen Sieb- und Waschprozess ein Verlust.

Tab. 16 überschüssiges Material von MAB: Menge

TBM	SPV
Rückstand (t) / MAB-Material (t) = 30-(35)%	Rückstand (t) / MAB-Material (t) = 15-(20)%
Prozentualer Anteil abhängig von der Anlagentechnik	Prozentualer Anteil abhängig von der Anlagentechnik
Die Ergiebigkeit des gesamten Prozesses (vom Ausbruchmaterial über den Eingang in die Aufbereitung bis zu den Gesteinskörnungen für Beton) liegt beim TBM-Material bei 55%.	Die Ergiebigkeit des gesamten Prozesses (vom Ausbruchmaterial über den Eingang in die Aufbereitung bis zu den Gesteinskörnungen für Beton) liegt für SPV bei 75-(80)%.

Zur Information: Für das Modul 1 betreffend das Gotthard-Südportal betragen die Mengen rund 350'000 t, diejenigen des Moduls 2 (Ceneri-Basistunnel) rund 260'000 t. Die gesamte Menge wurde auf verschiedene Weise wiederverwendet, d.h. nicht als Abfall betrachtet. Die Prozentsätze von 30% (TBM) und 15% (SPV) entsprechen etwa 4% und 2% der Gesamtmenge des Ausbruchmaterials.

Qualität

Sowohl für Modul 1 als auch für Modul 2 sind die zu diesem Rückstand verfügbaren Analyseresultate für eine statistische Auswertung nicht ausreichend. Die Kenntnisse des Prozesses lassen vermuten, dass dieser Rückstand als unverschmutzt gelten kann.

Bei einem TBM-Vortrieb nach dem Stand der Technik ist die Hypothese zuverlässig, insbesondere weil sie durch die Analyseergebnisse des Schwestertyps "MAB-Schlämme" gestützt wird.

Bei einem Sprengstoffvortrieb ist die Hypothese eher wackelig, da insbesondere bei den feinen Rückständen des Prozesses die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass Rückprallbeton und explosive Reststoffe darin enthalten sind.

Für diesen Rückstand werden die für den gepressten MAB-Schlamm erhaltenen Werte als gültig angenommen.

Beim SPV sind die Belastungen tendenziell im feineren Teil enthalten.

Tab. 17 überschüssiges Material von MAB: Qualität

TBM	SPV
$KW_{C10-C40} < 50 \text{ mg/kg TS}$	$50 \text{ mg/kg} < KW_{C10-C40} < 500 \text{ mg/kg TS}$
Cr VI < 0.05 mg/kg TS Trennung des Rückprallbetons	$0.05 \text{ mg/kg} < \text{Cr VI} < 0.1 \text{ mg/kg TS}$ partielle Trennung des Rückprallbetons
$\text{NO}_2^- < 0.1 \text{ mg/l}$ im Eluat tendenziell unter der Bestimmungsgrenze	$0.1 \text{ mg/l} < \text{NO}_2^- < 1.0 \text{ mg/l}$ im Eluat
pH ~10.5 – 11 abhängig von Zementresten und Geologie	pH ~10.5 – 11 abhängig von Zementresten und Geologie
Der Wassergehalt ist kein relevanter Parameter	Der Wassergehalt ist kein relevanter Parameter

Mögliche Folge

Bis auf wenige Ausnahmen wird dieser Rückstand nicht analysiert.

Im Allgemeinen wird dieser Rückstand als unverschmutztes Material behandelt, unabhängig von der Vortriebsmethode.

Ein größeres Bewusstsein für die Qualität dieser Rückstände würde jedoch das Risiko einer Beeinträchtigung der Qualität einer Endablagerung vermindern und gezieltere Beurteilungen zur Wahl der Vortriebsmethode zulassen.

Bei der feinen Komponente (< 4mm) sind gezielte Untersuchungen empfehlenswert.

Tab. 18 überschüssiges Material von MAB: mögliche Folge

TBM	SPV
Keine Folge	Gezielte Analytik für die Feinanteile des Rückstandes
	Objektive Bewertung der Umweltauswirkungen von Endlagern

Mögliche Vertiefung

Bei den ATG-Baustellen wurden in Vergleich zu den heutigen Anforderungen sehr wenige Analysen vorgenommen. Eine Vertiefung ist wünschenswert und es werden zumindest Stichproben zur Prüfung der Arbeitsweisen vorgeschlagen

5.1.3 Rückstände: Betonschlämme

Dieser Typ betrifft die Betonmengen, die auf dem Boden der Betonmischer verbleiben, oder den nicht in Tunneln verwendeten Fertigbeton, der entsorgt werden muss, weil er nicht wiedergewonnen werden kann.

Manchmal ist der Beton noch flüssig und wird gewaschen, gesammelt und zum Aushärten gelassen oder gepresst, um transportiert zu werden, wie die folgenden Bilder mit Betonzufuhr im Tunnel durch Torpedowagen zeigen:

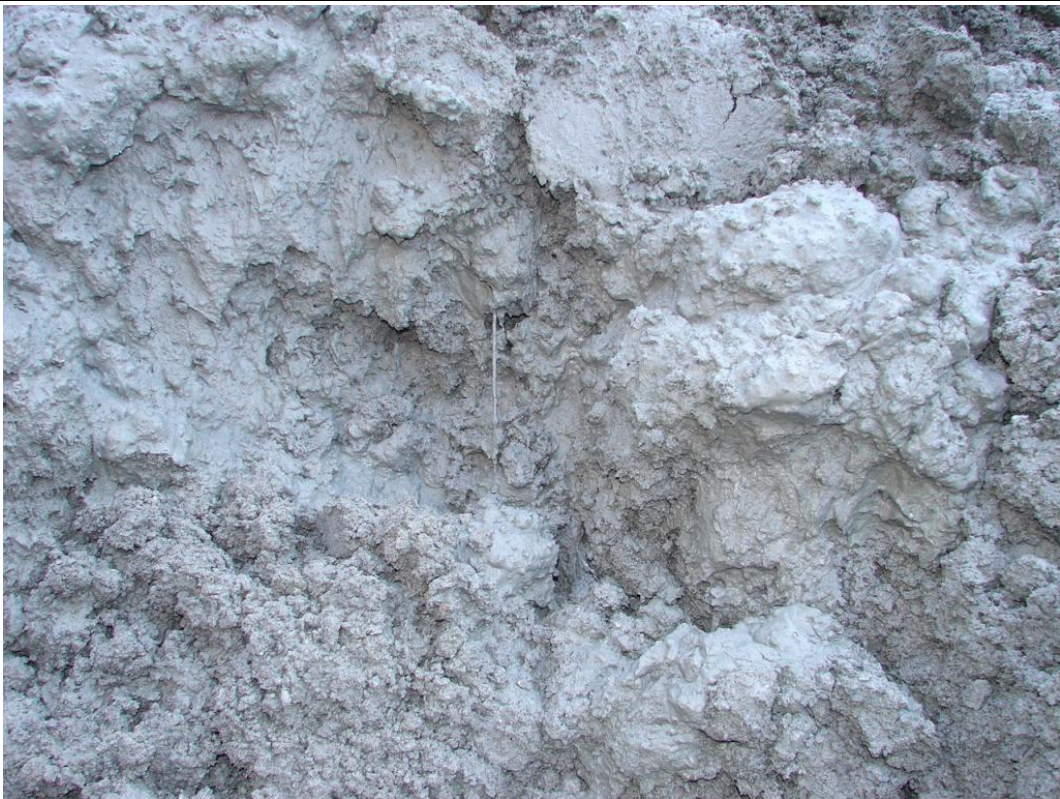


Abb. 12 Rückstände: Betonschlämme

Oft kommt der ungebrauchte Beton bereits ausgehärtet aus dem Untertag zurück: In diesem Fall muss er abgebrochen und zerkleinert werden. Damit wird er dem Typ

"Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung" zugeordnet und wird daher in diesem Unterkapitel nicht gezählt.

Obwohl dieser Rückstand nur in einem sekundären Prozess bei der Bewirtschaftung von Ausbruchmaterial gehört (er entsteht bei der Herstellung und bei der Verarbeitung von Beton), wurden Betonschlämme auch untersucht, weil ihre Menge nicht vernachlässigbar ist. Ausserdem sind damit verbundenen Schwierigkeiten erheblich und meist ungelöst, was die Bewirtschaftung auf der Baustelle die Umwelt hinsichtlich der Wirksamkeit der Wasseraufbereitungsanlage betrifft.

Obwohl dies auf Baustellen oft geschieht, können Zementreste nicht ohne Zwischenbehandlung über die Abflussrohre direkt in die Wasseraufbereitungsanlage geleitet werden, da das Risiko einer nicht VVEA-konformen, Evakuierung von Wasser oder einer teilweisen oder vollständigen Verstopfung der Leitungen zu hoch ist.

Arbeitshypothese

Das Projekt sieht die Installation einer Betonanlage auf der Baustelle vor.

Die Menge dieser Rückstände nimmt mit zunehmender Entfernung des Einbauortes von der Produktionsanlage zu, denn je länger die Reisezeit, desto größer ist das Risiko unvorhergesehener Ereignisse.

Menge

Die Produktion dieser Rückstände ist unabhängig vom Ausbruchmaterial und hängt von der Menge des produzierten Betons und von der Menge des nicht verwendeten Fertigbetons ab.

Wie bei den beiden anderen vorhergehenden Typen wird in der Grafik der prozentuale Anteil dieses Rückstands bezogen auf das Ausbruchmaterial angegeben. Damit wird ein Überblick gegeben, in dem alle Ströme bilanziert sind.

Der in den grafischen Darstellungen enthaltene Prozentsatz von 0,4% des gesamten Ausbruchmaterials wird aus den Szenarien des Moduls 1 abgeleitet, und ist nicht allgemeingültig.

Informationshalber sei jedoch darauf hingewiesen, dass für das Modul 1 am Gotthard-Südportal im Betonwerk eine Menge von ca. 2'500 t/Jahr produziert wurde, womit die Menge dieses Rückstandes mit der des gepressten Schlammes aus der Wasseraufbereitungsanlage vergleichbar ist.

Qualität

Es handelt sich um ein Material mit einer vorhersehbaren Qualität, was durch die durchgeführten Analysen bestätigt wird, wobei die Anzahl dieser Analysen erheblich geringer ist als die der Analysen, die an gepresstem MAB- und TWA-Schlamm durchgeführt wurden.

Wenn der Schlamm ausgehärtet ist, kann er in einer Deponie des Typs B abgelagert und mit Abbruchbeton verglichen werden, ohne dass eine Analyse erforderlich ist, sofern dazu eine Genehmigung erteilt wird.

Tab. 19 *Betonschlämme: Qualität*

TBM	SPV
250 mg/kg < $KW_{C10-C40}$ < 2500 mg/kg TS stark schwankende Werte, tendenziell >> 500 mg/kg	250 mg/kg < $KW_{C10-C40}$ < 2500 mg/kg TS stark schwankende Werte, tendenziell >> 500 mg/kg
Cr VI > 0.05 mg/kg TS abhängig von der Menge an CrVI im verwendeten Zement	Cr VI > 0.05 mg/kg TS abhängig von der Menge an CrVI im verwendeten Zement
NO_2^- ~ 0.1 mg/l im Eluat stark schwankende Werte, abhängig von der Art der Zusatzstoffe	NO_2^- ~ 0.1 mg/l im Eluat stark schwankende Werte, abhängig von der Art der Zusatzstoffe
pH ~ 12	pH ~ 12

Der Wassergehalt ist kein relevanter Parameter. Wenn der Rückstand schlammig ist, wird er dekantiert oder gepresst, so dass er aushärten und ohne Abtropfen transportiert werden kann.

Mögliche Folge

Diese Rückstände werden nicht verwertet und als Abfall entsorgt.

Die Last der Entsorgung trägt in der Regel der Unternehmer, doch die erhöhte Produktion dieser Rückstände aufgrund unvorhergesehener Ereignisse auf der Baustelle gibt Anlass zu Diskussionen zwischen den Parteien über einen Anspruch auf Entschädigung auch für diese Art von Rückständen.

Die Belastung ist wichtig, wenn die jährlichen Mengen in der Größenordnung von Tausenden von Tonnen liegen: In solchen Fällen entstehen hohe Entsorgungskosten. Diese sollten beim Entscheid berücksichtigt werden, ob eine Betonanlage vor Ort eingesetzt werden soll oder nicht.

5.1.4 Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung

Diese Art von Rückständen umfasst hauptsächlich die folgenden Kategorien:

- Rückprallbeton,
- Reste der Sohlreinigung,
- Überprofil,
- Schlamm aus Arbeitsprozessen,
- Abbruchmaterial aus untertag.



Abb.13 Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung

Das Management dieser recht unterschiedlichen Rückstände ist komplex und immer wieder ein Diskussionsthema. In der Planungsphase werden die Mengen oft unterschätzt, so dass die Last der Trennung und Entsorgung dem Unternehmer aufgebürdet wird.

Arbeitshypothese

Das Material hat eine sehr heterogene Granulometrie und seine Charakterisierung ist kaum repräsentativ für die Gesamtmenge. Daher ist die Kenntnis des gesamten Produktionsprozesses notwendig, um die Qualität insbesondere nach der Herkunft des Rückstandes zu definieren.

Menge

Die Menge dieser Rückstände hängt vor allem von den Schwierigkeiten im Vortrieb ab, die Konsolidierungs- und Verstärkungsmassnahmen und damit die Zufuhr von Substanzen erfordern, die von aussen in den Tunnel gebracht werden.

Je mehr "externe" Stoffe vorhanden sind, desto größer ist Menge solcher Rückstände.

Je mehr Bauarbeiten im Tunnel erforderlich sind, desto größer ist die Menge der anfallenden Rückstände.

Im Allgemeinen ist es sehr schwierig, den Prozentsatz von 2,5% dieser Art von Rückständen im Verhältnis zum gesamten Ausbruchmaterial zu unterschreiten. Daher wird davon ausgegangen, dass 2,5% der Schwellenwert ist, unter den ein Ausbruch mit TBM oder Sprengstoff nicht fallen kann.

Tab. 20 Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung: Menge

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) > (2.0) - 2.5 %	Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) > 2.5 %

Zur Information: Für das Modul 1, das das Gotthard-Südportal betrifft, wurden von diesem Rückstand mehr als 400'000 t (4% des Materials, das das Südportal verliess) produziert, eine Menge, die den 400'000 t (4,5% des Ceneri-Ausbruchmaterials) des Moduls 2 entspricht. Im Fall von Modul 2 war dieser Typ gut unterteilt in etwa 210.000 t Rückprallbeton und etwa 190.000 t Reinigungsmaterial.

Qualität

Für einige Parameter ist die Qualität dieser Rückstände vorhersehbar, insbesondere weil das Vorhandensein von Zementrückständen sehr wahrscheinlich ist, was sich hauptsächlich auf den pH-Wert und die Gehalte von sechswertigem Chrom auswirkt.

Darüber hinaus führt der Kontakt dieser Rückstände mit dem auf der Sohle abgelagerten Schlamm zu einem variablen Kohlenwasserstoffgehalt von mehr als 50 mg/kg.

Das folgende Schema basiert hauptsächlich auf den Erfahrungen des Moduls 1, in dem ebenfalls zahlreiche Analysen zu diesem Rückstand durchgeführt wurden.

Diese Richtwerte unterliegen Schwankungen, die hauptsächlich auf die Komplexität des Umgangs mit dieser Art von Rückständen zurückzuführen sind, der für jeden Standort ad hoc konfiguriert werden muss.

Tab. 21 Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung: Qualität

TBM	SPV
KW _{C10,C40} : in der Größenordnung von 500 mg/kg TS tendenziell < 500 mg/kg	KW _{C10,C40} : in der Größenordnung von 500 mg/kg TS tendenziell < 500 mg/kg
Cr VI > 0.05 mg/kg TS aufgrund des Rückpralls	Cr VI > 0.05 mg/kg TS aufgrund des Rückpralls
NO ₂ ⁻ < 0.1 mg/l im Eluat stark schwankende Werte	NO ₂ ⁻ > 0.1 mg/l im Eluat stark schwankende Werte
pH ~ 11 aufgrund des Rückpralls	pH ~ 11 aufgrund des Rückpralls
Der Wassergehalt ist kein relevanter Parameter: Wenn der Rückstand zu nass ist wird er vor dem Transport entwässert.	

In der Tabelle sind Rückstände von Unfällen mit signifikant höheren Werten nicht berücksichtigt.

Mögliche Folge

Die Heterogenität des Rückstands führt eher zu indikativen als zu repräsentativen Ergebnissen: Parallel entnommene Proben gemäß den Bestimmungen über die Probenahmeverfahren zeigen systematisch signifikant unterschiedliche Ergebnisse.

Dies führt zu einer Schwierigkeit bei der Bewertung dieser Rückstände.

Die mögliche Konsequenz ist, die Qualität des Materials nach seiner Herkunft zu beurteilen und den Bestimmungsort der Entsorgung nach einer Reihe von Analysen zu unterscheiden, die für jedes Projekt vorzuschreiben sind.

Tab. 22 Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlreinigung: mögliche Folge

TBM	SPV
Reduzierung oder Verzicht auf die Analytik, außer bei Stichproben	Annahme einer vereinbarten Analytik nach Rückstandherkunft
Deponie vom Typ B	Deponierung wird bewertet

Der Vorteil besteht darin, dass sowohl die mit der Analyse verbundenen Kosten als auch die für den Erhalt der Berichte erforderliche Wartezeit sowie die Kosten und der Raum für die Einrichtung der wasserdichten Zwischendepots mit Wassersammlung eingespart werden. Ausserdem ist allein die Herstellung einer homogenen Probe kaum möglich.

5.1.5 Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen

Obwohl nicht alle Tunnelbaustellen diese Art von Rückständen vorsehen, hat sich die Forschungsstelle dafür entschieden sie zu berücksichtigen: die Menge war in den Vortrieben am Gotthard-Basistunnel von Bedeutung, und die dafür gebaute Einrichtung gestattete eine drastische Reduktion von Störungen am Vortrieb aus Schwierigkeiten im Materialfluss.



Abb. 14 Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen

Dabei handelt es sich um Ausbruchmaterial, das aus technischen oder hydrogeologischen Gründen nicht dem normalen Evakuierungsweg folgen kann:

- Funktionsstörungen der Transportmittel (Gurte, Muldenkipper, Waggons, andere Mittel),
- hohe Wassereintritte und zu starke Vernässung des Materials,
- Blöcke, die schwer zu verladen sind,
- Vorhandensein von Fremdkörpern.

Arbeitshypothese

Das Vorhandensein dieser Rückstände hängt vom Entscheid ab, ein spezielles Trennverfahren anzuwenden, das in der Lage sein muss, das Material zu einer Zwischenlagerstätte zu transportieren, von der es zu einem späteren Zeitpunkt verladen werden kann.

Menge

Die Menge dieser Rückstände hängt hauptsächlich von den Vortriebsschwierigkeiten ab.

Das folgende Schema zeigt einen Richtwert, der für jedes Projekt entsprechend der erwarteten Geologie kalibriert werden muss.

Tab. 23 Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen: Menge

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 1.0 – 1.5 % Abhängig von der Annahme des Trennungsprozesses	Keine Daten

Zur Information: Am Gotthard-Südportal entstanden aus diesem Prozess mehr als 150'000 t dieses Rückstandes (1,5% des aus dem Südportal stammenden Materials) Am Ceneri-Basistunnel wurde dieser Prozess nicht verwendet.

