

Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Evaluation der Methodik „Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten“ in Bezug auf Aussagekraft und Nutzen für den Vortrieb

Evaluation de la méthode « Prédiction indirecte de zones de venue d'eau au moyen de données de température » en fonction des besoins des excavations de tunnel

Evaluation of the method "Indirect prediction ahead of water bearing zones with temperature data" with respect to the needs of the tunnel excavation

Schlussbericht

Forschungsprojekt-Nr.: FGU2003-003

ITRD Nr.: 54 Tunnelbau

Thomas Mégel, Dr. sc. nat. ETH

Thomas Kohl, Dr. sc. nat. ETH

Ladislaus Rybach, Prof. Dr. Ing. ETH

Simone Bassetti, dipl. Natw. ETH

Sarah Signorelli, Dr. sc. nat. ETH



S W I S S
G E O T H E R M A L
E X P E R T
G R O U P

GEOWATT AG
Dohlenweg 28
CH-8050 Zürich

Tel +41 (0) 44 242 14 54
Fax +41 (0) 44 242 14 58
info@geowatt.ch
www.geowatt.ch

GEOTHERMAL ENERGY

HYDROGEOLOGY

ENGINEERING

NUMERICS



Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
BEZEICHNUNGEN	2
ZUSAMMENFASSUNG	3
RÉSUMÉ	5
SUMMARY	7
1 EINFÜHRUNG	9
1.1 Die Felstemperatur als Parameter der Vorauserkundung	9
1.2 Die Methodik „Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten“	13
2 ZIELSETZUNGEN DES PROJEKTS	16
3 METHODIK DER EVALUATION	17
3.1 Das 3D-FE-Gebirgsmodell	17
3.2 Das 2D-FE Tunnelzuflussmodell	19
3.3 Der Lokalmodell-Generator	20
3.4 Verwendeter Satz von Störzonen-Modellen	22
4 RESULTATE	25
4.1 Definition der Parameter des 3D-FE-Gebirgsmodells	25
4.2 Definition der effektiven Störzonen im 3D-FE-Gebirgsmodell für die Evaluation der Methodik	26
I Die 3 untersuchten Störzonentypen	26
II Einfluss der Störzonen auf die Tunneltemperatur	29
4.3 Bestimmbarkeit von vortriebsrelevanten Parametern von wasserführenden Störzonen mittels Tunnelfelstemperaturen	31
I Störzonentyp a, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s (Anhang 4-1)	33
II Störzonentyp a, $Q_{\text{eff}}=100$ l/s (Anhang 4-2)	37
III Störzonentyp b, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s, (Anhang 4-3)	41
IV Störzonentyp b, $Q_{\text{eff}}=100$ l/s, (Anhang 4-4)	45
V Störzonentyp c, keine Durchörterung ($Q_{\text{eff}}=0$ l/s, Anhang 4-5)	49
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN	53
5.1 Projektzielsetzungen	53
5.2 Anwendung der Methodik	56
5.3 Weiteres Vorgehen	57
REFERENZEN	58

Bezeichnungen

T_K °C Kalibrationstemperatur:
Rein konduktiv berechnete Temperatur im 3D-FE-Gebirgsmodell

Effektive, in der Praxis teils messbare Grössen:

T_{eff} °C Effektive Tunneltemperatur:
Im vorgetriebenen Tunnel gemessene Felstemperatur bis zur Ortsbrust

Q_{eff} l/s Effektive Schüttungsrate:
Totale initiale Schüttungsrate nach Durchörterung der effektiven Störzone,
nach Abklingen des Speichereffektes, aber bei noch unverändertem
Bergwasserspiegel

P_{eff} bar Initialer Wasserdruck in effektiver Störzone auf Tunnelniveau

V_{eff} m³ Volumen der effektiven Störzone oberhalb des Tunnelniveaus

$V_{eff,5\%}$ m³ Oberhalb des Tunnelniveaus gespeichertes Wasservolumen der effektiven
Störzone bei 5% Porosität

Im automatischen Lokalmodell-Generator berechnete Prognosewerte für die verschiedenen
Variationen von angenommenen Störzonen:

T_P °C Prognosetemperatur:
Prognostizierte Tunneltemperatur auf Grund einer angenommenen
Störzone

Q_P l/s Prognostizierte initiale Schüttungsrate nach Durchörterung einer
angenommenen Störzone, nach Abklingen des Speichereffektes, aber bei
noch unverändertem Bergwasserspiegel

P_P bar Prognostizierter initialer Wasserdruck:
Berechneter Initialdruck in einer angenommenen Störzonen auf
Tunnelniveau

V_P m³ Prognostiziertes Volumen einer angenommenen Störzone oberhalb des
Tunnelniveaus

$V_{P,5\%}$ m³ Prognostiziertes Wasservolumen einer angenommenen Störzone bei 5%
Porosität oberhalb des Tunnelniveaus

Zusammenfassung

Stark wasserführende Zonen im Festgestein bergen eine Schadensgefahr eines unvorhergesehenen Wassereinbruchs und gehen zudem oft mit schwachen felsmechanischen Eigenschaften einher. Erfahrungen beim Vortrieb des Lötschberg-Basistunnels zeigen, dass sich grössere Wasserzutritte in den Tunnel durch eine Abweichung der gemessenen Felstemperaturen von prognostizierten Werten ankündigen. Beim Gotthard-Basistunnel wurden beim Vortrieb des Sondierstollens in Richtung der Pioramulde sogar Abweichungen bis 20°C gemessen. Demnach können Vergleiche zwischen gemessenen und prognostizierten Tunneltemperaturen in tiefliegenden Tunnels Hinweise auf Wasserbewegungen im Gebirge geben.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde evaluiert, inwieweit auf Grund von gemessenen Felstemperaturen in tiefliegenden Tunnels Rückschlüsse auf hydrogeologische Szenarien gemacht werden können.

Für einen Tunnelvortrieb sind in erster Linie die Szenarien von wasserführenden Störzonen wichtig, die auch durchörtert werden. Die Methodik der Vorauserkundung mittels Tunneltemperaturen geht daher stets davon aus, dass die gemessenen Felstemperaturen im Tunnel von einer Störzone mit Wasserzirkulationen vor der Ortsbrust beeinflusst sind. Da die räumliche Struktur und die Durchlässigkeit der Störzone für eine gegebene Tunneltemperatur nicht eindeutig ist, müssen für die Interpretation eine Vielzahl von Störzonenmodellen berechnet werden. Alle Störzonenmodelle, deren Prognosetemperatur entlang dem bereits vorgetriebenen Tunnelabschnitt mit den Messwerten übereinstimmen, sind mögliche Szenarien von Wasserführung vor der Ortsbrust.

Die Evaluation erfolgte mit der Methode der Finiten Elemente anhand eines synthetischen Gebirgsmodells, das typische Eigenschaften eines realen Gebirges (Topographie, Druckverteilung, Kenndaten), sowie wasserführende Störzonen aufweist. Mit diesem Gebirgsmodell wurden entlang einer vorgegebenen Tunnelspur die Felstemperaturen berechnet, die in der Realität während des Vortriebs gemessen würden. An drei Positionen eines simulierten Vortriebs wurde anhand der entsprechenden Felstemperaturen im Tunnel die hydraulischen Eigenschaften von möglichen Störzonen vor der Ortsbrust prognostiziert. Die Auswertungen ergaben für jede Position des Vortriebs die Eintreffenswahrscheinlichkeiten von initialen Schüttungsraten, initialen Wasserdrücken und Schüttungsvolumina. Bei der initialen Schüttungsrate handelt es sich um der Wert nach dem Abklingen des Speicher-effektes, aber bei noch unverändertem Bergwasserspiegel.

Die Evaluation der Prognosefähigkeit der Methodik hat folgende Resultate gezeigt:

Prognose der Wasserführung einer Störzone: Störzonen mit einer Wasserführung, die zu initialen Schüttungsraten von über 10 l/s führen, bilden sich in Regionen mit ausgeprägter Topographie mit hoher Wahrscheinlichkeit in einer detektierbaren Temperaturanomalie ab.

Prognose der initialen Schüttungsraten: Die Grössenordnungen der initialen Schüttungsraten (z.Bsp. 10, 50, 100, 200 l/s) nach einer Durchörterung der Störzone lassen sich prognostizieren. Die Berücksichtigung von struktureologischen Kenntnissen kann die Bandbreite der möglichen Szenarien einschränken und die Prognose verbessern.

Prognose des initialen Wasserdrucks: Die initialen Wasserdrücke sind auf $\pm 30\%$ prognostizierbar, unter der Annahme, dass der Wasserhaushalt des Gebirges durch den Vortrieb noch nicht wesentlich gestört worden ist.

Prognose des Schüttungsvolumens: Die Prognose des Schüttungsvolumens ist mit der grössten Unsicherheit behaftet. Grössenordnungen lassen sich aber angeben, wobei

strukturgeologische Kenntnisse die Prognosen verbessern können.

Prognose der Lage der Störzone vor der Ortsbrust: Sind keine hydrogeologischen Kenntnisse bezüglich der Störzone vorhanden, werden im Allgemeinen zunehmende initiale Schüttungsraten mit zunehmender Distanz vor der Ortsbrust prognostiziert. Umgekehrt lässt sich die Lage der Störzone vor der Ortsbrust bei hydrogeologischen Kenntnissen eingrenzen.

Prognose der Mächtigkeit der Störzone: Mächtigkeit und hydraulische Leitfähigkeit einer Störzone verhalten sich reziprok. Aus einer gemessenen Tunneltemperatur lassen sich daher nur totale initiale Schüttungsraten prognostizieren.

Prognosegeschwindigkeit: Da die Generierung von lokalen 3D-FE-Störzonenmodellen innerhalb definierbarer Variationsbereiche komplett automatisiert werden konnte, stehen die Resultate von Hunderten von Störzonenmodellen innerhalb kurzer Frist für die Interpretation zur Verfügung.

Aufgrund dieser theoretischen Evaluation lässt sich feststellen, dass die Methodik „Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten“ für den Tunnelbau vielversprechend ist. Die Methodik ist für einen ersten Test in der Praxis bereit.

Résumé

Des zones avec une forte perméabilité au sein d'un massif rocheux constituent un risque élevé, suite à des venues d'eau imprévisibles et souvent accompagnées de roches avec de faibles propriétés mécaniques. Les expériences, faites au cours du creusement du tunnel de base du Lötschberg, montrent que des fortes arrivées d'eau dans le tunnel se traduisent par une déviation du champ de la température mesurée par rapport aux valeurs prévues. Au tunnel de base du Gotthard, lors du creusement des galeries de sondages en direction de la zone de Piora, des écarts allant jusqu'à 20°C ont été mesurés. En conséquence, la comparaison entre les températures mesurées dans le tunnel et celles prévues, fournit une indication utile sur la circulation des eaux au sein du massif pour le creusement des tunnels profonds.

Dans le cadre de ce projet de recherche, il s'agit d'évaluer dans quelle mesure, des scénarios hydrogéologiques peuvent être déduits, à partir de la température de la roche mesurée dans des tunnels profonds.

Dans le contexte du creusement d'un tunnel, ce sont avant tout les scénarios de prévision portant sur les zones de venues d'eau et leur emplacement, qui comptent. La méthode de reconnaissance à l'avance grâce à la température du tunnel, est basée sur l'hypothèse que, les températures mesurées dans la roche seront influencées par la présence d'une zone de faille avec des circulations d'eau à l'avant du front de taille. Comme la structure spatiale et la perméabilité d'une zone de faille, pour une température de tunnel donnée, n'est pas sans ambiguïté, il est nécessaire pour l'interprétation de calculer plusieurs modèles de zones de failles. Tous les modèles de zone de failles, dont la température pronostiquée le long de la section du tunnel déjà creusée correspond avec les valeurs mesurées, sont des scénarios possibles de venues d'eau devant le front de taille.

L'évaluation est effectuée avec la méthode des éléments finis en s'appuyant sur un modèle du massif synthétique, comportant des propriétés typiques d'un massif réel (topographie, répartition des pressions, données caractéristiques), ainsi que des zones de failles conductrices. Avec ce modèle du massif, les températures de la roche sont calculées le long d'un tracé du tunnel donné, ces températures, dans la réalité, seront mesurées pendant le creusement. Pour trois positions, une excavation simulée permet une prévision, au moyen de la température du tunnel correspondante, des propriétés hydrauliques d'une zone de faille potentielle devant le front de taille. L'examen des données pour chaque position de l'excavation fournit les probabilités de réalisation des débits, des pressions hydrauliques et des débits volumiques.

L'évaluation de la capacité prédictive de la méthode a montré les résultats suivants:

Prévision des venues d'eau d'une zone de faille: des zones de faille, avec des venues d'eau avec des débits supérieurs à 10 l/s, se produisent dans des régions caractérisées par une topographie marquée et avec une grande probabilité d'anomalie de température détectable

Prévision des débits en état stable: l'ordre de grandeur des débits dans un état stable après la pénétration d'une zone de faille (par exemple 10, 50, 100 et 200 l/s)...peut être prévu. La prise en compte des structures géologiques connues permet de diminuer le nombre de scénarios possibles et d'améliorer ainsi la prévision.

Prévision de la pression hydraulique initiale: les pressions hydrauliques initiales sont prévisibles avec plus ou moins 30% d'erreur, en supposant que les ressources hydrologiques du massif n'ont pas encore été perturbées sensiblement par le creusement du tunnel.

Prévision du débit volumique: la prévision des débits volumiques est chargée d'une grande incertitude. Des ordres de grandeur peuvent être indiqués, cette prévision peut être améliorée par la connaissance des structures géologiques.

Prévision de l'emplacement de la zone de faille à l'avant du front de taille: si aucune information hydrogéologique concernant la zone de faille n'est disponible, les débits seront prévus en général comme augmentant au fur et à mesure de l'augmentation de la distance à l'avant du front de taille. Inversement l'emplacement de la zone de faille à l'avant du front de taille peut être délimité par des connaissances hydrogéologiques.

Prévision de l'épaisseur de la zone de faille: l'épaisseur et la conductivité hydraulique d'une zone de faille se comportent de manière réciproque. C'est pourquoi, à partir des températures du tunnel mesurées, seuls des débits totaux peuvent être prévus.

Rapidité de prévision: comme les modèles locaux de zone de failles 3D-FE peuvent être générés de manière totalement automatique au sein d'un domaine de variation défini, les résultats de centaines de modèles de zone de faille peuvent être disponibles pour l'interprétation dans un délai de temps très court.

Sur la base de cette évaluation théorique, il est possible d'établir que la méthode de „prédiction indirecte de zones de venues d'eau au moyen de données de température“ est prometteuse pour les chantiers de tunnels. La méthode est ainsi prête à être mise en pratique.

Summary

In tunnelling water bearing zones represent a high risk and often imply weak mechanical properties of the rock. Experiences during the excavation of the Lötschberg base tunnel showed clear indications of major water inflow zones through significant deviations of the measured rock temperatures from forecasted values. During the advance of the investigation system for the Piora syncline of the Gotthard base tunnel even temperature deviations up to 20°C have been measured. Therefore comparisons between measured and forecasted rock temperatures in deep tunnelling may provide indications of water circulation systems in the rock.

In the frame of this research project it has been evaluated to what extend hydrogeological scenarios can be concluded from measured rock temperatures. In tunnelling, especially scenarios of water bearing zones intersecting the tunnel axis are of primary interest. Therefore the method of prediction ahead with temperature data always assumes the measured rock temperatures being influenced by a water bearing zone ahead of the advancing face. Since the spatial structure and the permeability of a water bearing zone is not unique for a given rock temperature in a tunnel a significant number of zone models must be calculated for the interpretation of the measured temperature data. All zone models with a calculated temperature in the tunnel similar to the measured values represent possible hydrogeological scenarios ahead.

The evaluation has been carried out with the Finite Element Method (FEM) on the basis of an artificial mountain model with properties typically observed in reality (topography, pressure distribution, rock characteristics) including water bearing zones. This model was used to calculate the rock temperature along the tunnel axis which would be measured during a real advance. The hydrogeological properties of possible water bearing zones ahead have been forecasted on the basis of the rock temperature for three positions of a simulated advance. For each position the evaluation of the results led to a likelihood for initial inflow rates, initial pressures and water volumes to be expected ahead of the advancing face. The initial inflow rate corresponds to the value after the storage effect has decayed but before the initial water table has started to decrease.

The evaluation of the forecasting capability of the method discussed in this report has shown the following results:

Prediction of the water content of a zone: Water bearing zones producing initial inflow rates of over 10 l/s are likely to be accompanied by detectable temperature anomalies in regions with pronounced topography.

Prediction of initial flow rates: The order of magnitude (e.g. 10, 50, 100, 200 l/s) of the initial inflow rate to be expected can be predicted. Taking into account information about geological structures the range of scenarios can be limited and hence the prediction improved.

Prediction of initial pressures: Initial pressures can be predicted within a range of $\pm 30\%$, assuming the water table has not yet been influenced by excavation.

Prediction of inflow volume: The prediction of the inflow volume to be expected has the highest uncertainty. An order of magnitude can be provided whereas taking into account information about geological structures may improve the forecast.

Prediction of the position of a water bearing zone ahead of the advancing face: If no information about geological structures are available generally the predicted initial inflow rates increases with the assumed distance of the zone ahead. In contrary structural information can limit the range of possible locations of water bearing zones.

Prediction of the thickness of a zone: Since thickness and hydraulic conductivity of a water bearing zone are reciprocal only total initial inflow rates can be derived from measured rock temperatures.

Speed of the method: The generation of local 3D-FE models with a predefined variation of integrated water bearing zones has been completely automated. Therefore the results of hundreds of different models are available for interpretation within a relatively short time.

Based on this theoretical evaluation it can be concluded that the method “Indirect prediction ahead of water bearing zones with temperature data” may be a promising support for tunnelling. The method is ready for a first practical application.

1 Einführung

Stark wasserführende Zonen im Festgestein bergen eine Schadensgefahr eines unvorhergesehenen Wassereintruchs und gehen zudem oft mit schwachen felsmechanischen Eigenschaften einher (Bsp. Piorazone). Es wäre wünschenswert die Lage und die Eigenschaften solcher wasserführender Störzonen vor der Ortsbrust indirekt, möglichst ohne Unterbrechung des Vortriebs, bestimmen zu können.

1.1 Die Felstemperatur als Parameter der Vorauserkundung

Die Felstemperatur ist ein Parameter, der sich relativ einfach und hinter dem Vortrieb in der Tunnelwand messen lässt. Das natürliche, räumliche Temperaturfeld im Gebirge wird durch die folgenden Größen bestimmt:

- Wärmefluss aus dem Erdinnern
- Topographie mit der entsprechenden Bodenoberflächentemperatur
- Wärmeleitung aufgrund der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine
- Natürliche Wärmeproduktion der Gesteine
- Advektiver Wärmetransport durch Wasserzirkulation aufgrund von hydraulischen Potenzialunterschieden und der Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeiten
- Klimageschichte und Verteilung der spezifischen Wärmekapazitäten

Insbesondere die natürliche Zirkulation von Gebirgswasser hat in aller Regel einen erheblichen Einfluss auf das räumliche Temperaturfeld des Gebirges. Erfahrungen im Festgestein zeigen, dass strömendes Wasser in gut durchlässigen Zonen bereits ab natürlichen Fliessgeschwindigkeiten von 10^{-8} m/s (~ 1 m/Jahr) das Temperaturfeld beeinflusst. Diese Beeinflussung hat eine beträchtliche Tiefenausdehnung (Kohl & al., 2001).

Die Wärmeleitung im Gestein ist ein äusserst träger Prozess. Daher sind im Temperaturfeld des Gebirges - und damit in den gemessenen Felstemperaturen im Tunnel - die natürlichen, ursprünglichen Wasserbewegungen im Fels abgebildet, auch wenn durch den aktuellen Tunnelvortrieb der Wasserhaushalt des durchfahrenen Gebirges nachhaltig verändert sein kann.

Der Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Felstemperaturen beim Gotthard-Basistunnel zeigt, dass heute das räumliche Temperaturfeld im Gebirge, und damit auch die Temperatur entlang der Tunnelspur, durch hydraulisch-thermische 3D-FE-Berechnungen mit einer Genauigkeit von gegen 1°C bestimmt werden kann (vgl. Fig. 1).

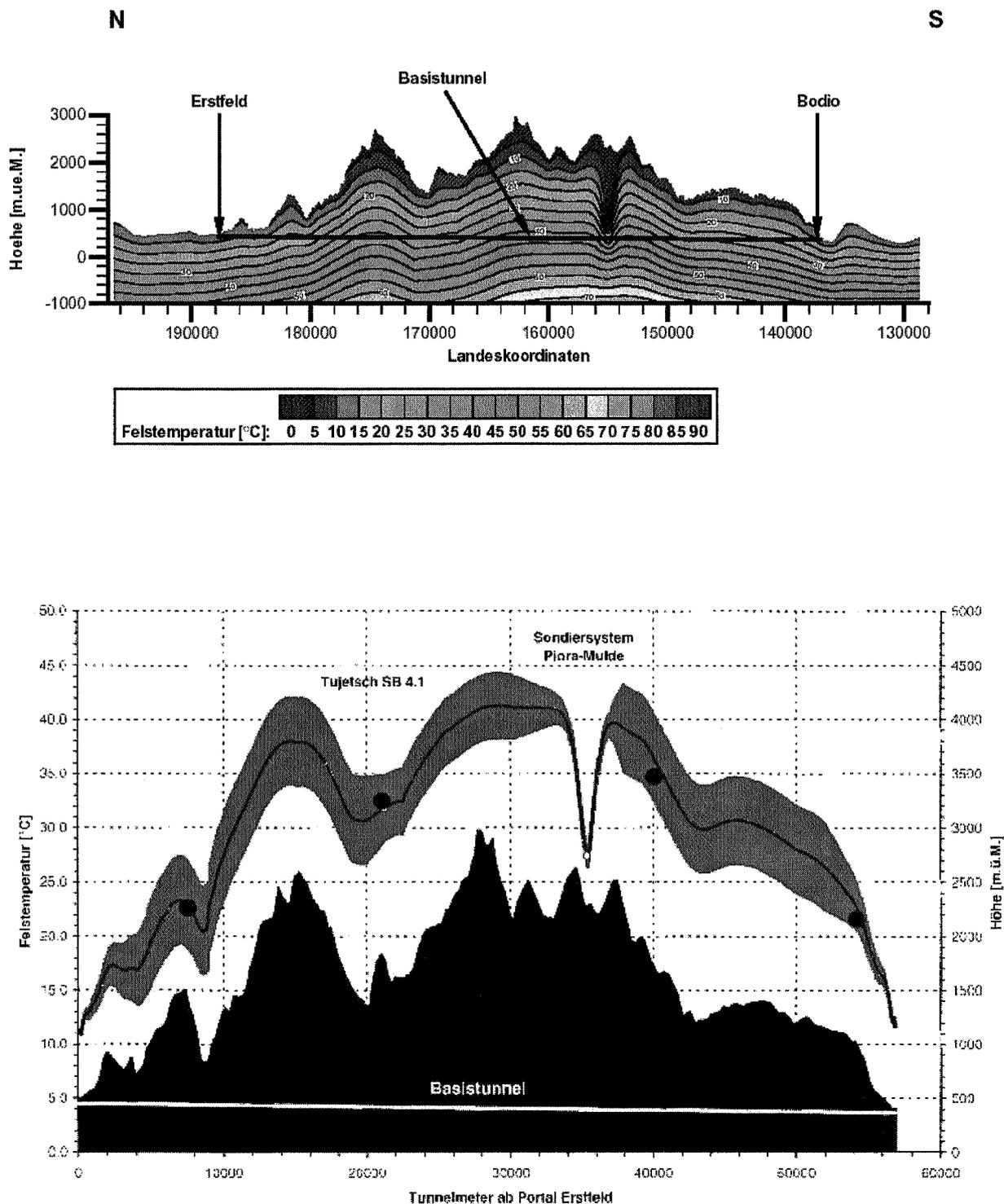


Fig. 1: Oben: Modelliertes Temperaturprofil im Vertikalschnitt entlang dem geplanten Gotthard-Basistunnel. Hydraulisch-thermisch gekoppeltes, transientes 3D-Modell (Busslinger, 1998)
 Unten: Extrahierte Temperaturprognosen im Basistunnel von Busslinger und Rybach mit dem bisherigen Befund an 4 Stellen (Keller, 2002)

Wie die Erfahrungen beim Vortrieb des Lötschberg-Basistunnels gezeigt haben, weisen Abweichungen von der prognostizierten Felstemperatur oft auf grössere Wasserzutritte hin (Fig. 2).

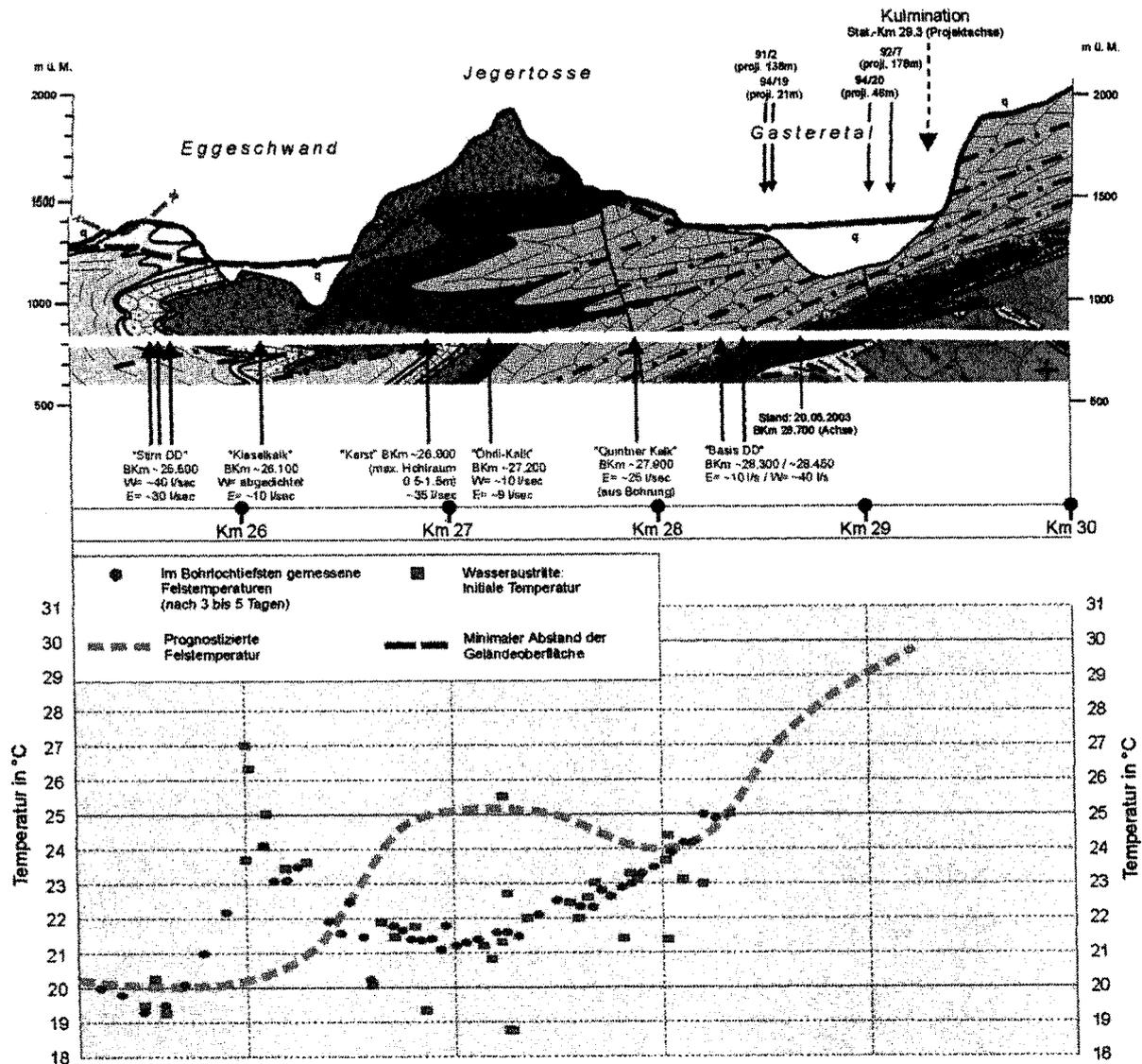


Fig. 2: Vergleich von Temperaturprognose und Befund beim Vortrieb Lötschberg-Basistunnel. Grössere Wasserzutritte kündigen sich oft durch Temperaturanomalien an (Ziegler, 2003).