Qualität

Es gibt nur wenige Analysedaten über diesen Rückstand und eine statistische Auswertung ist daher unmöglich.

In Analogie zum in Kapitel 3 beschriebenen Ansatz für Ausbruchmaterial wird dieser Rückstand nur analysiert, wenn ein Hinweis auf eine Verschmutzung vorliegt.

Dieser Rückstand ist dem Ausbruchmaterial sehr ähnlich, was auf die Abwesenheit einer Verschmutzung hindeutet.

5.1.6 Rückstände: TWA-Schlämme

Bei diesem Rückstand handelt es sich um gefilterten, gepressten Schlamm, der in Industrie- und Bergwasseraufbereitungsanlagen anfällt, die bei Ausbrucharbeiten notwendig sind. Die Tunnelwasserbehandlungsanlagen befinden sich außerhalb des Tunnels und behandeln in der Regel ein gemischtes System aus Berg- und Brauchwasser.

Frisch gepresster Schlamm

Schlamm in wasserdichter Zwischenlagerung mit Abwassersammlung



Abb.15 Rückstände: TWA Schlämme

Arbeitsypothese

Folgende Annahmen wurden für diesen Typ von Rückstand getroffen:

- Die durchschnittliche Zeit, die das Feststoffteilchen von der Ortsbrust bis zur Anlage benötigt, beträgt $t < 6$ Stunden bei einer maximalen Entfernung von $d < 10$ km.
- Die durchschnittliche Zeit, die das Schwebeteilchen benötigt, um den Tunnel zu verlassen und gefiltert zu werden, liegt zwischen 1 h und 3 Tagen und hängt vom Durchfluss ab. Dies ist ein wichtiger Aspekt, da die Korrelationen über längere Zeiträume nicht aufrechterhalten werden können; auch aus diesem Grund leiten sich die Ergebnisse aus Szenarien ab, in denen es keine Störungen oder Pausen in der Tunnelwasserbehandlungsanlage gab.
- Die Teilchen sind ungelöste Substanzen, die mit Brauchwasser- und Bergwasser-Drainagerohren im Freispiegel transportiert werden (es waren nicht genügend Szenarien mit gepumpter Drainage vorhanden).
- Der Schlamm hat eine ziemlich homogene Partikelgrößenverteilung (Hypothese durch Laboranalyse nachgewiesen, siehe Erläuterungen zur Qualität).
- Der Schlamm hat eine variable Dichte (t/m^3). Je weiter sich die Ausbruchfront wegbewegt, desto geringer ist die Dichte (Hypothese durch Laboranalyse nachgewiesen, siehe Erläuterungen zur Qualität).

Menge

Tab. 24 TWA-Schlämme: Menge

TBM	SPV
Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 0.5 %	Rückstand (t) / Ausbruchmaterial (t) = 0.3 %
Bei einer normalen Vortriebsleistung hängt die Produktion von Pressschlamm von der Menge des Ausbruchmaterials ab (höhere Produktion bei vollen Vortriebsgeschwindigkeiten und geringere Produktion bei langsameren Vortriebsgeschwindigkeiten)	
Prozentsatz unabhängig von der Durchflussrate des Drainagewassers: Die anfallende Wassermenge hat keinen Einfluss auf die Produktion des Schlammes: der Prozentsatz des Schlammes im Verhältnis zum Ausbruchmaterial bleibt nahezu konstant für unterschiedliche Zeitspannen und für Wassermengen von 10 l/s bis über 200 l/s.	
Durchflussrate umgekehrt proportional zur Konzentration der ungelösten Substanzen	
Im Allgemeinen überschreitet der Prozentsatz dieser Rückstände die genannten Angaben, wenn der Vortrieb noch nicht auf Hochtouren läuft oder wenn der Vortrieb besonders schwierig ist.	
Auf der Grundlage der zahlreichen evaluierten Szenarien kann festgestellt werden, dass in Zeiten geringer Ausbruchmaterialproduktion, oft aufgrund von Konsolidierungs- und Sicherheitsmaßnahmen an der Ausbruchfront, die Schlammproduktion hoch ist und viel höhere Prozentsätze (2 - 3%) erreicht.	
Es ist jedoch auch zu beachten, dass bei einer Entfernung der Ausbruchfronten von der Wasseraufbereitungsanlage $d > 10$ km die Korrelation Produktion von Pressschlamm – Ausbruchmaterial durch andere Faktoren (unterirdische Rückhaltebecken, Absetzvorgänge in Drainagerohren, Reinigungs- und Spülarbeiten) verzerrt wird. Aus diesem Grund wurde ein maximaler Abstand zwischen der Anlage und der Ausbruchfronten als Arbeitshypothese angenommen.	

Zur Information: Von dieser Art von Rückständen wurden rund 50'000 t berücksichtigt: Für Modul 1 wurden alle 30'000 t aus dem Gotthard-Südportal ausgewertet, für Modul 2 die gesamte produzierte Menge von 20'000 t.

Qualität

Für einige Parameter ist die Qualität dieses Rückstands vorhersehbar. Wie erwähnt, berücksichtigt diese Forschung die Qualität von Rückständen aus punktuellen Unfällen nicht, die als Folge einen Anstieg der Werte für mehrere Parameter zur Folge hätten.

Für diesen Rückstand wurden in den Modulen 1 und 2 rund 250 Analyseresultate berücksichtigt. Die Qualität dieses Schlammes wurde seit den ersten Produktionen sowohl für Modul 1 als auch für Modul 2 analysiert.

Die durchgeführten Analysen sind zahlreich. Viele davon entsprechen dem Dokument "Vorgehenskonzept für die Umsetzung auf den GBT-Baustellen: Entsorgung von Schlämmen aus der Tunnelwasser-, der Material- und der Betonaufbereitung". Gemäss diesem Konzept muss alle 500 t Pressschlamm eine systematische Analyse durchgeführt werden. Bei einigen Analysen handelt es sich um Untersuchungen von Störfällen oder von besonderen Schlämmen.

Die regelmäßig analysierten Parameter sind: Kohlenwasserstoffe C10-C40, sechswertiges Chrom, Nitrite, pH-Wert und Trockenmasse- bzw. Wassergehalt.

Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche Analysen auf Schwermetalle, auf organische Komplexe und auf andere Parameter ausgedehnt, die zur Vertiefung eines bestimmten Themas erforderlich sind. Obwohl einige Szenarien auch für diese Parameter interessante Tendenzen zeigen, gibt es für allgemeingültige Aussagen keine ausreichend repräsentative Datenmenge.

Tab. 25 TWA-Schlämme: $KW_{C10-C40}$

TBM	SPV
$KW_{C10,C40} >> 500$ mg/kg TS tendenziell $< 5'000$ mg/kg TS	$KW_{C10,C40} >> 500$ mg/kg TS
Im Durchschnitt enthalten diese Schlämme mehrere tausend mg/kg TS Kohlenwasserstoffe. Selbst bei den restriktiveren Maßnahmen zur Reduktion der in Tunneln verwendeten Kohlenwasserstoffe ist kaum davon auszugehen, dass im Durchschnitt niedrigere Werte erreicht werden können.	
Ursache: Fette, Hydrauliköle, Trennmittel, Schmierstoffe	
Kohlenwasserstoffe in gesamten ungelösten Substanzen enthalten	

Hier sei ein weiteres interessantes Ergebnis vorgestellt: Nachdem am Gotthard-Südportal die Mengen und Arten der verwendeten Kohlenwasserstoffe (Hydrauliköl, Trennmittelöl, Schmierstoffe, Fette) ermittelt worden waren konnte geschlossen werden, dass etwa die Hälfte der Kohlenwasserstoffe in dieser Art von Rückständen gebunden waren.

Dies ist wichtig, weil es erklärt, dass die Kohlenwasserstoffe bereits mit Schwebstoffen verbunden in die verschiedenen Tunnelwasseraufbereitungsanlagen gelangen, so dass sie weder gelöst noch schwimmend sind. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden zahlreiche Analysen veranlasst, und zwar sowohl bezogen auf die Wasserqualität als auch auf die Qualität der GUS. Diese Analysen erhärten die Annahme, dass die Kohlenwasserstoffe sich an die Schwebstoffe „heften“.

Tab. 26 TWA-Schlämme: CrVI

TBM	SPV
Cr VI > 0.05 mg/kg TS	Cr VI > 0.05 mg/kg TS
Ursache: Vorhandensein von Zement	
Sechswertiges Chrom ist ein wesentliches Element aus dieser Art von Rückständen, in die alle durch das Tunnelwasser transportierten Verarbeitungsreste einfließen, es sei denn es werde kein Zement verwendet. Im Gegensatz zu Kohlenwasserstoffen, die vermutlich an das Feststoffteilchen gebunden sind, ist sechswertiges Chrom auch im Drainagewasser gelöst vorhanden.	

Tab. 27 TWA-Schlämme: NO_2^-

TBM	SPV
$NO_2^- << 1.0$ mg/l im Eluat tendenziell < 0.1 mg/l	0.1 mg/l $< NO_2^- < 1.0$ mg/l im Eluat tendenziell 1.0 mg/l
Ursache möglicher Spuren: Betonzusätze, Mörtel, Kleinbaustellen mit SPV-Methode	Ursache: Stickstoffverbindungen in Sprengstoffen
Das mögliche Vorhandensein von Nitriten ist auf die Verwendung verschiedener Zusatzstoffe zurückzuführen, die bei der Herstellung von Beton und Mörtel verwendet werden, sowie auf die Stickstoffverbindungen, aus denen die Sprengstoffe bestehen.	
Das Vorhandensein von Beton- und Mörtelzusätzen allein reicht nicht aus, um diesen Rückstand in Bezug auf Nitrite problematisch zu machen, die Verwendung von Sprengstoffen hingegen schon. Obwohl Zweikomponenten-Sprengstoffe mit höherer Ammoniumproduktion als Salpetrige Säure (und damit reduzierter Produktion von Nitriten) verwendet wurden, lag der Gehalt sowohl im Wasser als auch im Schlamm stets über dem Bestimmungswert.	

Tab. 28 TWA-Schlämme: pH-Wert-

TBM	SPV
pH ~11	pH ~11
Durch das Vorhandensein von Zementresten und die Sedimentationsphase der suspendierten Feststoffe vor der Neutralisation ist dieser Rückstand immer basisch. Ursache: Vorhandensein von Zement in suspendierten Feststoffen	

Tab. 29 TWA-Schlämme: Wassergehalt

TBM	SPV
Wassergehalt > 40% 45-50% im Durchschnitt	Wassergehalt > 40% 40-45% im Durchschnitt

Obwohl viele Berichte Werte von mehr als 50% Wassergehalt ausweisen, schlägt diese Forschung 40% als Wert vor, der bei allen durchgeführten Analysen eingehalten oder überschritten wird.

Ursache: homogene Korngröße

Obwohl der Wassergehalt auf den ersten Blick nicht zur Umweltcharakterisierung von TWA-Schlamm zu gehören scheint, ist seine Bestimmung eigentlich grundlegend für Entsorgungs- und Transportbewertungen. Daher wird er in den Ergebnissen dieser Forschung berücksichtigt.

Der Wassergehalt dieser Art von Rückstand ist häufig Gegenstand von Diskussionen zwischen Bauherren, Planern, Bauleitungen und Unternehmern und wird leider immer noch unterschätzt.

Es lohnt sich, einige Überlegungen zu diesem Aspekt zu erwähnen, denn im Gegensatz zu einer oberflächlichen Vermutung ist die Feuchtigkeit des gepressten Schlamms, sowohl aus Sicht der Bewirtschaftung (mehr Wasser im Abfall bedeutet höhere Transport- und Entsorgungskosten) als auch aus Sicht der Umwelt (mehr Wasser im Abfall bedeutet mehr Abfallmenge) von erheblicher Bedeutung.

Im Gegensatz zum Schlamm aus Kieswaschanlagen, in der das Waschwasser sowohl in Menge als auch in Qualität leicht kontrolliert werden kann, zeigt die Qualität des Tunnelwassers mit Feststoffen erhebliche Schwankungen aufgrund der zahlreichen Aktivitäten unter Tage.

Um die derzeit zuverlässigste Erklärung für den Wassergehalt in TWAB-Schlämmen zu illustrieren folgen hier einige Faktoren, die diesen Wassergehalt nicht beeinflussen:

- Kohlenwasserstoffe: Es ist keine Korrelation zwischen Kohlenwasserstoffgehalt und Wassergehalt erkennbar.
- Zement: Um den Einfluss von Zement zu überprüfen, wurde einerseits die absolute Dichte dieses Schlamms mit der des Schlamms aus der Zuschlagstoff-Waschanlage verglichen. Damit wurde beurteilt ob ein Unterschied bei gleichen Dichten auf das Vorhandensein von Zement zurückzuführen ist. Ausserdem wurden spektrographische und ödometrische Tests durchgeführt. Aufgrund der Ergebnisse ist die Hypothese zu verwerfen, dass der Zement den Wassergehalt wesentlich beeinflusst.

- Schaumbildner und Tenside: Ursprünglich dachte man, dass der in einem Vortriebslos verwendete Schaumbildner den Grad der gemessenen Feuchtigkeit bestimmt, aber die Einstellung der Verwendung der Substanz führte zu keiner Veränderung der Messwerte. Darüber hinaus wurden mehrere Analysen des Rückstands durchgeführt, aber fast alle Analysen ergaben keine Tensidspuren, so dass eine Korrelation zwischen Feuchtigkeit und Anwesenheit von Tensid ausgeschlossen werden konnte.

Unter Ausschluss oder Minimierung der dargestellten Faktoren wurde eine Erklärung für den hohen Wassergehalt in den Strukturmerkmalen und Korngrößenkurven gesucht.

Die Korngrößenanalysen durch Sedimentation zeigten eine nahezu vertikale Korngrößenkurve, was auf das Vorhandensein eines homogenen und fast gleichkörnigen Materials hinweist; aus geotechnischer Sicht weist ein schlecht sortiertes, d.h. aus Partikeln ähnlicher Größe zusammengesetztes Material eine strukturelle Konfiguration auf, die einem eher niedrigen Verdichtungszustand und damit einer hohen Porosität entspricht.

Mikroskopische Beobachtungen haben jedoch gezeigt, dass das gepresste Material nur scheinbar monogranular ist, da in Wirklichkeit die Körner des feineren Materials zu einem größeren Korn zusammengebunden wurden. Die Erklärung der Laboratorien ist, dass die in der Tunnelwasserbehandlungsanlage verwendeten Flockungsmittel in der Lage waren, die feineren Partikel aufzufangen, indem sie eine bei der Belastung des Filterdrucks vorhandene sekundäre Flockenkorngröße erzeugten.

Die Bildung von Flocken, die die Erhöhung der Porosität begünstigte, ermöglichte es dem Wasser, die entstandenen leeren "Hüllen" zu füllen; tatsächlich füllte das Wasser während der Quetschphase die Lücken bis zur Sättigung, aber sobald die Sättigung erreicht war, konnte das Material nicht weiter gepresst werden: es war, als ob Watte pads mit einem großen Wasserrückhaltevermögen entstanden wären.

Es ist zu beachten, dass ein gepresster Schlamm mit mehr als 55% Wassergehalt (45% Trockensubstanz) perfekt belastbar und tropffrei ist.

All dies bestätigt die Hypothese, dass die Faktoren, die den Feuchtigkeitsgrad dieser Schlämme beeinflussen, in den geotechnischen Eigenschaften des Materials nach der Ausflockung zu finden sind und dass der hohe Wassergehalt auf die scheinbar monogranulare Struktur des Materials mit einem sehr hohen Hohlraumindex zurückzuführen ist.

Mögliche Folge

Die Ergebnisse zeigen, dass diese Art von Rückständen systematische Eigenschaften für eine Reihe von Parametern aufweist.

Die mögliche Konsequenz ist der Verzicht auf die systematische Analytik für diese Art von Rückständen, die aufgrund der Werte von Kohlenwasserstoffen und sechswertigem Chrom immer als Abfall auf einer Deponie des Typs E (in Bezug auf die in Anhang 5 festgelegten gesetzlichen Grenzwerte) oder in einer thermischen Behandlungsanlage entsorgt werden müssen, mit der Verschärfung der Werte von Nitriten bei Sprengvortrieben.

Ohne auf den wichtigen Aspekt der Probenahme und Verpackung der zu analysierenden Probe einzugehen, hängen die Ergebnisse zum Teil von der Uneinheitlichkeit der Probe und der Verteilung der Verunreinigungen im Schlamm ab. Wenn bei diesem Schlamm die homogene Korngrößenverteilung und der gleichbleibend hohe Kohlenwasserstoffgehalt dieses Risiko verringert, so gilt dies nicht für andere Rückstandsarten.

Die Forschungsarbeit schlägt nicht vor, eine neue Praxis zur Behandlung dieses Rückstandes einzuführen, sondern stellt Ergebnisse aufgrund von statistisch relevanten Stichproben dar, die eine klare Tendenz der Messwerte zeigen.

Tab. 30 TWA-Schlämme: mögliche Folge-

TBM	SPV
Stichprobenartige statt systematische Analytik	Stichprobenartige statt systematische Analytik

Der Vorteil besteht darin, dass sowohl die mit der Analytik verbundenen Kosten (von der homogenen Herstellung der Probe bis zur Leistung des Labors), als auch die für den Erhalt der Berichte erforderliche Wartezeit sowie die Kosten und den Raum für die Einrichtung der wasserdichten Zwischendepots mit Wassersammlung eingespart werden.

Mögliche Vertiefung

Es ist nicht ausgeschlossen, dass in geologischen Formationen, in denen Mergel und Ton vorhanden sind, der Prozentsatz des in diesem Rückstand enthaltenen Wassers systematisch über 50% liegen kann.

Die vorliegende Forschung hat Gesteine dieser Art nicht berücksichtigt, und es könnte interessant sein, sie weiter zu untersuchen.

5.1.7 Darstellung der Qualität und Quantität der Rückstände nach der Vortriebsmethode

Was in den vorhergehenden Unterkapiteln gezeigt wird, ist in zwei leicht lesbaren grafischen Darstellungen zusammengefasst: Qualität und Quantität der Arten von Rückständen beim Ausbruch mit TBM und mit Sprengstoff.

Wie im konzeptionellen Kapitel 5 erläutert, beziehen sich die ersten vier Prozesse auf die den Projektentscheid: Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden diesen vier Prozessen ähnliche Prozentsätze zugeordnet, mit 20 % für den Anteil des Ausbruchs, der in die Aufbereitungsanlage für Gesteinskörnungen gelangt.

Wenn diese Visualisierung auf ein konkretes Projekt angewandt werden müsste, würde es ausreichen, diese Prozentsätze in der Unterstützungstabelle zu ändern, Diese passt sich dann automatisch an.

Darüber hinaus wird der Rückstand bezüglich seiner Verwertung oder Entsorgung nach Umweltkriterien dargestellt, ohne spezifische Angaben zur Art der Deponie oder thermischen Behandlung.

Der Grund für diese mangelnde Präzision bei der Bestimmung der Entsorgung liegt darin, dass die vorliegende Arbeit Referenzwerte liefert, die unabhängig von den durch gesetzliche Bestimmungen (VVEA) auferlegten Grenzwerten sind. Diese können mit der Zeit ändern.

Darüber hinaus zeigt die Analyse der Rückstände im Allgemeinen klar entweder eine relevante Verschmutzung oder aber deren Abwesenheit an.

Wahrscheinlich der einzige Parameter, der bei den Projektverfassern noch Unsicherheit hervorruft, ist Nitrite beim SPV, da sein Vorhandensein im Ausbruchmaterial nicht a priori ausgeschlossen werden kann, sondern bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden muss.

Obwohl die Menge der Rückstände im Falle des TBM-Vortriebs höher ist (11% gegenüber 8,9%), ist der Anteil der Rückstände, die entsorgt werden müssen, geringer als im Falle des SPV (3,5% gegenüber 5,5%).

Qualität und Quantität der Rückstände nach der Vortriebsmethode

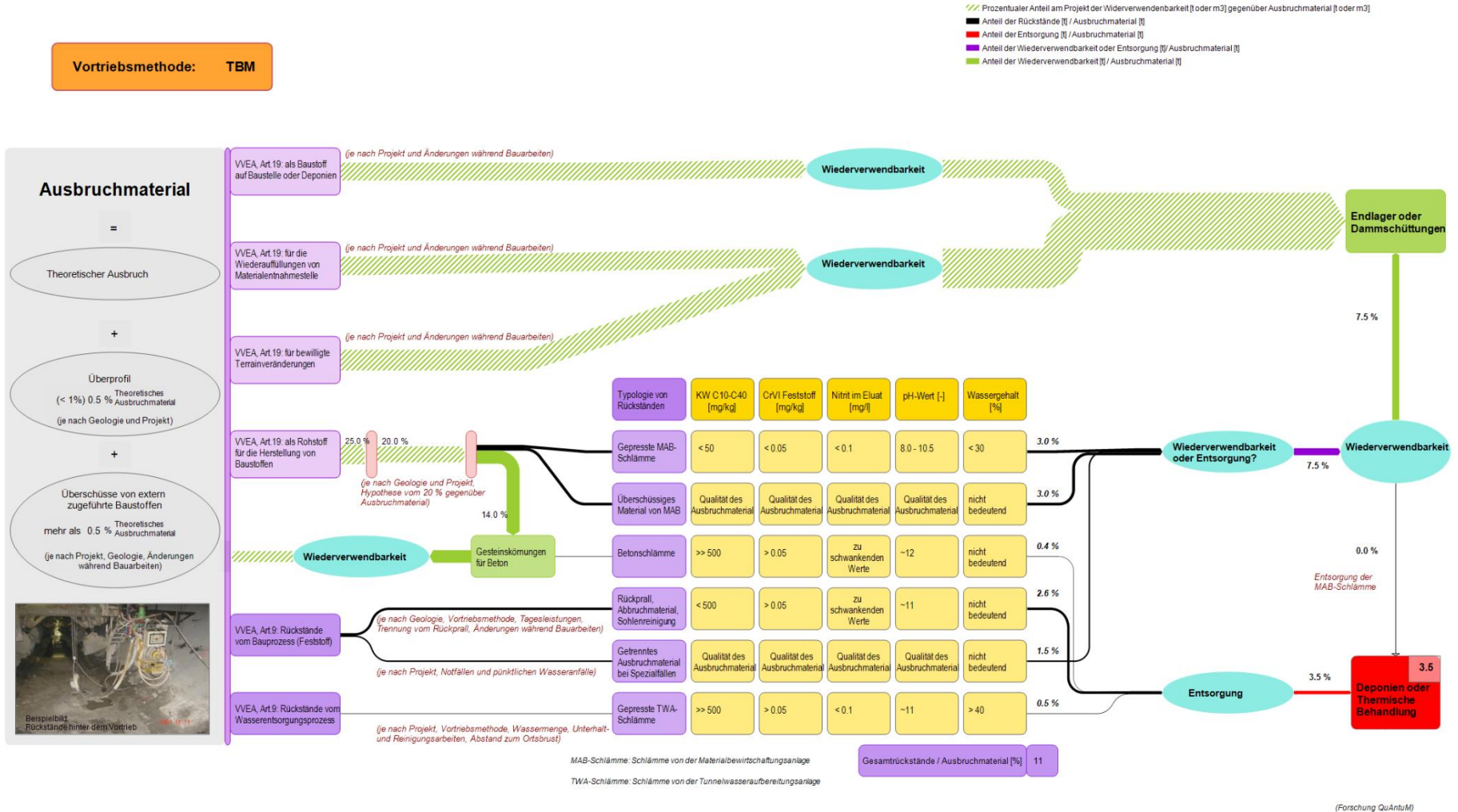
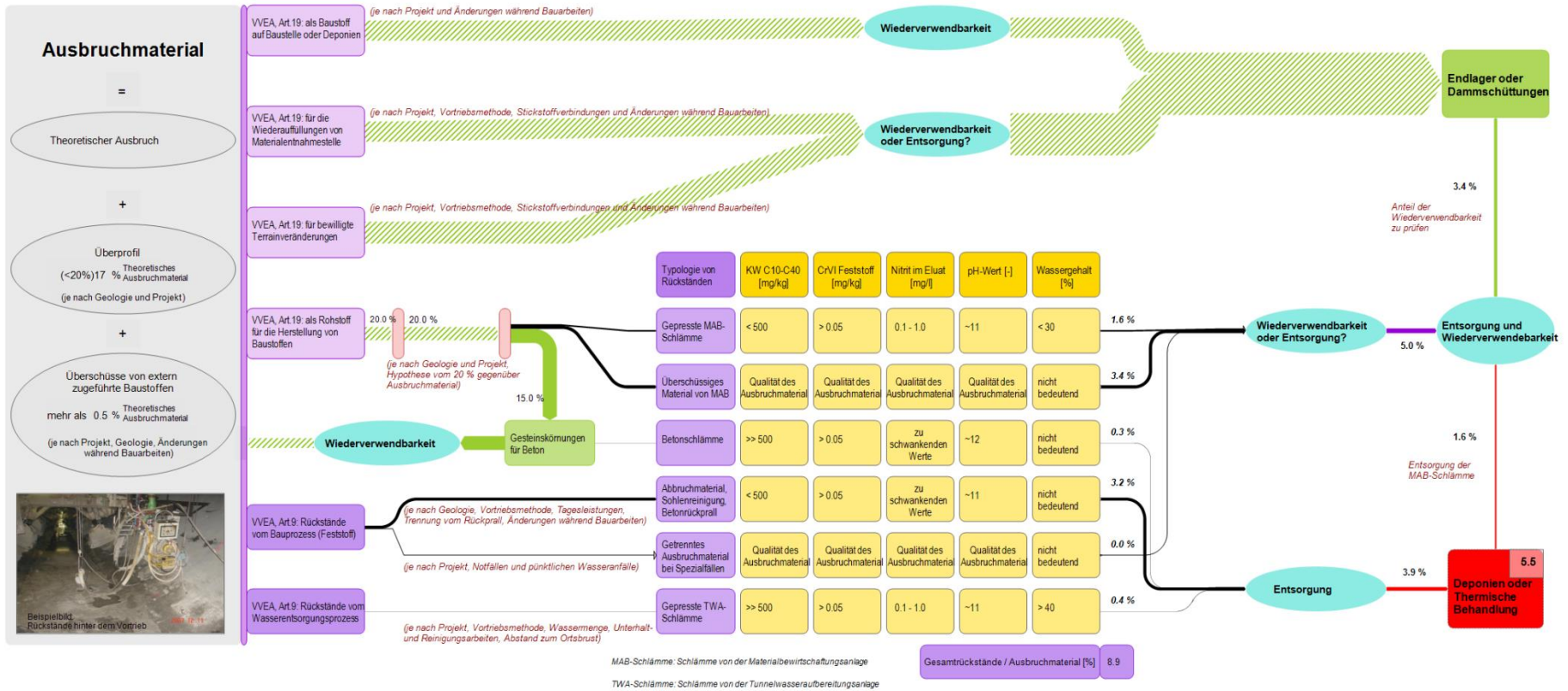


Abb. 16 Ergebnisse: TBM

Qualität und Quantität der Rückstände nach der Vortriebsmethode

Vortriebsmethode: **SPV**

/// Prozentualer Anteil am Projekt der Wiederverwendbarkeit [t oder m³] gegenüber Ausbruchmaterial [t oder m³]
 ■ Anteil der Rückstände [t] / Ausbruchmaterial [t]
 ■ Anteil der Entsorgung [t] / Ausbruchmaterial [t]
 ■ Anteil der Wiederverwendbarkeit oder Entsorgung [t] / Ausbruchmaterial [t]
 ■ Anteil der Wiederverwendbarkeit [t] / Ausbruchmaterial [t]



(Forschung QuAntuM)

Abb.17 Ergebnisse: SPV

5.2 Vom Rückstand zum Ausbruchmaterial: Ergebnisse nach der induktiven Methode

Ist es möglich, anhand der Qualität und Menge einiger Rückstände auf die vermutete Qualität des Ausbruchmaterials zurückzuschliessen? Wenn ja, mit welchen Aussagen?

Die letzte Frage der Forschungsarbeit wird induktiv beantwortet: Die Qualität des Ausbruchmaterials wird aus der Qualität und Menge der Rückstände rückgerechnet.

In diesem Fall sind nicht alle sechs gewählten Typen geeignet, diese Argumentation zu stützen.

Zementschlamm im Zusammenhang mit der Herstellung (und den Verlusten) von Beton, dessen Eigenschaften im Wesentlichen auf die Betonanlage und nicht auf die Vortriebsmethode zurückzuführen sind, muss ausgeschlossen werden.

Ein ähnlicher Ansatz wird für die beiden Typen "Überschussmaterial aus der Zuschlagstoffaufbereitungsanlage" und "bei besonderem Bedarf abgetrenntes Material" gewählt: Bei diesen Typen wurde die Qualität aus der Kenntnis des Prozesses abgeleitet, was die Annahme zulässt, dass die Qualität dieser Rückstände der des Ausbruchmaterials insgesamt sehr ähnlich ist. Es wäre absurd, die gleichen Hypothesen durch Induktion rückwärts anzuwenden.

Daher sind die drei geeigneten Typen zur Beurteilung der Qualität des Ausbruchmaterials:

Rückstände: gepresste MAB-Schlämme	→	OK ✓
Rückstände: überschüssiges Material von MAB	→	NEIN
Rückstände: Betonschlämme	→	NEIN
Rückstände: Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung	→	OK ✓
Rückstände: getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen	→	NEIN
Rückstände: gepresste TWA-Schlämme	→	OK ✓

Von diesen drei Arten schlägt diese Forschung Menge und Qualität in Bezug auf einige Parameter vor.

Es ist daher möglich, eine theoretische Berechnung durchzuführen, die die folgende Frage beantwortet:

- Welches ist für die betrachteten Parameter der Höchstwert, der bei den Rückständen eingehalten werden muss, damit das Ausbruchmaterial als unverschmutzt gelten kann?

Die Forschungsstelle verfügt nicht über repräsentative Analysen des Ausbruchmaterials, aber sie ist in der Lage, die Höchstwerte der Parameter zu ermitteln, unter denen Rückstände verbleiben müssen, um das Ausbruchmaterial als unverschmutzt zu betrachten. Dabei wird vorsichtshalber keine Aufkonzentration der Schadstoffe in den Feinanteilen berücksichtigt.

Tab. 31 Vom Rückstand zum Ausbruchmaterial: maximale Parameterwerte in Rückständen für unverschmutztes Ausbruchmaterial

Rückstände (Parameter)	Ausbruchmaterial (Parameter)
gepresste MAB-Schlämme: $KW_{C10-C40} < 500$ mg/kg TS Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: keine Korrelation gefunden gepresste TWA-Schlämme: $KW_{C10-C40} < 5'000$ mg/kg TS	$KW_{C10-C40} \ll 50$ mg/kg TS
Maximale Trennung von Rückprallbeton und Zementresten	CrVI $\ll 0.05$ mg/kg
gepresste MAB-Schlämme: $NO_2^- < 1.0$ mg/l im Eluat Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: $NO_2^- < 0.5$ mg/l im Eluat gepresste TWA-Schlämme: keine Korrelation gefunden	$NO_2^- \ll 0.1$ mg/l (Notwendige Bewertung für jeden SPV-Tunnel)
gepresste MAB-Schlämme: pH < 12.5 Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: pH < 12.0 gepresste TWA-Schlämme: keine Korrelation gefunden	pH $\ll 12.0$

Eine geogene Belastung der Gesteinsmatrix ist nicht Gegenstand dieser Forschung.

Auch in diesem Fall wird eine zusammenfassende grafische Visualisierung der Ergebnisse gezeigt: Die Visualisierung zeigt die Maximalwerte der verschiedenen Parameter (wo es möglich ist, sie vorzuschlagen), die die betrachteten Rückstände erreichen können, so dass mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit keine relevanten Verunreinigungen im Ausbruchmaterial vorhanden sind.

Diese induktive Methode zeigt ein weiteres wesentliches Ergebnis: Die vorliegende Forschung liefert objektive Gründe für den Verzicht auf eine systematische Charakterisierung des Ausbruchmaterials aus im Wesentlichen technischen Gründen.

Höchstwerte im Rückstand für die Abwesenheit von Verunreinigungen im Ausbruchmaterial

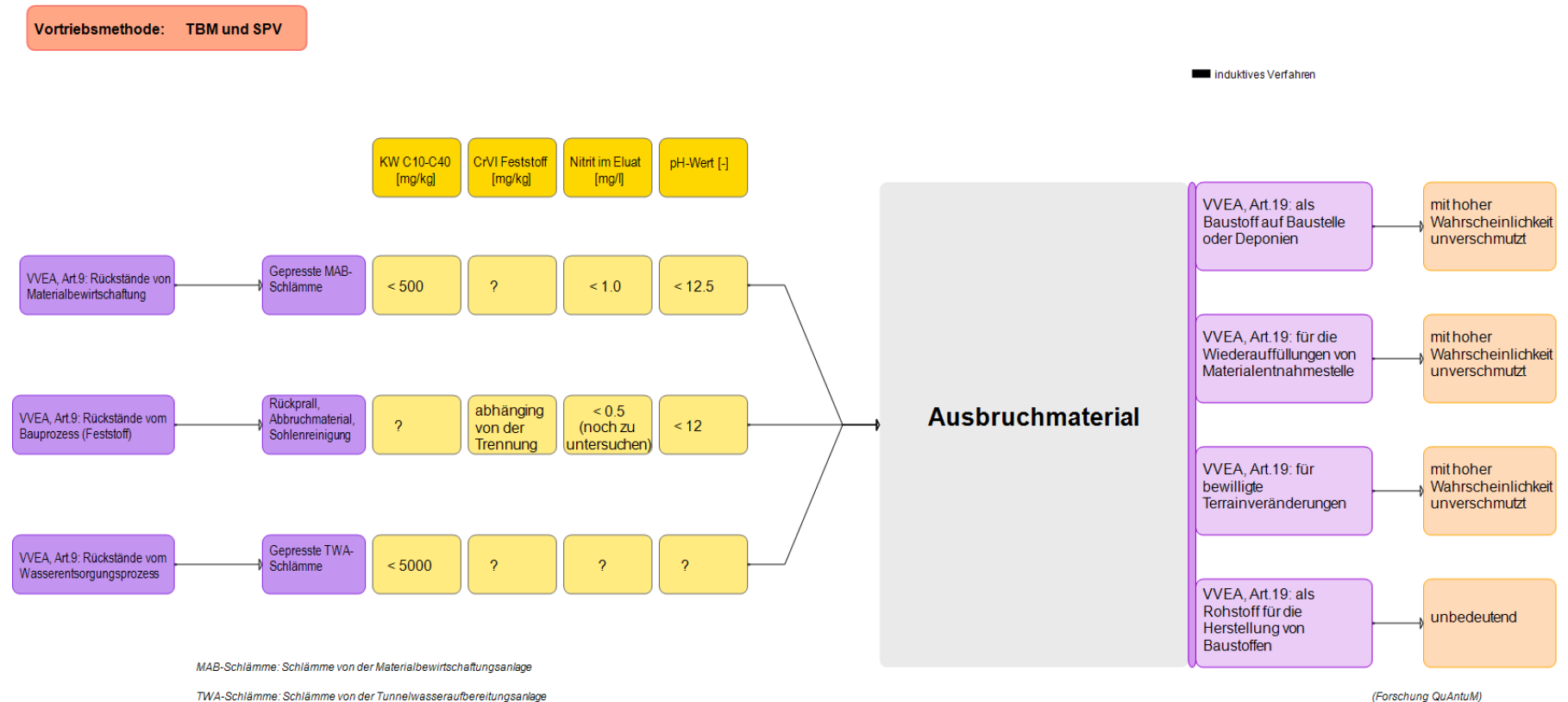


Abb. 18 Maximale Parameterwerte in Rückständen für unverschmutztes Ausbruchmaterial

5.3 Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse bei anderen Tunneln

Die Module 1 und 2 basieren auf Millionen von Daten, jedoch müssen die Ergebnisse mit anderen Werken verglichen werden.

Dies wird in Modul 3 behandelt (Datenquelle: Lombardi AG, Datenblätter des ASTRA, Unternehmer, die auf den Baustellen der ausgewählten Werke tätig waren, Inventar Schweizer Grossprojekte, herausgegeben von der FGU).

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die betrachteten Bauwerke auf der Grundlage der Gesamtzahlen grob bewertet wurden, die von den Projektverfassern, Bauleitern oder Spezialisten vorgelegt worden waren. Dabei wurden fallweise Querverweise auf Daten aus groben Prüfungen vorgenommen.

Viele Daten standen in der verfügbaren Zeit und bei den vorhandenen Unterlagen nicht zur Verfügung.

Ausserdem sind verschiedene Daten aus folgenden Gründen nicht brauchbar: Die Arbeiten sind vor dem Inkrafttreten der Richtlinie über Ausbruchmaterial abgeschlossen worden, oder die Bewirtschaftung der verschiedenen Rückstände wurde an das Unternehmen delegiert (mit der Folge, dass kein Ausmass vorgenommen wurde), oder einige Arten von Rückständen wurden in der Ausführungsphase nicht berücksichtigt.

Damit Vergleiche dennoch möglich waren wurden mehrere Arbeiten ausgewählt, um daraus jeweils einen geeigneten Teil der vorhandenen Daten zu extrapolieren.

Auch wenn die grafischen Darstellungen unvollständig sind, wurden sie in Analogie zu den für die Module 1 und 2 vorgestellten Szenarien erstellt, um eine Einheitlichkeit der Darstellung und vor allem eine dynamische Arbeitsgrundlage für die Integration weiterer Daten oder für Korrekturen zu schaffen.

Folgende Bauwerke wurden berücksichtigt:

- Galgenbucktunnel (relevante Daten: Überprofile im SPV).
- Lötschberg-Basistunnel LBT (Nord und Süd) (relevante Daten: insb. Rückstände aus der Verarbeitung von Ausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen).
- Triebwasserweg "chargeur-Tortin", Cleuson Dixence (relevante Daten: Menge von Schlamm aus der Verarbeitung von Ausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen).

Galgenbucktunnel

Der Galgenbucktunnel verläuft über eine Gesamtlänge von 1'138 m vom Portal Engi zum Portal Bahntal. Er besteht aus zwei kurzen Tagbaustrecken bei den Portalen und aus einer 1'061 m langen, bergmännischen Strecke. Der Tunnel ist zweispurig und wird im Gegenverkehr betrieben. Bei den Portalen wird zusätzlich jeweils ein Vorsortierstreifen angeordnet. Unter der Fahrbahn ist ein Werkleitungskanal, kombiniert mit einem Fluchtweg, vorgesehen. Bei den Portalen sowie in der Tunnelmitte werden Elektrozentralen erstellt. Im Bereich Bahntal wird der Charlottenfelstunnel der Deutschen Bahn (DB) mit einem minimalen Abstand von rund 5.5 m unterquert. Der Tunnel wird im Sprengvortrieb und nach Bedarf maschinenunterstützt mit Abbauhammer, fallend von Engi nach Bahntal, vorgetrieben. Auf der ganzen Tunnellänge ist ein Kalottenausbruch mit regelmässigem Nachziehen von Strosse und Sohle vorgesehen. Von Bahntal aus wird im Gegenvortrieb der 124 m lange Sondierstollen Bahntal (2 Paramentstollen) gebaut. Sie

dienen zur Vorauserkundung der anstehenden Gebirgsverhältnisse im Kreuzungsbereich mit dem Charlottenfelstunnel der DB.