Der Einfluss von wasserführenden Störzonen auf die Tunneltemperatur hat sich eindrücklich im Piora-Sondierstollen gezeigt (vgl. Fig. 3). Die Felstemperaturen im Tunnel steigen aufgrund der zunehmenden Überdeckung bis etwa 1500 m vor der Piora-Störzone erwartungsgemäss an. Danach beginnt die Temperatur die erwarteten Werte für ein Gebirge ohne Wasserzirkulation zu unterschreiten und liegt kurz vor der Störzone rund 20 °C unterhalb der Prognosewerte ohne Wasserzirkulation.

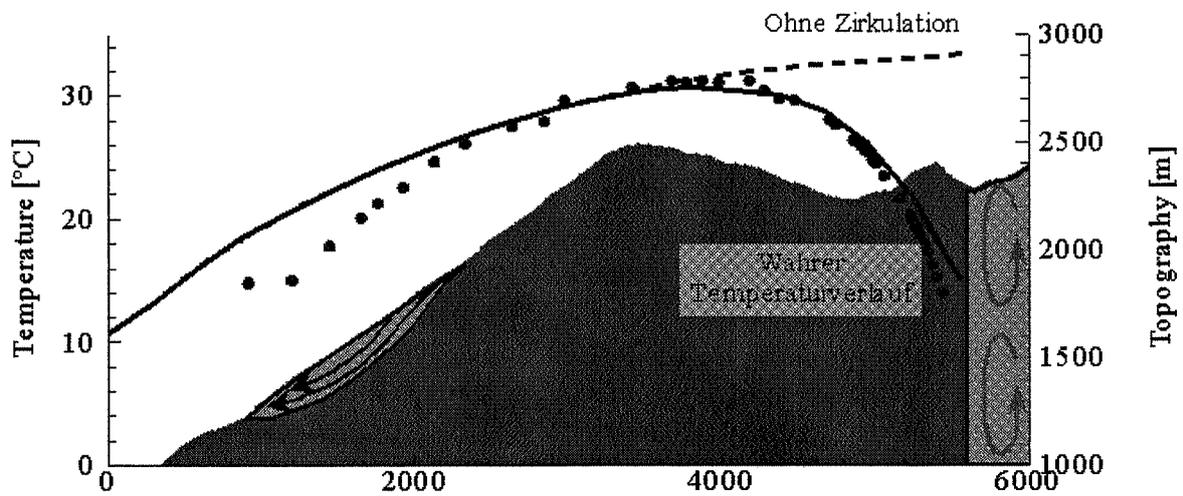


Fig. 3: Felsüberdeckung und Temperaturverlauf im Piora-Sondierstollen. Die gemessenen Felstemperaturen (Punkte) werden durch ein numerisches Modell (durchgezogene Linie) in den zentralen Bereichen nahezu exakt wiedergegeben. N.B., die Abweichung um 1500 m ist auf zirkulierendes Hangwässer zurückzuführen, welche nicht in das Modell einbezogen wurden. Ab Tunnelmeter 4000 beginnen die Messwerte die Modellwerte ohne Wasserzirkulation (gestrichelte Linie) massiv zu unterschreiten. (Busslinger, A. & Rybach, L., 1999)

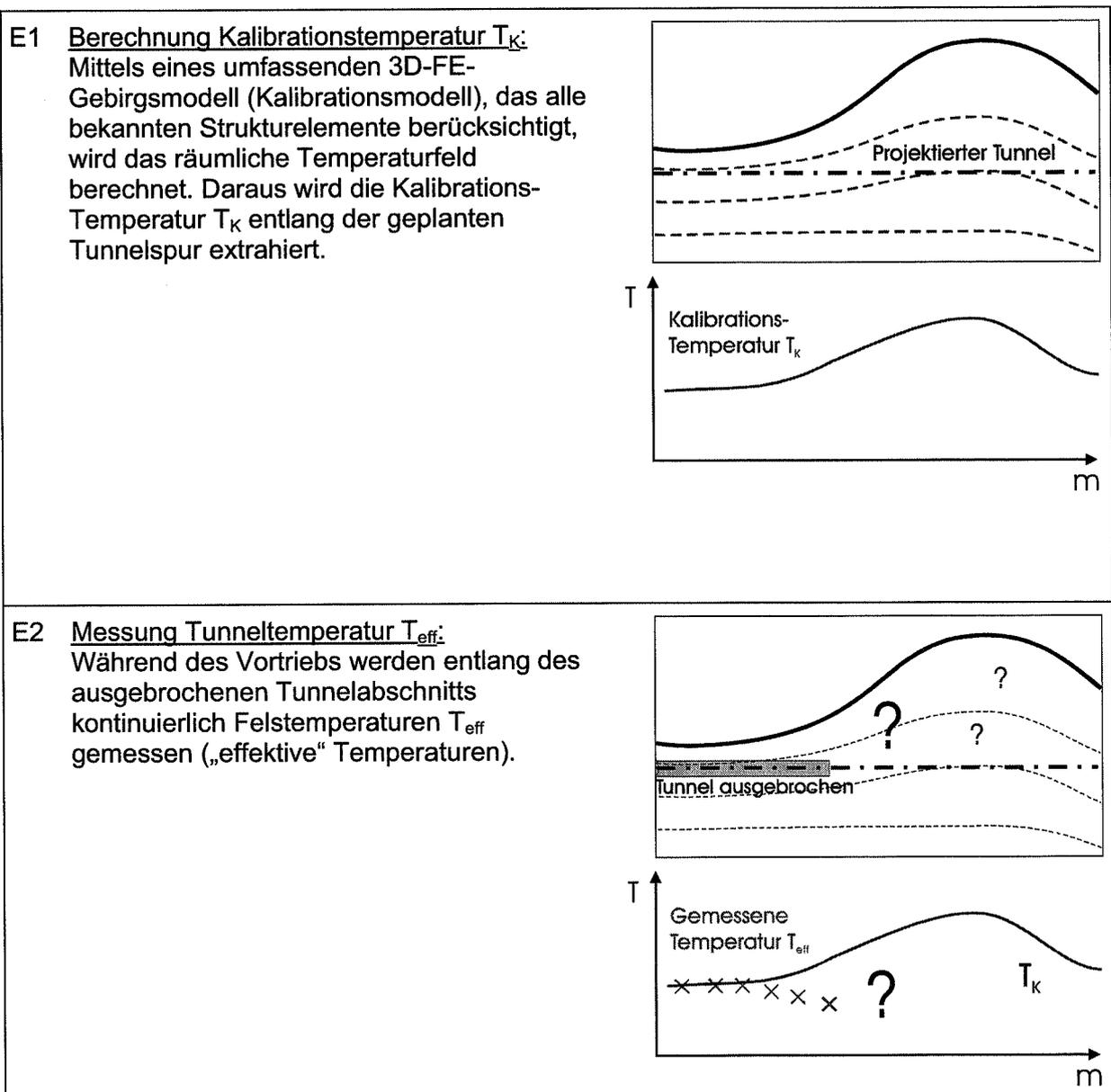
Wie die obenstehenden Beispiele des Gotthard-Basistunnels und des Piora-Sondierstollens zeigen, können Tunneltemperaturen heute mit numerischen Modellrechnungen sehr gut prognostiziert werden. Daher ist es grundsätzlich auch möglich aus gemessenen Felstemperaturen Rückschlüsse auf die hydrogeologischen Verhältnisse zu ziehen.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes soll bestimmt werden, inwieweit systematisch Rückschlüsse von gemessenen Felstemperaturen im Tunnel auf die hydrogeologischen Verhältnisse möglich sind und wie gross deren Aussagekraft und Nutzen für den Vortrieb ist.

1.2 Die Methodik „Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten“

Der Wärmetransport im Untergrund ist massgeblich ein dreidimensionaler Prozess. Allerdings sind Messungen von Felstemperaturen auf einfache Art und in ausreichender Dichte nur entlang des vorgetriebenen Tunnelabschnitts möglich. Durch diese 1D-Messwerte sind aber Vorkommen, räumliche Ausdehnung, hydraulische Leitfähigkeit und Randbedingungen von hydrologischen Einheiten *grundsätzlich nicht eindeutig* bestimmt.

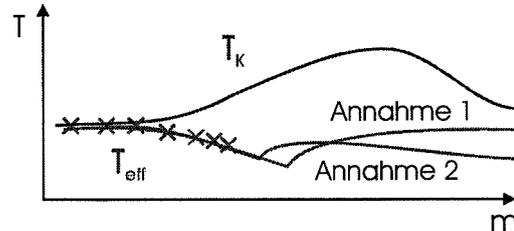
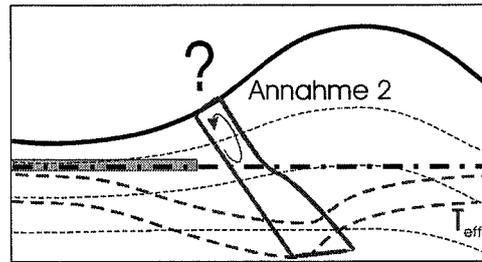
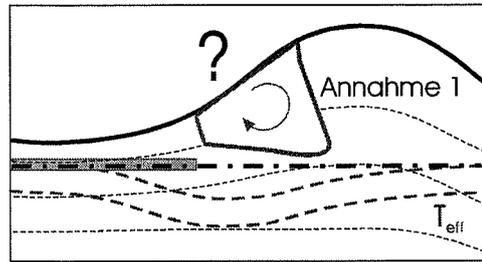
Es wird daher folgendes Vorgehen vorgeschlagen (E1-E5 entsprechen den Grundelementen der vorgeschlagenen Methodik, vgl. Fig. 4):



E3 Definition Parameterbereiche der Störzonenmodelle:

Die Differenz zwischen den gemessenen Temperaturen T_{eff} und den Kalibrationswerten T_K ist die Temperatur-Anomalie. Ihre Grösse gibt Auskunft über im Kalibrationsmodell unkorrekt gewählte Parameter oder nicht berücksichtigte physikalische Prozesse (v.a. Wasserströmungen im Fels in nicht berücksichtigten hydrogeologischen Einheiten).

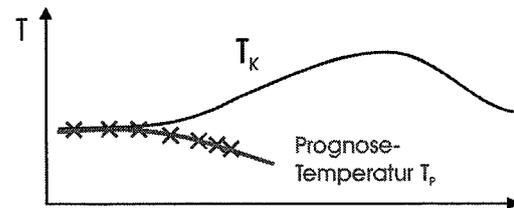
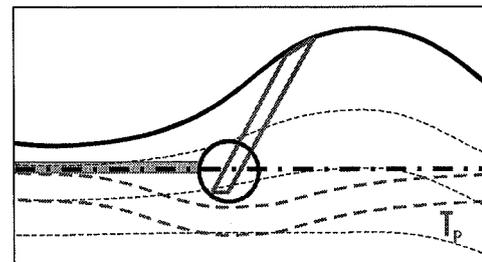
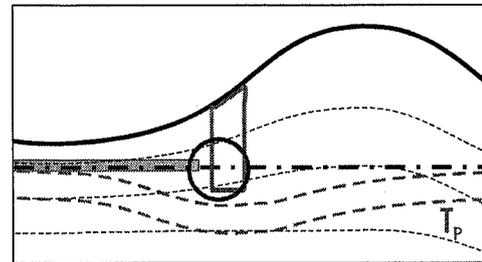
Die Grösse der Temperatur-Anomalie gibt Hinweise innerhalb welcher Bereiche die Parameter der Störzonenmodelle für die Prognose variiert werden müssen (vgl. E4).



E4 Berechnung Prognosen:

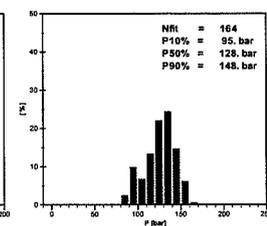
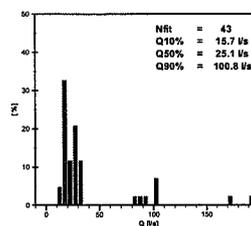
Für den Vortrieb sind lediglich die möglichen Szenarien von Wasserführung vor der Ortsbrust von Bedeutung. Es wird daher grundsätzlich das worst-case Szenario einer vor der Ortsbrust liegenden wasserführenden Störzone angenommen, die diese Temperatur-Anomalie verursacht. Aus dem Kalibrationsmodell werden Lokalmodelle mit eingebauten Störzonen vor der Ortsbrust extrahiert. Die Parameter der Störzonen werden dabei innerhalb plausibler Bandbreiten für Lage, Geometrie, Material und Randbedingungen variiert. Die Modelle, deren Prognosetemperatur T_P mit T_{eff} fittet, entsprechen den möglichen Szenarien.

Da diese Parameterstudien relativ rasch und umfassend vorgenommen werden müssen, muss die Erstellung der Lokalmodelle und die Berechnung der Prognosen möglichst weitgehend automatisiert sein.



E5 Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust:

Die Berechnungen ergeben einen Satz von möglichen hydraulischen Eigenschaften einer wasserführenden Störzone. Durch eine statistische Auswertung lässt sich das Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust ermitteln.



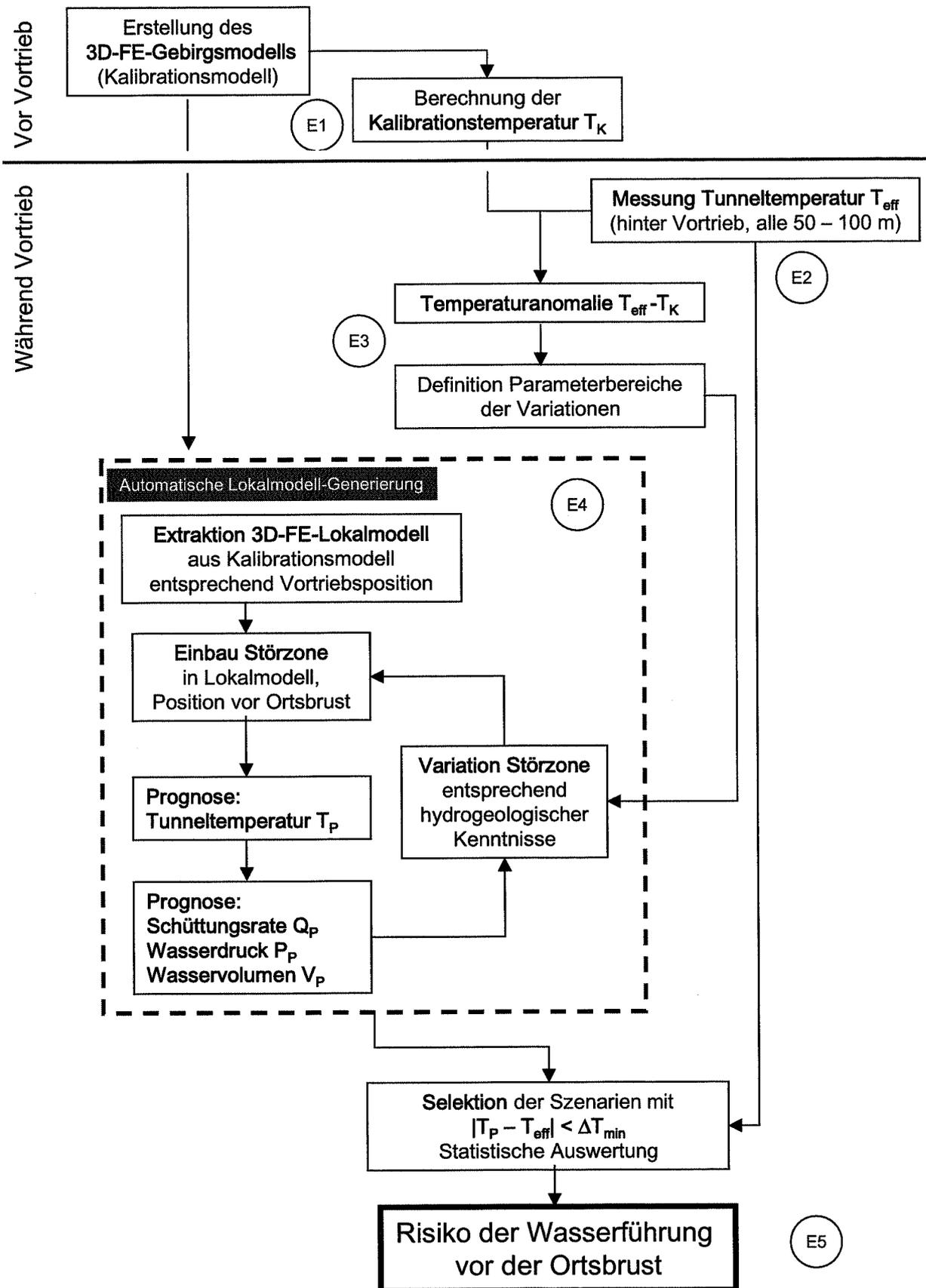


Fig. 4: Methodik zur Bestimmung des Risikos der Wasserführung vor der Ortsbrust durch Interpretation von gemessenen Tunneltemperaturen

2 Zielsetzungen des Projekts

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes soll die Methodik „Indirekte Vorerkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten“ (vgl. vorhergehendes Kapitel) evaluiert werden. Für den Vortrieb sind vor allem die folgenden Parameter von wasserführenden Störzonen vor der Ortsbrust von Bedeutung:

- Abstand vor Ortsbrust [m]
- Mächtigkeit [m]
- Initiale Schüttungsrate [l/s], im folgenden nur „Schüttungsrate“ genannt
- Schüttungsvolumen [m³]
- Wasserdruck [bar]

Die Evaluation soll darüber Auskunft geben, inwieweit systematisch Rückschlüsse von gemessenen Felstemperaturen im Tunnel auf diese Parameter möglich sind. Da für eine grundsätzliche Evaluation der Methodik alle Modellparameter bekannt und steuerbar sein müssen, wird die Arbeit auf rein theoretischer Basis ausgeführt. Dabei wird insbesondere auf die Methode der Finiten Elemente (FEM) zurückgegriffen.

Die Evaluation umfasst die folgenden Schritte:

1. Definition des 3D-FE-Gebirgsmodells
Es werden die thermischen Parameter im 3D-FE-Gebirgsmodell festgelegt und die Kalibrationstemperatur T_K (ohne advektiven Wärmetransport durch Wasserzirkulation) berechnet.
2. Definition der „effektiven“ Störzonen im 3D-FE-Gebirgsmodell für die Evaluation der Methodik:
Es werden mehrere Typen von „effektiven“ Störzonen auf ihre Prognostizierbarkeit untersucht. Dazu wird in das 3D-FE-Gebirgsmodell die jeweilige hydraulisch aktive Störzone eingebaut, die in einem fiktiven Tunnel eine „gemessene“ Temperaturen T_{eff} und eine „effektive“ Schüttungsraten Q_{eff} nach einer Durchörterung erzeugt.
3. Untersuchung der Bestimmbarkeit von vortriebsrelevanten Parametern der „effektiven“ Störzonen mittels Tunnelfelstemperaturen:
Im 3D-FE-Gebirgsmodell wird ein Vortrieb in Richtung der jeweiligen „effektiven“ Störzone simuliert. Dabei soll an verschiedenen Vortriebspositionen der Ortsbrust das Risiko der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P , Wasserdrücke P_P und Schüttungsvolumen V_P prognostiziert werden.

3 Methodik der Evaluation

Der Wärmetransport im Untergrund ist grundsätzlich ein dreidimensionaler Prozess. Daher werden die dreidimensionalen hydraulisch-thermischen Berechnungen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) durchgeführt. Dazu wurde die Software FRACTure der GEOWATT AG eingesetzt (Kohl, 1995, vgl. Anhang 3-1). Die Evaluation der Methodik basiert auf drei Hauptkomponenten:

1. Vier 3D-FE-Gebirgsmodelle zur Berechnung von T_K und T_{eff} , mit 16 kombinierbaren Materialzonen für die Bildung von „effektiven“ Störzonen
2. Ein 2D-FE-Tunnelzuflussmodell mit kombinierbaren Materialzonen entsprechend dem 3D-FE-Gebirgsmodell zur Berechnung der effektiven Schüttungsraten Q_{eff}
3. Der automatische Lokalmodell-Generator, der aus dem 3D-FE-Gebirgsmodell lokale 3D-FE-Modelle mit parametrisierten wasserführenden Störzonen extrahiert, zur Berechnung von Prognosen für die Tunneltemperatur T_P , der Schüttungsrate Q_P , des Schüttungsvolumens V_P und des Wasserdrucks P_P

3.1 Das 3D-FE-Gebirgsmodell

Es wurde ein synthetisches 3D-FE-Gebirgsmodell erstellt, das typische Eigenschaften (Topographie, Druckverteilung, Kenndaten) eines realen Gebirges aufweist (Fig. 5). Das Gebirgsmodell besteht aus einem quadratischen Grundriss mit 20'000 m Seitenlänge und einer maximalen vertikalen Abmessung von –5000 m bis 2500 m. Das Modell besteht aus 3 parallelen Höhenzügen. In der Mitte des Modells sind 16 verschiedene Materialzonen mit einzeln definierbaren Materialwerten eingebaut. Dies erlaubt es mit demselben Modell durch Erhöhung der hydraulischen Leitfähigkeit in einer bestimmten Kombination von Materialzonen verschiedene Störzonen zu aktivieren (vgl. Fig. 14-Fig. 16).

Es wurden 4 3D-FE-Gebirgsmodelle erstellt, die sich nur durch die Breite der zentralen Störzonen unterscheiden, um den Effekt der Mächtigkeit von Störzonen auf die Tunneltemperatur zu untersuchen (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Die 4 untersuchten Mächtigkeiten der zentralen Materialzonen

Modell	Mächtigkeit der zentralen Materialzone [m]	Knoten total	Anzahl Schichten
1	50	134'212	51
2	200	126'469	48
3	500	116'145	44
4	2000	116'145	44

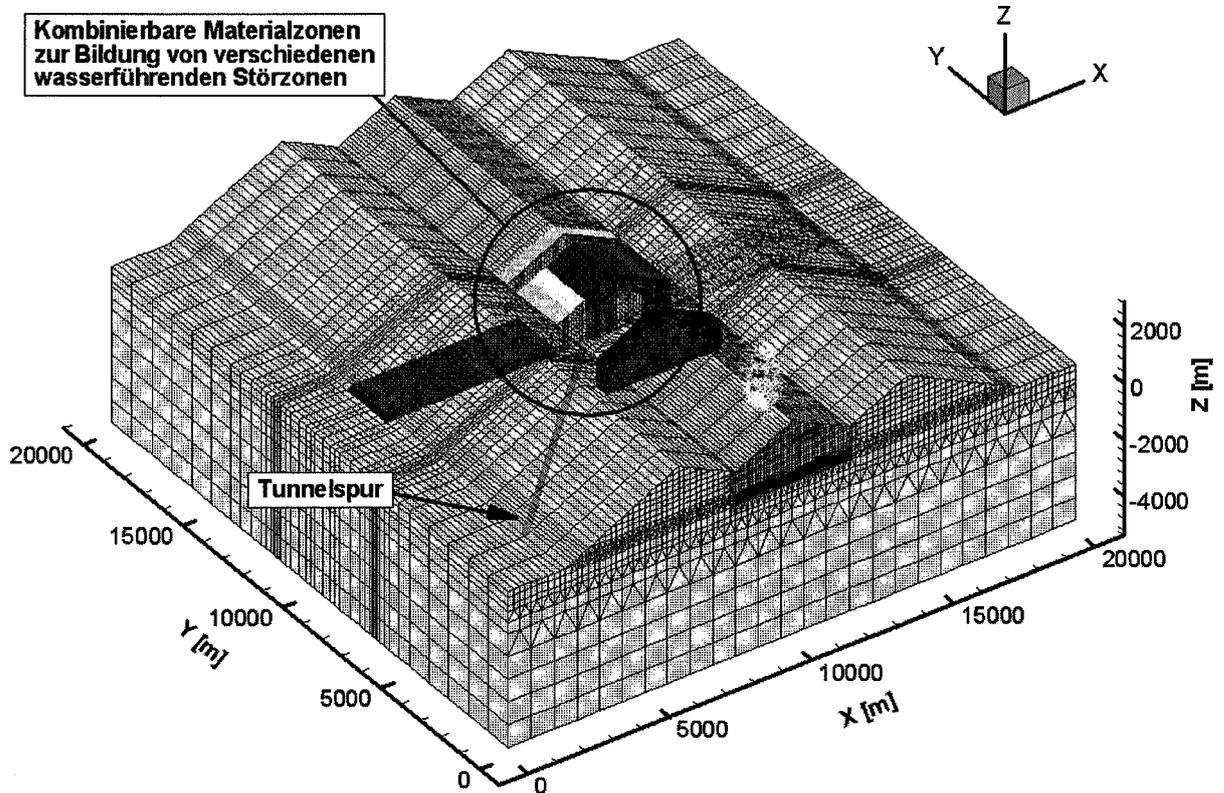


Fig. 5: 3D-FE-Gebirgsmodell Nr. 4 mit den kombinierbaren Materialzonen im Modellzentrum zur Simulation von „Messwerten“, vgl. Tab. 1

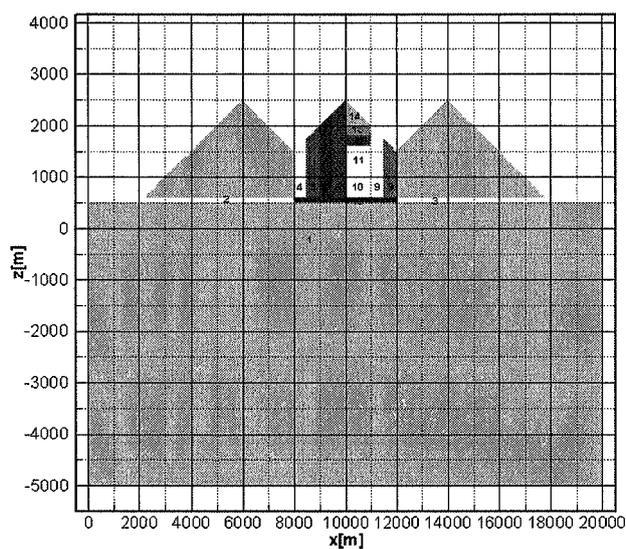


Fig. 6: Schnitt bei $y=10'000\text{m}$, Materialnummern, vertikal 2x überhöht

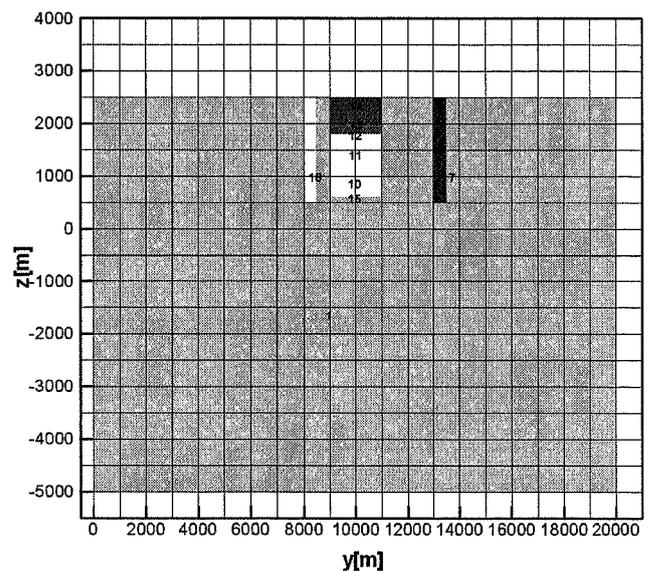


Fig. 7: Schnitt bei $x=10'000\text{ m}$ (Modell 4), Materialnummern, vertikal 2x überhöht

Die Elemente im Bereich der zentralen Materialzonen sind entsprechend verfeinert (Fig. 8).

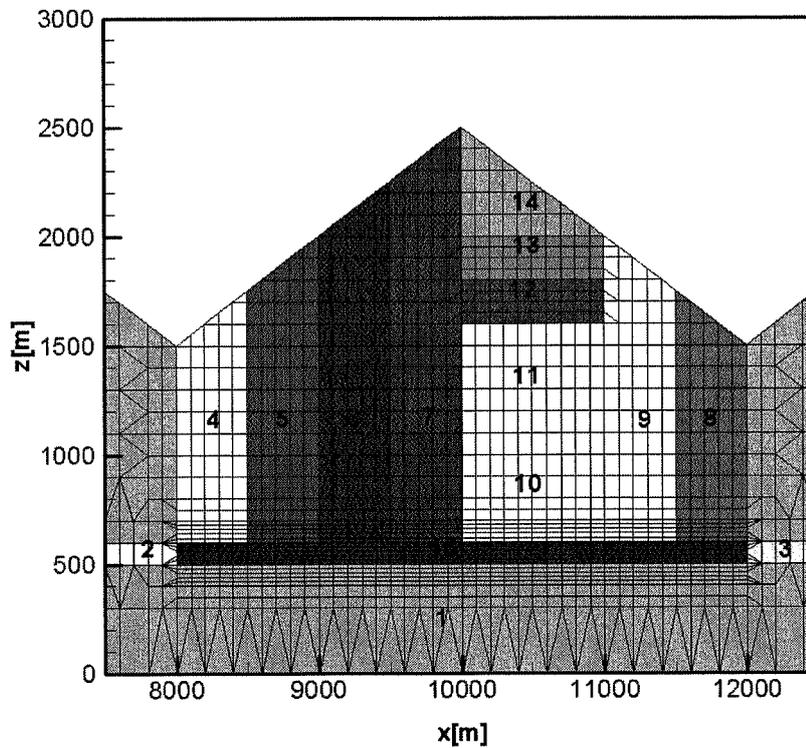


Fig. 8: *Detaildarstellung des Schnittes $y=10'000$ m, mit FE-Netz und Materialnummern, vertikal 2x überhöht*

3.2 Das 2D-FE Tunnelzuflussmodell

Zur Berechnung der Schüttungsrate Q_{eff} in den Tunnel aufgrund von verschiedenen wasserführenden Zonen wurde ein 2D-FE-Modell entlang von $y=10'000$ m erstellt, in das ein Tunnel von 9 m Durchmesser bei $z=540$ m eingebaut ist.

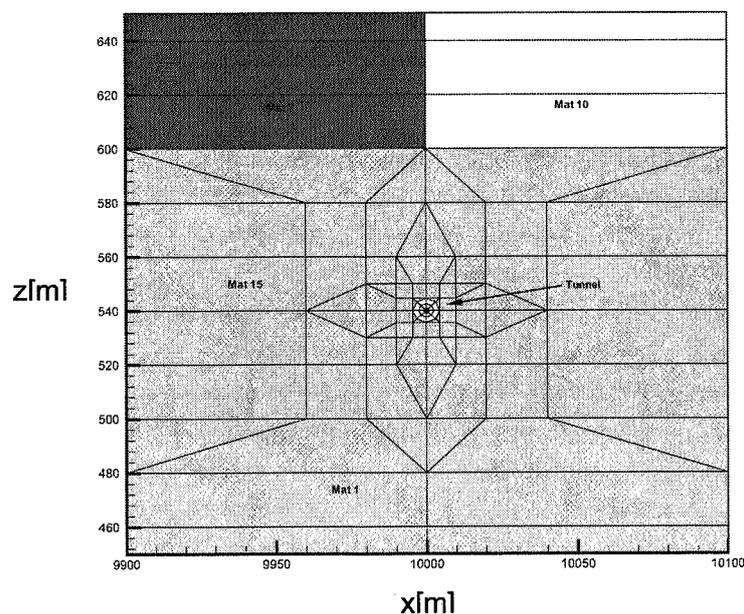


Fig. 9: *Detaildarstellung des 2D-FE-Modells mit einem als Achteck approximierten Tunnel von 9 m Durchmesser zur Berechnung von Schüttungsraten*

3.3 Der Lokalmodell-Generator

Über die Struktur einer potenziellen wasserführenden Störzone vor der Ortsbrust, die eine bestimmte gemessene Tunneltemperatur T_{eff} verursachen könnte, sind oft nur wenige Kenntnisse vorhanden. Für die Interpretation der gemessenen Felstemperaturen T_{eff} müssen daher innerhalb nützlicher Frist Temperaturprognosen T_P für einige hundert Modelle von möglichen wasserführenden Störzonen vor der Ortsbrust durchgerechnet werden (vgl. Fig. 5, Fig. 10).

Für die Erstellung von Störzonenmodellen wurde ein automatischer 3D-FE-Lokalmodell-Generator der GEOWATT AG eingesetzt, der die folgenden Eigenschaften hat:

- Parametrisierte geometrische Abmessung der Störzone, wobei für die einzelnen Abmessungen jeweils ein Wertebereich mit Schrittweite vorgegeben werden kann
- Variation der hydraulischen Leitfähigkeit der Störzone innerhalb eines Wertebereiches mit definierter Schrittweite
- Rotation der Störzone um alle drei Raumachsen, mit Wertebereichen und Schrittweiten
- Vorgabe der räumlichen Ausdehnung des 3D-Lokalmodells
- Vorgabe des Tunnelradius
- Vorgabe, ob die Störzone zwingend an der Topographie ausbeissen soll oder nicht (am Ausbiss werden die hydraulischen Randbedingungen festgesetzt)
- Übernahme der Materialparameter ausserhalb der Störzone vom 3D-FE-Gebirgsmodell
- Übernahme der Temperaturen des 3D-FE-Gebirgsmodell als Randbedingungen des Lokalmodells
- Extraktion des Lokalmodells an beliebigem Ort des 3D-FE-Gebirgsmodell

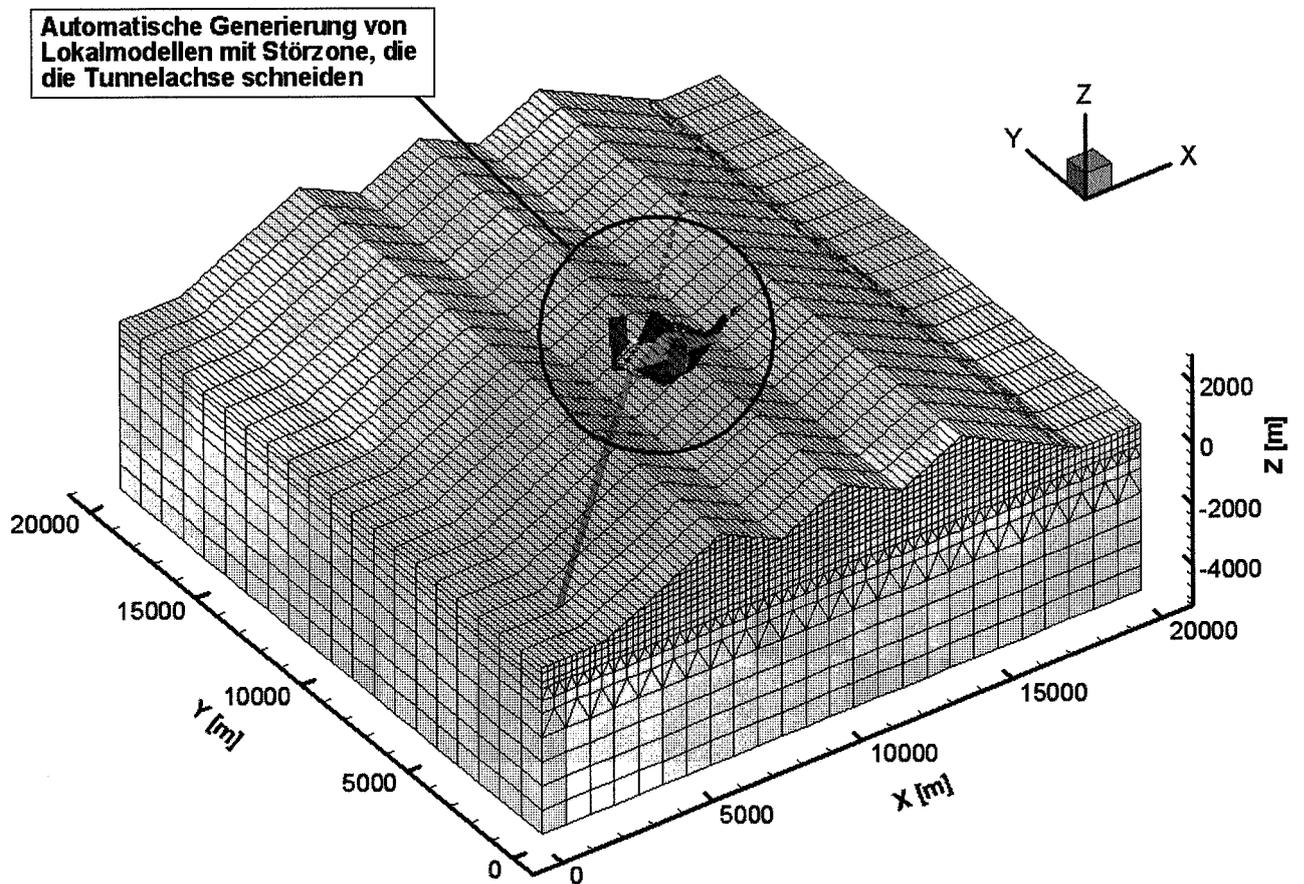


Fig. 10: 3D-FE-Gebirgsmodell mit automatisch eingebauten, wasserführenden Störzonen, deren Effekt auf die Tunneltemperatur einzeln berechnet wird. Abgebildet sind nur 10 verschiedene wasserführende Zonen (je ein Grauton), die nachfolgenden Evaluationen wurden an jeder Vortriebsposition mit über 1500 verschiedenen Störzonen vorgenommen.

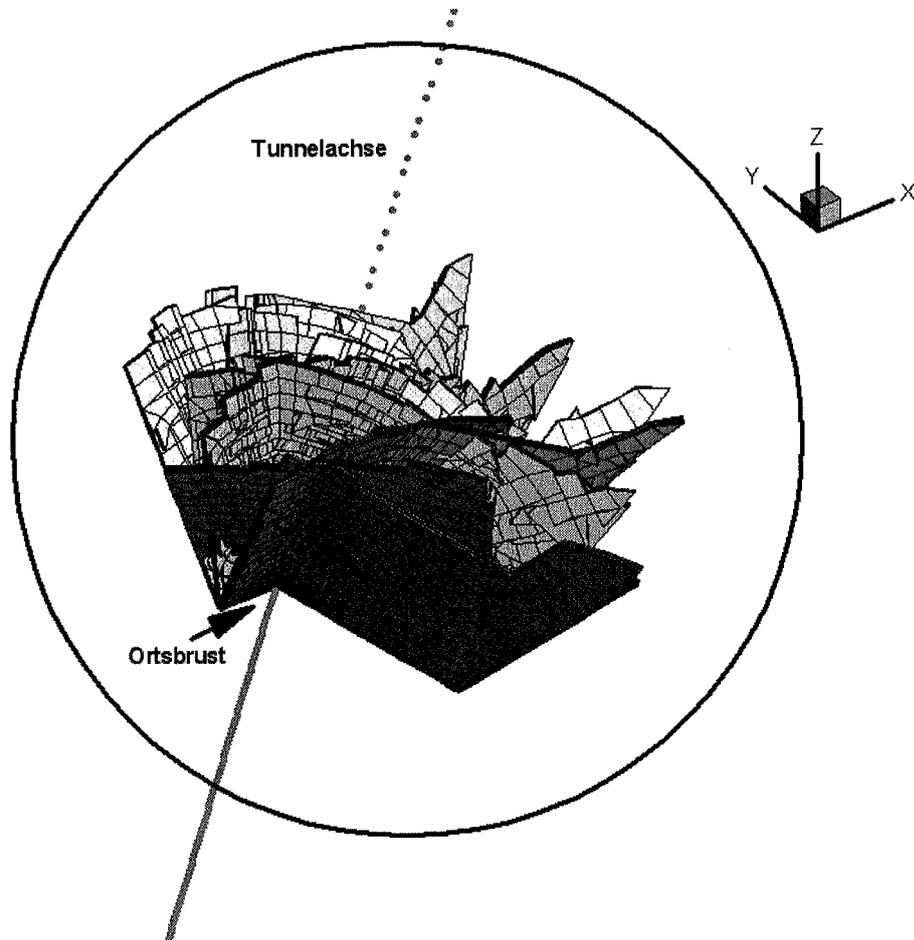


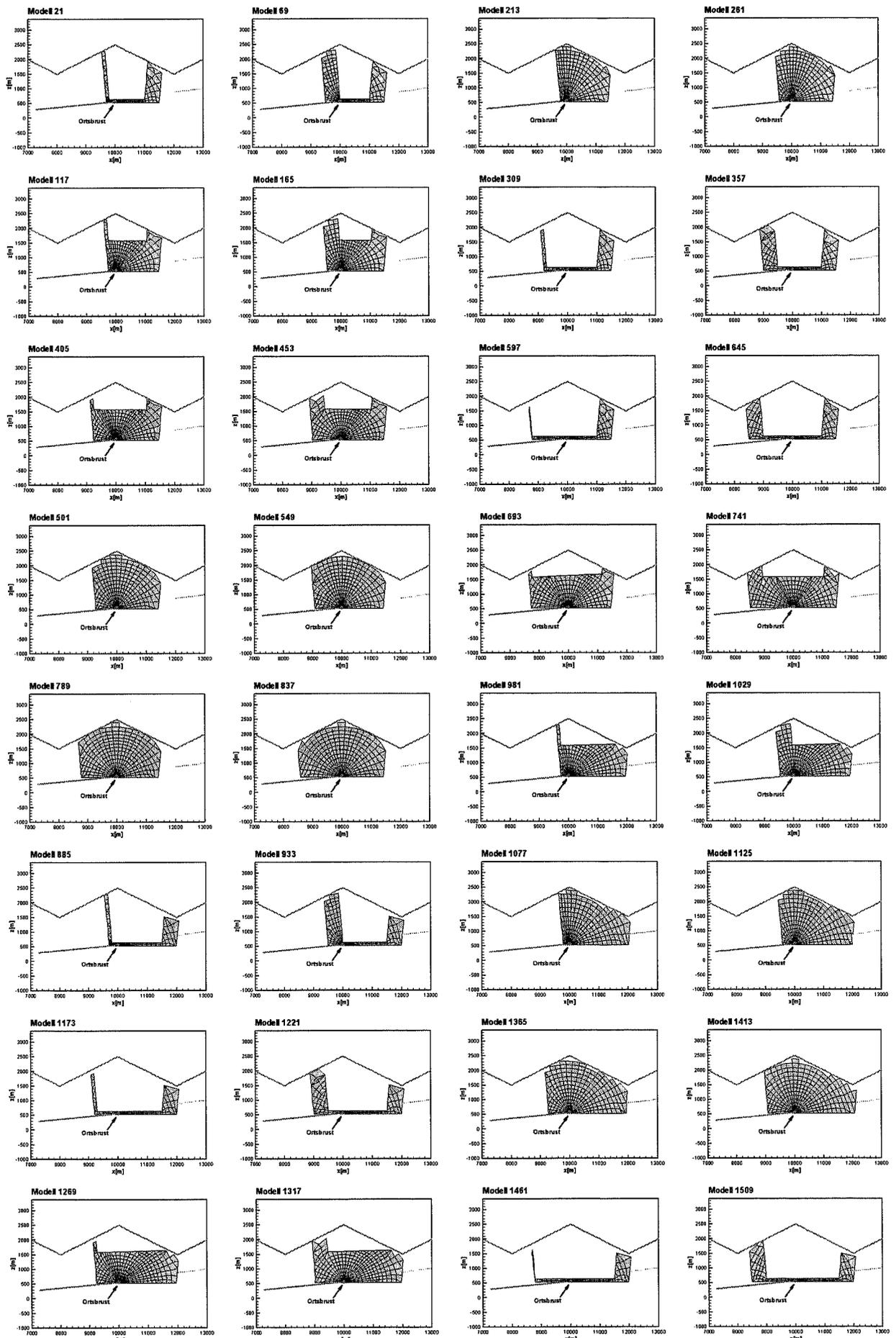
Fig. 11: Nahansicht der vor der aktuellen Ortsbrust automatisch eingebauten Störzonen, abgebildet ist eine Auswahl von 55 Modellen (die sich hier teils gegenseitig abdecken). Die unregelmässigen Oberkanten ergeben sich aus dem Ausbiss an der Oberfläche.

3.4 Verwendeter Satz von Störzonen-Modellen

Für die Interpretation der effektiven Tunneltemperaturen T_{eff} wurde mit dem automatischen 3D-FE-Lokalmodell-Generator folgender Satz von Störzonenmodellen erzeugt:

- 36 Grundmodelle mit unterschiedlichen Geometrien der Fließwege (Fig. 12)
- jeweils 2 verschiedene Mächtigkeiten
- jeweils 2 verschiedene hydraulische Leitfähigkeiten
- 12 verschiedene Rotationen um den Punkt vor der Ortsbrust (vgl. Fig. 11)

Insgesamt ergibt dies einen Satz von 1728 Störzonenmodellen. An gewissen Vortriebspositionen kann sich eine leichte Reduktion der Anzahl sinnvoller Modelle ergeben.



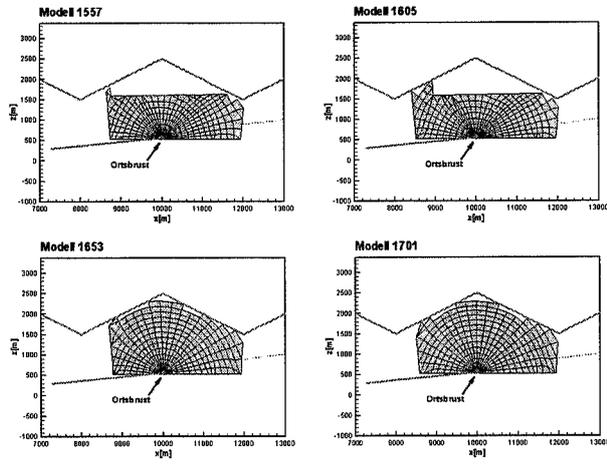


Fig. 12: Die 36 Störzonen-Grundmodelle mit Oberfläche des 3D-FE-Gebirgsmodells und Tunnelachse

4 Resultate

4.1 Definition der Parameter des 3D-FE-Gebirgsmodells

Um nur die Effekte der Störzonen auf das Temperaturfeld untersuchen zu können, wurden für das 3D-FE-Gebirgsmodell homogene Materialparameter angenommen (Tab. 2). Die mit dem 3D-FE-Gebirgsmodell berechnete Kalibrationstemperatur T_K entlang des Tunnels zeigt erwartungsgemäss eine klare Korrelation mit der Topographie (Fig. 13).

Tab. 2: Materialparameter und Randbedingungen des 3D-FE-Gebirgsmodells

Wärmeleitfähigkeit	3	W/m K	(für das gesamte Gebirgsmodell)
hydraulische Leitfähigkeit	10^{-11}	m/s	(für das gesamte Gebirgsmodell)
Wärmefluss an Modellunterseite	0.08	W/m ²	(Grössenordnung im Gotthardgebiet)
Oberflächentemperatur	$T(z) = 13.15 - 0.0048 * z$		
Hydraulisches Potenzial Oberfläche	Topografische Höhe		

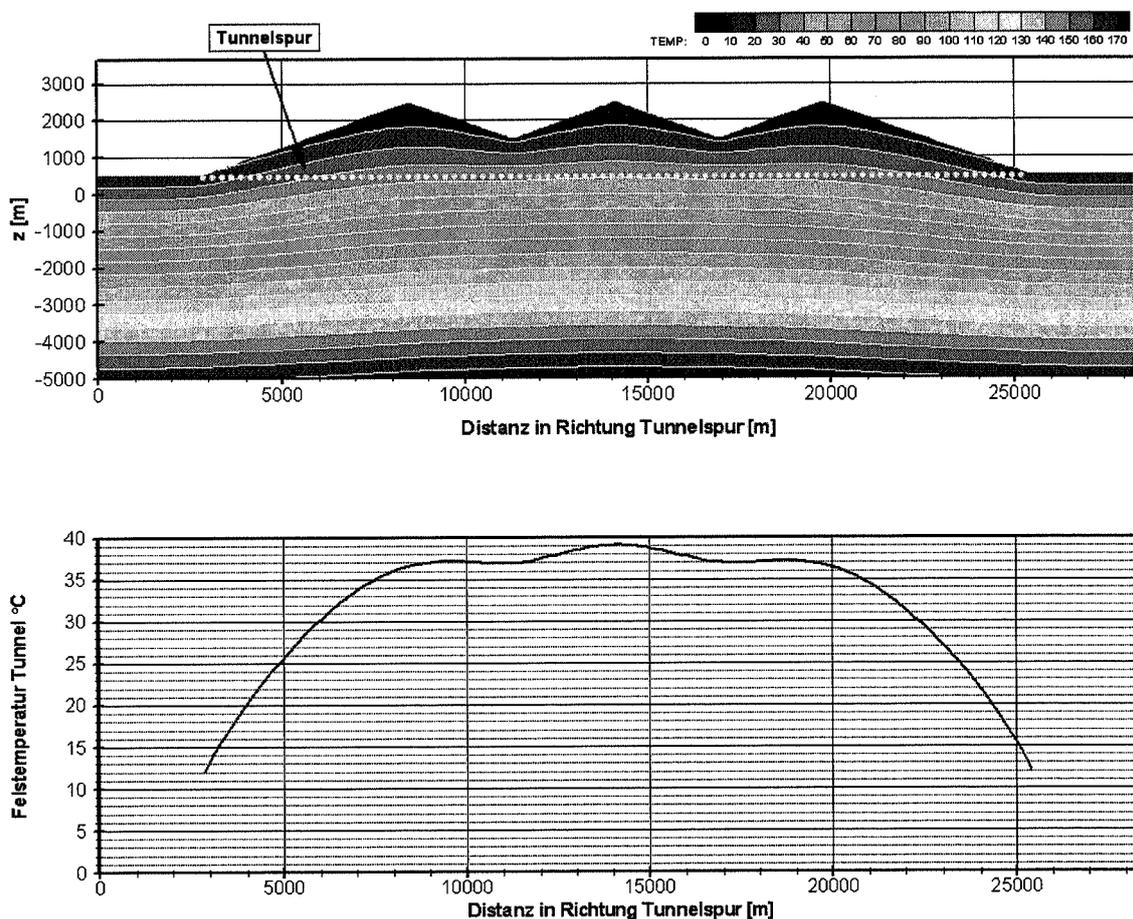


Fig. 13: Oben: Berechnete Kalibrationstemperatur T_K im Querschnitt entlang der Tunnelspur durch das 3D-FE-Gebirgsmodell ohne Wasserzirkulation
Unten: Temperatur T_K entlang der Tunnelspur

4.2 Definition der effektiven Störzonen im 3D-FE-Gebirgsmodell für die Evaluation der Methodik

In das 3D-FE-Gebirgsmodell wurden drei Typen von hydraulisch aktive Störzonen eingebaut, die in einem fiktiven Tunnel verschiedene „gemessene“ Temperaturen T_{eff} als auch unterschiedliche „effektive“ Schüttungsraten Q_{eff} nach einer Durchörterung erzeugen.

I Die 3 untersuchten Störzontentypen

Aus der Vielzahl der möglichen Kombinationen der 16 aktivierbaren Materialzonen im 3D-FE-Gebirgsmodell wurden drei Störzontentypen gebildet (a, b und c; vgl. Fig. 14 Fig. 16), die unterschiedliche hydraulische Potenzialdifferenzen an deren Ausbiss an der Oberfläche aufweisen:

- Typ a Störzontentyp mit einer grossen hydraulischen Potenzialdifferenz an den Ausbissen auf der Oberfläche (Fig. 14)
- Typ b Störzontentyp mit einer kleinen hydraulischen Potenzialdifferenz an den Ausbissen auf der Oberfläche (Fig. 15)
- Typ c Störzontentyp, der die Tunnelspur nicht schneidet und daher zwar einen Temperatureffekt im Tunnel erzeugt, aber keine Schüttungsrate ($Q_{\text{eff}} = 0$ l/s, Fig. 16).

Die hydraulische Leitfähigkeit wurden mit den zugehörigen 2D-FE Modellen für vier verschiedenen Mächtigkeiten (vgl. Tab. 1) so bestimmt, dass sich für die Störzontentypen a und b Schüttungsraten in den Tunnel von 1 l/s, 10 l/s und 100 l/s ergaben (Tab. 3). Bei den 4 Fällen, die die Tunnelspur nicht schneiden (Typ c), wurde die hydraulische Leitfähigkeit auf den Wert des Störzontentyps a (Fig. 14) für 10 l/s Schüttungsrate gesetzt.

Es ergeben sich 24 Fälle von Modellen mit wasserführenden Störzonen, die den Tunnel schneiden (Tab. 3, Fälle 1-24), sowie 4 zusätzliche Fälle, die den Tunnel nicht schneiden (Tab. 3, Fälle 25-28).

Die Darstellungen des Strömungsfeldes und der Temperatur in den drei Störzontentypen mit einer Schüttungsrate in den Tunnel von 10 l/s (Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16) zeigt folgendes:

- Die minimalen Strömungsgeschwindigkeiten liegen im absteigenden und aufsteigenden Teil der Störzonen. Diese betragen ca. $2-3 \times 10^{-8}$ m/s.
- Die Gebiete auf Tunnelniveau, die sich in der Nähe des abfliessenden Teils der Störzone befinden, sind gegenüber der ungestörten Felstemperatur kühler. In der Nähe der aufströmenden Bereiche ist die Felstemperatur erhöht. Beide Anomalien sind daher Indikatoren für signifikante mögliche Schüttungsraten. Dies hat sich auch beim Lötschberg-Basistunnel gezeigt (Fig. 2).
- Zwischen den abfliessenden und den aufwärts fliessenden Teilen einer Störzone gibt es einen Bereich, wo die Felstemperatur keine Anomalie aufweist. Dieser Bereich ist relativ eng begrenzt. Das Auftreten einer Temperaturdifferenz = 0 bedeutet daher nicht zwingend, dass keine zirkulierende Störzonen vorhanden sind. Allerdings sind die möglichen Strukturen einer Störzone, die eine Temperaturdifferenz = 0 erzeugen, stark eingeschränkt.