Ausbruchmaterial: ~ 400'000 t.

Nützlichkeit:

- Überprüfung des Prozentsatzes des Überprofils im Sprengvortrieb (keine Überprüfung der Qualität des Ausbruchmaterials): gute Übereinstimmung mit den insbesondere in Modul 2 untersuchten Szenarien (15-20% Überprofil).

Galgenbucktunnel: ungenügende Bearbeitung

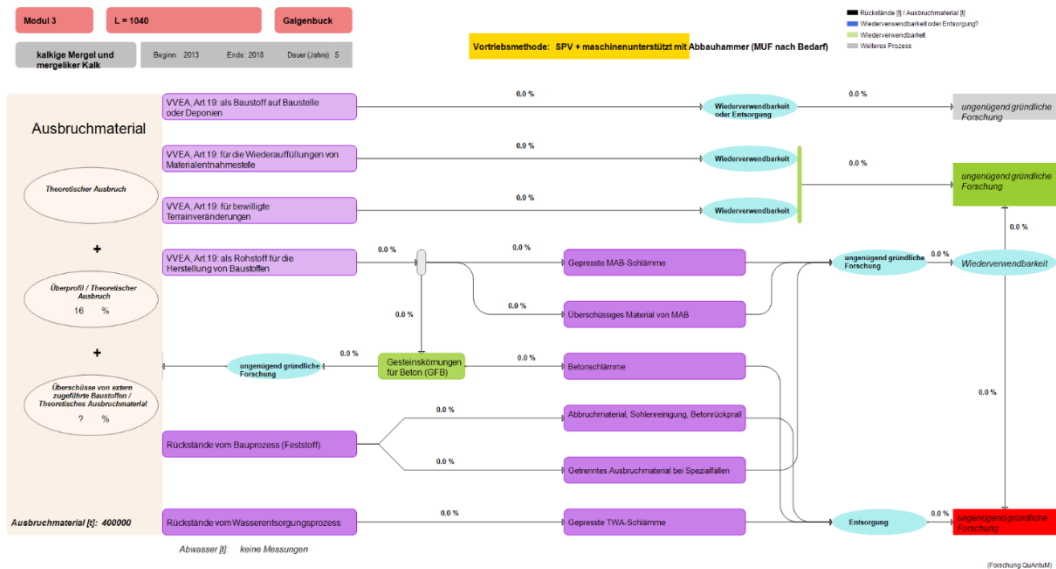


Abb. 19 Galgenbucktunne

Lötschberg-Basistunnel LBT (Nord und Süd)

Der Lötschberg-Basistunnel ist ein 34,6 Kilometer langer Eisenbahntunnel, der zwischen Frutigen im Berner Oberland (Kanton Bern, Schweiz) und Raron (Kanton Wallis, Schweiz) am Lötschberg die nördliche Alpenkette unterquert und am 16. Juni 2007 in Betrieb genommen wurde.

Die beiden Röhren verlaufen in einem Regel-Achsabstand von 40 m und sind durch 104 Querschläge (mittlerer Längsabstand: 333 m) miteinander verbunden.

Die eingleisigen Abschnitte des Tunnels liegen in zwei verschiedenen Querschnitten: Ein Kreisquerschnitt mit 4,28 m Innenradius wurde für Abschnitte vorgesehen, die im Maschinenvortrieb erstellt worden waren. Für Abschnitte mit Sprengvortrieb wurde ein Maulprofil vorgesehen. Die freie Querschnittsfläche beträgt 45 m².

LBT_Nord:

- Ausbruchmaterial: ~ 6'300'000 t.
- Vortriebsmethode: 100% SPV.
- Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.

Lötschberg-Basistunnel Nord: grobe Bearbeitung

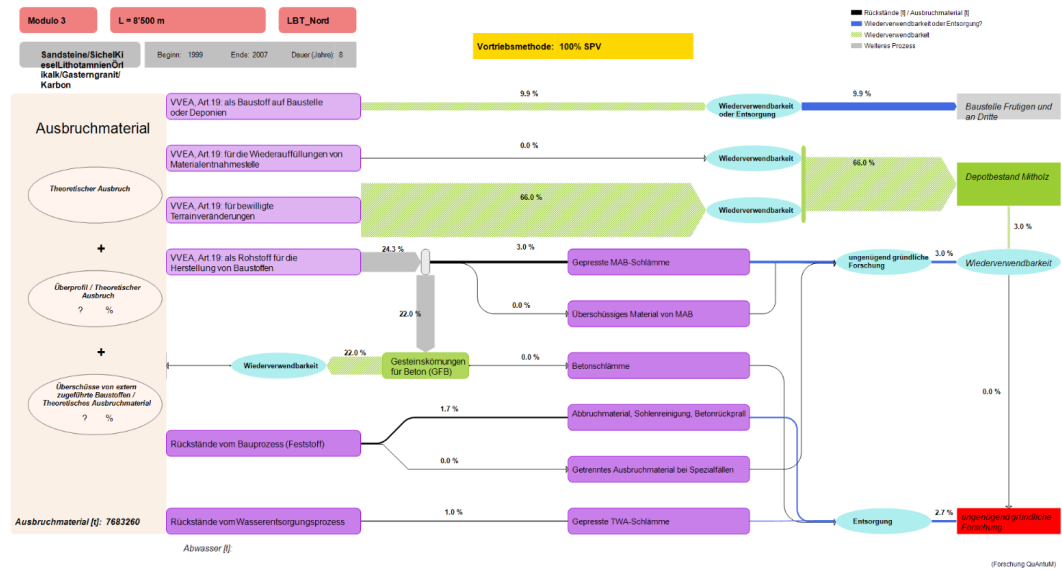


Abb.20 LBT Nord

LBT_Süd:

- Ausbruchmaterial: ~ 9'830'000.
- Vortriebsmethode: 50% SPV + 50% TBM (offene Hartgesteins-TBM).
- Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen.

Lötschberg-Basistunnel Süd: grobe Bearbeitung

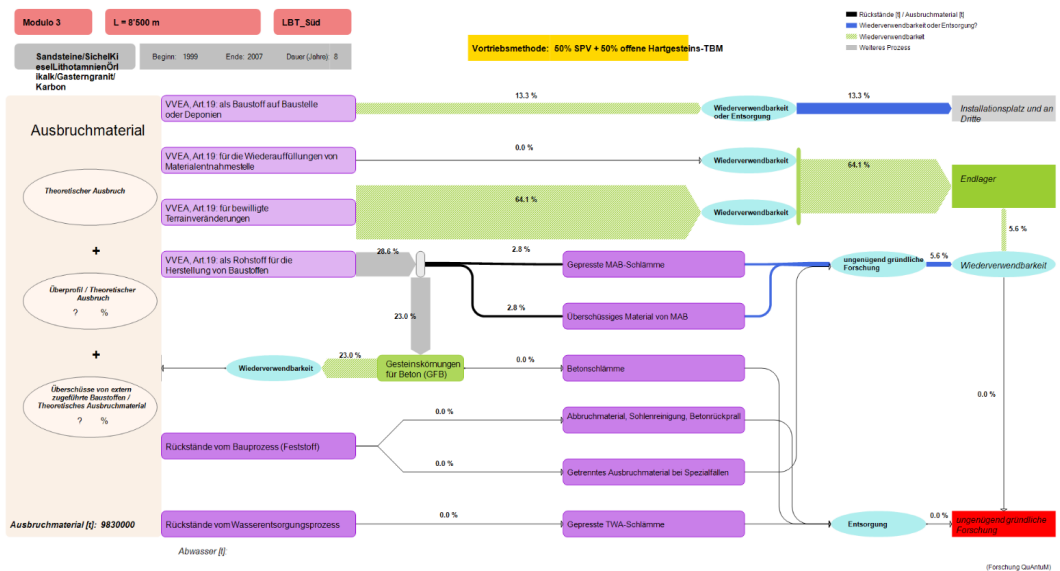


Abb.21 LBT Süd

Nützlichkeit:

- Überprüfung der Prozentsätze bestimmter Rückstände für LBT Nord und LBT Süd:
 - Gute Übereinstimmung mit den in den beiden Modulen untersuchten Szenarien für die Rückstände, die bei der Verwertung des Ausbruchmaterials zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen anfallen,

- Nicht ausreichend detaillierte Daten für die anderen Arten von Rückständen, obwohl es insgesamt eine Übereinstimmung über die Prozentsätze der Module 1 und 2 zu geben scheint.

Triebwassertunnel "Chargeur-Tortin"

Es handelt sich um einen 8,5 km langen Triebwasserweg, der Teil des Wasserkraftwerks von Cleuson-Dixence ist.

Ausbruchmaterial: ~600'000 t (davon 75'000 t SPV und 525'000 TBM).

Nützlichkeit:

- Die Aushubrichtlinie existierte während der Bauzeit noch nicht, und die aufgehobene Technische Verordnung über Abfälle reichte nicht aus, um große Ausbruchmengen streng zu begrenzen.
- Dennoch war dies einer der Pioniere in der Schweiz für die Verwertung eines Teils des Ausbruchmaterials zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen, und es ist interessant, die gute Übereinstimmung mit den Mengen an gepresstem Schlamm aus der Zuschlagstoffaufbereitungsanlage festzustellen.
- Andere Rückstände konnten nicht bewertet werden, obwohl es scheint, dass die Deponie vor dem Portal auch als Lager für die verschiedenen Arten von Verarbeitungsrückständen diente.

Galerie d'amenée "chargeur-Tortin" Cleuson-Dixence: grobe Bearbeitung

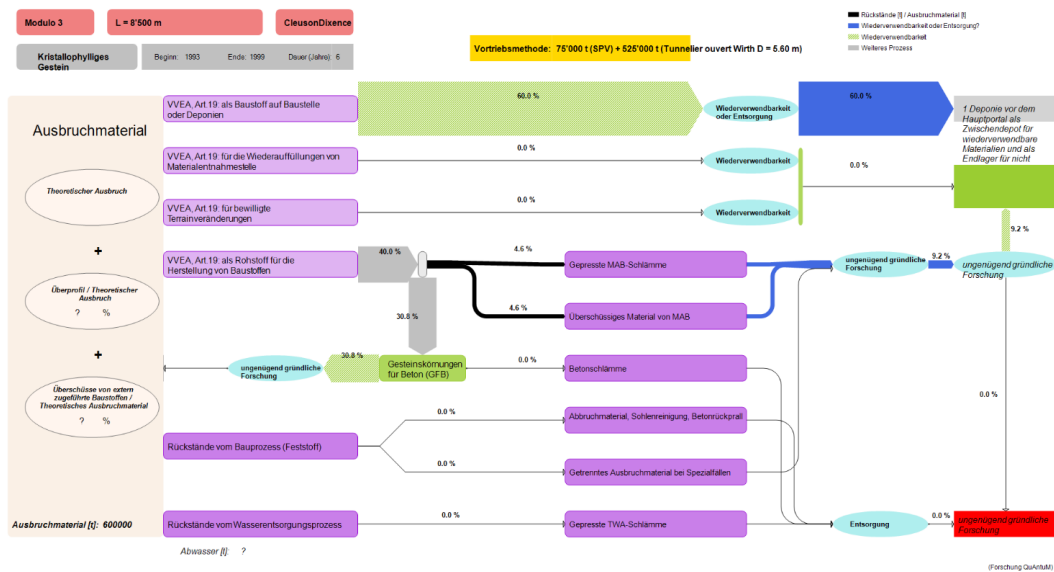


Abb.22 Triebwassertunnel "Chargeur-Tortin"

6 Schlussfolgerungen

6.1 Erreichung der Ziele

Die vorliegende Forschung beantwortet die in Kapitel 1.3.2 vorgestellten und auch hier wiederholten Fragen:

- Welche und wie viele Rückstände werden auf einer unterirdischen Baustelle mit TBM- oder Sprengvortrieb erzeugt?
- Welche sind die Parameter, die die Rückstände charakterisieren, und welche Werte können sie haben?
- Lassen sich die Qualität und die Menge gewisser Rückstände auf die vermutete Qualität des Ausgangsmaterial zurückführen?

Zu Frage 1:

QuAntuM definiert die folgenden sechs Arten von Rückständen (die Ergebnisse werden in Kapitel 5 erläutert):

Rückständetypen:

-
- ➔ gepresste MAB-Schlämme
 - ➔ überschüssiges Material aus Aufbereitung (MAB)
 - ➔ Betonschlämme
 - ➔ Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung
 - ➔ getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen
 - ➔ gepresste TWA-Schlämme
-

Zu Frage 2:

Für einige Rückstände ist es möglich, die Menge und Qualität zuverlässig und mit ausreichender Genauigkeit zu definieren, es sind dies:

- gepresste MAB-Schlämme
- Betonschlämme
- Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung
- Gepresste TWA-Schlämme.

Für andere Rückstände hingegen reichen die verfügbaren Daten nicht aus, um eine statistische Analyse durchzuführen und allgemein gültige Ergebnisse zu liefern. Für diese Fälle hat diese Forschung Richtwerte oder eine breite Palette möglicher Werte geliefert, die auf dem hier nachgewiesenen Prinzip beruhen, dass ihre Qualität der des Ausbruchmaterials insgesamt sehr ähnlich ist. Dies sind:

- überschüssiges Material aus Aufbereitung (MAB),
- getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen.

Die Qualität der Rückstände wurde für die folgenden Parameter definiert: Kohlenwasserstoffe C10-C40, sechswertiges Chrom, Nitrit (NO₂⁻), pH-Wert und Trockensubstanz bzw. Wassergehalt.

Wie in mehreren Punkten des Berichts geschrieben steht, werden weder punktuelle Unfälle noch Situationen extremer Schwierigkeiten beim Felsausbruch, die die angenommenen Arbeitshypothesen gefährden würden, abgedeckt. Ausserdem wurden geogene Belastungen bewusst nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 erläutert und zusammengefasst.

Zu Frage 3:

Dank der erworbenen Kenntnisse über die Qualität und Quantität bestimmter Arten von Rückständen unterstützt die Forschungsarbeit die Praxis, das Ausbruchmaterial nicht analytisch zu charakterisieren,

- wenn die Rückstandsarten ordnungsgemäß getrennt werden und
- wenn die Analyseergebnisse bestimmter Parameter von drei Rückstandstypen unter den folgenden Werten liegen oder den Angaben in der Tabelle entsprechen:

Tab. 32 Vom Rückstand zum Ausbruchmaterial: maximale Parameterwerte in Rückständen für unverschmutztes Ausbruchmaterial

Rückstände (Parameter)	Ausbruchmaterial (Parameter)
gepresste MAB-Schlämme: KW _{C10,C40} < 500 mg/kg TS Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: keine Korrelation gefunden gepresste TWA-Schlämme: KW _{C10,C40} < 5'000 mg/kg TS	KW _{C10,C40} << 50 mg/kg TS
Maximale Trennung von Rückprallbeton und Zementresten	CrVI << 0.05 mg/kg
gepresste MAB-Schlämme: NO ₂ ⁻ < 1.0 mg/l im Eluat Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: NO ₂ ⁻ < 0.5 mg/l im Eluat gepresste TWA-Schlämme: keine Korrelation gefunden	NO ₂ ⁻ << 0.1 mg/l (Notwendige Bewertung für jeden SPV-Tunnel)
gepresste MAB-Schlämme: pH < 12.5 Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung: pH < 12.0 gepresste TWA-Schlämme: keine Korrelation gefunden	pH << 12.0

Daraus folgt auch, dass bei Überschreitung der in der Tabelle angegebenen Werte die Vermutung der Abwesenheit von Verunreinigungen im Ausbruchmaterial nicht verteidigt werden kann. Dies gilt umso mehr, wenn diese Arten von Rückständen bei der Arbeit nicht getrennt werden.

Bei einem gewöhnlichen Felsausbruch mit TBM (= keine Unfälle / keine technischen und geologischen Schwierigkeiten, die besondere zusätzliche Sicherheitsmassnahmen erfordern würden / keine grösseren Unterhaltsarbeiten) werden die in der Tabelle angegebenen Werte in der Regel eingehalten.

Bei einem gewöhnlichen Felsausbruch mit SPV (= keine Unfälle / keine technischen und geologischen Schwierigkeiten, die besondere zusätzliche Sicherheitsmassnahmen erfordern würden / keine grösseren Unterhaltsarbeiten) werden die in der Tabelle angegebenen Werte in der Regel eingehalten.

6.2 Kritische Würdigung

Die Forschung QuAntuM hat eine Vielzahl von Daten gesammelt, angefangen von ihrer Definition in Parametern bis hin zu ihrer Homogenisierung und ihrer Analyse in numerischer und graphischer Form.

Dies entspricht im Wesentlichen den in den Kapiteln 4.1 und 4.2 beschriebenen ersten beiden operativen Phasen.

Von den zahlreichen in der Datenbank verfügbaren Parametern wurde in den anschließenden operationellen Phasen (Szenarien, Visualisierung und Ergebnisse) nur ein Teil verarbeitet, der für die Beantwortung der Forschungsfragen als ausreichend angesehen wurde.

In der Datenbank befinden sich jedoch eine Vielzahl von Werten, insbesondere solche zur Analyse und Bewertung des Rohmaterials, die in den nachfolgenden Stufen nicht mehr verarbeitet wurden (z.B. geotechnische Ergebnisse von Laborversuchen).

Die Zeit fehlte für eine angemessene Vertiefung dieser geotechnischen Aspekte. Es muss zugegeben werden, dass eine solche Vertiefung einen Mehrwert für die Ergebnisse bedeutet hätte.

In ähnlicher Weise wurden 5 Parameter zur Definition der Qualität im Allgemeinen (Kohlenwasserstoffe, sechswertiges Chrom, Nitrite, pH-Wert und Wassergehalt) ermittelt, während andere Parameter von zweifelloser Bedeutung (Schwermetalle, Aluminium, Sulfate, Chloride) für die Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials nicht berücksichtigt wurden, insbesondere was die langfristigen Auswirkungen der Endlager auf das Grundwasser betrifft.

Die Datenbank enthält auch diese Parameter. Jedoch wurde die statistische Stichprobe der Analysen, die an Ausbruchmaterial durchgeführt wurden, nicht mit den Analysen verglichen, die an Wasser durchgeführt wurden und die nicht in der Datenbank aufgeführt sind. Die Forschungsstelle ist der Ansicht, dass dieses Thema eine eigene Forschung verdient.

6.3 Einfluss der Ergebnisse auf die Wahl der Vortriebsmethode

Zu beachten ist, dass geogene Belastungssituationen im Ausbruchmaterial (z.B. Arsen, Asbest, Fluoride, Radionuklide etc.) nicht erfasst wurden. Die vorliegende Forschung berücksichtigt daher keine geogenen Kontaminationen.

Im Allgemeinen liegt die Größenordnung der gesamten Rückstände, die beim Ausbruch entstehen, bei 10% der Gesamtmenge des Ausbruchmaterials (Definition siehe Kapitel 3).