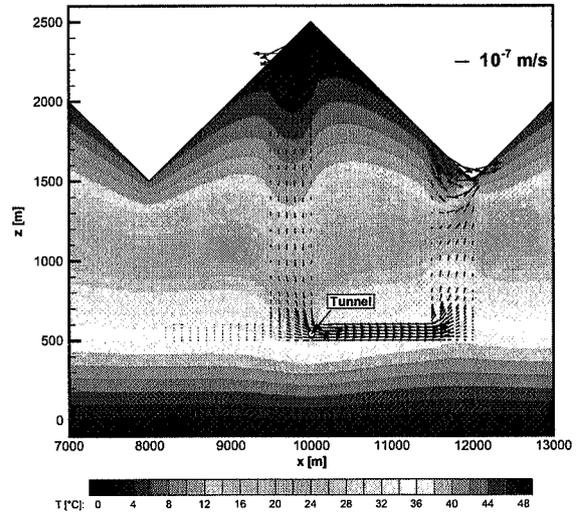
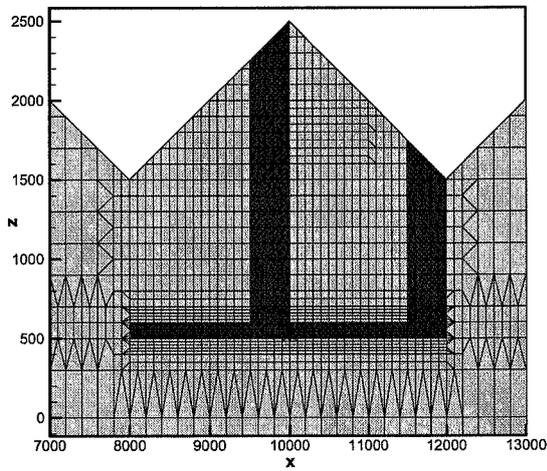


Fig. 14: Störzonentyp a, Links: Durchlässige Materialzonen 7, 8 und 15, Rechts: Strömungsfeld und Temperatur für Fall 2 (vgl. Tab. 3), überhöhte Darstellungen

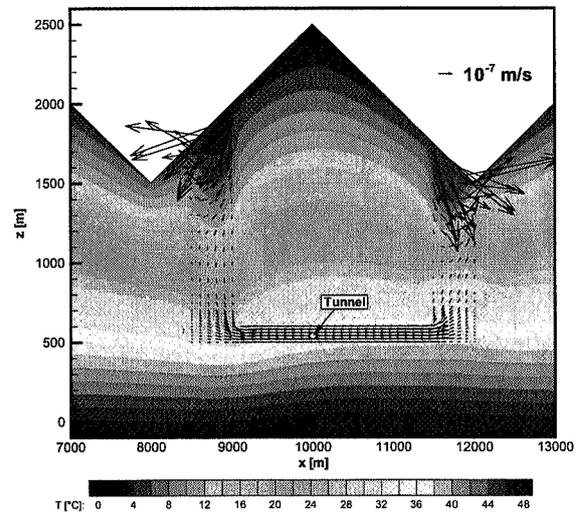
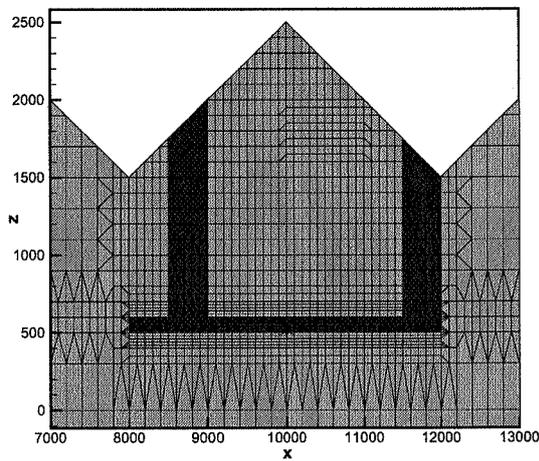


Fig. 15: Störzonentyp b; Links: Materialzonen 5, 8 und 15, Rechts: Strömungsfeld und Temperatur für Fall 14 (vgl. Tab. 3), überhöhte Darstellungen

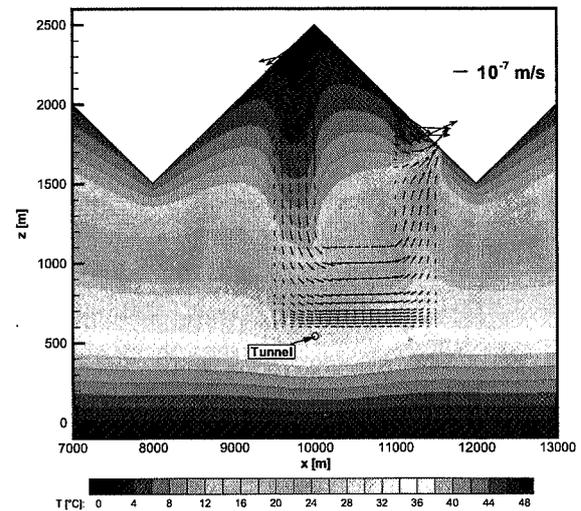
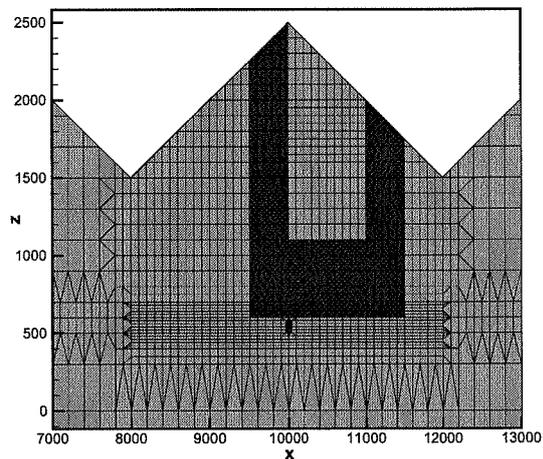


Fig. 16: Störzonentyp c, Links: Materialzonen 7,9 und 10 (ohne Schnitt mit Tunnel), Rechts: Strömungsfeld und Temperatur für Fall 25 (vgl. Tab. 3), überhöhte Darstellungen

Tab. 3: Die 28 untersuchten Fälle von Störzonen des Typs a, b und c (vgl. Fig. 14-Fig. 16)

Typ	Fall	Aktiviert Material- zonen	Quer- schnitt Störzone [m ²]	Breite Störzone [m]	Tunnel- zufluss Q _{eff} [l/s]	Hydraul. Leitfähigkeit K _{Störzone} [m/s]	Initialer Druck P _{eff} [bar]	Volumen Störzone V _{eff} [m ³]	
a	1	7, 8, 15	1.64 x 10 ⁶	50	1	5.00 x 10 ⁻⁸	159.5	8.20 x 10 ⁷	
	2	7, 8, 15		50	10	5.00 x 10 ⁻⁷	161.9		
	3	7, 8, 15		50	100	5.00 x 10 ⁻⁶	162.1		
	4	7, 8, 15			200	1	1.25 x 10 ⁻⁸	159.0	3.28 x 10 ⁸
	5	7, 8, 15		200	10	1.25 x 10 ⁻⁷	161.8		
	6	7, 8, 15		200	100	1.25 x 10 ⁻⁶	162.1		
	7	7, 8, 15			500	1	5.00 x 10 ⁻⁹	158.3	8.20 x 10 ⁸
	8	7, 8, 15		500	10	5.00 x 10 ⁻⁸	161.7		
	9	7, 8, 15		500	100	5.00 x 10 ⁻⁷	162.1		
	10	7, 8, 15			2000	1	1.25 x 10 ⁻⁹	156.0	3.28 x 10 ⁹
	11	7, 8, 15		2000	10	1.25 x 10 ⁻⁸	161.4		
	12	7, 8, 15		2000	100	1.25 x 10 ⁻⁷	162.1		
b	13	5, 8, 15	1.39 x 10 ⁶	50	1	1.43 x 10 ⁻⁷	117.3	6.95 x 10 ⁷	
	14	5, 8, 15		50	10	1.43 x 10 ⁻⁶	117.2		
	15	5, 8, 15		50	100	1.43 x 10 ⁻⁵	117.2		
	16	5, 8, 15			200	1	3.57 x 10 ⁻⁸	117.3	2.78 x 10 ⁸
	17	5, 8, 15		200	10	3.57 x 10 ⁻⁷	117.2		
	18	5, 8, 15		200	100	3.57 x 10 ⁻⁶	117.2		
	19	5, 8, 15			500	1	1.43 x 10 ⁻⁸	117.4	6.95 x 10 ⁸
	20	5, 8, 15		500	10	1.43 x 10 ⁻⁷	117.2		
	21	5, 8, 15		500	100	1.43 x 10 ⁻⁶	117.2		
	22	5, 8, 15			2000	1	3.57 x 10 ⁻⁹	117.4	2.78 x 10 ⁹
	23	5, 8, 15		2000	10	3.57 x 10 ⁻⁸	117.3		
	24	5, 8, 15		2000	100	3.57 x 10 ⁻⁷	117.2		
c	25	7, 9, 10	2.03 x 10 ⁶	50	-	5.00 x 10 ⁻⁷	147.0	1.02 x 10 ⁸	
	26	7, 9, 10		200	-	1.25 x 10 ⁻⁷	146.7	4.06 x 10 ⁸	
	27	7, 9, 10		500	-	5.00 x 10 ⁻⁸	146.2	1.02 x 10 ⁹	
	28	7, 9, 10		2000	-	1.25 x 10 ⁻⁸	144.1	4.06 x 10 ⁹	

II Einfluss der Störzonen auf die Tunneltemperatur

Aus den berechneten Einflüssen der einzelnen Störzonentypen a, b und c auf die Tunneltemperatur (vgl. Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19, jeweils die untere Figur) hat sich für das verwendete 3D-FE-Gebirgsmodell mit Tunnel Folgendes gezeigt:

- Die Störzonen, die nach einer Durchörterung eine totale Schüttungsrate Q_{eff} von über 10 l/s erzeugen, weisen eine Temperaturanomalie im Tunnel von -2°C bis -30°C auf.
- Störzonen mit Schüttungsraten in der Grössenordnung von 1 l/s beeinflussen die Tunneltemperatur mit weniger als 1°C (Fig. 17).
- Unterschiedliche Störzonen, die nach einer Durchörterung dieselben Schüttungsraten erzeugen, können eine sehr unterschiedliche Temperaturanomalie aufweisen (Fig. 18, Fig. 19). Die untersuchten Störzonen mit hohen Schüttungsraten Q_{eff} kündigen sich mindestens 1000 m vorher durch eine Temperaturanomalie im Tunnel von $> 5^{\circ}\text{C}$ an (Fig. 19).
- Nahgelegene Störzonen, die nicht durchörtert werden, lassen sich von solchen mit einer Durchörterung nicht grundsätzlich unterscheiden (Fig. 18, c).
- Wird eine bestimmte Schüttungsrate von einer Störzone über eine grössere Mächtigkeit geliefert, so sind die Abkühlcharakteristiken der Tunneltemperaturen vergleichbar (Fig. 18, Fig. 19). Über welche Länge also eine bestimmte totale Schüttungsrate geliefert wird, ist mit den Tunneltemperaturen alleine nicht bestimmbar.

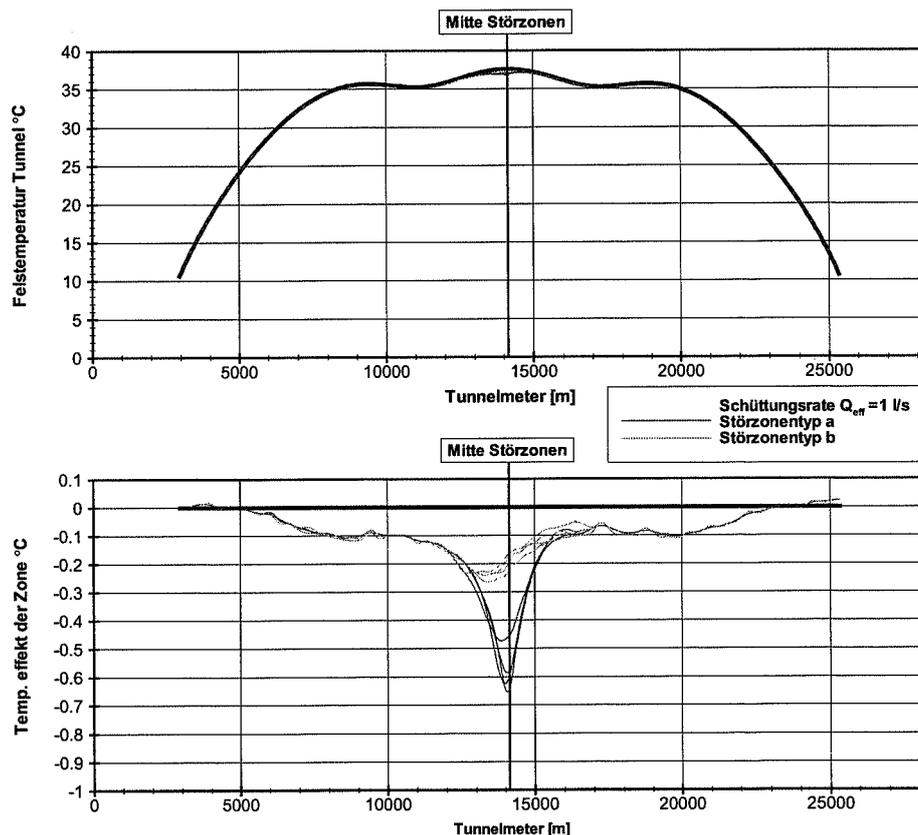


Fig. 17: Tunneltemperaturen für die jeweils 4 Mächtigkeiten (vgl. Tab. 1) der Störzonentypen a und b mit 1 l/s Schüttungsrate nach einer Durchörterung

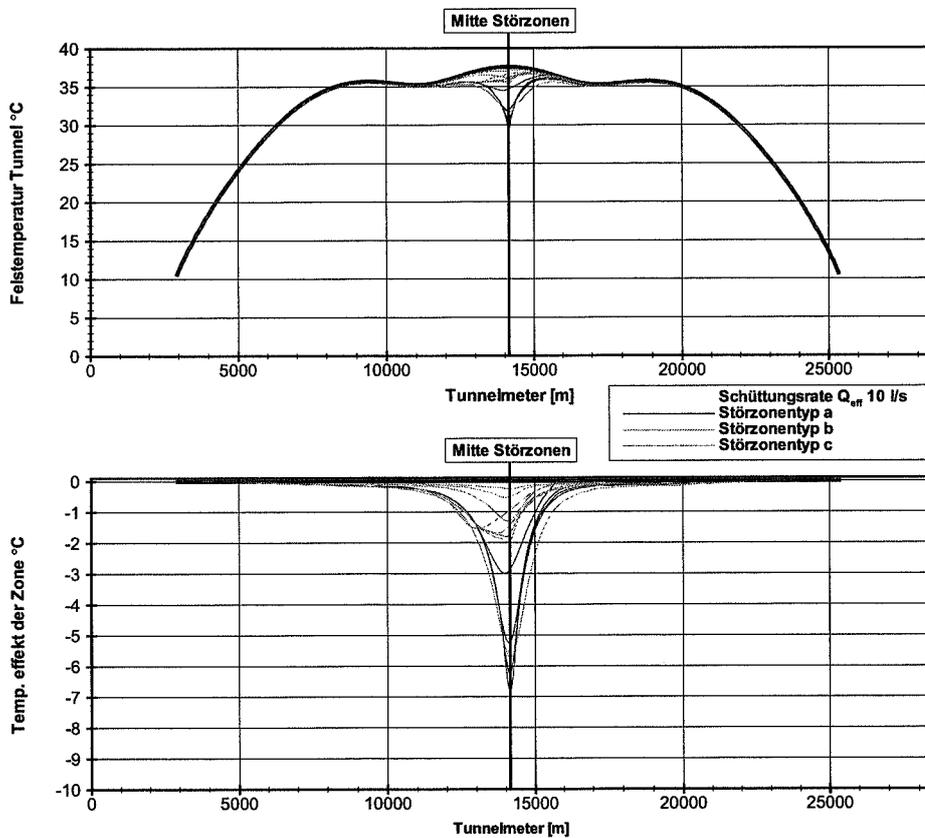


Fig. 18: Tunneltemperaturen für die jeweils 4 Mächtigkeiten (vgl. Tab. 1) der Störzontentypen a, b und c (keine Durchörterung, K-Wert wie a) mit 10 l/s Schüttungsrate nach einer Durchörterung

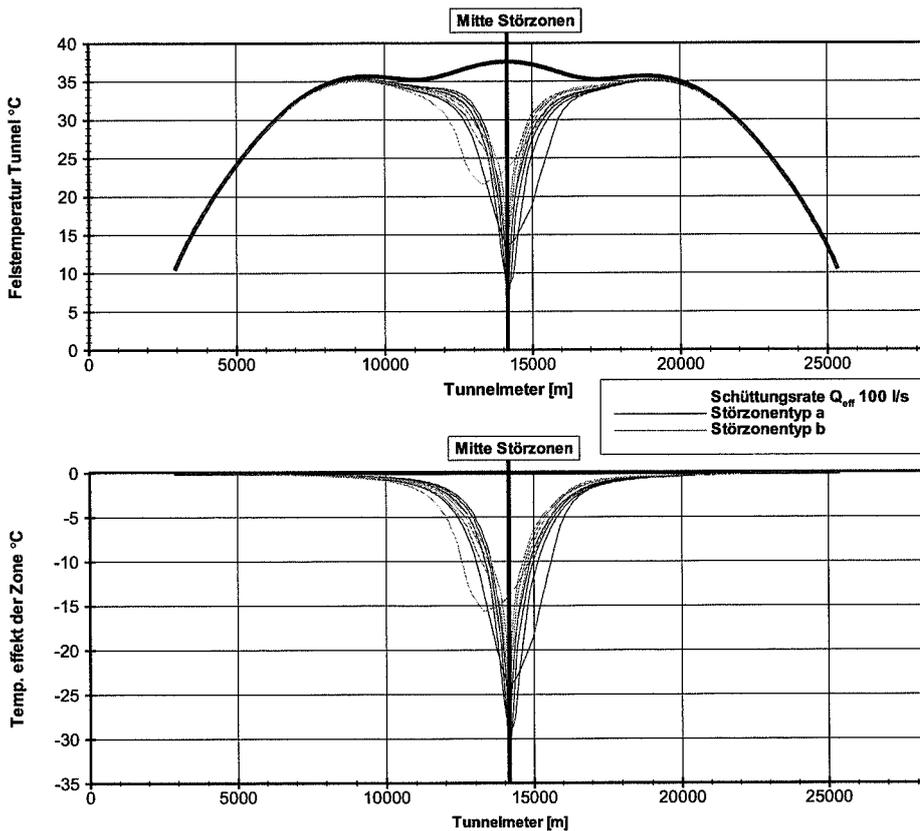


Fig. 19: Tunneltemperaturen für die jeweils 4 Mächtigkeiten (vgl. Tab. 1) der Störzontentypen a und b mit 100 l/s Schüttungsrate nach einer Durchörterung

4.3 Bestimmbarkeit von vortriebsrelevanten Parametern von wasserführenden Störzonen mittels Tunnelfelstemperaturen

Die Bestimmbarkeit der vortriebsrelevanten Parametern von wasserführenden Zonen („effektive Störzonen“) wurde durch die Simulation eines Tunnelvortriebs in Richtung der effektiven Störzonen vom Typ a, b und c (Fig. 14-Fig. 16) evaluiert. Dabei sind

- T_K Die prognostizierte Kalibrationstemperatur im Tunnel für ein trockenes Gebirge (Fig. 13)
- T_{eff} Die „gemessene“ Tunneltemperatur bis zur aktuellen Ortsbrust, die hier für die effektiven Störzonentypen a, b und c berechnet wurde (Fig. 17 - Fig. 19)

Die Lage der effektiven Störzone ist während des Vortriebs im allgemeinen nicht bekannt. Es wurde daher an den folgenden drei Vortriebspositionen (A1 – A3, Fig. 20) eine Interpretation der bis zur Ortsbrust bekannten T_{eff} vorgenommen:

1. Die Ortsbrust liegt 500 m vor der effektiven Störzone: A1
2. Die Ortsbrust liegt 200 m vor der effektiven Störzone: A2
3. Die Ortsbrust liegt unmittelbar vor der effektiven Störzone: A3

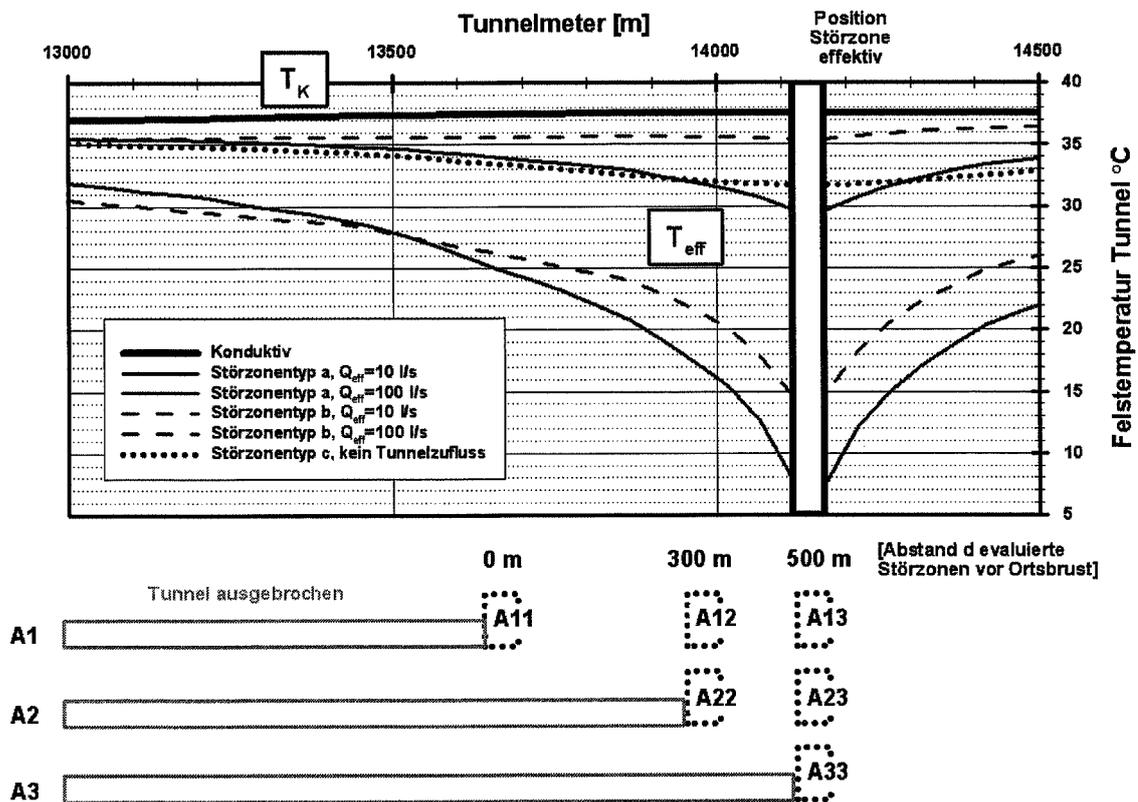


Fig. 20: Kalibrationstemperatur (T_K) und gemessene (T_{eff}) Felstemperatur im/entlang des Tunnels im Vorfeld einer wasserführenden Störzone vom Typ a, b und c für eine effektive Schüttung nach der Durchörterung (nur Typ a und b) von jeweils 10 l/s und 100 l/s.

An den Positionen A11, A12, ..., A33 wurde mit dem automatischen Lokalmodell-Generator je über 1500 verschiedenen Störzonenmodellen eingebaut und die jeweilige Tunneltemperatur berechnet (Kapitel 3.4). Für diejenigen Störzonenmodelle, deren prognostizierte Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} fiten (i.d.R. $\pm 1^\circ\text{C}$), wurden die folgenden Parameter extrahiert und statistisch ausgewertet:

- Q_P Initiale Schüttungsrate nach einer Durchörterung der Störzone
- P_P Initialer Wasserdruck unter der Annahme, dass der bereits ausgebrochene Tunnel das vorgelagerte Gebirge nicht schon wesentlich entwässert hat.
- V_P Das Volumen der Störzone oberhalb des Tunnelniveaus, woraus sich unter der Annahme einer Porosität das gespeicherte Wasservolumen abschätzen lässt. Im Folgenden wurde eine Porosität von 5% angenommen.

Bei der Auswertung wurde zwischen zwei strukturgeologischen Kenntnisständen unterschieden:

1. Ueber die Orientierung von möglichen Störzonen ist nichts bekannt, alle Orientierungen sind grundsätzlich gleich wahrscheinlich
2. Das Fallen und Streichen von möglichen Störzonen ist strukturgeologisch gegeben

Die Prognosen wurden für jeden Störzonentyp a, b, und c mit einer Mächtigkeit von 50 m und einer nach einer Durchörterung effektiv auftretenden Schüttungsrate Q_{eff} von 10 l/s und 100 l/s erstellt. Störzonentyp c schneidet den Tunnel nicht. Die hydraulische Leitfähigkeit darin wurde so festgelegt, dass sich bei einer fiktiven Durchörterung eine Schüttungsrate von 10 l/s ergeben würde (vgl. Tab. 3, Fall 25).

Tab. 4: Fälle von verschiedenen effektiven Störzonen, deren Prognostizierbarkeit untersucht wurde.

Kapitel	Typ Störzone	Schüttungsrate nach Durchörterung	Volumen der Störzone (100% Porosität)	Wasservolumen in der Störzone (5% Porosität)	Initialer Wasserdruck	Bekannte Informationen zur effektiven Störzone
		Q_{eff} [l/s]	V_{eff} [m ³]	$V_{eff,5\%}$ [m ³]	P_{eff} [bar]	
I	a	10	82×10^6	4.1×10^6	161.9	keine
	a	10				Streichen/Fallen
II	a	100			162.1	keine
	a	100				Streichen/Fallen
III	b	10	69.5×10^6	3.5×10^6	117.2	keine
	b	10				Streichen/Fallen
IV	b	100			117.2	keine
	b	100				Streichen/Fallen
V	c	(10)	102×10^6	5.1×10^6	147	keine
	c	(10)				Streichen/Fallen

I Störzonentyp a, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s (Anhang 4-1)

Die statistische Auswertung der Berechnungen für Q_P , P_P und V_P von denjenigen Störzonenmodellen, deren Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} innerhalb von $\pm 1^\circ\text{C}$ fitten (Fig. 21), erlaubt eine Prognose für die mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust an den verschiedenen Vortriebspositionen in Richtung der effektiven Störzone (vgl. Fig. 22, Fig. 23, Fig. 24). Für jede Vortriebsposition lässt sich daraus Aussagen über das Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust angeben (Tab. 6-Tab. 8). Der zusammenfassende Vergleich zwischen den Prognosen und den effektiven Werten („Befund“, Tab. 5) zeigt, dass die Prognostizierbarkeit von Schüttungsraten Q_P und Initialdrücken P_P besser ist als von Wasservolumina V_P (Tab. 9).

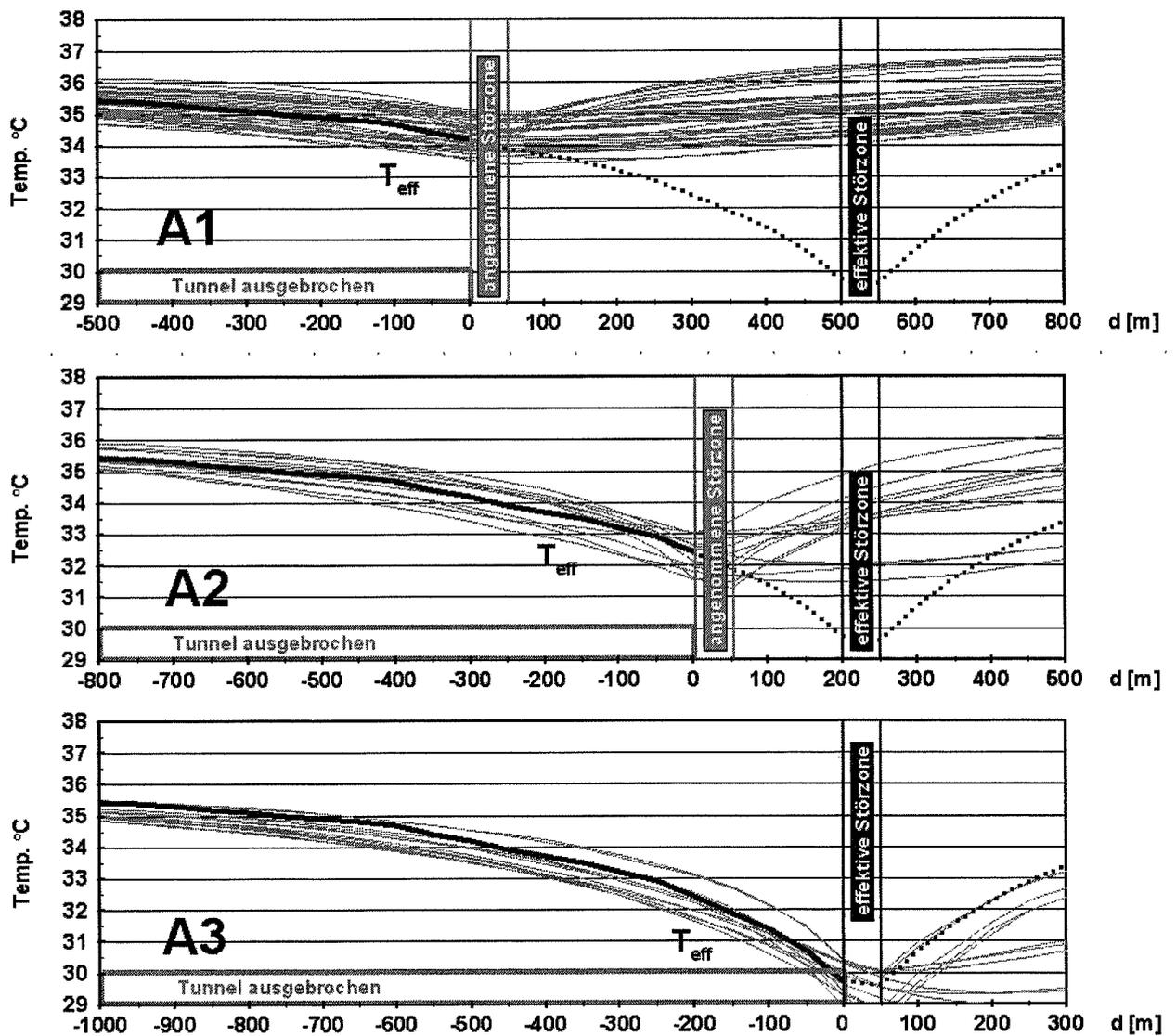


Fig. 21: Tunneltemperaturen T_P (hellgrau) der angenommenen Störzonen unmittelbar vor der Ortsbrust bei den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3, deren Übereinstimmung mit der aktuell bekannten Tunneltemperatur T_{eff} der effektiven Störzone (Type a, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s) als ausreichend angenommen wurde ($\pm 1^\circ\text{C}$). Hier dargestellt sind die Temperaturen der Störzonen, deren Streichen und Einfallen als bekannt vorausgesetzt wurde.

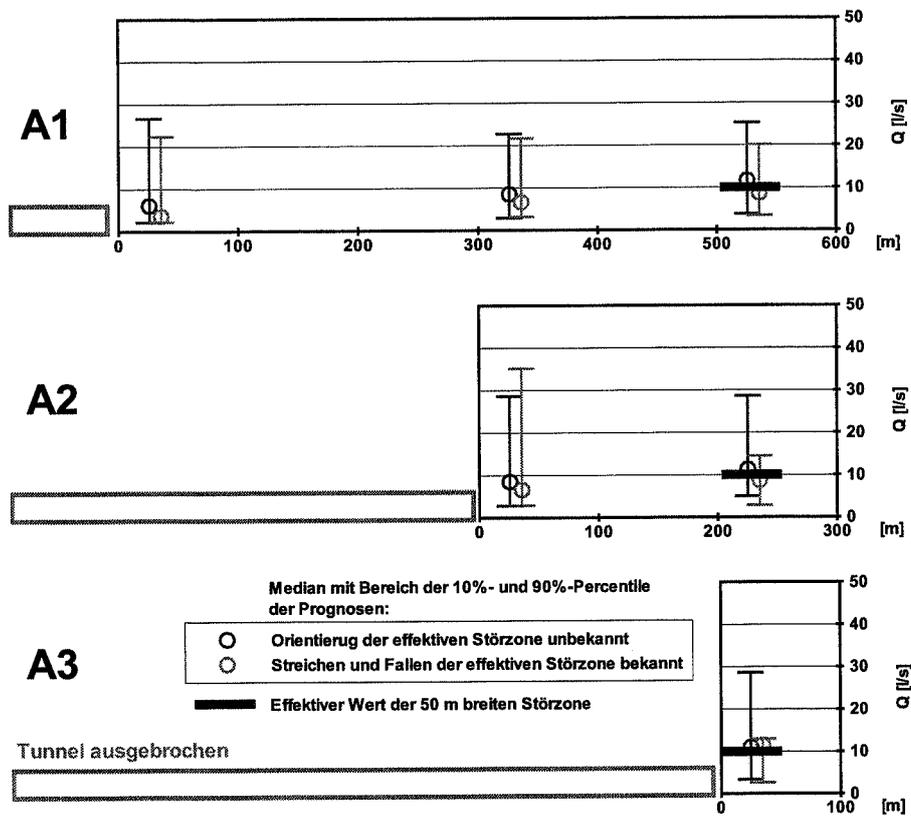


Fig. 22: Prognosen der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3

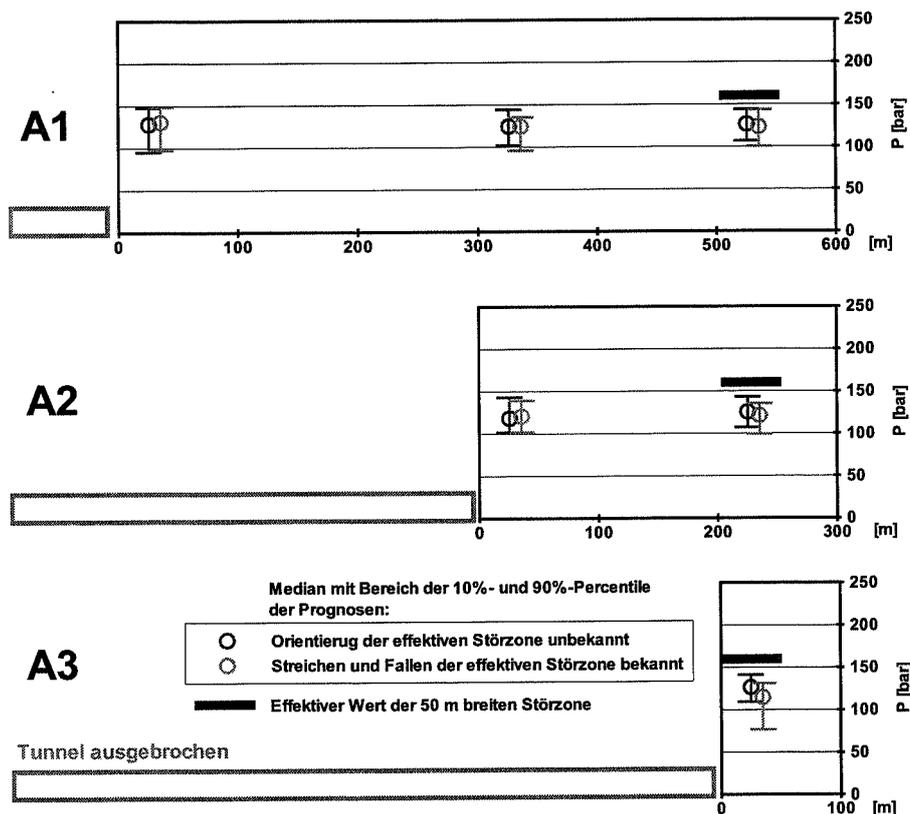


Fig. 23: Prognosen der zu erwartenden initialen Wasserdrücke P_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

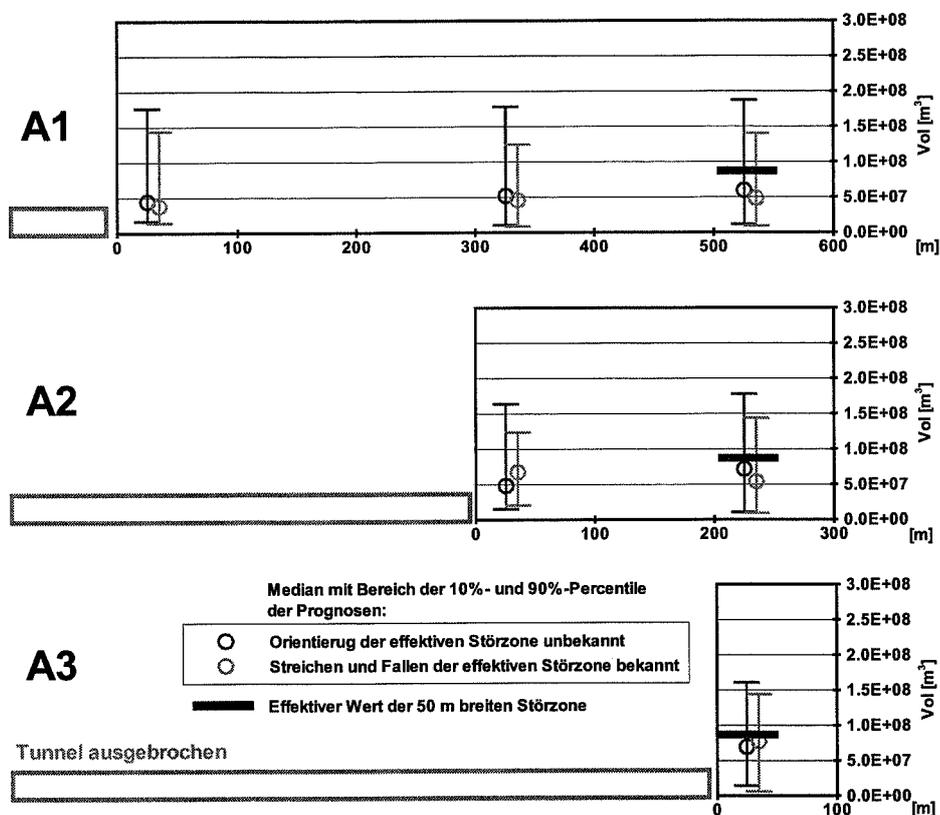


Fig. 24: Prognosen der zu erwartenden Störzonen volumina V_P (=100% Porosität) an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

Tab. 5: „Befund“ für effektive Störzzone Typ a mit $Q_{\text{eff}}=10$ l/s

Befund bei/nach Durchörterung der effektiven Störzzone		
Q_{eff}	10 l/s	-
P_{eff}	161.9 bar	-
$V_{\text{eff},5\%}$	$4.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Annahme 5% Porosität)	-

Tab. 6: Prognosen an Vortriebsposition A1 für effektive Störzzone Typ a mit $Q_{\text{eff}}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A1 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzzone 500 m)		
	Annahme A11: Störzzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A12/A13: Störzzone 300 m/500 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 26 l/s 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 2.2 l/s	Je später die Störzzone durchörtert wird, umso grössere Schüttungsraten werden wahrscheinlich (steigender Medianwert mit zunehmendem d)
P_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 148 bar 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 95 bar 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 128 bar	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
$V_{P,5\%}$	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < $9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$	Im Wesentlichen dieselbe Prognose

Tab. 7: Prognosen an Vortriebsposition A2 für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A2 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 200 m)		
	Annahme A22: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A23: Störzone 200 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 28 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 2.8 l/s	Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 15$ l/s
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1

Tab. 8: Prognosen an Vortriebsposition A3 für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A3 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 0 m)		
	Annahme A33: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 28 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 3.4 l/s 3. Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 12.9$ l/s und am wahrscheinlichsten (Medianwert) $Q_P = 11.5$ l/s	-
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-

Tab. 9: Vergleich von Prognose (ohne strukturgeologische Kenntnisse) und Befund

	90% Sicherheit (90%-Perzentile):	Höchste Wahrscheinlichkeit (Medianwert):	Einfluss von strukturgeologischen Kenntnissen
Q_P	An jeder Vortriebsposition wird für den Fall einer Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust $Q_P < 3 \times Q_{eff}$ prognostiziert	Unabhängig von der Vortriebsposition ist $Q_P = Q_{eff}$ für den Ort der effektiven Störzone. Für das Vorfeld der effektiven Störzone ist $Q_P < Q_{eff}$.	Die Prognose für den Ort der effektiven Störzone wird stark verbessert.
P_P	Alle Prognosen liegen ca. 10% unterhalb des Befunds.	Alle Prognosen liegen ca. 20% unterhalb des Befunds.	Keinen Einfluss
$V_{P,5\%}$	Alle Prognosen liegen um einen Faktor 2 oberhalb des Befunds.	Alle Prognosen liegen ca. 40% unterhalb des Befunds.	Leichte Verbesserung der 90%-Perzentile

II Störzonentyp a, $Q_{\text{eff}}=100 \text{ l/s}$ (Anhang 4-2)

Die statistische Auswertung der Berechnungen für Q_P , P_P und V_P von denjenigen Störzonenmodellen, deren Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} innerhalb von $\pm 1^\circ\text{C}$ fitten (Fig. 25), erlaubt eine Prognose für die mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust an den verschiedenen Vortriebspositionen in Richtung der effektiven Störzone (vgl. Fig. 26, Fig. 27, Fig. 28). Für jede Vortriebsposition lässt sich daraus Aussagen über das Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust angeben (Tab. 11-Tab. 13). Der zusammenfassende Vergleich zwischen den Prognosen und den effektiven Werten („Befund“, Tab. 10) zeigt, dass die Prognostizierbarkeit von Schüttungsraten Q_P und Initialdrücken P_P besser ist als von Wasservolumina V_P (Tab. 14).

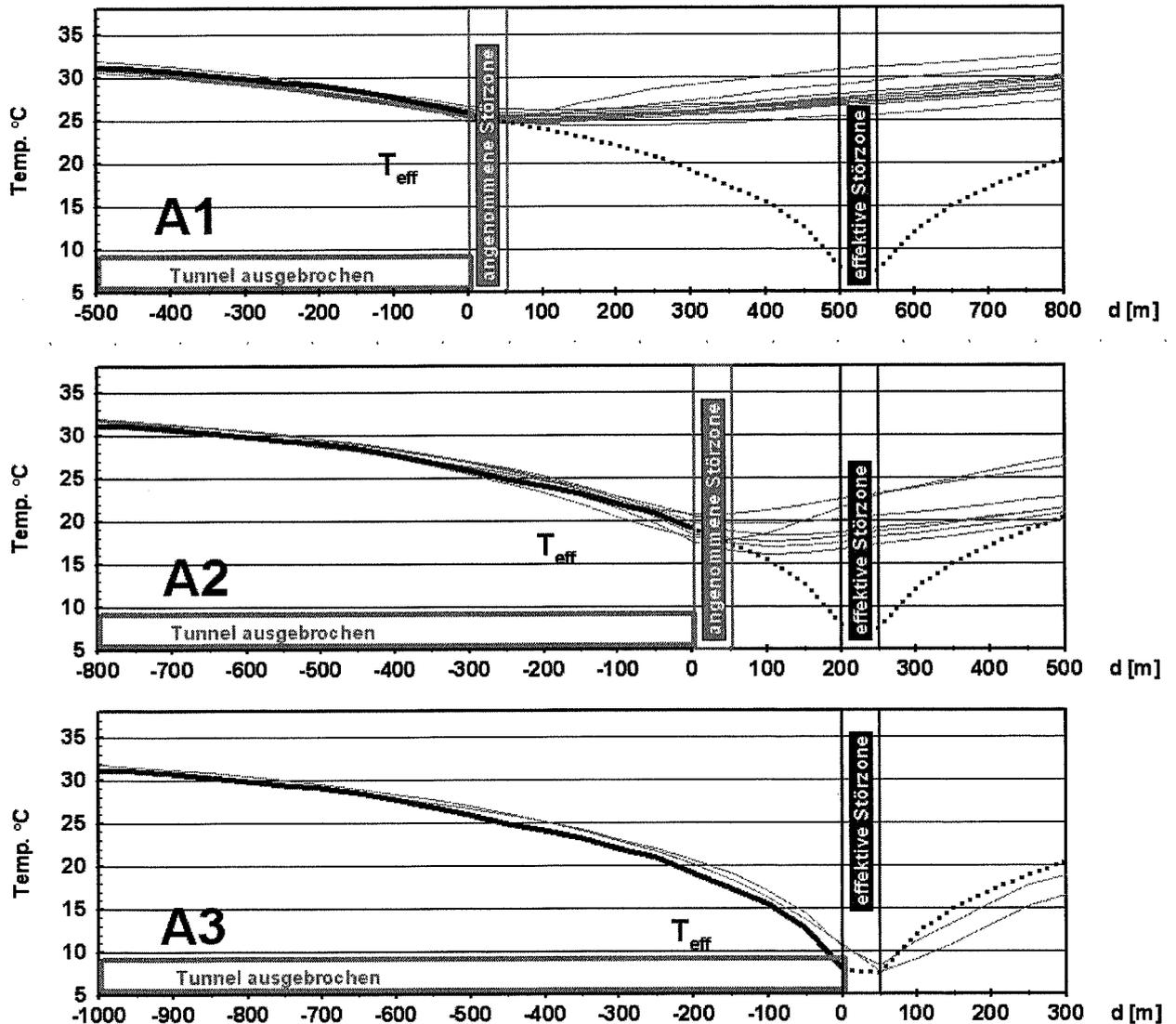


Fig. 25: Tunneltemperaturen T_P (hellgrau) der angenommenen Störzonen unmittelbar vor der Ortsbrust bei den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3, deren Übereinstimmung mit der aktuell bekannten Tunneltemperatur T_{eff} der effektiven Störzone (Typ a, $Q_{\text{eff}}=100 \text{ l/s}$) als ausreichend angenommen wurde ($\pm 1^\circ\text{C}$). Hier dargestellt sind die Temperaturen der Störzonen, deren Streichen und Einfallen als bekannt vorausgesetzt wurde.

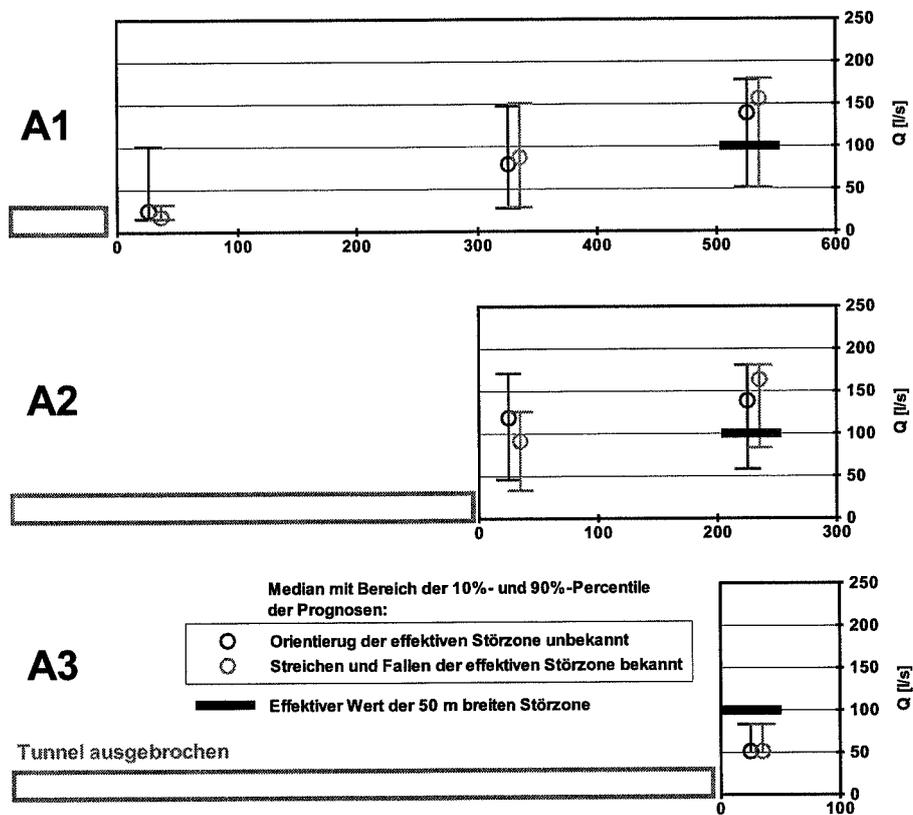


Fig. 26: Prognosen der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3

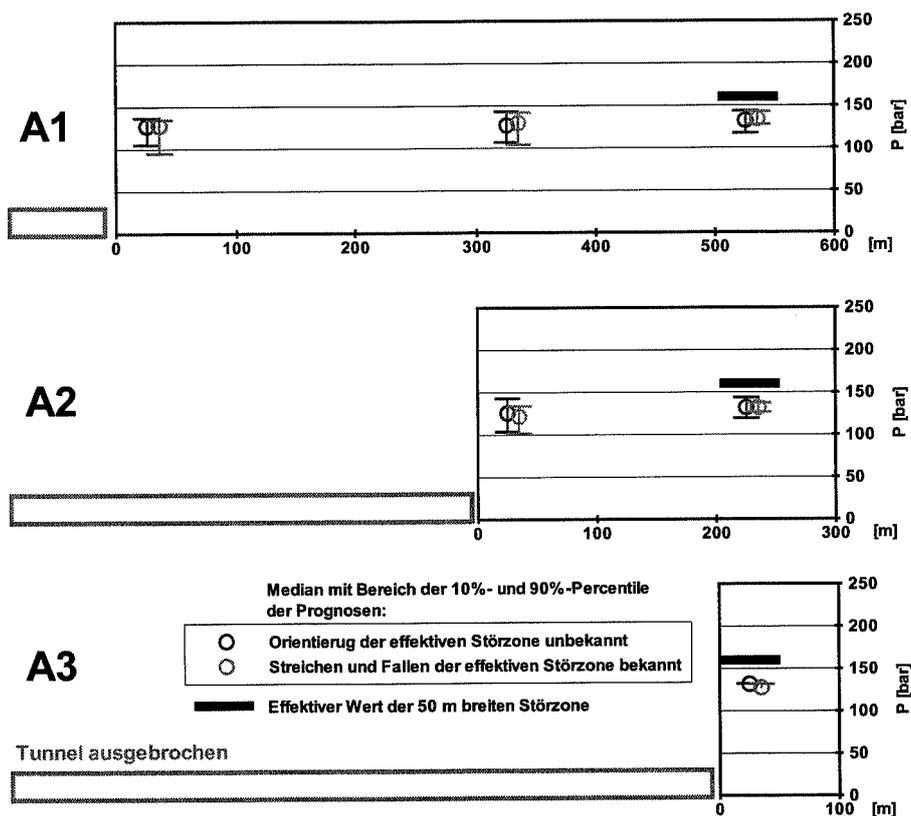


Fig. 27: Prognosen der zu erwartenden initialen Wasserdrücke P_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

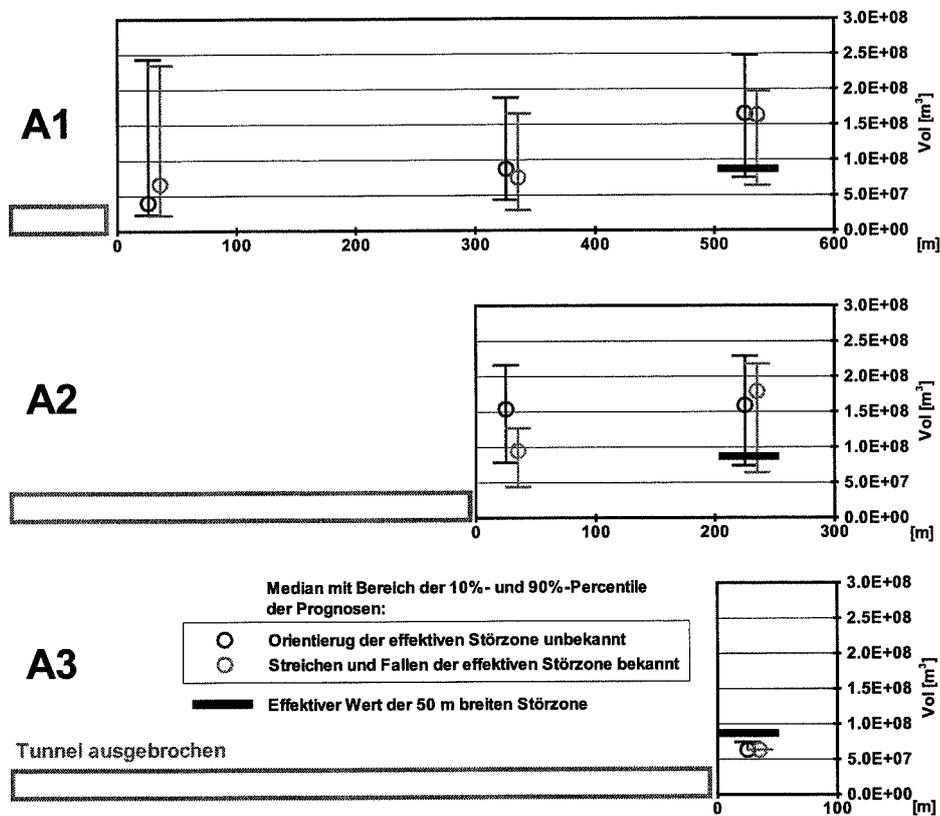


Fig. 28: Prognosen der zu erwartenden Störzonenvolumina V_P (=100% Porosität) an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

Tab. 10: „Befund“ für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=100$ l/s

Befund bei/nach Durchörterung der effektiven Störzone	
Q_{eff}	100 l/s
P_{eff}	162.1 bar
$V_{eff,5\%}$	4.1×10^6 m ³ (Annahme 5% Porosität)

Tab. 11: Prognosen an Vortriebsposition A1 für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A1 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 500 m)		
	Annahme A11: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A12/A13: Störzone 300 m/500 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 100.8 l/s 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 15.7 l/s 3. Ist das Streichen und Fallen von möglichen Störzonen bekannt, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 32.3$ l/s	Je später die Störzone durchörtert wird, umso grössere Schüttungsraten werden wahrscheinlich (steigender Medianwert mit zunehmendem d)
P_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 137 bar 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 105 bar 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 127 bar	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
$V_{P,5\%}$	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 12×10^6 m ³ 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 1.2×10^6 m ³	Je später die Störzone durchörtert wird, umso grössere, oberhalb des Tunnelniveaus gespeicherte Wasservolumina werden wahrscheinlich (steigender Medianwert mit zunehmendem d)

Tab. 12: Prognosen an Vortriebsposition A2 für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A2 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 200 m)		
	Annahme A22: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A23: Störzone 200 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 171 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 45.8 l/s 3. Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 125.8$ l/s	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
P_P	Aehnlich wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1

Tab. 13: Prognosen an Vortriebsposition A3 für effektive Störzone Typ a mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A3 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 0 m)		
	Annahme A33: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 83.2 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 51.3 l/s	-
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-
$V_{P,5\%}$	3.0×10^6 m ³ wahrscheinlich	-

Tab. 14: Vergleich von Prognose (ohne strukturgeologische Kenntnisse) und Befund

	90% Sicherheit (90%-Perzentile):	Höchste Wahrscheinlichkeit (Medianwert):	Einfluss von strukturgeologischen Kenntnissen
Q_P	An jeder Vortriebsposition wird für den Fall einer Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust $Q_P < 0.8-1.7 \times Q_{eff}$ prognostiziert	Unabhängig von der Vortriebsposition ist $Q_P = 0.5-1.5 \times Q_{eff}$ für den Ort der effektiven Störzone. Für das Vorfeld der effektiven Störzone ist $Q_P < Q_{eff}$.	Mässige Verbesserung.
P_P	Alle Prognosen liegen ca. 15% unterhalb des Befunds.	Die Prognose liegt ca. 25% unterhalb des Befunds.	Keinen Einfluss
$V_{P,5\%}$	Am Ort der effektiven Störzone liegt die Prognose ca. 30% unterhalb des Befunds, sonst um einen Faktor 3 oberhalb.	Am Ort der effektiven Störzone liegt die Prognose ca. 30% unterhalb des Befunds, sonst um einen Faktor 1.5 oberhalb.	Mässige Verbesserung

III Störzonentyp b, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s, (Anhang 4-3)

Die statistische Auswertung der Berechnungen für Q_P , P_P und V_P von denjenigen Störzonenmodellen, deren Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} innerhalb von $\pm 1^\circ\text{C}$ fitten (Fig. 29), erlaubt eine Prognose für die mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust an den verschiedenen Vortriebspositionen in Richtung der effektiven Störzone (vgl. Fig. 30, Fig. 31, Fig. 32). Für jede Vortriebsposition lässt sich daraus Aussagen über das Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust angeben (Tab. 16-Tab. 18). Der zusammenfassende Vergleich zwischen den Prognosen und den effektiven Werten („Befund“, Tab. 15) zeigt, dass die Prognostizierbarkeit von Schüttungsraten Q_P und Initialdrücken P_P besser ist als von Wasservolumina V_P (Tab. 19).