Es ist jedoch zu beachten, dass bei TBM-Vortrieben die tatsächlich ausgebrochene Menge in der Regel nur geringfügig höher ist als der theoretische Ausbruch (Überprofil in der Größenordnung von 1%), während bei der SPV-Methode die tatsächlich ausgebrochene Menge 15-20% höher ist als der theoretische Ausbruch.

Dies ist ein wichtiger Aspekt der Materialbewirtschaftung:

- Das TBM-Ausbruchmaterial scheint insgesamt mehr Rückstände zu produzieren als der SPV-Ausbruchmaterial.
- Wegen des geringeren Überprofils wäre jedoch die gesamte Menge an Rückständen bei sonst gleichen Voraussetzungen für den TBM-Vortrieb geringer als für den Sprengvortrieb.

- Darüber hinaus ist aufgrund von Stickstoffverbindungen der Prozentsatz der Rückstände, die beim SPV-Material anfallen und als Abfall auf Deponien oder in thermische Behandlungsanlagen entsorgt werden müssen, höher als beim TBM-Material (5,5% gegenüber 3,5% als Größenordnung), was zu höheren technischen und finanziellen Belastungen führt.
- Was die Verwertung von Ausbruchmaterial zur Herstellung von Betonzuschlagstoffen anbelangt, so hat die Aufbereitungsanlage, die SPV-Material erhält, eine höhere Ergiebigkeit als die Aufbereitungsanlage, die TBM-Material erhält (75% gegenüber 55% als Größenordnung), ein wichtiger Aspekt für die Berechnung der Betonversorgung.
- Die mit der SPV-Methode anfallenden Rückstände aus der Aufbereitungsanlage (hauptsächlich der MAB-Schlamm aus der Waschanlage, aber auch ein Teil der Feinreste) müssen jedoch als Abfall entsorgt werden, was mit höheren Kosten verbunden ist.
- Im Hinblick auf den MAB-Schlamm beispielsweise erzeugt eine TBM-Methode mehr von diesem Rückstand als eine SPV-Methode, aber im ersteren Fall handelt es sich um unverschmutzte Rückstände, im letzteren Fall um Abfälle, die auf eine Deponie E entsorgt werden müssen.

Es ist daher notwendig, eine umfassende ökologische und finanzielle Bewertung vorzunehmen, um die Angemessenheit einer Methode im Vergleich zu einer anderen zu verstehen, zusätzlich zu den geologischen, geotechnischen und geometrischen Überlegungen zum zu erstellenden Bauwerk.

6.4 Anwendung und Umsetzung

QuAntuM stellt für zukünftige Arbeiten ein funktionelles Arbeitsinstrument zur Sammlung, Berechnung und Auswertung von Daten im Bereich der Materialbewirtschaftung zur Verfügung, mit der Möglichkeit, die Funktionalität des Arbeitsinstruments auf andere Parameter und wahrscheinlich auch auf andere Sektoren (insbesondere Geologie, Hydrogeologie, Umweltwassersektor) auszudehnen.

Die Wahl der Ausbruchmethode hat einen erheblichen Einfluss auf die Menge und Qualität der Rückstände, was in den Umweltverträglichkeitsberichten berücksichtigt werden sollte.

Oft enthalten Umweltverträglichkeitsberichte keine Angaben über die vorgesehene Ausbruchmethode (weil diese noch nicht definiert ist). Dies hat zur Folge dass nicht alle notwendigen Informationen für die eigentlichen Verträglichkeitsprüfungen und die tatsächlichen Ausbruchmengen vorhanden sind (Unterschiede von 15% bis 20% aufgrund des Überprofils).

Beim Entscheid zur Verwertung eines Teils des Ausbruchmaterials für die Herstellung von Beton muss auch die Menge und Qualität des erzeugten Rückstands betrachtet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein verunreinigter Rückstand zu Abfall wird, der zu wesentlich höheren Kosten auf einer Deponie des Typs E oder in einer thermischen Behandlungsanlage entsorgt werden muss als ein wiederverwendbarer Rückstand.

Der prozentuale Anteil der anfallenden Rückstände ist beträchtlich, und es sollte immer die Möglichkeit einer Verwertung geprüft werden: sind für den Anteil der belasteten Rückstände, die als Abfall entsorgt werden müssen, die Möglichkeiten knapp (der Prozentsatz kann nicht unter einen bestimmten Wert gesenkt werden, siehe Darstellungen im Kapitel 5), so sollte für den Anteil der unbelasteten Rückstände eine umweltverträgliche Nutzung angestrebt werden.

6.4.1 Möglichkeit der Verwertung mit ökologischen Auswirkungen

Obwohl zu diesem Thema nur wenige Daten vorliegen, könnte nachweislich unbelasteter MAB-Schlamm (aus TBM-Vortrieb nach Analysen!) mit organischen Verbindungen vermischt werden, um zu beurteilen, ob es über mehrere Jahre hinweg möglich ist, den organischen Anteil der Gesamtmenge auf eine minimale Bodenqualität (mit feiner Körnung) zu erhöhen. Die Bodeneigenschaften von Anbauflächen sollten nicht verändert werden, jedoch könnte den mineralischen Rückständen Kompost beigemischt werden. In den letzten zwanzig Jahren ist das Bewusstsein der Bevölkerung und der politischen Verantwortlichen für die Bedeutung des Bodens gewachsen, und die unaufhaltsame Zunahme gepflasterter und bebauter Flächen auf Kosten des Bodens hat es notwendig gemacht, die gesetzlichen Grundlagen zu diesem Thema und die wissenschaftliche Forschung durch Bodenspezialisten zu vervollständigen: In diesem Sinne könnten Studien zu den Ablagerungen auf den nächsten Untertagebaustellen begonnen werden.

Insbesondere im Hinblick auf zerkleinerten Abbruchbeton ist es sinnvoll, die Möglichkeit der Verwendung dieser Rückstände zur Herstellung von Recyclingbeton verstärkt zu fördern.

QuAntuM erhebt nicht den Anspruch, eine neue Bewirtschaftungspraxis für die verschiedenen Arten von Rückständen durchzusetzen, sondern veranschaulicht konvergierende Ergebnisse auf der Grundlage zuverlässiger statistischer Stichproben, die zur Optimierung der Materialströme mit Zeitersparnis und Kostensenkung beitragen könnten.

6.4.2 Vorschlag für ein einfaches Berechnungstool

Zusammen mit dem Arbeitsinstrument der QuAntuM-Datenbank (Anhang I), forderte die Begleitkommission die Forschungsstelle auf, ein einfaches Berechnungstool vorzuschlagen, das eine zusammenfassende Bewertung der zu erwartenden Rückstandsmengen auf der Grundlage der Vortriebsmethode ermöglichen würde.

Durch die Einführung einiger grundlegender Projektparameter und der Vortriebsmethode in das Tool ist es möglich, sich eine Vorstellung von den verschiedenen Arten der zu erwartenden Rückstände zu machen (Anhang II: QuAntuM_Berechnungstool).

7 Kosten, Forschungsdauer, Verdankungen

7.1 Kosten der Forschung

Der für das Forschungsprojekt QuAntuM bewilligte Betrag beträgt CHF 268'115.00 (ohne Mehrwertsteuer).

7.2 Forschungsdauer

Im Januar 2017 berichtete die AGT (Arbeitsgruppe Tunnel) des ASTRA dem FGU-Ausschuss über ihr Interesse an der Erforschung der in Felstunnels anfallenden Rückständen.

Die neu gegründete Forschungsstelle schlug der AGT die Projektidee vor (die dem QuAntuM bereits sehr ähnlich ist) und legte den Forschungsantrag vor.

Mitte Dezember 2018 bewilligte die Forschungskommission die Forschung QuAntuM ohne Auflagen.

Die Forschung QuAntuM begann Anfang 2019 und endete im Juli 2020.

Genehmigungsverfahren	Forschungsprojekt
Januar 2017 - Dezember 2018	Januar 2019 - Juli 2020

7.3 Verdankungen

Die Forschungsstelle dankt dem ASTRA für das erwiesene Vertrauen und der Begleitkommission für die wertvollen Diskussionen und die fachliche Unterstützung während der Arbeit.

Besonderer Dank gebührt der AlpTransit, die die Nutzung der zahlreichen Daten über den Gotthard- und Ceneri-Basistunnel ermöglicht hat.

Anhänge

I	QuAntuM_Datenbank.....	95
I.1	Arbeitsblätter	95
I.1.1	Blatt Valori	97
I.1.2	Blatt ColonneDati	98
I.1.3	Blatt Zeitfenster mit Blatt-Durata.....	100
I.1.4	Blatt "shtGraphAssist" (Beispiel der Blätter "grfPeriodo" und "grfConfrontoPeriodo")....	103
II	QuAntuM_BerechnungsTool	107

I QuAntuM_Datenbank

Das elektronische Dokument «Quantum_Datenbank_D_F_I.xlsx» steht dem Leser auf der MobilityPlattform zur Verfügung.

Nachricht für diejenigen, die über die deutsche und französische Version des Excel-Programms verfügen: Wenn Sie die Datenbank öffnen, wählen Sie Ihre Excel-Sprache in Zelle B2 des Blattes „shtGraphAssist“. Wenn das Programm immer noch mit einem Fehlerfenster in den grafischen Darstellungsblättern reagiert, wählen Sie bitte eine andere Szenarienummer (zum Beispiel 25 statt 23) in Zelle F2, um die Nichtreaktion freizuschalten.

Das aufgetretene Problem betrifft nur die grafischen Darstellungen (blau gekennzeichnete Blätter) und hat keinen Einfluss auf die anderen Blätter, Szenarien und Auswertungen der QuAntuM-Forschung. Die blau beschrifteten Blätter waren als Mehrwert gedacht, um die Korrelation der vom Benutzer gewählten Parameterpaare zu ermöglichen und das Potenzial des Instruments aufzuzeigen.

Die Datei QuAntuM_Datenbank ist ein Arbeitswerkzeug zur Beantwortung von Forschungsfragen und kann vor allem für Bauleiter und Unternehmen, die viele unterirdische Ausbruchsdaten in einer einzigen Arbeitsumgebung mit einer bekannten Software und einer nach den Bedürfnissen der Baustelle anpassbaren Arbeitsmappe verwalten wollen, ein nützliches Instrument sein.

Die Datenbank wurde auf den für den Gotthard-Basistunnel gesammelten Daten aufgebaut und befasst sich mit allem, was aus dem Südportal des Tunnels herauskommt.

Für viele Parameter wurde eine ähnliche Datenbank für den Ceneri aufgebaut, jedoch bestand der Zweck für den Ceneri darin, die aus den Gotthard-Szenarien abgeleiteten Ergebnisse zu testen, was es ermöglichte, die Datenbank des Ceneri auf gezielte Fragestellungen auszurichten. Dabei wurden viele Zwischenverarbeitungen weggelassen.

Folglich ist die Referenz QuAntuM_Datenbank für alle Ausarbeitungen die Gotthard-Datenbank, Modul 1, und diese wird im Folgenden vorgestellt.

Einige der Arbeitsblätter sind in italienischer Sprache beschriftet: leider gab es im Zusammenhang mit den Arbeitsblättern viele Verarbeitungen und Formeln, die bei einer Namensänderung auf Deutsch ein zu hohes Fehlerrisiko mit sich gebracht hätten.

Sollte das Arbeitswerkzeug für andere Projekte verwendet werden, eine Situation, die die gesammelten Daten zum Start einer neuen Datenbank auf Null setzen würde, ist es ratsam, die Blätter korrekt umzubenennen und die Funktionalität der eingegebenen Formeln zu überprüfen.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass die Datenbank völlig frei von geschützten Zellen ist, was bedeutet, dass für den Benutzer das Risiko besteht, wichtige Verbindungen zu löschen mit den Folgen einer Fehlfunktion der gesamten Datenbank.

I.1 Arbeitsblätter

Die Arbeitsmappe QuAntuM_Datenbank.xlsx besteht aus 16 Blätter (oder Spreadsheets), wie unten aufgeführt:

- Valori
- ColonneDati

- Zeitfenster
- ita_deu
- shtGraphAssist
- grfPeriodo
- grfConfrontoPeriodo
- grfPeriodo-N
- grfCompleto
- grfConfrontoCompleto
- grfCompleto-N
- Quantitativi
- Durata
- InputOutput
- TerminiErrori
- Geologia

Die 16 Blätter können wie folgt klassifiziert werden:

- 5 Blätter (Registerkarte in grau) werden verwendet, um einen Teil der im ersten Blatt Valori enthaltenen Daten zusammenzufassen, zu prüfen oder zu verarbeiten.
- 6 Blätter (blauer Reiter) sind grafische Darstellungen, abhängig von der Auswahl, die der Benutzer im Blatt shtGraphAssist getroffen hat.
- 1 Blatt (gelber Reiter) ist das Blatt shtGraphAssist, von dem die 6 oben genannten Blätter abgeleitet sind.
- 2 Blätter (grüner Reiter) sind das Zeitfenster-Blatt (gewählte Szenarien in Abhängigkeit vom ColonneDati-Blatt) und das ita_deu-Blatt (Mehrwert für die Suche, um sofortige Übersetzungen zwischen mehreren Sprachen zu ermöglichen).
- 1 Blatt (roter Reiter) ist das Blatt ColonneDati (ColumnsData), das alle Ausarbeitungen des Blattes Valori, d.h. der Datenbank, erlaubt.
- 1 Blatt (Tab ohne Farbe) ist das Blatt Werte, die Datenbank.

Die wichtigsten Blätter werden im Folgenden näher erläutert, d.h.:

- Valori
- ColonneDati
- Zeitfenster con Durata
- shtGraphAssist con grfPeriodo e grfConfrontoPeriodo

I.1.1 Blatt Valori

Das Valori-Blatt stellt die eigentliche Datenbank dar, die alle gesammelten, geprüften und verarbeiteten Daten enthält.

Die Datenbank ist bereits mit einem automatischen Filter ausgestattet, der es dem Benutzer ermöglicht, nur die Datensätze anzuzeigen, die der Auswahl für den gewünschten Parameter entsprechen.

Der Filter ermöglicht viele Gegenkontrollen zwischen den verschiedenen Parametern, zeigt das mögliche Vorhandensein von anormalen Werten, die in der Anfangsphase der Datenerhebung nicht bereinigt wurden, und erlaubt den Vergleich ähnlicher Vortriebe, die in verschiedenen Zeiträumen erfolgten.

Am Ende der Arbeitsphase "Daten" enthält das Valori-Blatt 406 Parameter, die 406 Spalten entsprechen, für einen Zeitraum zwischen 1.01.2001 und 30.6.2014, was 4928 Zeilen entspricht.

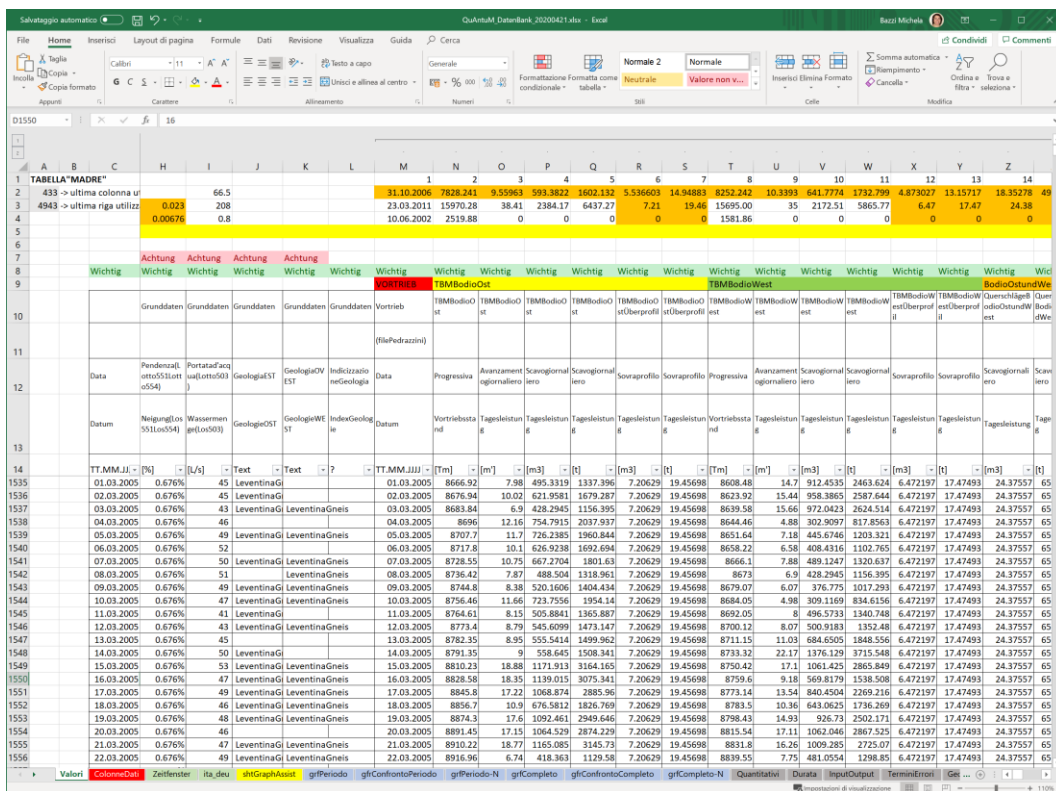


Abb. 1 QuAntuM_Datenbank, Blatt Valori, Ausschnitt

Falls das Thema weiter untersucht werden sollte ist zu beachten, dass ein Viertel der Parameter Vortriebsdaten, die Hälfte analytische Daten (sowohl Labor- als auch Standortdaten) und ein Viertel Abfälle betreffen. Mehrere Parameter sind Auswertungen von Basisdaten, die für Forschungszwecke nützlich und als Zusatzinformation des Tools interessant sind.

Für eine vertiefte Auswertung ist noch die Frage der Textzellen zu klären, die z.B. im Zusammenhang mit der Geologie stehen, da sie keine Zahlen enthalten, sondern nur für die Anwendung logischer Funktionen interessant sind. Wenn man auf diesen Aspekt näher eingehen wollte, könnte man jeder Textart einen numerischen Wert zuweisen und diesen dann in alle Berechnungen einfließen lassen. Diese Untersuchung könnte Gegenstand einer Folgearbeit werden.

I.1.2 Blatt ColonneDati

Mit dem ColonneDati-Blatt kann man das Valori-Blatt auf viele Arten abfragen.