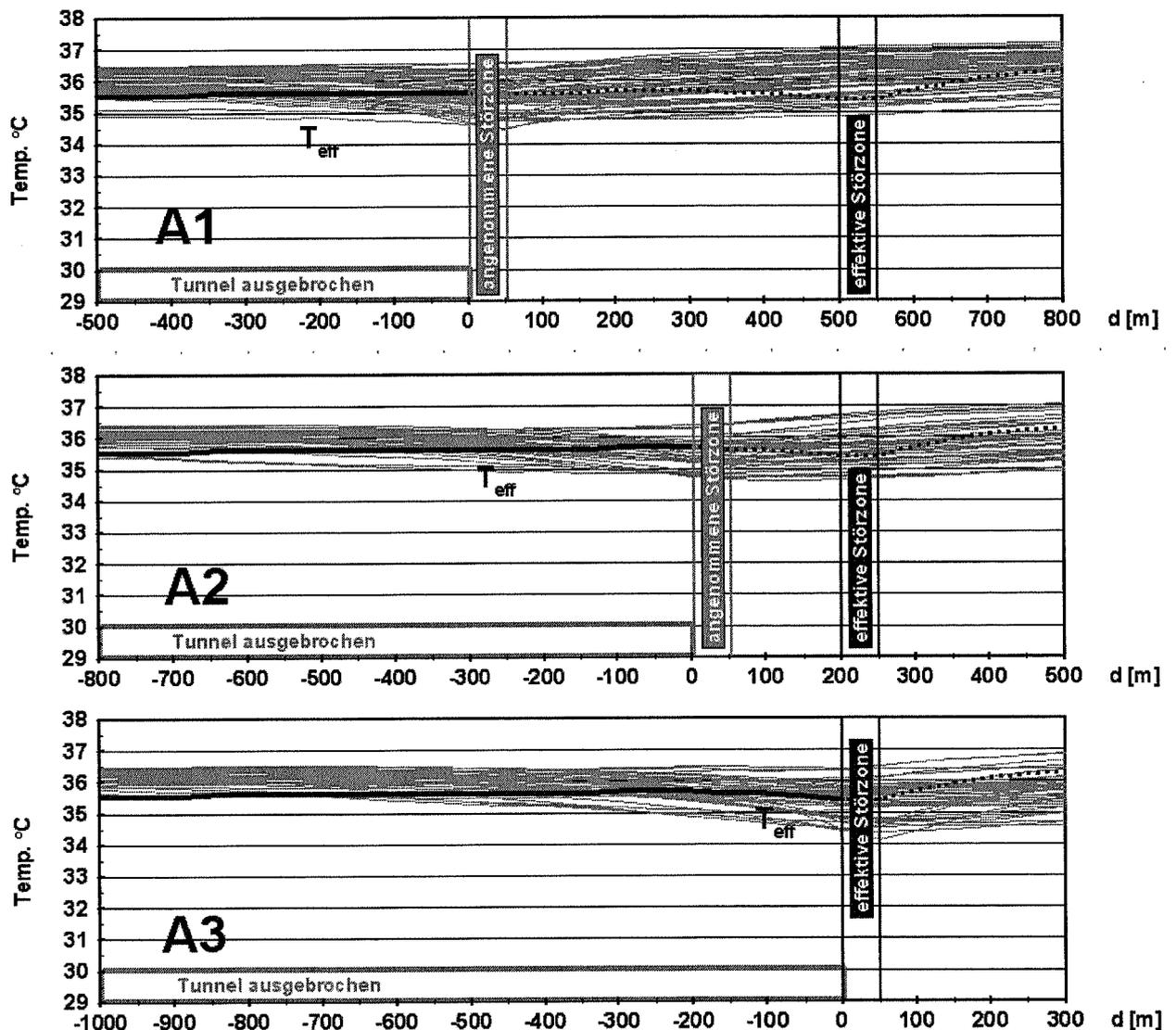


Fig. 29: Tunneltemperaturen T_P (hellgrau) der angenommenen Störzonen unmittelbar vor der Ortsbrust bei den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3, deren Übereinstimmung mit der aktuell bekannten Tunneltemperatur T_{eff} der effektiven Störzone (Typ b, $Q_{\text{eff}}=10$ l/s) als ausreichend angenommen wurde ($\pm 1^\circ\text{C}$). Hier dargestellt sind die Temperaturen der Störzonen, deren Streichen und Einfallen als bekannt vorausgesetzt wurde.

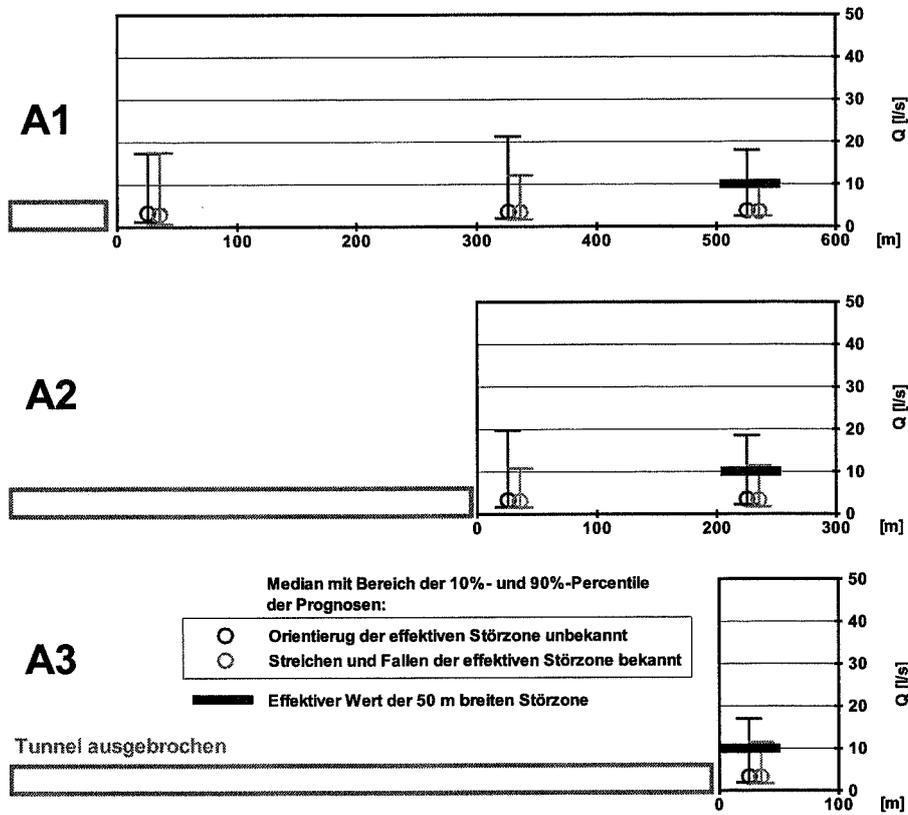


Fig. 30: Prognosen der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3

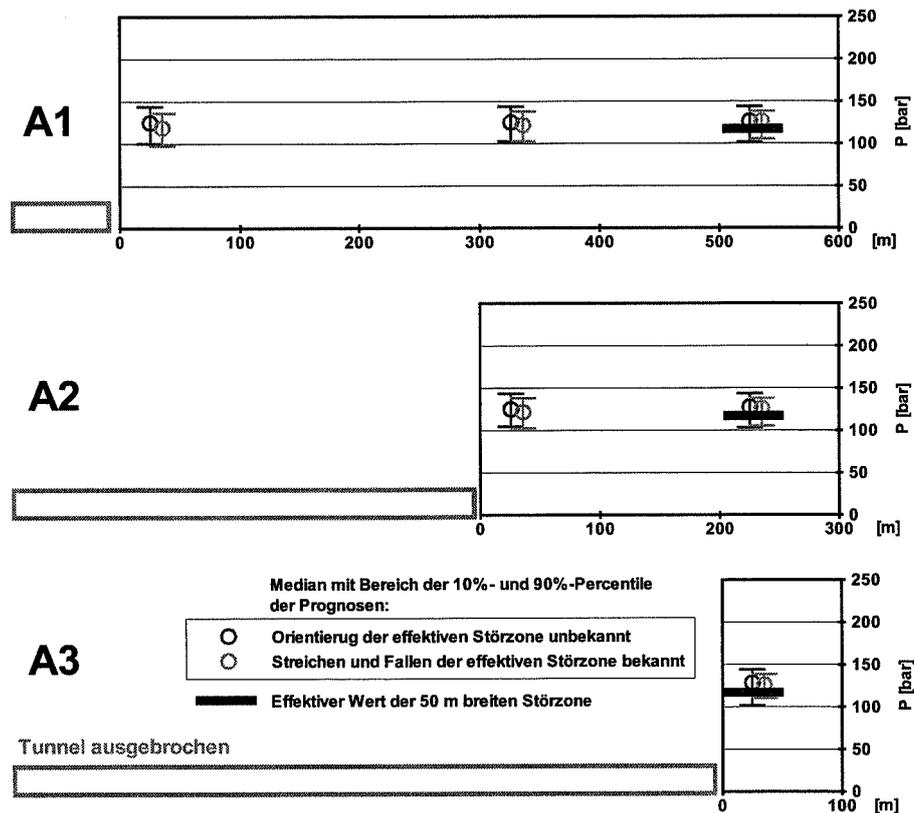


Fig. 31: Prognosen der zu erwartenden initialen Wasserdrücke P_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

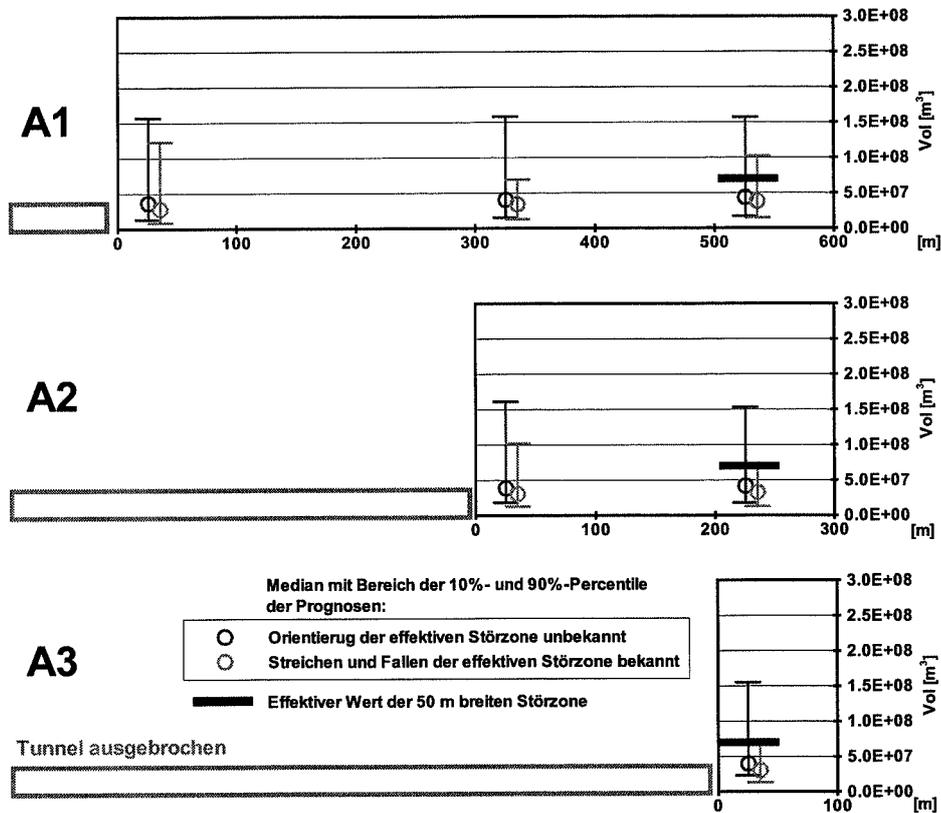


Fig. 32: Prognosen der zu erwartenden Störzonen volumina V_P (=100% Porosität) an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

Tab. 15: „Befund“ für effektive Störzone Typ b mit $Q_{\text{eff}}=10$ l/s

Befund bei/nach Durchörterung der effektiven Störzone		
Q_{eff}	10 l/s	-
P_{eff}	117.2 bar	-
$V_{\text{eff},5\%}$	$3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Annahme 5% Porosität)	-

Tab. 16: Prognosen an Vortriebsposition A1 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{\text{eff}}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A1 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 500 m)		
	Annahme A11: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A12/A13: Störzone 300 m/500 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 17.4 l/s 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 1.2 l/s	Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 12.1$ l/s
P_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 144 bar 4. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 100 bar 5. Grösste Wahrscheinlichkeit = 125 bar	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
$V_{P,5\%}$	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < $0.65 \times 10^6 \text{ m}^3$	Im Wesentlichen dieselbe Prognose

Tab. 17: Prognosen an Vortriebsposition A2 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A2 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 200 m)		
	Annahme A22: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A23: Störzone 200 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 19.7 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 1.7 l/s	Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 11.4$ l/s
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1

Tab. 18: Prognosen an Vortriebsposition A3 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=10$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A3 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 0 m)		
	Annahme A33: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 17 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 1.9 l/s 3. Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 11.4$ l/s und am wahrscheinlichsten (Medianwert) $Q_P = 3.3$ l/s	-
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-

Tab. 19: Vergleich von Prognose (ohne strukturgeologische Kenntnisse) und Befund

	90% Sicherheit (90%-Perzentile):	Höchste Wahrscheinlichkeit (Medianwert):	Einfluss von strukturgeologischen Kenntnissen
Q_P	An jeder Vortriebsposition wird für den Fall einer Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust $Q_P < 1.0-1.7 \times Q_{eff}$ prognostiziert	Unabhängig von der Vortriebsposition liegen alle Prognosen 70% unterhalb des Befunds.	Mässige Verbesserung.
P_P	Alle Prognosen liegen ca. 10% oberhalb des Befundes.	Alle Prognosen geben den Befund wieder.	Keinen Einfluss
$V_{P,5\%}$	Alle Prognosen liegen um einen Faktor 2 oberhalb des Befunds.	Alle Prognosen liegen ca. 50% unterhalb des Befunds..	Starke Verbesserung der 90%-Perzentilen.

IV Störzonentyp b, $Q_{\text{eff}}=100 \text{ l/s}$, (Anhang 4-4)

Die statistische Auswertung der Berechnungen für Q_P , P_P und V_P von denjenigen Störzonenmodellen, deren Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} innerhalb von $\pm 1^\circ\text{C}$ und 1.5°C fitten (Fig. 33), erlaubt eine Prognose für die mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust an den verschiedenen Vortriebspositionen in Richtung der effektiven Störzone (vgl. Fig. 34, Fig. 35, Fig. 36). Für jede Vortriebsposition lässt sich daraus Aussagen über das Risiko der Wasserführung vor der Ortsbrust angeben (Tab. 21-Tab. 23). Der zusammenfassende Vergleich zwischen den Prognosen und den effektiven Werten („Befund“, Tab. 20) zeigt, dass die Prognostizierbarkeit von Schüttungsraten Q_P und Initialdrücken P_P besser ist als von Wasservolumina V_P (Tab. 24).

Um die Anzahl der fittenden Störzonenmodelle zu erhöhen, wurde eine zweite Selektion mit einem Temperaturbereich von $\pm 1.5^\circ\text{C}$ (gelb) anstelle von $\pm 1^\circ\text{C}$ (grün) vorgenommen.

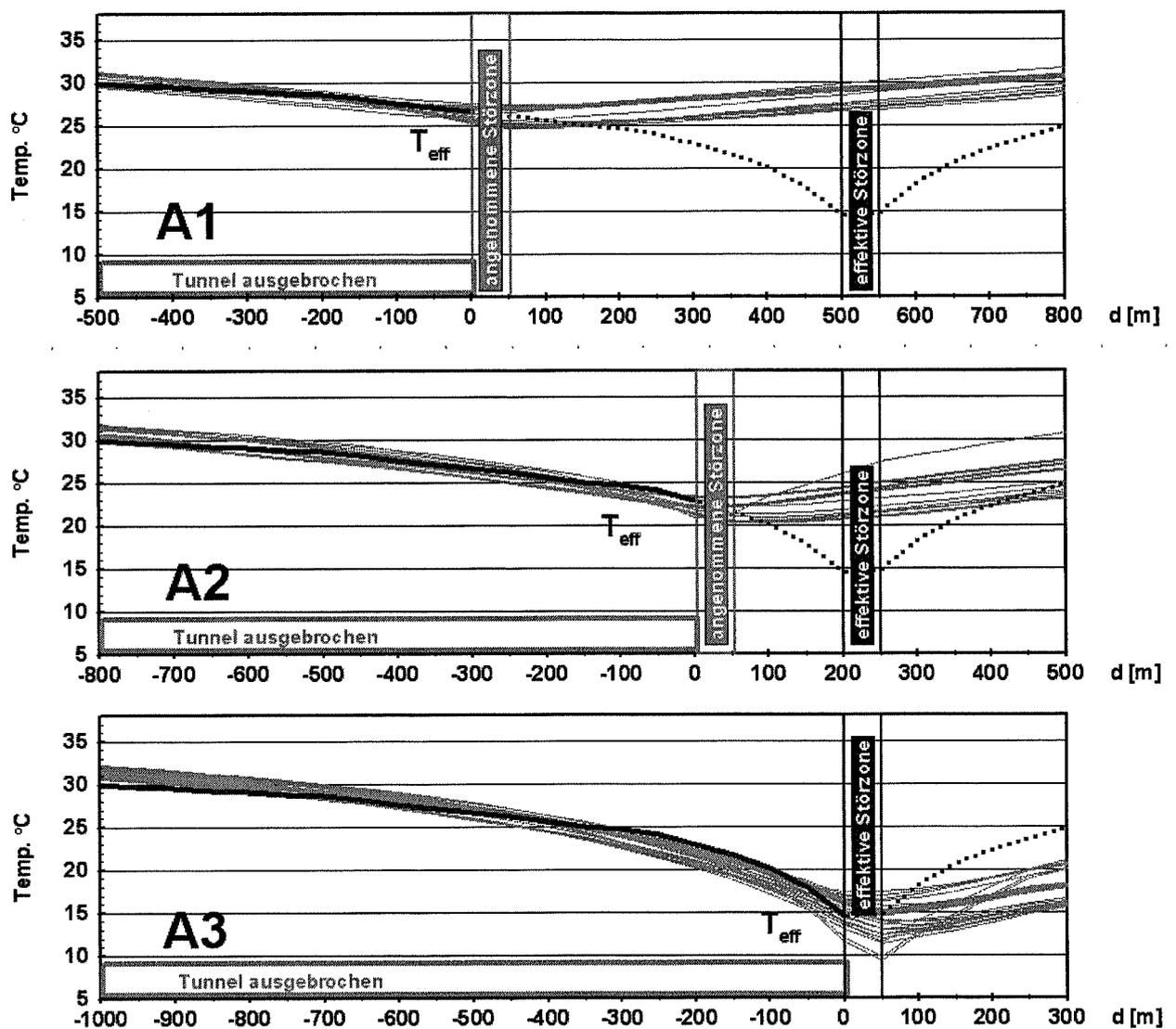


Fig. 33: Tunneltemperaturen T_P (hellgrau) der angenommenen Störzonen unmittelbar vor der Ortsbrust bei den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3, deren Übereinstimmung mit der aktuell bekannten Tunneltemperatur T_{eff} der effektiven Störzone (Typ b, $Q_{\text{eff}}=100 \text{ l/s}$) als ausreichend angenommen wurde ($\pm 1.5^\circ\text{C}$). Hier dargestellt sind die Temperaturen der Störzonen, deren Streichen und Einfallen als bekannt vorausgesetzt wurde.

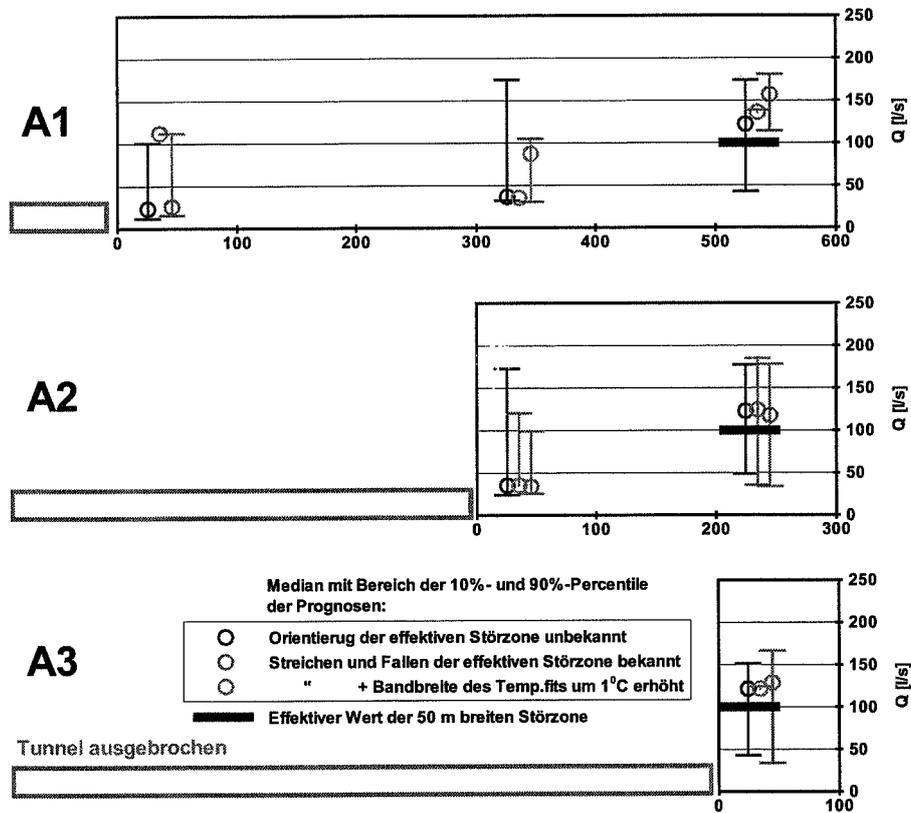


Fig. 34: Prognosen der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3

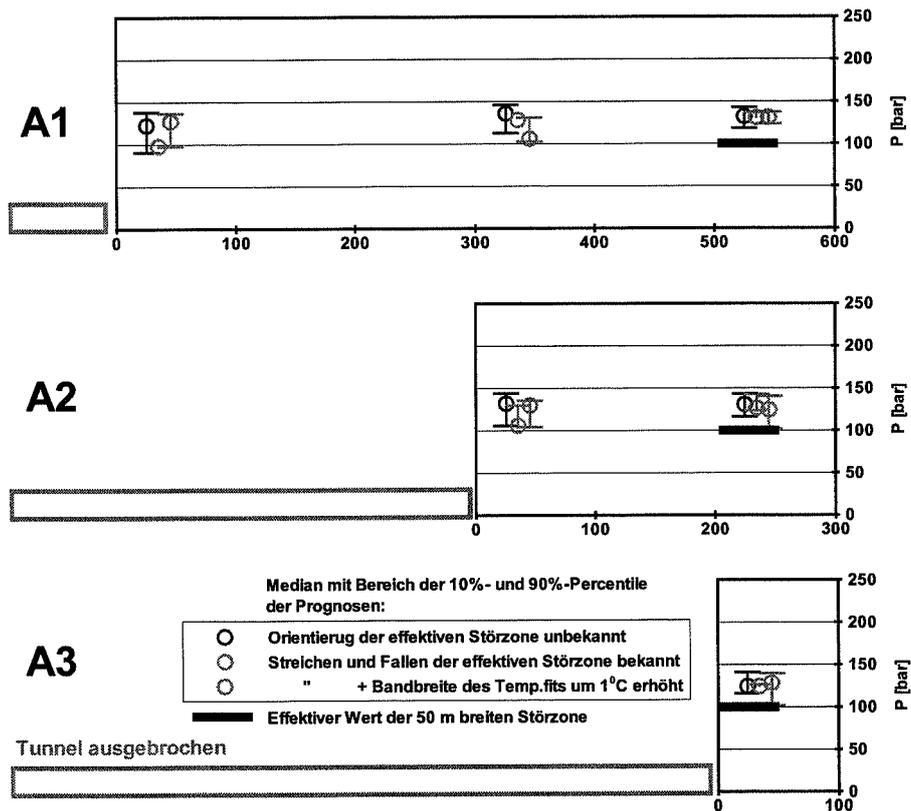


Fig. 35: Prognosen der zu erwartenden initialen Wasserdrücke P_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

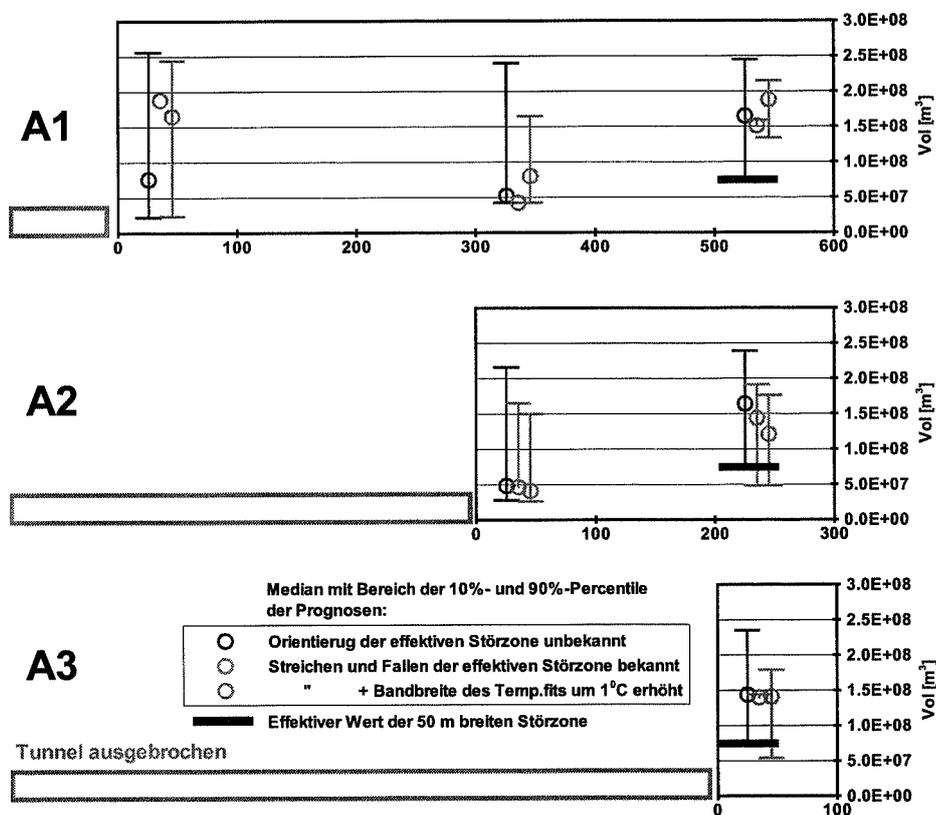


Fig. 36: Prognosen der zu erwartenden Störzonen volumina V_P (=100% Porosität) an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

Tab. 20: „Befund“ für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=100$ l/s

Befund bei/nach Durchörterung der effektiven Störzone		
Q_{eff}	100 l/s	-
P_{eff}	117.2 bar	-
$V_{eff,5\%}$	3.5×10^6 m ³ (Annahme 5% Porosität)	-

Tab. 21: Prognosen an Vortriebsposition A1 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A1 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 500 m)		
	Annahme A11: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A12/A13: Störzone 300 m/500 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 100.8 l/s 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 11.9 l/s	Je später die Störzone durchörtert wird, umso grössere Schüttungsraten werden wahrscheinlich (steigender Medianwert mit zunehmendem d)
P_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 138 bar 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 91 bar 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 123 bar	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
$V_{P,5\%}$	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 13×10^6 m ³ 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 1.1×10^6 m ³	Im Wesentlichen dieselbe Prognose

Tab. 22: Prognosen an Vortriebsposition A2 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A2 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 200 m)		
	Annahme A22: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A23: Störzone 200 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 172.9 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 24 l/s	Je später die Störzone durchörtert wird, umso grössere Schüttungsraten werden wahrscheinlich (steigender Medianwert mit zunehmendem d)
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1

Tab. 23: Prognosen an Vortriebsposition A3 für effektive Störzone Typ b mit $Q_{eff}=100$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A3 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 0 m)		
	Annahme A33: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 151.3 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 42.8 l/s 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 121.5 l/s	-
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-

Tab. 24: Vergleich von Prognose (ohne struktureologische Kenntnisse) und Befund

	90% Sicherheit (90%-Perzentile):	Höchste Wahrscheinlichkeit (Medianwert):	Einfluss von struktureologischen Kenntnissen
Q_P	An jeder Vortriebsposition wird für den Fall einer Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust $Q_P < 1.0-1.7 \times Q_{eff}$ prognostiziert	Mit zunehmender Annäherung an die effektive Störzone erreicht $Q_P = 1.2-1.5 \times Q_{eff}$	Mässige Verbesserung.
P_P	Alle Prognosen liegen ca. 10% oberhalb des Befundes.	Alle Prognosen geben den Befund wieder.	Keinen Einfluss
$V_{P,5\%}$	Alle Prognosen liegen um einen Faktor 5 oberhalb des Befunds.	Die Prognosen liegen um einen Faktor 1-3 oberhalb des Befunds..	Mässige Verbesserung

V Störzonentyp c, keine Durchörterung ($Q_{\text{eff}}=0$ l/s, Anhang 4-5)

Die statistische Auswertung der Berechnungen für Q_P , P_P und V_P von denjenigen Störzonenmodellen, deren Tunneltemperatur T_P mit T_{eff} innerhalb von $\pm 1^\circ\text{C}$ fitten (Fig. 37), führt zu einer Prognose für eine mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust (vgl. Fig. 38, Fig. 39, Fig. 40) an den verschiedenen Vortriebspositionen, obschon der Tunnel die Störzone nicht durchörtert wird. Für jede Vortriebsposition ergeben sich daher Aussagen über ein „worst case“-Szenario von Wasserführung vor der Ortsbrust (Tab. 26-Tab. 28). Der zusammenfassende Vergleich zwischen den Prognosen und den effektiven Werten („Befund“, Tab. 25) zeigt, dass die Methode stets von einer Durchörterung der Störzone ausgeht (Tab. 29).

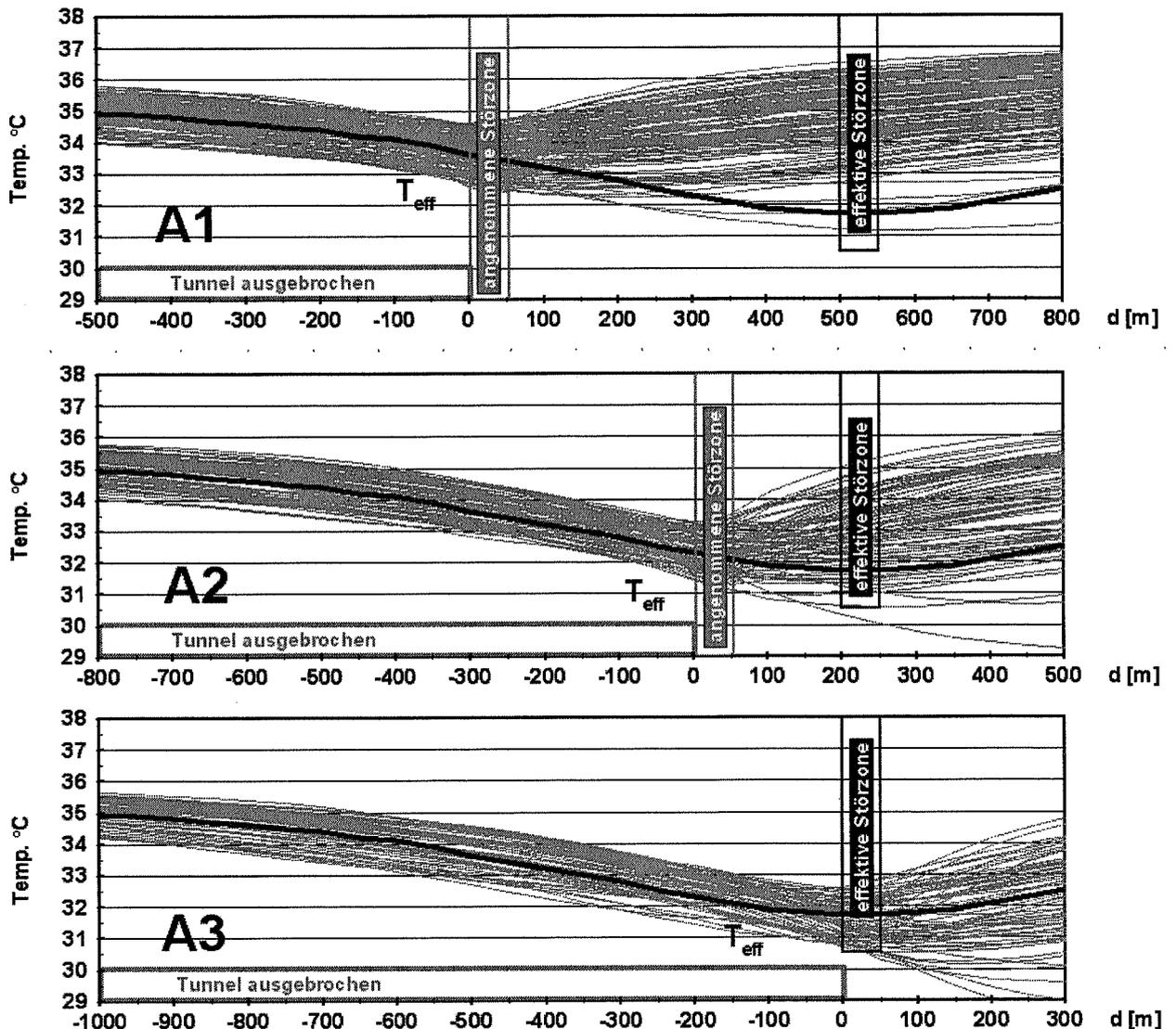


Fig. 37: Tunneltemperaturen T_P (hellgrau) der angenommenen Störzonen unmittelbar vor der Ortsbrust bei den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3, deren Übereinstimmung mit der aktuell bekannten Tunneltemperatur T_{eff} der effektiven Störzone (Typ c, $Q_{\text{eff}}=0$ l/s) als ausreichend angenommen wurde ($\pm 1^\circ\text{C}$). Hier dargestellt sind die Temperaturen der Störzonen, deren Streichen und Einfallen als bekannt vorausgesetzt wurde.

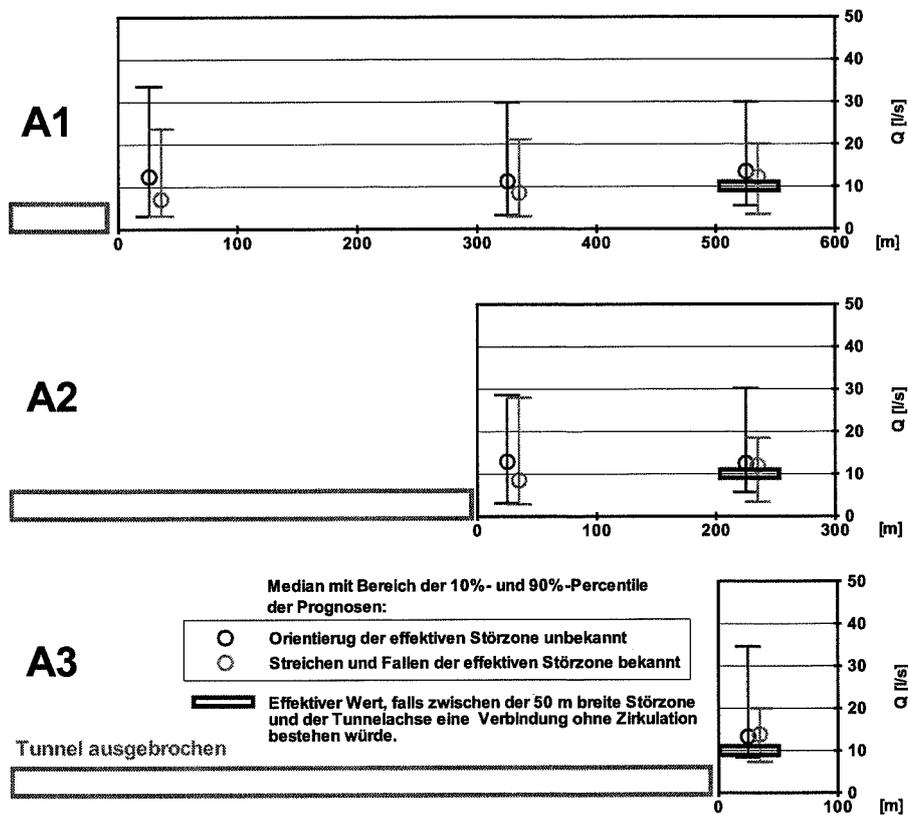


Fig. 38: Prognosen der zu erwartenden Schüttungsraten Q_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3

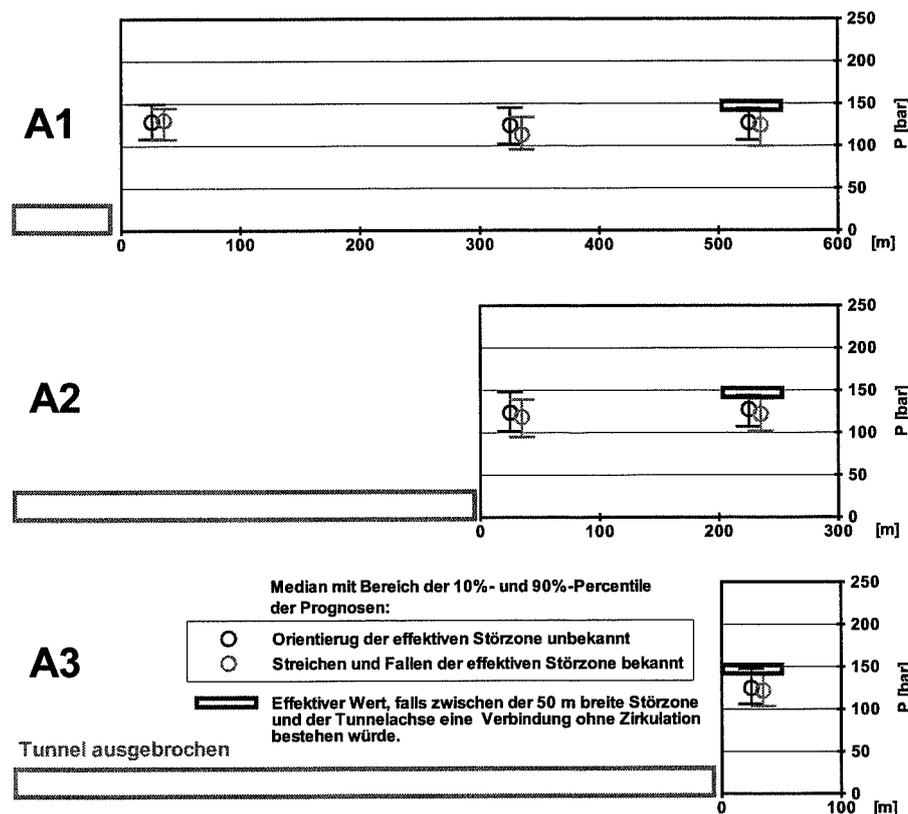


Fig. 39: Prognosen der zu erwartenden initialen Wasserdrücke P_P an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

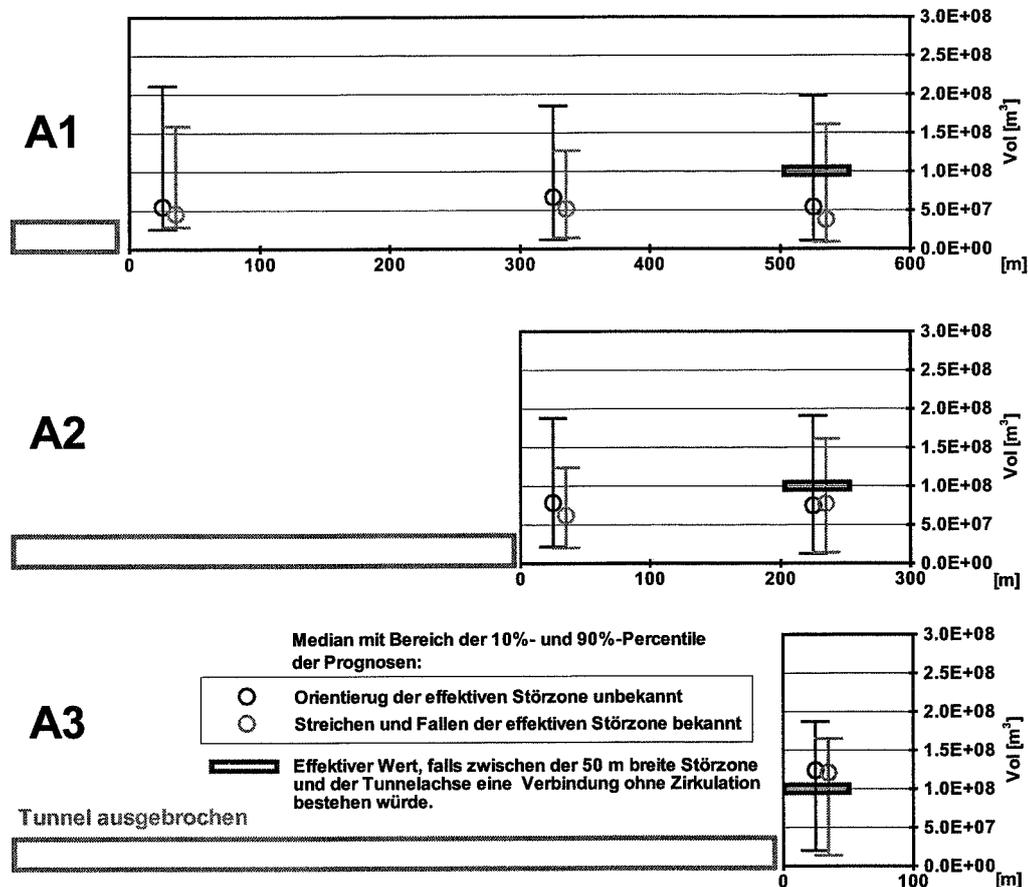


Fig. 40: Prognosen der zu erwartenden Störzonen volumina V_P (=100% Porosität) an den drei Vortriebspositionen A1, A2, A3.

Tab. 25: „Befund“ für effektive Störzone Typ c mit $Q_{eff}=0$ l/s

Befund bei/nach Durchörterung der effektiven Störzone	
Q_{eff}	0 l/s (ca. 10 l/s, falls zwischen Tunnel und Störzone doch eine Verbindung bestehen würde)
P_{eff}	147 bar (falls eine hydraulische Verbindung zwischen Ortsbrust und Störzone besteht)
$V_{eff,5\%}$	$5.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Annahme 5% Porosität)

Tab. 26: Prognosen an Vortriebsposition A1 für effektive Störzone Typ c mit $Q_{eff}=0$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A1 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 500 m)		
	Annahme A11: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A12/A13: Störzone 300 m/500 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 33.7 l/s 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 3.1 l/s 3. Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 23.7$ l/s	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
P_P	1. Mit 90% Wahrscheinlichkeit < 150 bar 2. Mit 10% Wahrscheinlichkeit < 108 bar 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 129 bar	Im Wesentlichen dieselbe Prognose
$V_{P,5\%}$	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < $10.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$	Im Wesentlichen dieselbe Prognose

Tab. 27: Prognosen an Vortriebsposition A2 für effektive Störzone Typ c mit $Q_{eff}=0$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A2 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 200 m)		
	Annahme A22: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	Annahme A23: Störzone 200 m hinter Ortsbrust
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 28.6 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 3.1 l/s	Im Wesentlichen ähnliche Prognose,
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1

Tab. 28: Prognosen an Vortriebsposition A3 für effektive Störzone Typ c mit $Q_{eff}=0$ l/s

Prognose an Vortriebsposition A3 (Distanz Ortsbrust - effektive Störzone 0 m)		
	Annahme A33: Störzone unmittelbar vor Ortsbrust	
Q_P	1. Mit 90%-Wahrscheinlichkeit < 34.8 l/s 2. Mit 10%-Wahrscheinlichkeit < 8.4 l/s 3. Grösste Wahrscheinlichkeit = 13.3 l/s 4. Ist das Streichen und Fallen von potenziellen Störzonen strukturgeologisch gegeben, so ist mit 90%-Wahrscheinlichkeit $Q_P < 20$ l/s	-
P_P	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-
$V_{P,5\%}$	Im Wesentlichen wie Vortriebsposition A1	-

Tab. 29: Vergleich von Prognose (ohne strukturgeologische Kenntnisse) und Befund (keine Durchörterung, $Q_{eff}=0$ l/s)

	90% Sicherheit (90%-Perzentile):	Höchste Wahrscheinlichkeit (Medianwert):	Einfluss von strukturgeologischen Kenntnissen
Q_P	An jeder Vortriebsposition wird eine Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust mit $Q_P < 35$ l/s prognostiziert	An jeder Vortriebsposition wird eine Störzone unmittelbar vor der Ortsbrust $Q_P = 10$ l/s prognostiziert	Verbesserung.
P_P	Alle Prognosen geben den Befund wieder.	Alle Prognosen liegen ca. 15% unterhalb des Befundes	Keinen Einfluss
$V_{P,5\%}$	Alle Prognosen liegen um einen Faktor 2 oberhalb des Befunds.	Für das Vorfeld der effektiven Störzone beträgt die Prognose ca. 50% des Befundes, unmittelbar vor der effektiven Störzone wird der Befund wiedergegeben.	Keine wesentliche Verbesserung

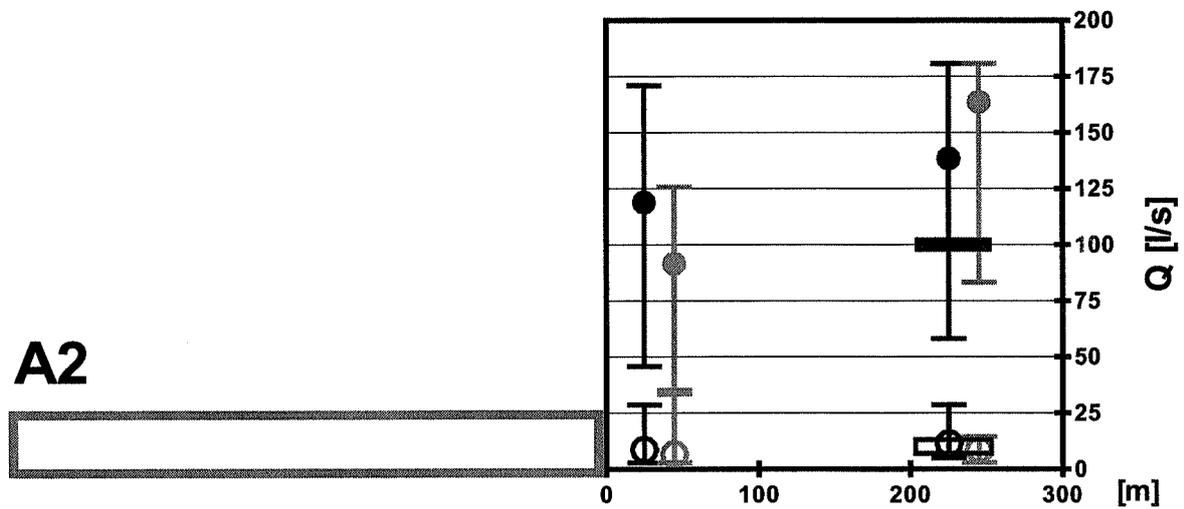
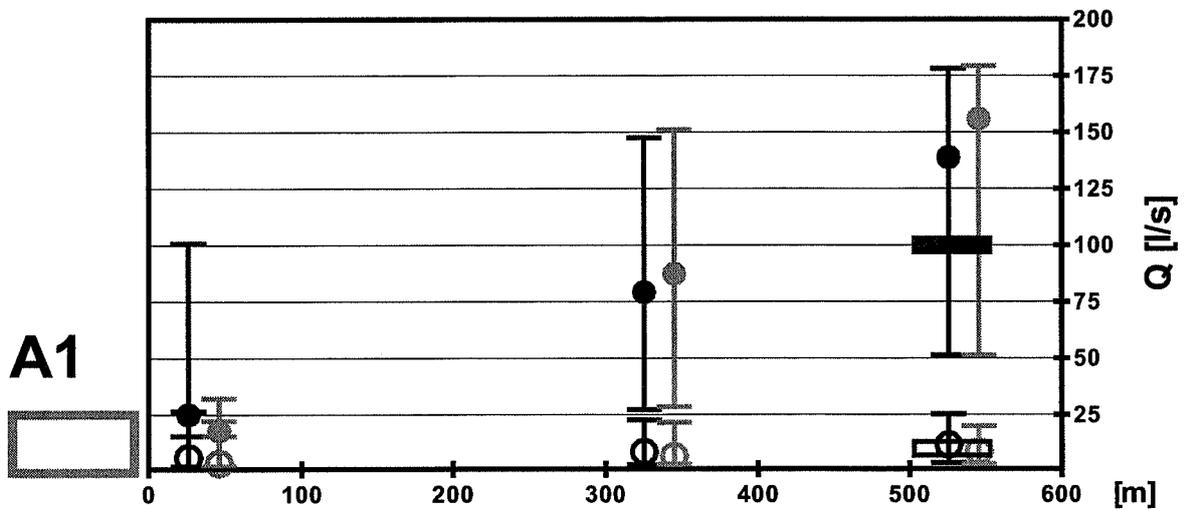
5 Schlussfolgerungen

5.1 Projektzielsetzungen

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes war es zu evaluieren, inwieweit beim Vortrieb von tiefliegenden Tunnels mit den gemessenen Tunneltemperaturen systematisch Rückschlüsse auf vor der Ortsbrust liegende wasserführende Störzonen gemacht werden können.

Es hat sich gezeigt, dass eine eindeutige Korrelation zwischen einem bestimmten Verlauf der Tunneltemperatur und den hydraulischen Eigenschaften einer wasserführenden Störzone besteht. Bezüglich der Prognostizierbarkeit von wasserführenden Störzonen mit Hilfe der Tunneltemperaturen hat sich Folgendes gezeigt:

1. Prognose der Wasserführung einer Störzone: Störzonen mit einer Wasserführung, die zu Schüttungsraten von über 10 l/s führen, bilden sich in Regionen mit ausgeprägter Topographie mit hoher Wahrscheinlichkeit in einer detektierbaren Temperaturanomalie ab ($> \pm 1^\circ\text{C}$, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 17). Ausnahmen sind geschlossene Fluidtaschen (Karst). Im Sinne eines konservativen Szenarios wird stets davon ausgegangen, dass die detektierte wasserführende Störzone auch durchörtert wird (vgl. Resultate Kapitel 4.3V).
2. Prognose der initialen Schüttungsraten: Die Grössenordnungen der initialen Schüttungsraten (z.Bsp. 10, 50, 100, 200 l/s) nach Durchörterung der Störzone lassen sich prognostizieren (Fig. 41 und Fig. 42). Die Berücksichtigung von struktureologischen Kenntnissen kann die Bandbreite der möglichen Szenarien einschränken und die Prognose verbessern.
3. Prognose des initialen Wasserdrucks: Die initialen Wasserdrücke sind auf $\pm 30\%$ prognostizierbar, unter der Annahme, dass der Wasserhaushalt des Gebirges durch den Vortrieb noch nicht wesentlich gestört worden ist.
4. Prognose des Schüttungsvolumens: Die prognostizierten Schüttungsvolumina – ausgehend von dem jeweils oberhalb des Tunnelniveaus gespeicherten Wasservolumens in den Störzonenmodellen - haben die grösste Streuung. Die Medianwerte der Prognosen befanden sich zusammengenommen innerhalb des halben bis doppelten Befundes. Eine Berücksichtigung von struktureologischen Kenntnissen kann die Prognosen verbessern.
5. Prognose der Lage der Störzone vor der Ortsbrust: In der vorliegenden Evaluation wurde davon ausgegangen, dass keine hydrogeologischen Kenntnisse bezüglich der Störzone vorhanden sind. Dies führt im Allgemeinen zu einer Prognose von zunehmenden Schüttungsraten mit zunehmender Distanz vor der Ortsbrust (Fig. 41, Fig. 42). Sind hydrogeologische Kenntnisse vorhanden, lässt sich die Lage der Störzone vor der Ortsbrust eingrenzen.
6. Prognose der Mächtigkeit der Störzone: Bei der Interpretation einer bestimmten, gemessenen Tunneltemperatur verhalten sich die Mächtigkeit und die hydraulische Leitfähigkeit einer Störzone reziprok (vgl. Kapitel 4.2II). D.h. die zu einer gemessenen Tunneltemperatur „gehörende“ totale Schüttungsrate für eine bestimmte Lage der Störzone verteilt sich über deren gesamte Mächtigkeit, die selbst daher nicht bestimmbar ist.
7. Prognosegeschwindigkeit: Die Generierung von lokalen 3D-FE-Störzonenmodellen entsprechend definierbarer Variationsbereiche ist komplett automatisiert. Die benötigten numerischen Module sind integriert und um Grössenordnungen beschleunigt. Die Resultate von Hunderten von Störzonenmodellen stehen innerhalb kurzer Frist für die Interpretation zur Verfügung.