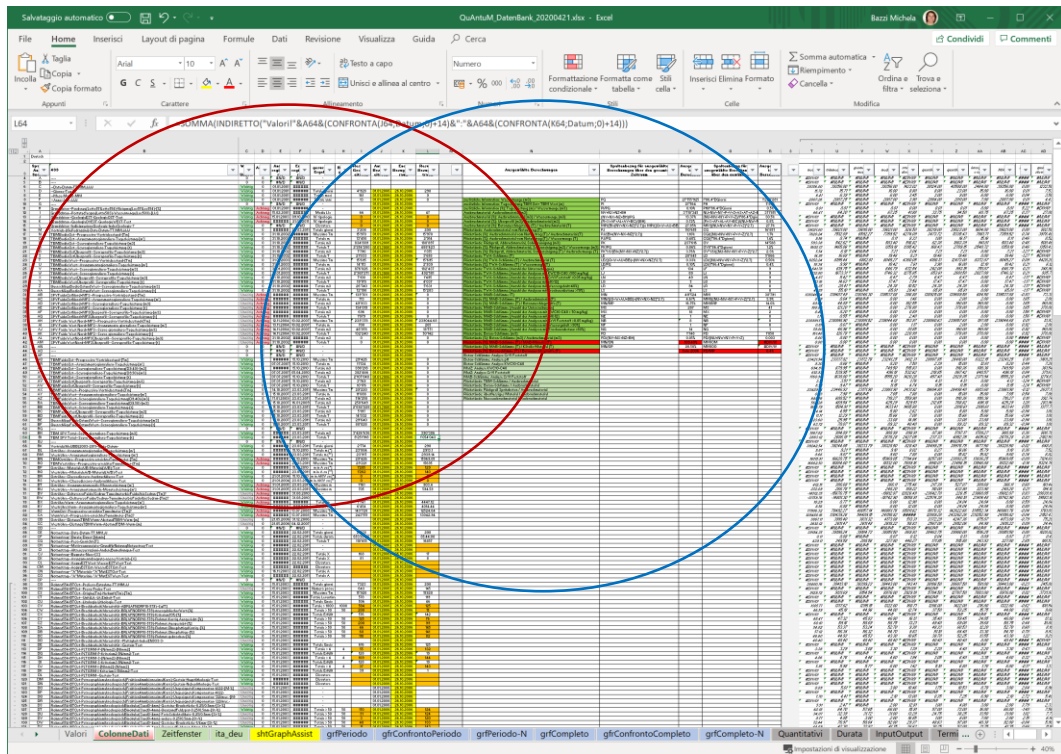


Abb. 2 QuAntuM_Datenbank, Blatt ColonneDati, Ausschnitt

Das Blatt ColonnaDati zeigt alle Parameter des Blattes Valori, jedoch transponiert, um die Ergebnisse der Abfragen bequem anzeigen zu können. Alle Parameter werden in zwei Sprachen dargestellt, Italienisch und Deutsch.

Auf den ersten Blick kann man auf dem Blatt deutliche Farben erkennen:

- Die grüne Farbe erinnert an die Bedeutung der relevanten Daten und an die Möglichkeit, gefahrlos vorzugehen.
- die rote Farbe warnt davor, dass bei der Verwendung der relevanten Daten besondere Vorsicht geboten ist (jedoch ohne Einfluss auf die Suchergebnisse).
- die graue Farbe zeigt, dass die Daten nicht mehr wichtig sind (jedoch nicht gelöscht werden, insbesondere um den Aufbau der Datenbank zu zeigen).
- die orange Farbe warnt davor, dass es sich um nicht-numerische Daten handelt, für die nicht alle Funktionen anwendbar sind, es sei denn, bei dieser Suche wird kein Kunstgriff angewandt.
- Die gelbe Farbe schließlich betrifft die Zellen, in denen der Benutzer ein Datum eingeben und die Datenbank abfragen kann.

Die Verwendung von Farben wurde nur zu Erklärungszwecken eingeführt: es ist durchaus möglich, mit einem Tool ohne Farbe zu arbeiten.

Mit Bezug auf die eingekreisten Bereiche in der vorherigen Abbildung wird veranschaulicht, was der Benutzer mit diesem Blatt tun kann.

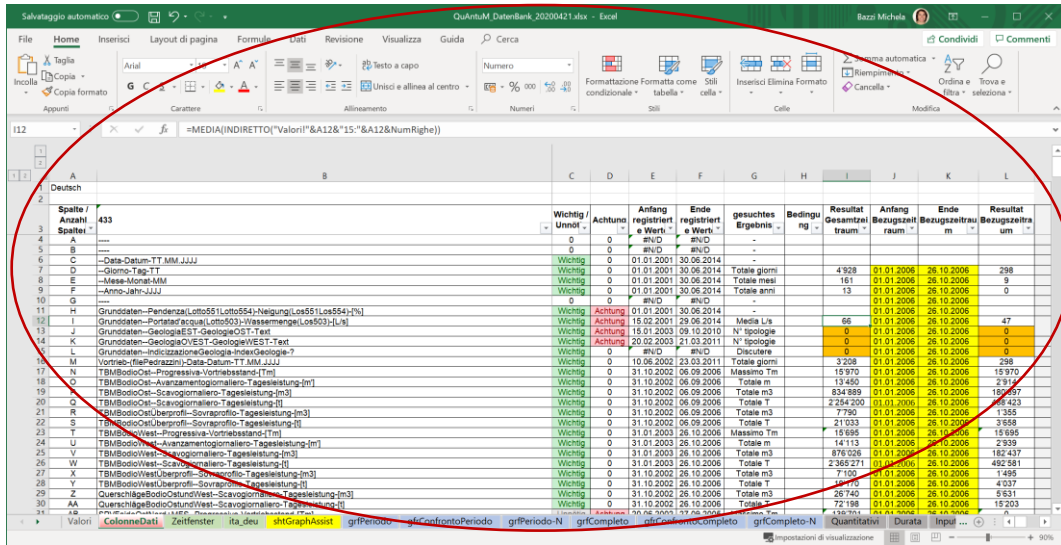


Abb. 3 QuAntuM_Datenbank, Blatt ColonneDati, Detaillierte Registrierungs- und Auswahlperioden

Die Spalten E "Inizio valori registrazione = Beginn der Protokollierungswerte" und F "Fine valori registrazione = Ende der Protokollierungswerte" melden automatisch die erste und letzte Protokollierung in der Datenbank für diesen Parameter: Dies ist wichtig, weil es dem Benutzer ermöglicht, die Datenbank über einen tatsächlich vorhandenen Datenbereich abzufragen.

Beispielsweise wird der Benutzer darüber informiert, dass der Parameter "Portata d'acqua = Wasserdurchfluss" in Zeile 12 Datensätze zwischen dem 15.02.2001 und dem 29.6.2014 aufweist, während der Parameter "Vortrieb Westleitung mit TBM" in Zeile 26 Datensätze zwischen dem 31.1.2003 und dem 26.10.2006 aufweist.

Spalte / Anzahl Spalten	433	Wichtig / Unnötig	Achtung	Anfang registrierte Werte	Ende registrierte Werte
H	Grunddaten--Pendenza(Lotto551Lotto554)-Neigung(Los551Los554)-[%]	Wichtig	Achtung	01.01.2001	30.06.2014
I	Grunddaten--Portata'd'acqua(Lotto503)-Wassermenge(Los503)-[L/s]	Wichtig	Achtung	15.02.2001	29.06.2014

Spalte / Anzahl Spalten	433	Wichtig / Unnötig	Achtung	Anfang registrierte Werte	Ende registrierte Werte
W	TBMBodyWest--Scavogiornaliero-Tagesleistung-[t]	Wichtig	0	31.01.2003	26.10.2006

Es ist möglich, dass ein Wert im Aufzeichnungsintervall nicht existiert (d.h. es gibt nicht immer Daten für jeden einzelnen Tag, der im Datenaufzeichnungsintervall enthalten ist).

Ergebnisse für den Zeitraum des Bestehens des Datensatzes und die gewünschte Formel erscheinen in Spalte I "Gesamtergebnis des Zeitraums" (angegeben in Spalte G "Suchergebnis"). Die Art des gesuchten Ergebnisses wurde von der Forschungsstelle je nach Art des Parameters gewählt.

So ist es z.B. möglich, die durchschnittliche Wasserdurchflussmenge (66 l/s) der Leitung 12 oder den gesamten Ausbruch in der Westleitung mit der TBM (2'365'271 t) zu ermitteln, und zwar je nach Bedarf des Benutzers.

Colonna / N° colonna	433	Risultato cercato	Condizione	Risultato periodo totale
I	Grunddaten--Portata'd'acqua(Lotto503)-Wassermenge(Los503)-[L/s]	Media L/s		66

Colonna / N° colonna	433	Risultato cercato	Condizione	Risultato periodo totale
W	TBMBodyWest--Scavogiornaliero-Tagesleistung-[t]	Totale T		2'365'271

Der interessante Aspekt ist jedoch, dass der Benutzer in den Spalten J "Beginn des gewählten Zeitraums" und K "Ende des gewählten Zeitraums" die Daten nach Belieben abfragen und Ergebnisse für einen Zeitraum seiner Wahl erhalten kann. Zum Beispiel

entspricht der Zeitraum 1.1.2005-31.12.2005 für den Parameter "Wasserfluss" in Zeile 12 einem Durchschnitt von 40 l/s.

Colonna / N° colonna	433	Inizio periodo scelto	Fine periodo scelto	Risultato periodo scelto
I	Grunddaten--Portata d'acqua(Lotto503)-Wassermenge(Los503)-[L/s]	01.01.2005	31.12.2005	40

Die Abfragen können unabhängig voneinander sein (die Intervalle werden für jeden Parameter individuell festgelegt), erfordern jedoch während der Datenanalyse und -verarbeitung ein Bewusstsein dafür, wann die Ergebnisse abgeglichen werden müssen.

The screenshot shows the QuAntuM software interface with a detailed data table. The table has columns for 'Spalte / Anzahl Spalte', 'Beschreibung', 'Ergebnis', 'Anfangszeitraum', 'Endezeitraum', 'Ergebnis', 'Ausgewählte Berechnungen', 'Spaltenbezug für ausgewählte Berechnungen über den gesamten Zeitraum', 'Ausgewählte Berechnungsergebnis', 'Spaltenbezug für ausgewählte Berechnungen über den gewählten Zeitraum (Szenario)', and 'Ausgewählte Berechnungsergebnis'. The table contains data for various parameters like 'Wasserfluss', 'Wassermenge', and 'Rückstände'. A blue circle highlights a specific section of the table, likely corresponding to the data mentioned in the text above.

Abb. 4 QuAntuM_Datenbank, foglio ColonneDati, Detailabfragen nach Szenarien

Auf diese Weise kann der Benutzer die Berechnung wählen, die er für die Verwaltung und Auswertung der verschiedenen Ausbruchmaterialströme für interessant hält.

Für die vorliegende Forschung wurden etwa dreissig Szenarien (Spalte N) ausgewählt, wobei die Datenbank sowohl für den gesamten Zeitraum der Registrierung (Spalte P) als auch für jeden gewählten Zeitraum (Spalte R), der einem bestimmten Szenario entspricht (siehe folgendes Blatt Zeitfenster), abgefragt wurde.

Die Spalten O und Q haben nur einen erläuternden Zweck und zeigen die arithmetische Berechnung, die in den Referenzspalten des Valori-Blatts übernommen wurde. Die Spaltenüberschriften des Blattes "Werte" werden auch in Spalte A des Blattes "ColonneData" angezeigt.

In Zelle A1 schließlich kann der Benutzer die Sprache auswählen und folglich die Überschriften der Zeile 3 automatisch ändern.

1.1.3 Blatt Zeitfenster mit Blatt-Durata

Nachdem die Datenbank für die Beantwortung der Forschungsfragen eingerichtet ist, muss eine Reihe von Szenarien, d.h. Zeitintervalle, gewählt werden, die als repräsentativ für die verschiedenen Situationen gelten, die im Detail analysiert werden müssen.

Zu diesem Zweck werden auf dem Blatt "Dauer" die Makroaktivitäten der verschiedenen am Südbereich des GBTs tätigen Lose für Vortrieb, Wasseraufbereitung und Materialbewirtschaftung auf einer Zeitskala dargestellt (die gleiche Arbeit wurde für den CBT geleistet):

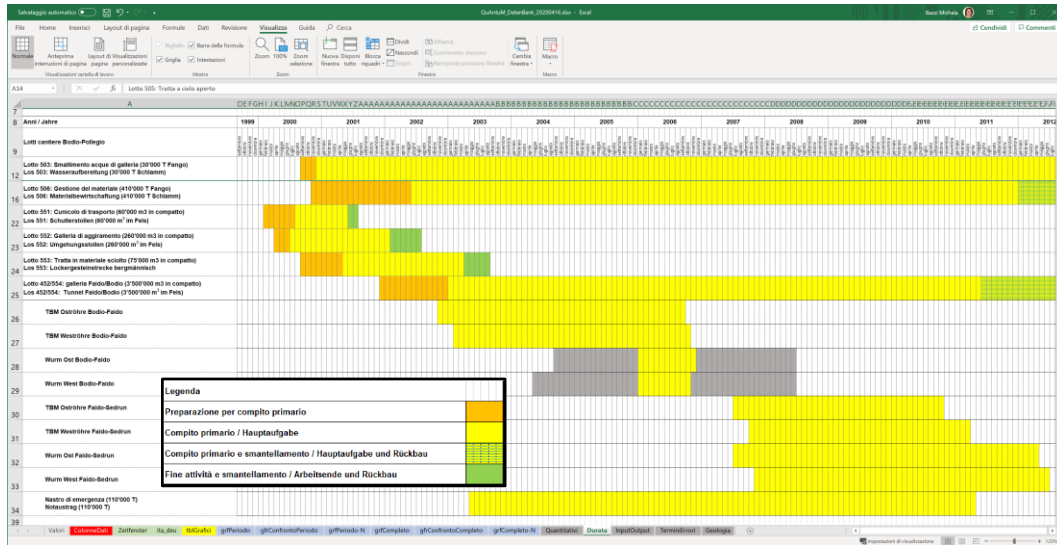


Abb. 5 QuAntuM_Datenbank, Blatt Durata mit Visualisierung von Standortmakroaktivitäten

Das Blatt "Dauer" hat den alleinigen Zweck, die verschiedenen Aktivitäten im Makromaßstab darzustellen, um die Zeiträume zu präzisieren, denen die verschiedenen Szenarien entsprechen, mit der Gewissheit, dass für den gewählten Zeitraum die Aktivität und damit der Parameter tatsächlich existiert. Anhand dieser Darstellung ist es möglich, im Blatt "Zeitfenster" die Zeitintervalle zu identifizieren, für die die verfügbaren Daten im Detail analysiert werden können.

Man kann dann in die Auswahl der Szenarien einsteigen und dann mit dem Blatt "Zeitfenster" fortfahren:

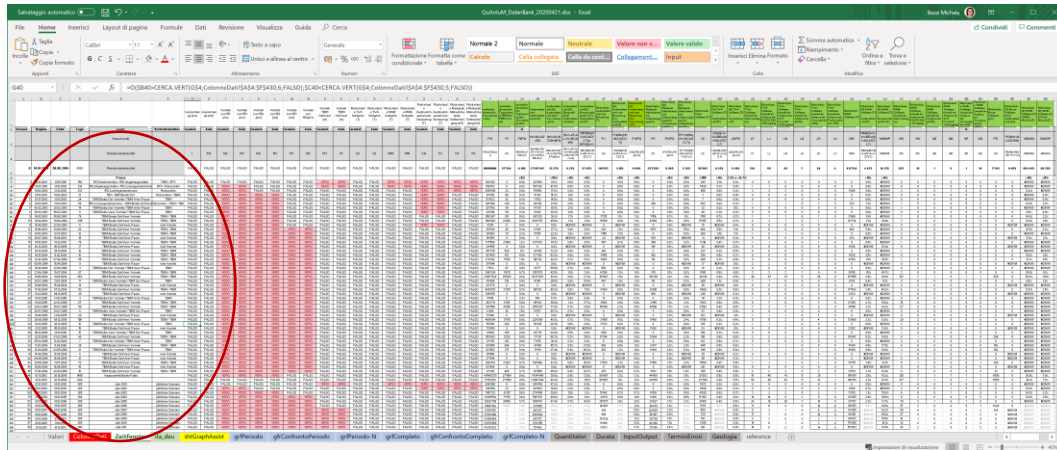


Abb. 6 QuAntuM_Datenbank, Blatt Zeitfenster

Das Blatt "Zeitfenster" zeigt auf der linken Seite die Szenarien (Intervalle), wobei in der Spalte E "Lose" die bestehenden Aktivitäten gemäss dem Blatt "Dauer" angegeben sind; die Ergebnisse des Blattes "ColonneDati" für den vom Benutzer gewählten Zeitraum.

Der Zeitraum entspricht einem präzisen und motivierten Szenario, für insgesamt fast 60 Szenarien, die allein für Modul 1 ausgewählt wurden.

Etwas weiter rechts sind hellere rote Zellen ein zusätzliches Kontrollsystem des Arbeitsinstruments: sie bedeuten, dass für dieses Szenario und diese Parameter keine Datenaufzeichnung erfolgt.

Weiter rechts, in grün, werden die gewählten Berechnungen aus dem Blatt "ColonneDati" und die Ergebnisse für jedes Szenario angezeigt.

Szenario	Beginn	Ende	Tage	Lose	Vortriebsmethode
					Pause
1	01.01.2001	31.05.2001	150	551 Schutterstollen + 552 Umgehungsstollen	TBM + SPV
2	01.07.2001	31.01.2002	214	552 Umgehungsstollen + 553 Lockergesteinstrecke	SPV + Rohrschirm
3	01.02.2002	31.12.2002	333	553 Lockergesteinstrecke	Rohrschirm
4	01.01.2003	01.02.2003	31	553 + TBM Bodio Ost	Rohrschirm + TBM
5	07.01.2003	31.01.2003	24	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
6	01.02.2003	31.03.2003	58	553 Lockergesteinstrecke + TBM Bodio Ost/West	Rohrschirm + TBM + TBM
7	06.02.2003	20.02.2003	14	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
8	25.02.2003	05.03.2003	8	TBM Bodio West: Vortrieb / TBM Ost: Pause	TBM
9	18.03.2003	05.06.2003	79	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
10	01.04.2003	30.04.2004	395	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
11	18.04.2003	22.04.2003	4	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
12	10.06.2003	30.06.2003	20	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
13	01.07.2003	13.07.2003	12	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
14	30.07.2003	18.08.2003	19	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
15	01.10.2003	19.12.2003	79	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
16	20.12.2003	06.01.2004	17	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
17	07.01.2004	25.01.2004	18	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
18	26.01.2004	11.02.2004	16	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
19	12.02.2004	07.04.2004	55	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
20	09.04.2004	18.04.2004	9	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
21	19.04.2004	22.04.2004	3	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
22	23.04.2004	19.07.2004	87	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
23	01.05.2004	01.09.2006	853	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
24	20.07.2004	31.07.2004	11	TBM Bodio West: Vortrieb / TBM Ost: Pause	TBM
25	01.08.2004	15.08.2004	14	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
26	17.08.2004	07.12.2004	112	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
27	10.12.2004	09.01.2005	30	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
28	10.01.2005	13.01.2005	3	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
29	14.01.2005	22.03.2005	67	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
30	29.03.2005	25.07.2005	118	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
31	26.07.2005	30.07.2005	4	TBM Bodio West: Vortrieb / TBM Ost: Pause	TBM
32	01.08.2005	21.08.2005	20	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
33	25.08.2005	09.12.2005	106	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
34	10.12.2005	20.12.2005	10	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
35	21.12.2005	05.01.2006	15	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
36	06.01.2006	21.01.2006	15	TBM Bodio West: Vortrieb / TBM Ost: Pause	TBM
37	22.01.2006	03.03.2006	40	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
38	05.03.2006	12.03.2006	7	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
39	13.03.2006	11.04.2006	29	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
40	12.04.2006	03.05.2006	21	TBM Bodio Ost: Vortrieb / TBM West: Pause	TBM
41	14.04.2006	18.04.2006	4	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
42	04.05.2006	16.05.2006	12	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
43	20.05.2006	31.07.2006	72	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
44	01.08.2006	16.08.2006	15	TBM Bodio Ost/West: Pause	kein Vortrieb
45	17.08.2006	02.09.2006	16	TBM Bodio Ost/West: Vortrieb	TBM + TBM
46	01.11.2002	26.10.2006	1455	Hauptvortrieb Bodio-Faido	
47	01.01.2001	26.10.2006	2124		
48	01.01.2001	01.01.2002	365	Jahr 2001	jährliches Szenario
49	01.01.2002	01.01.2003	365	Jahr 2002	jährliches Szenario
50	01.01.2003	01.01.2004	365	Jahr 2003	jährliches Szenario

Abb. 7 QuAntuM_Datenbank, Blatt Zeitfenster, Detail-Szenarien

Die Szenarien wurden je nach Vortriebsmethode und vor allem je nach den Vortriebsbedingungen ausgewählt:

- die Vortriebsmethode ist in Spalte F angegeben. Im Fall des GBT wurden auch die Szenarien für die vorbereitenden Vortriebslose integriert, da sie eine andere Ausbruchsmethode als die grossen TBM in den Haupttunnels verwendeten. Diese Szenarien sind zwar mit Vorsicht zu betrachten, da es oft mehrere Vortriebsmethoden gleichzeitig gab, erlauben aber dennoch einen gewissen Vergleich mit den Ergebnissen, die am CBT erzielt wurden, wo konventionell (SPV) vorgetrieben wurde. Die betrachtete Vortriebsmethode ist die folgende (es ist wichtig zu vermeiden, dass bescheidene Ausbruchmengen aus SPV, während die TBM in Betrieb waren, nicht berücksichtigt werden):

- TBM
- TBM + TBM
- TBM + SPV
- SPV + Schirmvortrieb
- Schirmvortrieb + TBM
- Schirmvortrieb + TBM + TBM
- Kein Vortrieb

(TBM + TBM bedeutet, dass zwei TBMs gleichzeitig im Einsatz waren)

- die Vortriebsbedingungen werden nach der Unterbrechung einer oder mehrerer Vortriebsmethoden aufgrund von Störungen, Wartung, Geologie, Standortferien unterschieden. Diese Differenzierung ermöglicht es, die Antworten der Ausgabedaten (abgeleitet aus den im Datenblatt ColonneDati gewählten Berechnungen) auf der Grundlage mehrerer Faktoren zu bewerten.

Die Wahl der Szenarien erforderte eine langwierige Arbeit an Abertausenden von Daten, um die Pausen, die Gleichzeitigkeit mehrerer Fortschritte, Aktivitäten während der Ferien, größere Wartungsarbeiten usw. zu überprüfen.

I.1.4 Blatt "shtGraphAssist" (Beispiel der Blätter "grfPeriodo" und "grfConfrontoPeriodo")

Dieses Blatt liefert alle Informationen, die für eine zusätzliche graphische Bearbeitung erforderlich sind; derzeit erlaubt das gewählte System die gleichzeitige Anzeige von bis zu drei Parametern für den gewählten Zeitraum (Standardszenario oder andere Zeiträume).

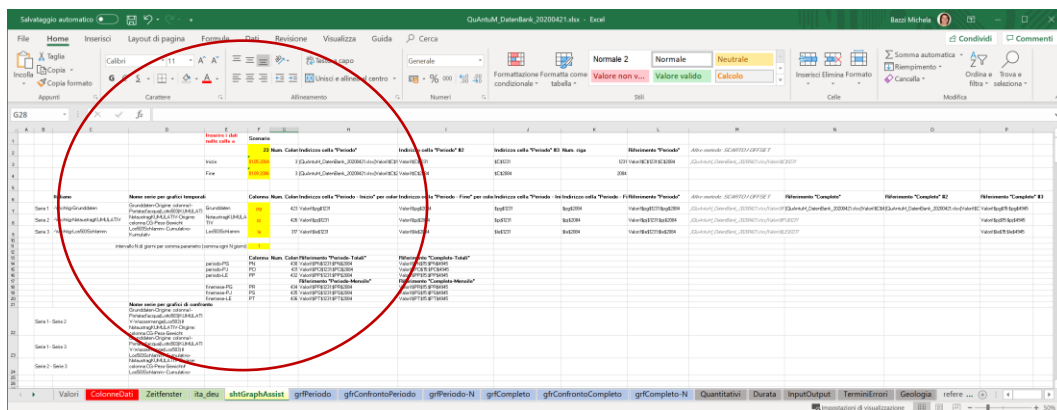


Abb. 8 QuAntuM_Datenbank, Blatt shtGraphAssist

Das Blatt hat eine eher grobe Struktur und enthält noch Zwischenarbeitsschritte, die zur weiteren Verfeinerung verfügbar bleiben, ansonsten aber ignoriert werden können.

Der wichtige Teil des Blattes ist eingekreist und wird im Folgenden erläutert:

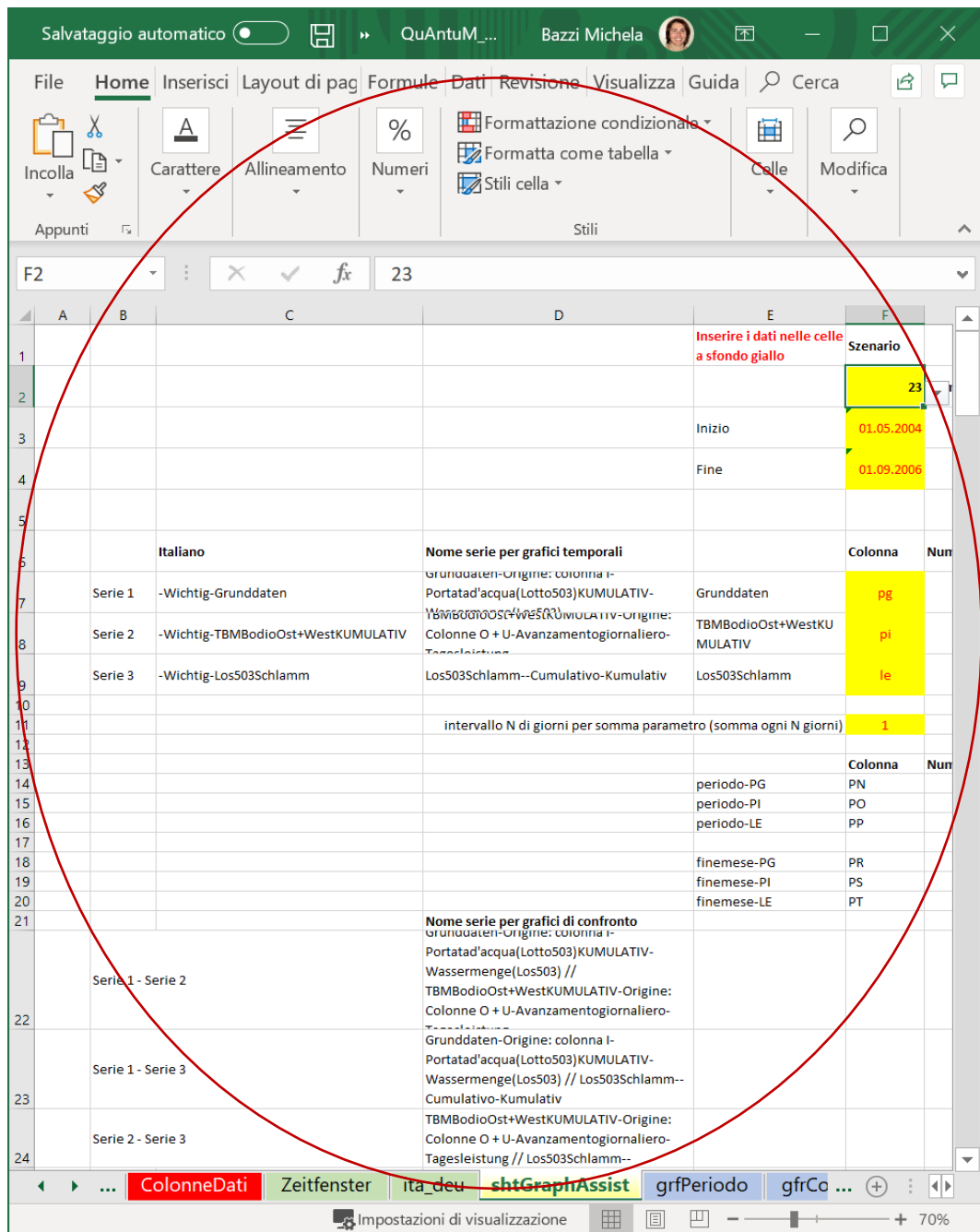


Abb. 9 QuAntuM_Datenbank, Blatt shtGraphAssist, Benutzerauswahl Detail

Die gelb unterlegten Zellen müssen mit dem Anfangs- und Enddatum des Analysezeitraums (oder sie werden automatisch entsprechend der Wahl des Standardszenarios gefüllt) sowie mit dem Spaltencode des Parameters gefüllt werden, der angezeigt werden soll.

Der Benutzer kann das Szenario auswählen, indem er die Nummer (Verweis auf das Blatt "Zeitfenster") in Zelle F2 eingibt. Die Zellen F3 und F4 melden automatisch den Beginn und das Ende des gewählten Zeitraums.

Danach wählt der Benutzer die drei Parameter, die er auswerten möchte, indem er in die Zellen F7, F8, F9 den Wortlaut der entsprechenden Spalte einfügt (die sowohl im Blatt "Valori" als auch im Blatt "ColonneDati" zu finden ist). Die entsprechenden Einträge erscheinen automatisch in den Zellen C7:D9, so dass eine sofortige Kontrolle der korrekten Parameterwahl möglich ist.

Darüber hinaus ermöglicht Zelle F11 dem Benutzer, ein Datengruppierungsintervall aus der Datenbank auszuwählen: in einer Datenbank mit täglichen Daten bedeutet der Wert 1 "Werte sollten jeden Tag genommen werden", der Wert 5 "Werte sollten alle 5 Tage genommen werden". Dies kann für den Benutzer, der z.B. wöchentliche (N=7) oder vierzehntägliche (N=15) Trends sehen möchte, von einigem Nutzen sein.

Im gezeigten Fall wurden z.B. die drei kumulativen Parameter Wasserdurchfluss (Spalte "PG"), Vorlaufzähler (Spalte "PI") und Tonnen Schlamm aus der Wasseraufbereitungsanlage (Spalte "LE") gewählt.

Die Anfragen des Benutzers werden automatisch in den Blättern verarbeitet, die für verschiedene grafische Darstellungen vorbereitet sind, wie unten mit Bezug auf das Blatt "grfrPeriod" illustriert:

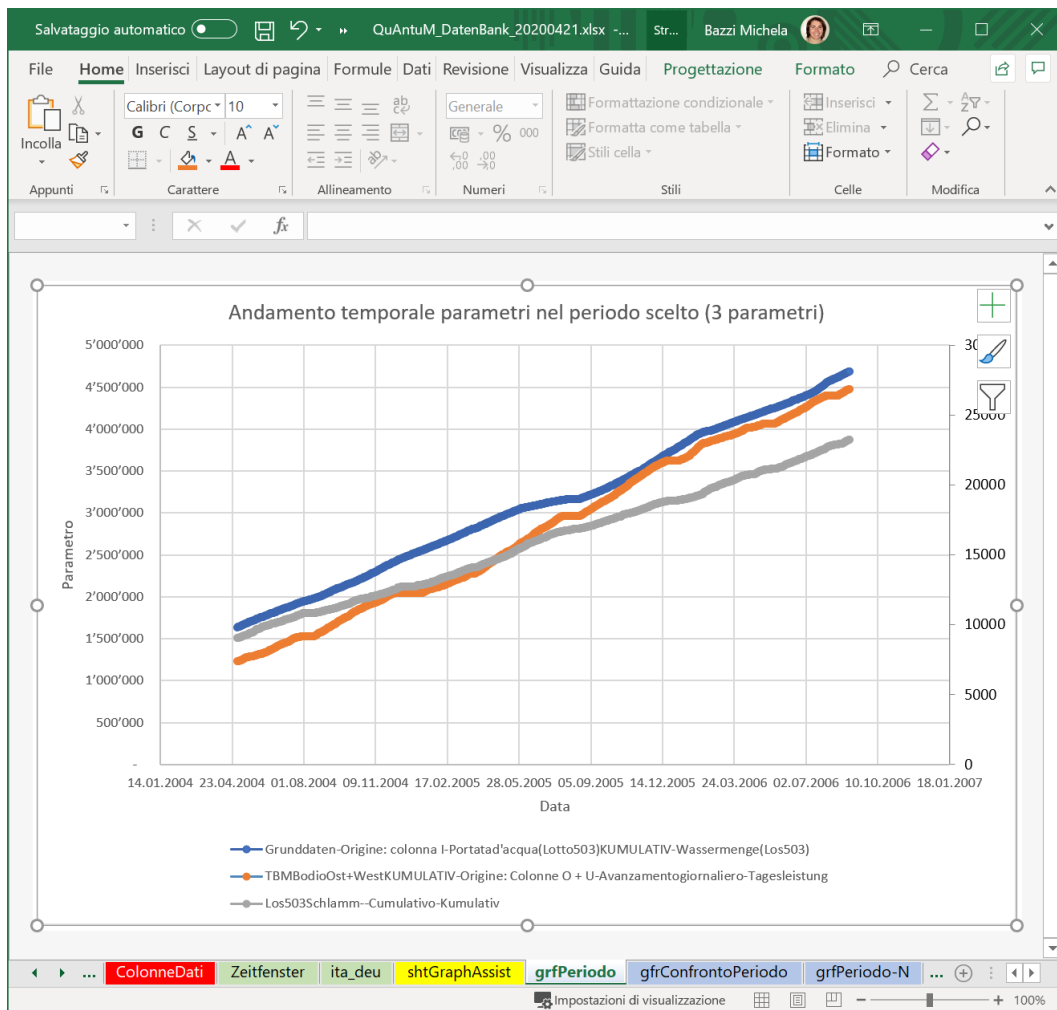


Abb. 10 QuAntuM_Datenbank, Blatt grfrPeriodo

Der Verlauf dieser drei Parameter wird automatisch im Blatt "grfrPeriodo" angezeigt, wo zwei vertikale kartesische Achsen gezeigt werden, um mögliche unterschiedliche Skalen der Werte zu vergleichen (im konkreten Fall konkurriert die linke vertikale Achse, die alle 500'000 abgestuft ist, mit Wasser, während sich die rechte vertikale Achse, die alle 5000 abgestuft ist, auf den Vortrieb und die Tonnen Schlamm bezieht).

Die Anzeige des Verlaufs der Werte auf den kartesischen Achsen ermöglicht zum Beispiel die Untersuchung oder Überprüfung einer möglichen Korrelation zwischen mehreren Parametern.

Dieses zusätzliche Werkzeug ist dank der bereits voreingestellten Blätter möglich, z.B. das Blatt "grfConfrontoPeriodo", dass die Korrelation in Parameterpaaren zwischen den drei im Blatt "shtGraphAssist" gewählten Parametern anzeigt:

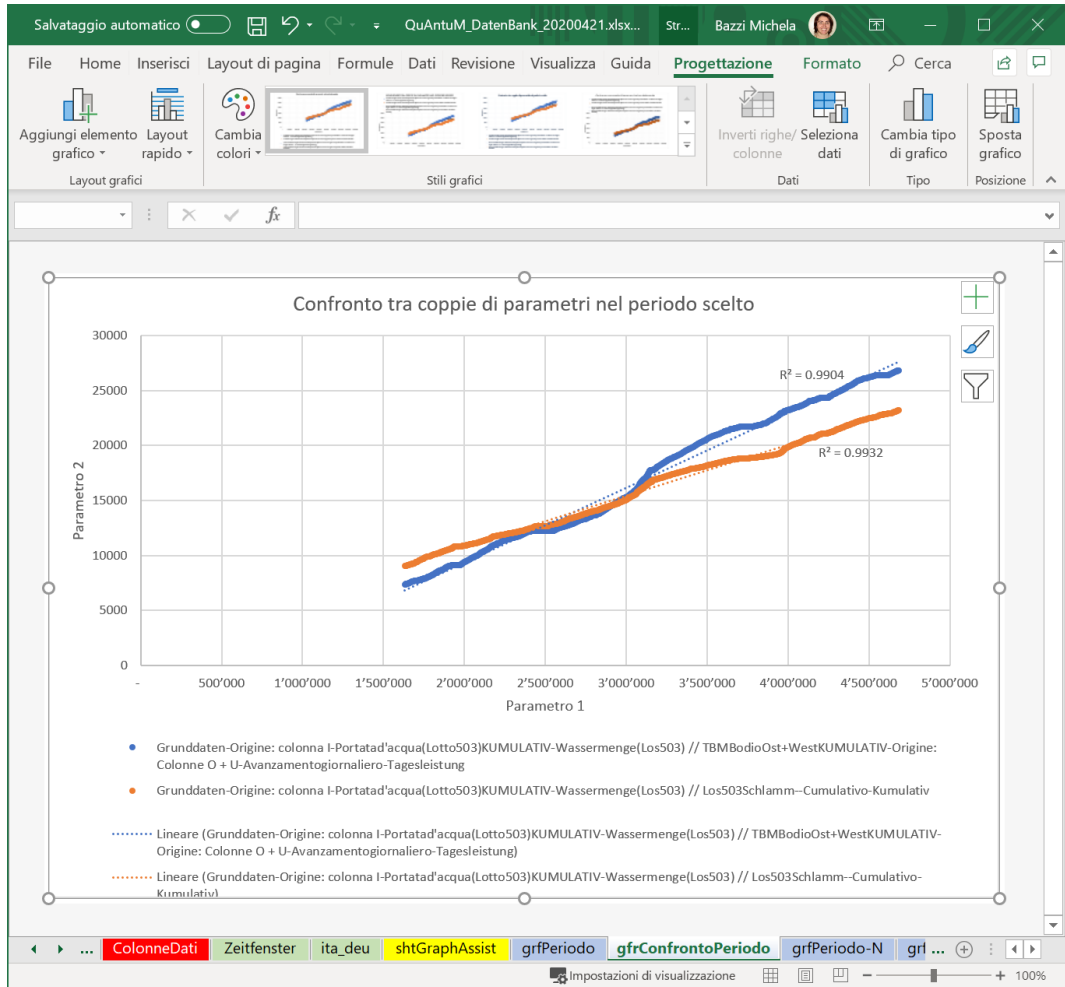


Abb. 11 QuAntuM_Datenbank, Blatt grfConfrontoPeriodo

II QuAntuM_BerechnungsTool

Das elektronische Dokument «Quantum_BerechnungsTool.xlsx» steht dem Leser auf der MobilityPlatform zur Verfügung.

Zusammen mit dem Arbeitsinstrument der QuAntuM-Datenbank (Anhang I), forderte die Begleitkommission die Forschungsstelle auf, ein einfaches Berechnungstool vorzuschlagen, das eine zusammenfassende Bewertung der zu erwartenden Rückstandsmengen auf der Grundlage der Vortriebsmethode ermöglichen würde.

Durch die Einführung einiger grundlegender Projektparameter und der Vortriebsmethode in das Tool ist es möglich, sich eine Vorstellung von den verschiedenen Arten der zu erwartenden Rückstände zu machen.

Der Benutzer kann die gelben Zellen des Arbeitsblatts wie folgt ausfüllen:

- Projektname: fakultatives Feld.
- Vortriebsmethode: erforderliches Feld, mit Aufklappmenü.
- Theoretischer Ausbruch (t): erforderliches Feld.
- Verwertungen nach VVEA, Art.19: Dabei handelt es sich um vier Zellen, von denen die erste dem Benutzer nicht zur Verfügung steht, da sie die Summe der Prozentsätze von Verwertung und Rückständen (ausser Betonschlämme) bei 100% anzeigt.
- Rückständekosten (CHF/t): Für jede Rückständetypologie kann der Benutzer die Kosten pro Tonne eingeben, so dass er auch eine Schätzung der Kosten für die Verwaltung der gesamten Rückstände erhält, aufgeteilt in solche, die verwertet werden können und solche, die entsorgt werden müssen.

Das nächste Bild zeigt, wie das Berechnungsinstrument für den Benutzer aussieht.

1686 | QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials_bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge_der belasteten Rückstände

Bitte, füllen Sie die gelben Zellen!				Bundesamt für Strassen (ASTRA)						
Qualität und Menge der Rückstände nach der Vortriebsmethode (TBM oder SPV)				AGT 2017/001 Projekt QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände						
QuAntuM-BEISPIEL				Die Forschung QuAntuM liefert den Projektverfasser zusätzliche Elemente zur Bewertung von Vor- und Nachteilen der beiden Ausbruchverfahren (TBM- und Sprengvortrieb).						
Vortriebsmethode		SPV		Das QuAntuM_BerechnungsTool erhebt nicht den Anspruch, eine neue Praxis der Bewirtschaftung der verschiedenen Rückstände einzuführen. Es zeigt jedoch Ergebnisse aufgrund zuverlässiger statistischer Stichproben, deren Werte deutliche Tendenzen aufweisen.						
		Ausbruchmenge [t] <i>(Bemerkung: 1 m³ = 2.7 t)</i>		Damit leistet es einen Beitrag zur Optimierung der Materialflüsse und damit zur Einsparung von Zeit und von Kosten. Für die Erläuterungen der Randbedingungen und getroffenen Annahmen wird auf die Forschung QuAntuM verwiesen.						
Ausbruchmaterial		3'446'808.60		Bemerkung: in der vorliegenden Arbeit werden das Überprofil und die überschüsse von extern zugeführten Baustoffen als Prozentsatz des theoretischen Ausbruchs ausgedrückt. Falls erforderlich, wenden Sie sich bitte an die Forschungsstelle (E-Mail: michela.bazzi@ombardit.group)						
Theoretischer Ausbruch (im Fels)		3'000'000.00								
Überprofil (Prozentsatz des Theoretischen Ausbruchs): 17% mit SPV, 0.1% mit TBM		434'042.60								
Überschüsse von extern zugeführte Baustoffen: 0.9% mit TBM und SPV		12'766.00								
Verwertung nach VVEA, Art.19 Auszub- und Ausbruchmaterial										
		vom Projekt vorgesehener Prozentsatz des Ausbruchmaterials		Menge [t]		Bestimmungsort				
a. als Baustoff auf Baustelle oder Deponien =100-(b. +c. +d. + Rückstände ausser Betonschlämme)		20.2%		694'531.93		Endlager oder Dammschüttungen				
b. als Rohstoff für die Herstellung von Baustoffen		25%		861'702.15		Betonanlage (Aufbereitungsanlage)				
c. für die Wiederauffüllungen von Materialentnahmestelle		25%		861'702.15		Endlager oder Dammschüttungen				
d. für bewilligte Terrainveränderungen		20%		689'361.72		Endlager oder Dammschüttungen				
Erwartete Qualität der Rückstände										
Rückständetypologien	Anteil der Rückstände (t) / Ausbruchmaterial (t) [%]	Menge der Rückstände [t]	Kosten [CHF / t]	Kosten [CHF]	KW C10-C40 [mg/kg]	CrVI Feststoff [mg/kg]	Nitrit im Eluat [mg/l]	pH-Wert [-]	Wassergehalt [%]	Entscheidung
1. Gepresste MAB-Schlämme Schlämme von der Materialbewirtschaftungsanlage	2.0%	68'936	CHF 200.00	CHF 13'787'234.40	< 500	> 0.02 (abhängig von Trennung des Rückprallbeton)	0.1 - 1.0 (tendenzziel 1.0 mit mit erheblichen Überschreitungen)	-11 (abhängig vom Rückprall)	< 30	Entsorgung
2. Überschüssiges Material von MAB	4.3%	146'489	CHF 10.00	CHF 1'464'893.66	< 50 (Qualität des Ausbruchmaterials, tendenzziel zu höheren Werten im kleineren Teil.)	0.05 - 0.1 (Qualität des Ausbruchmaterials)	0.1 - 1.0 (tendenzziel 1.0 mit mit erheblichen Überschreitungen)	10.5 - 11.0 (mögliche unterste Zementreste)	Parameter nicht betrachtet	Verwertung
3. Betonschlämme	0.3%	10'340	CHF 50.00	CHF 517'021.29	250 - 2500	> 0.05	zu schwankenden Werte	-12	Parameter nicht bedeutend	Entsorgung
4. Rückprall, Abbruchmaterial, Sohlenreinigung	3.2%	110'298	CHF 50.00	CHF 5'514'893.76	< 500	> 0.05	zu schwankenden Werte	-11 (abhängig vom Rückprall)	Parameter nicht bedeutend	Entsorgung
5. Getrenntes Ausbruchmaterial bei Spezialfällen	0.0%	0	CHF 10.00	CHF 0.00	höchstwahrscheinlich: Qualität des Ausbruchmaterials	höchstwahrscheinlich: Qualität des Ausbruchmaterials	höchstwahrscheinlich: Qualität des Ausbruchmaterials	höchstwahrscheinlich: Qualität des Ausbruchmaterials	Parameter nicht bedeutend	Verwertung
6. Gepresste TWA-Schlämme Schlämme von der Tunnelwasseraufbereitungsanlage	0.4%	13'787	CHF 250.00	CHF 3'446'808.60	> 500 (tendenzziel < 500, keine Umfälle beim Felsausbruch)	> 0.05	0.1 - 1.0 (tendenzziel 1.0 mit mit erheblichen Überschreitungen)	-11	> 40	Entsorgung
Gesamtrückstände (1+2+3+4+5+6) / Ausbruchmaterial	10.2%	349'851		CHF 24'730'851.71						
Qualität der Rückstände	Anteil der Rückstände (t) / Ausbruchmaterial (t)	Menge der Rückstände (t)	Kostenschätzung (CHF)	Gesamtbetrag (CHF)						
Verwertung der Rückstände	4.3%	146'489	CHF 1'464'893.66	CHF 24'730'851.71						
Entsorgung der Rückstände	5.9%	203'362	CHF 23'265'958.05							
Verwertung + Entsorgung	10.2%									

Abb.23 QuAntuM_BerechnungsTool

Glossar

Begriff	Bedeutung
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAV	Bundesamt für Verkehr
UFAM	Bundesamt für Umwelt
FOKO	Forschungskommission
BK	Begleitkommission
ATG	AlpTransit Gotthard
FGU	Fachgruppe für Untertagbau
CBT	Ceneri-Basistunnel
CR VI	Sechwertiges Chrom
GBT	Gotthard-Basistunnel
KW _{C10-C40}	Kohlenwasserstoff-Index (KW-Index)
MAB	Materialbewirtschaftungsanlage
NEAT	Neue Eisenbahn-Alpentransversale
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN	Schweizer Norm
SPV	Sprengvortrieb
TBM	Tunnelbohrmaschine
TS	Trockensubstanz oder Trockenmasse
TWA	Tunnelwasserbehandlungsanlage
UVB	Umweltverträglichkeitsberichte
VSS	Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute)
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1966), „**Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)**“, SR 451, www.admin.ch.
- [2] Schweizerische Eidgenossenschaft (1979) „**Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG)**“, SR 700, www.admin.ch.
- [3] Schweizerische Eidgenossenschaft (1991), „ **Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG)**“, SR 814.20, www.admin.ch.

Verordnungen

- [4] Schweizerische Eidgenossenschaft (2015), „**Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)**“, SR 814.600, www.admin.ch.
- [5] Schweizerische Eidgenossenschaft (1991), « **Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV)** », SR 451.1, www.admin.ch.
- [6] Schweizerische Eidgenossenschaft (2008), „**Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA)**“, SR 814.681, www.admin.ch.
- [7] Schweizerische Eidgenossenschaft (1988), „**Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV)**“, SR 814.011, www.admin.ch.
- [8] Schweizerische Eidgenossenschaft (1998), „ **Verordnung über Belastungen des Bodens**“, SR 814.12, www.admin.ch.
- [9] Schweizerische Eidgenossenschaft (1998), „ **Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV)**“, SR 814.680, www.admin.ch.
- [10] Schweizerische Eidgenossenschaft (2005), „ **Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA)**“, SR 814.610, www.admin.ch.
- [11] Schweizerische Eidgenossenschaft (1998), „ **Gewässerschutzverordnung (GSchV)**“, SR 814.201, www.admin.ch.
- [12] Schweizerische Eidgenossenschaft (2002), „ **Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR)**“, SR 741.621, www.admin.ch.

Weisungen und Richtlinien

- [13] Bundesamt für Umwelt BAFU (2006), „**Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle**“, UV-0631-D, www.admin.ch.
- [14] Bundesamt für Umwelt BAFU (2004), „**Wegleitung Grundwasserschutz**“, UV-2508-D, www.admin.ch.
- [15] Bundesamt für Umwelt BAFU (2004), „**Abfall- und Materialbewirtschaftung bei UVP-pflichtigen und nicht UVP-pflichtigen Projekten**“, UV-3009-D, www.admin.ch.
- [16] Bundesamt für Umwelt BAFU (2017), „**Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich**“, UV-1715-D, www.admin.ch.

Dokumentation

- [17] IG GBTS, öBL Bodio/Faido, S. Pedrazzini (2015), „**Schlussbericht der örtlichen Bauleitung TA Bodio und Faido, Gotthard Basistunnel, AlpTransit Gotthard**“
- [18] IG GBTS, UBB Bodio, M. Bazzi, D. Moro (2016), „**Umweltschlussbericht, Baustelle Bodio-Pollegio, Bauleitung TA Bodio und Faido, Gotthard Basistunnel, AlpTransit Gotthard**“
- [19] IG GBTS, öBL Bodio/Faido, UBB Bodio/Faido (1999-2016) : „**Vortriebsdaten, Protokolle, Umwelt-Audit mit BAFU und BAV, Analysenberichte, Entsorgungsberichte, Monatsberichte, Umweltberichte, Ausmassprotokolle, Archivadokumente**“
- [20] FGU Fachgruppe für Untertagbau (2016), „**Inventar schweizer Grossprojekt herausgegeben**“, Editoren: Pierre Michel, François Bertholet, Matthias Neuenschwander, Christophe Carron

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 31.08.2020

Grunddaten

Projekt-Nr.: AGT 2017/001

Projekttitel: QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände

Enddatum: 31.08.2020

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials von Untertagebauten hat in der Regel erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt. Diese Auswirkungen sind schwierig zu minimieren, weil das Ausbruchmaterial nach dem Verlassen der Baustelle einen neuen Bestimmungsort braucht, und zwar möglichst mit einer positiven Umweltbilanz. Der Raum für Lagerstätten wird in der Schweiz immer rarer, und die damit verbundenen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Schwierigkeiten immer grösser. Ausserdem beeinflussen die Vortriebsmethoden die Qualität und die Menge der Rückstände des Ausbruchmaterials, was bei der Planung nicht immer ausreichend berücksichtigt werden kann.

Die Wahl der Vortriebsmethode beruht auf verschiedenen Kriterien, so unter anderem den Eigenschaften des Bauwerkes, der Geologie, den erwarteten Schwierigkeiten beim Ausbruch, den hydrogeologischen Bedingungen, den angestrebten Vortriebsleistungen und dem Transportsystem. Fast nie wird die Wahl der Vortriebsmethode durch die Art und Menge der Rückstände des Ausbruchmaterials beeinflusst. Mit "Rückstand" ist ein unerwünschter Rest zu verstehen, unabhängig vom Grad der Verschmutzung.

Rückstände sind allerdings unvermeidlich. Ihre Menge ist wesentlich und ihre Qualität reicht von unverschmutzt bis zu einer Verschmutzung, die den Grenzwert für eine Deponie des Typs E übersteigt. Die damit verbundenen Ungenauigkeiten und Fehler in der Prognose verursachen in der Ausführungsphase oft unerwartete und schwerwiegende Folgen für Kosten und Umwelt.

Mit Ausnahme besonderer Vortriebe (wie zum Beispiel Jetting- oder Rohrschirmvortriebe), die in dieser Forschung nicht berücksichtigt sind, bei denen grosse Mengen an Zusatzmitteln für den Ausbruch gebraucht werden, wurde das Ausbruchmaterial bis anhin für gewöhnlich ohne analytische Prüfung bewirtschaftet, mit der stillschweigenden Voraussetzung dass es die Eigenschaften aufweist, die eine Verwertung nach Art. 19 der VVEA erlauben.

Heutzutage kann aus technischen und finanziellen Gründen das Ausbruchmaterial nicht kontinuierlich und systematisch analysiert werden. Dies gilt aber nicht für den Grossteil der Rückstände des Ausbruchmaterials, die untersucht werden müssen, um festzustellen ob sie verwertbar sind oder zu entsorgen sind.

Die Analytik muss verantwortungsbewusst erfolgen: einerseits besteht die Gefahr, wichtige Verschmutzungen zu übersehen, andererseits sind wahrscheinlich viele teure Analysen der Rückstände überflüssig, weil die Ergebnisse aufgrund der Ausbruchmethode und der Randbedingungen auch ohne Analyse ausreichend genau vorhergesehen werden könnten.

Die Forschung QuAntuM bewegt sich in diesem heiklen und unsicheren Umfeld und beantwortet folgende Fragen:

- Welche und wie viele Rückstände werden auf einer unterirdischen Baustelle mit TBM- oder Sprengvortrieb erzeugt?
- Welche Parameter sind für die Rückstände charakteristisch, und welche Werte können sie haben?
- Lassen sich die Qualität und die Menge gewisser Rückstände auf die vermutete Qualität des Ausgangsmaterials zurückführen?

Die Untersuchung identifiziert die Menge und die Qualität folgender sechs Arten von Rückständen:

1. Gepresste Schlämme aus der Materialaufbereitungsanlage (MAB-Schlämme).
2. Überschüssiges Material von MAB.
3. Betonschlämme.
4. Rückprall, Abbruchmaterial. Sohlenreinigung.
5. Separates Ausbruchmaterial bei Spezialfällen.
6. Gepresste Schlämme aus der Industrie- und Bergwasseraufbereitungsanlage (TWA-Schlämme).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die Forschung QuAntuM identifiziert die wichtigsten Arten der Rückstände von Ausbruchmaterial und schätzt deren Menge und Qualität ab. Ausserdem befasst sie sich genauer mit dem Fall der Verwendung von Ausbruchmaterial für die Gewinnung von Gesteinskörnungen für Beton. Dabei beschränkt sie sich auf Ausbrüche im Fels mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) und mit Sprengstoff und befasst sich nicht mit geogenen Verschmutzungen. Die Forschung QuAntuM hat ausserdem ein funktionelles Tool zur Sammlung, Berechnung, Vorhersage und Auswertung von Daten im Bereich der Materialbewirtschaftung aufgebaut und stellt es zur Verfügung. Es besteht die Möglichkeit, die Funktionalität des Instruments auf andere Parameter und wahrscheinlich auch auf andere Sektoren (insbesondere Geologie, Hydrogeologie, Gewässerschutz) auszudehnen. Ausserdem weist die Forschung nach, dass bei Vortrieben im Normalfall der Verzicht auf eine systematische Charakterisierung des Ausbruchmaterials gerechtfertigt ist. Gleichzeitig liefert QuAntuM den Projektverfasser zusätzliche Elemente zur Bewertung von Vor- und Nachteilen der beiden Ausbruchverfahren (TBM- und Sprengvortrieb). Schliesslich stellt QuAntuM den Projektverantwortlichen ein einfaches Tool zur Prognose der vorzusehenden Mengen und Arten von Rückständen zur Verfügung.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Forschung erhebt nicht den Anspruch, eine neue Praxis der Bewirtschaftung der verschiedenen Rückstände einzuführen. Sie zeigt jedoch Ergebnisse aufgrund zuverlässiger statistischer Stichproben, deren Werte deutliche Tendenzen aufweisen. Damit leistet sie einen Beitrag zur Optimierung der Materialflüsse und damit zur Einsparung von Zeit und von Kosten. QuAntuM stellt für zukünftige Arbeiten ein funktionelles Arbeitsinstrument zur Sammlung, Berechnung und Auswertung von Daten im Bereich der Materialbewirtschaftung zur Verfügung, mit der Möglichkeit, die Funktionalität des Arbeitsinstruments auf andere Parameter und wahrscheinlich auch auf andere Sektoren (insbesondere Geologie, Hydrogeologie, Umweltwassersektor) auszudehnen. Zur Vertiefung der untersuchten Themen und zur Erweiterung der betrachteten Felder werden folgende weitere Untersuchungen empfohlen:

- Vergleich der chemischen Eigenschaften der Rückstände mit den Ergebnissen der Analysen am Tunnelwasser;
- Zusammenhang zwischen geotechnischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials, dessen Verwertbarkeit und der daraus entstehenden Rückstände (Menge und Qualität);
- Zusammenhang zwischen Korngrösse des Materials (inkl. Rückstände) und Verteilung des Gehalts an Stickstoff- und Kohlenwasserstoffverbindungen;
- Zusammenhang zwischen dem Tongehalt des Ausgangsgesteins und dem Wassergehalt der Rückstände.

Publikationen:

M. Bazzi Pedrazzini, P. Lanfranchi, M. Neuenschwander (2020): "QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände", Forschungsprojekt AGT 2017/001 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT), Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bazzi Pedrazzini

Vorname: Michela

Amt, Firma, Institut: Lombardi SA, Giubiasco

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Im Forschungsbericht «Quantum» wurden umfangreiche Datenmengen bearbeitet mit dem Ziel, Antworten auf zwei Fragen zu geben:

- 1) Welchen Einfluss hat die Vortriebsmethode auf die Qualität des Ausbruchmaterials, und zwar hinsichtlich der chemischen und geophysikalischen Eigenschaften sowie dem Anfall von Rückständen.
- 2) Kann man aus den Rückständen auf die Qualität des Ausbruchmaterials schliessen?

Der Bericht beruht auf Daten aus den Projekten des Gotthard- und Ceneri-Basistunnels über einen Zeitraum von 16 bzw. 10 Jahren. Eine grosse Arbeit bestand darin, die verfügbaren, oft zu verschiedenen Zwecken erhobenen Daten, zu homogenisieren und zu validieren. Es wurde ein dynamisches Modell entwickelt, um die Daten zu bewirtschaften. Auf der Basis von Szenarien entstanden Extrapolationen, die anschliessend visualisiert wurden.

Die Arbeit leistet einen wichtigen Beitrag zur Beurteilung der Vortriebsmethode hinsichtlich der entstehenden Rückstände und des Verschmutzungsgrades des Ausbruchmaterials.

Umsetzung:

Für neue Tunnelprojekte ermöglicht diese Forschungsarbeit durch den Vergleich mit der entwickelten Datenbank und den Analyseinstrumenten, für die Materialflüsse und deren Verschmutzungsgrade je nach Art der vorgesehenen Vortriebsmethode sehr früh in den Projektphasen zufriedenstellende Schätzungen anzustellen. Damit ergibt sich ein zusätzliches Element zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit der möglichen Vortriebsmethode (SPV / TBM).

weitergehender Forschungsbedarf:

Keine.

Einfluss auf Normenwerk:

Eine Interaktion der Ergebnisse mit der VVEA-Vollzugshilfe könnte ins Auge gefasst werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Carron

Vorname: Christophe

Amt, Firma, Institut: PRA Ingénieurs Conseils SA, Sion

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Arbeitshilfen, Formulare, Merkblätter --> Formulare*) heruntergeladen werden.