Störzonenmodell a

Median der Prognosen mit Bereich der 10%- und 90%-Perzentilen

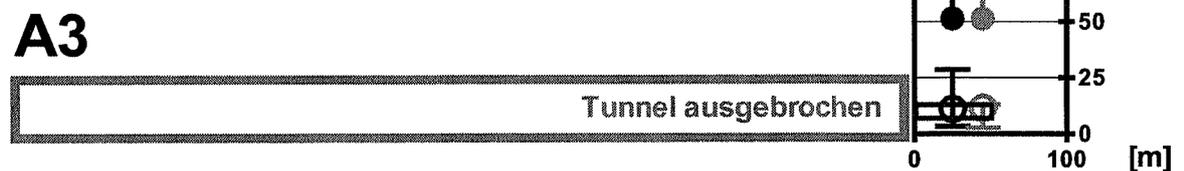
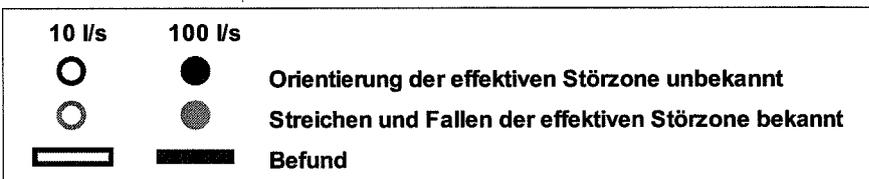
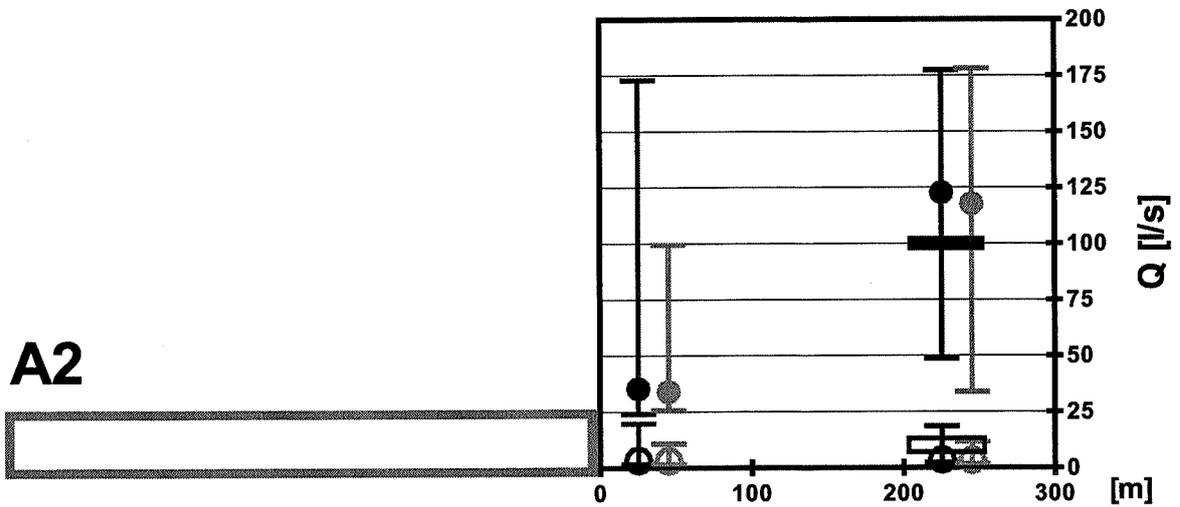
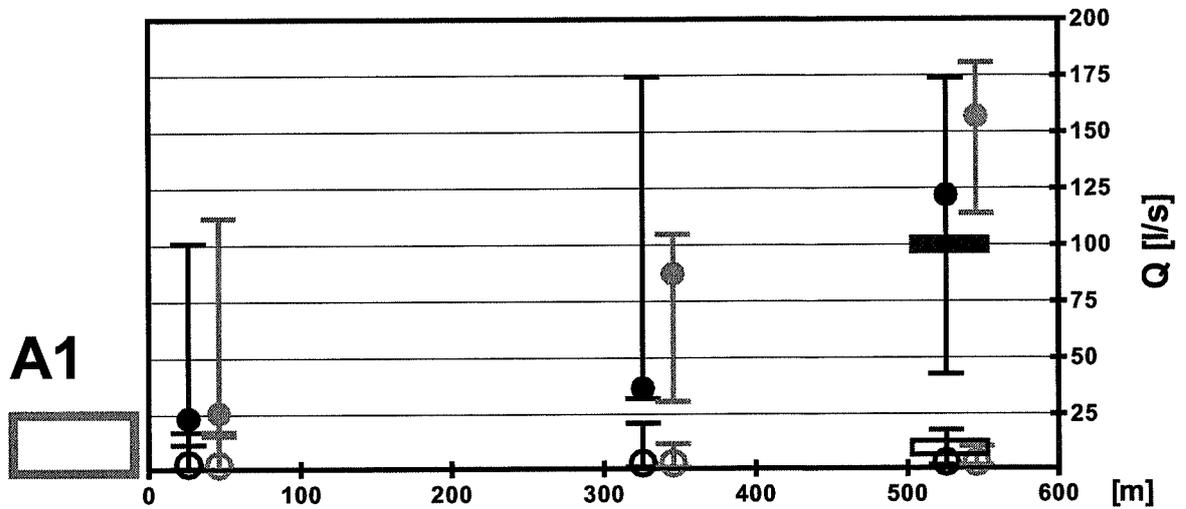
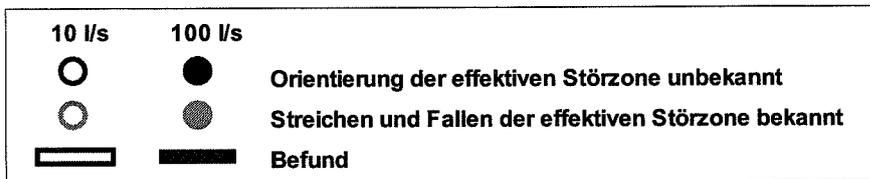


Fig. 41: Vergleich Prognose-Befund der Schüttungsraten nach einer Durchörterung der Störzone Type a (10 l/s und 100 l/s, vgl. Fig. 14)



Störzonenmodell b

Median der Prognosen mit Bereich der 10%- und 90%-Perzentilen



A3

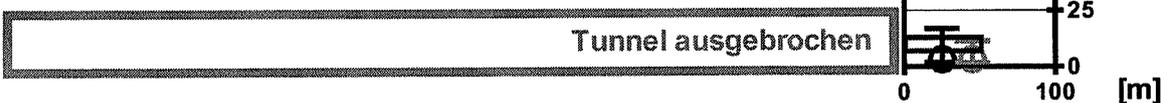


Fig. 42: Vergleich Prognose-Befund der Schüttungsraten nach einer Durchörterung der Störzone Typ b (10 l/s und 100 l/s, vgl. Fig. 15)

5.2 Anwendung der Methodik

Die Methodik „Indirekte Vorauserkundung von wasserführende Zonen mittels Temperaturdaten“ kann wie folgt angewendet werden:

1. Periodische Risikoanalysen an ausgewählten Vortriebsabschnitten	
Ziel	Vorgehen
<p>Die gemessene Tunneltemperatur wird in vorgegebenen konstanten Vortriebsabschnitten hydraulisch interpretiert. Dies ergibt einen periodischen Vorerkundungsbericht über die mögliche Wasserführung vor der Ortsbrust und für einen gewisse Strecke dahinter. In diesem Vorerkundungsbericht wird eine Prognose gegeben über:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Maximal zu erwartende Schüttungsrate mit 90% Sicherheit 2. Wahrscheinlichste Schüttungsrate 3. Initialer Wasserdruck <p>Falls relevante Schüttungsraten wahrscheinlich werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Oberhalb des Tunnelniveaus gespeichertes Wasservolumen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Periodische Übernahme von hydrogeologisch relevanten Erkenntnissen 2. Periodische Anpassung der Variationsarten und –bereiche des Lokalmodell-Generators 3. Berechnung der hydraulischen Prognosen an jedem der vorgegebenen Vortriebsabschnitten 4. Abfassung eines standardisierten Vorerkundungsberichts zur möglichen Wasserführung vor der Ortsbrust an jeder der vorgegebenen Vortriebsabschnitten.

2. Evaluation von hydrogeologischen Hypothesen	
Ziel	Vorgehen
<p>Generell basiert die Vorauserkundung auch auf den geologischen und hydrogeologischen Erkenntnissen über den gesamten Gebirgskörper. Die Charakterisierung von hydraulischen Systemen auch abseits der Tunnelspur kann für das Gesamtbild wichtig sein.</p> <p>Die Effekte dieser Systeme auf die Tunneltemperatur können ebenfalls berechnet werden. Durch den Vergleich mit den gemessenen Temperaturwerten lassen sich hydrogeologische Hypothesen ausschliessen oder bestätigen.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Übernahme von hydrogeologischen Hypothesen 2. Anpassung der Variationen des Lokalmodell-Generators 3. Berechnung des Effektes auf die Tunneltemperatur 4. Ausschluss oder Bestätigung der hydrogeologischen Hypothese durch Vergleich mit der gemessenen Tunneltemperatur

5.3 Weiteres Vorgehen

In der vorliegenden Evaluation wurden nur drei Typen von wasserführenden Störzonen im 3D-FE-Gebirgsmodell auf ihre Prognostizierbarkeit untersucht. Aufgrund der Auswahl dieser Szenarien kann festgestellt werden, dass hydraulische Eigenschaften von wasserführenden Störzonen mit gemessenen Tunneltemperaturen grundsätzlich charakterisiert werden können. Weiterführende theoretische Untersuchungen sollten erst bei spezifischen Fragestellungen beim baubegleitenden Praxiseinsatz vorgenommen werden.

Für das weitere Vorgehen gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Austesten der Methodik mit den Daten aus dem Vortrieb des Lötschberg-Basistunnels

- Vorteile:
- Der Tunnel ist zu über 90% ausgebrochen, die Geologie und Hydrogeologie daher gut bekannt.
 - Es sind Temperaturdaten sowie Daten bezüglich Schüttungsraten und -mengen vorhanden (Fig. 2)
 - Ein Vergleich von Prognose und Befund ist direkt möglich

- Nachteile:
- Ein umfassendes 3D-FE-Gebirgsmodell mit den geothermisch relevanten Strukturelementen (bezüglich Wärmeleitfähigkeit, Wärmeproduktion) ist nicht vorhanden und muss erstellt werden. Dies umfasst auch allfällige Messungen der obgenannten Parametern an geeigneten Proben.
 - Ein konkreter Nutzen für den Vortrieb besteht nicht mehr.

2. Praxiseinsatz beim aktuellen Vortrieb des Gotthard-Basistunnels

- Vorteile:
- Ein umfassendes 3D-FE-Gebirgsmodell mit den geothermisch relevanten Strukturelementen) ist vorhanden. Die damit erstellten Temperaturprognosen haben sich sehr gut bestätigt (Fig. 1).
 - Es besteht ein konkreter Nutzen.

- Nachteile:
- Keine

Der Praxiseinsatz beim Vortrieb des Gotthard-Basistunnels ist möglich und sinnvoll. Da das 3D-FE-Gebirgsmodell bereits besteht, können bereits nach kurzer Vorbereitungszeit Beiträge zur hydraulischen Vorauserkundung geleistet werden.

Referenzen

Busslinger, A. & Rybach, L., 1999, Geothermal prediction of water bearing zones, Tunnel, 1, pp.33-41.

Busslinger, A., 1998, Geothermische Prognosen für tiefliegende Tunnel. Diss. ETH Nr. 12715 (1998)

Kohl, T. and R. J. Hopkirk (1995), FRACTure a simulation code for forced fluid flow and transport in fractured porous rock, Geothermics 24(3): 345-359.

Kohl, T., Signorelli, S. & Rybach, L., 2001, Three-dimensional thermal investigation below high Alpine topography, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 126, pp.195-210

Keller, F., 2002, Gotthardbasistunnel: Geologie zwischen Prognose und Befund, tec21, Nr. 14-15, 9. April 2002, S. 12

Ziegler, 2003, Hans Jakob Ziegler, Erfahrungen mit der Vorauserkundung, Dokumentation SIA D 0201, AlpTransit-Tagung 2003 – Fachtagung für Untertagebau

Das Finite Element Programm FRACTure ist für gekoppelte thermisch - hydraulisch - elastische 3-D Probleme entwickelt worden und, ergänzt mit weiteren linearen und nicht-linearen Konstitutivgesetzen, seit seiner Fertigstellung 1992 kontinuierlich zur Lösung von Problemen in den Bereichen Grundlagenforschung und Ingenieurwissenschaft angepasst und eingesetzt worden. FRACTure (Akronym für Flow, Rock And Coupled Temperature) ist ein vollumfängliches 3-D Programm, welches ohne halbanalytische Lösungsansätze, bzw. vereinfachende physikalische Prozesse implementiert wurde.

Das Programm erlaubt die Anwendung von 1-D, 2-D und 3-D Elementen mit unterschiedlichen linearen und quadratischen Formfunktionen, wobei für die korrekte Berechnung von Kluftstrukturen ein spezieller, speicherplatzsparender Algorithmus eingesetzt wird. Dabei lassen sich Klüfte z.B. Klüfte und Störungen durch niederdimensionierte Elemente darstellen (mittels Angabe von Transmissivitäten) die an höherdimensionierte Elementen anliegen (die durch hydraulische Leitfähigkeiten definiert sind).

Das Programm wird ergänzt durch den Maschengenerator WinFra, der mit einer graphischen Benutzeroberfläche ausgestattet ist. Dieses Programm ist mit Schnittstellen für digitale Geländemodelle, DXF Formate zur Anbindung von CAD Programmen sowie weiteren graphischen und textorientierten Formaten versehen. Hiermit lassen sich in einer halb-automatischen Prozedur komplexe 3-D Gitter erstellen, die über 1 Mio. Knoten umfassen können.

Die Bandbreite der bisherigen Anwendungen umfasst schwerpunktmäßig die Hydrogeologie in geklüftetem Gestein, Konzepte und Simulationen von geothermischer Nutzung, die Erfassung des Topographieinflusses auf hydraulisch-thermische Prozesse, poro- oder thermoelastisch induzierten Spannungsveränderungen im Gestein oder die Prognose von Druck- und Temperaturverhalten beim Bau tiefliegender Tunnelprojekte.

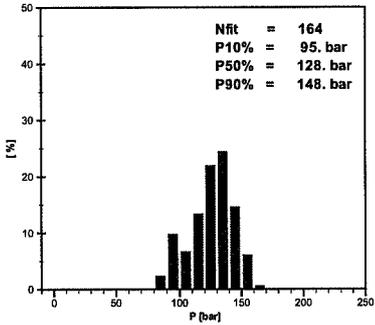
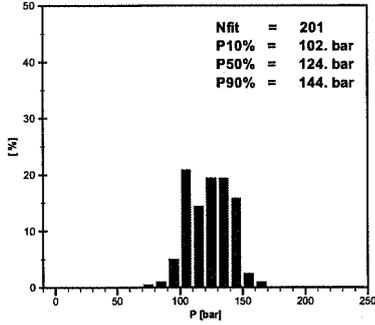
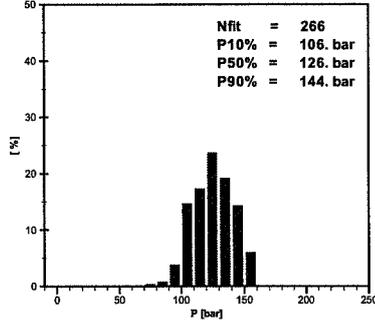
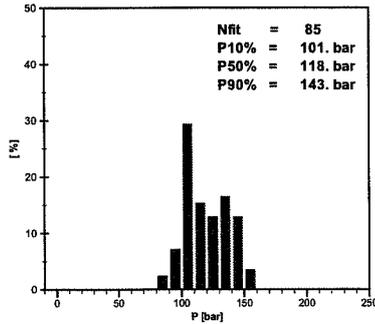
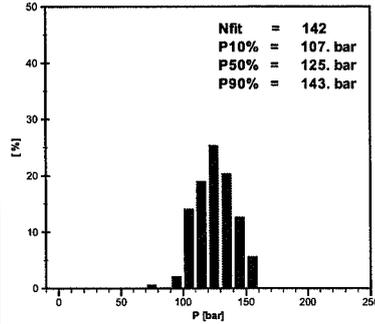
Anhang 4-1

I. Störzontentyp a, Mächtigkeit=50 m, $Q_{eff}=10$ l/s, Orientierung unbekannt

Tab. 30: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbruchst und Störzone Nfit = Anzahl Modelle $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbruch-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbruch-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m
	A3 Ortsbruch-Störzone = 0 m		A33 1/1 d = 0 m

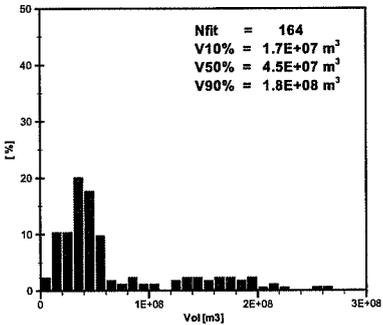
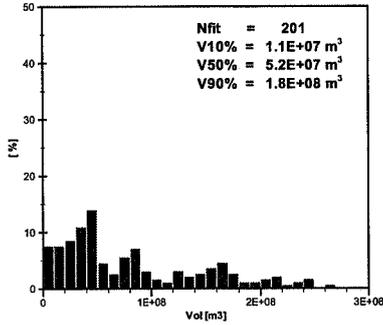
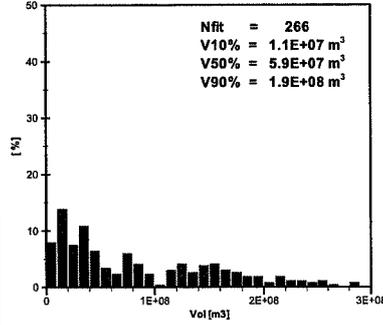
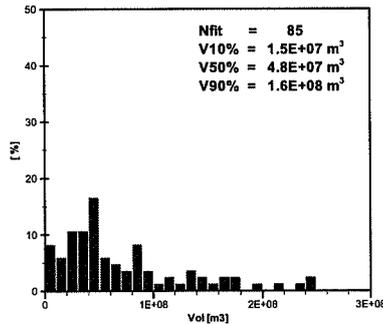
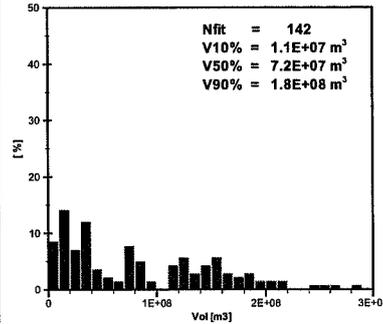
Tab. 31: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

Anhang 4-1

I. Störzontentyp a, Mächtigkeit=50 m, $Q_{eff}=10$ l/s, Orientierung unbekannt

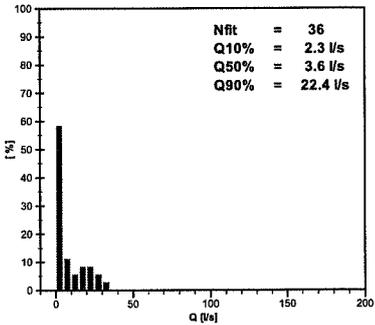
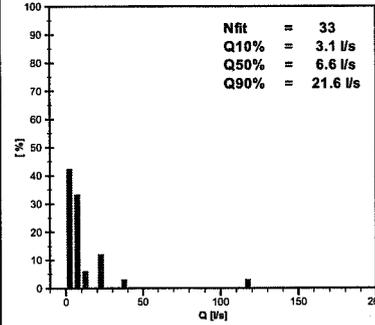
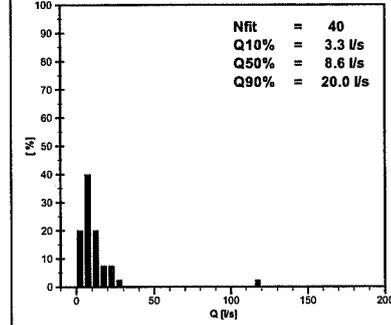
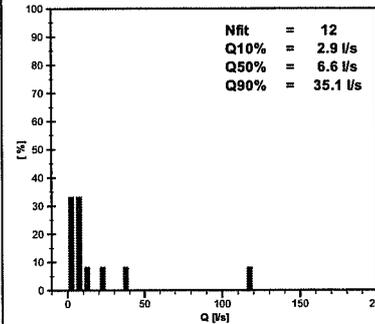
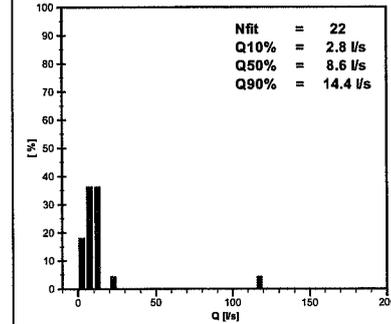
Tab. 32: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Vol10% = 10% aller Volumina sind kleiner V50% = 50% aller Volumina sind kleiner V90% = 90% aller Volumina sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

Anhang 4-1

I. Störzontyp a, Mächtigkeit =50 m, $Q_{eff}=10$ l/s, Fallen und Streichen bekannt

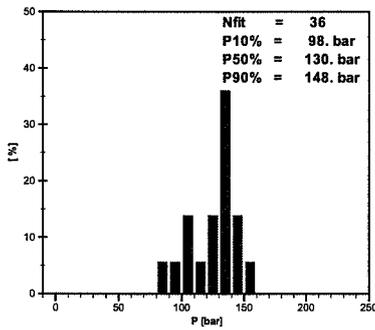
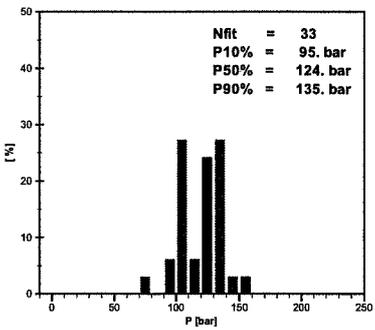
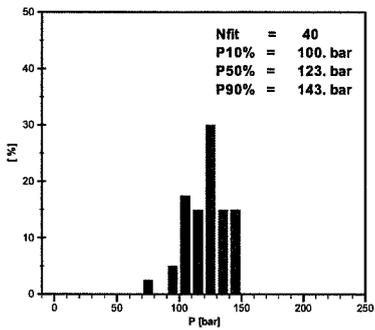
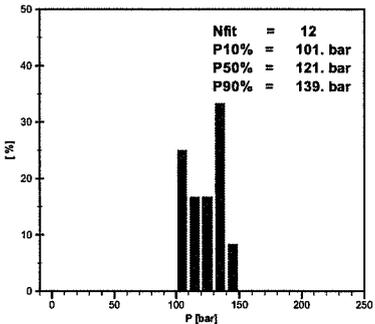
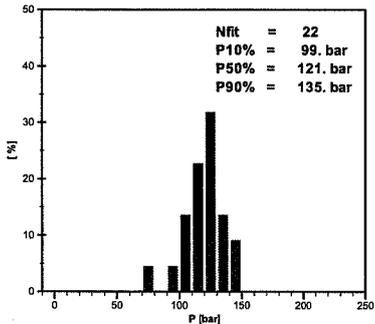
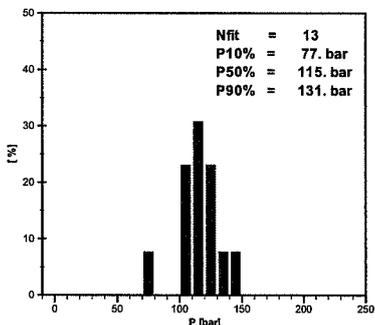
Tab. 33: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

Anhang 4-1

I. Störzontentyp a, Mächtigkeit =50 m, $Q_{eff}=10$ l/s, Fallen und Streichen bekannt

Tab. 34: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner</p>			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone Modelle total: 1728	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone Modelle total: 1649	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 1/1 d = 0 m 

Anhang 4-1

I. Störzontyp a, Mächtigkeit =50 m, $Q_{eff}=10$ l/s, Fallen und Streichen bekannt

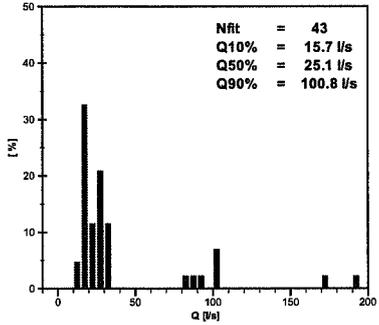
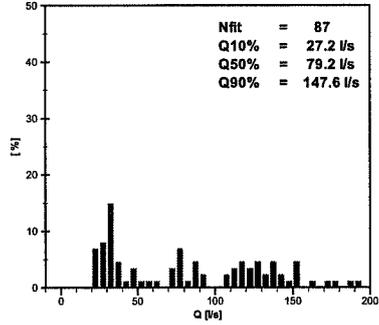
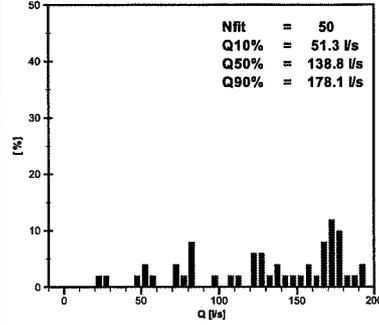
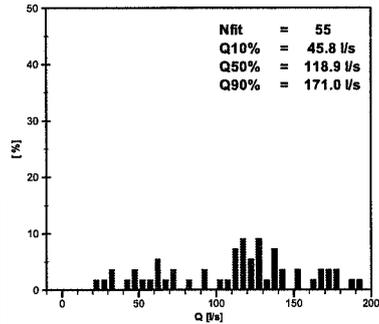
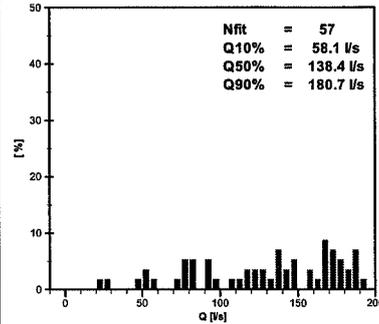
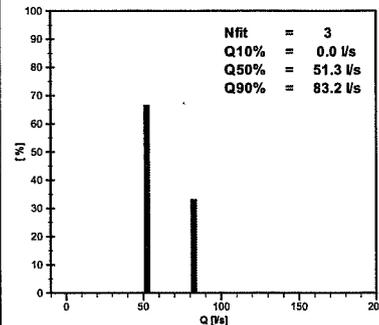
Tab. 35: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ a mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ V10% = 10% aller Volumina sind kleiner V50% = 50% aller Volumina sind kleiner V90% = 90% aller Volumina sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

Anhang 4-2

II. Störzontentyp a, Mächtigkeit = 50 m, $Q_{eff}=100$ l/s / Orientierung unbekannt

Tab. 36: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		A33 3/1 d = 0 m 

Tab. 37: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrücke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrücke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrücke sind kleiner			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 3/1 d = 0 m

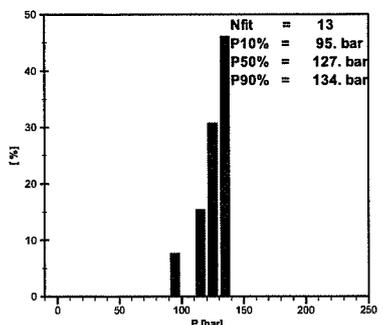
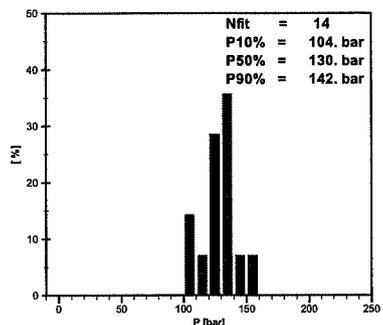
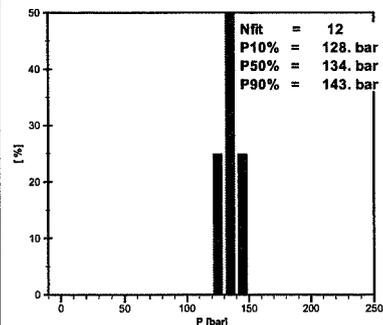
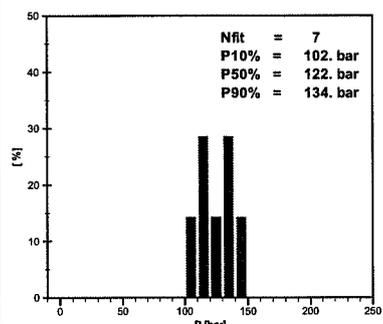
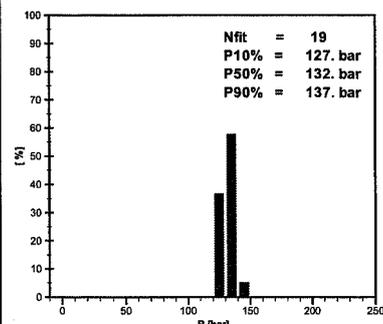
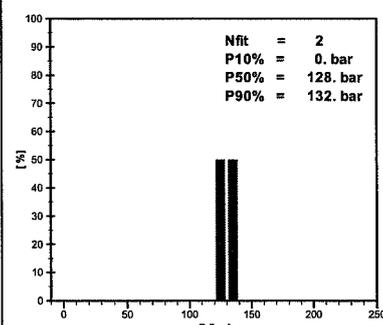
Tab. 38: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ a mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	<p>A11 1/1 d = 0 m</p> <p>Nfit = 43 V10% = 2.3E+07 m³ V50% = 4.0E+07 m³ V90% = 2.4E+08 m³</p>	<p>A12 1/1 d = 300 m</p> <p>Nfit = 97 V10% = 4.3E+07 m³ V50% = 8.7E+07 m³ V90% = 1.9E+08 m³</p>	<p>A13 1/1 d = 500 m</p> <p>Nfit = 50 V10% = 7.5E+07 m³ V50% = 1.7E+08 m³ V90% = 2.5E+08 m³</p>
A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m		<p>A22 2/1 d = 0 m</p> <p>Nfit = 55 V10% = 7.8E+07 m³ V50% = 1.5E+08 m³ V90% = 2.2E+08 m³</p>	<p>A23 2/1 d = 200 m</p> <p>Nfit = 57 V10% = 7.4E+07 m³ V50% = 1.6E+08 m³ V90% = 2.3E+08 m³</p>
A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			<p>A33 3/1 d = 0 m</p> <p>Nfit = 3 V10% = 1.3E+08 m³ V50% = 6.4E+07 m³ V90% = 7.5E+07 m³</p>

Tab. 39: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a mit einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s, Evaluation aus dem originalen Satz von Störzonen-Modellen

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		

Tab. 40: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ a und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s, Evaluation aus dem originalen Satz von Störzonen-Modellen

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	P10% =	10% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P50% =	50% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P90% =	90% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A33 3/1 d = 0 m 		

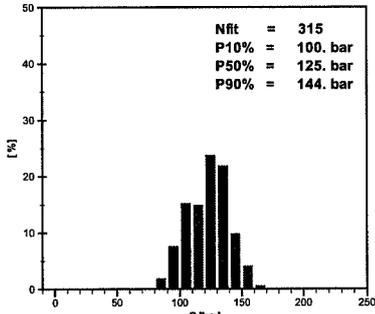
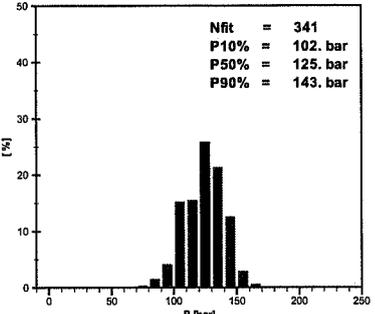
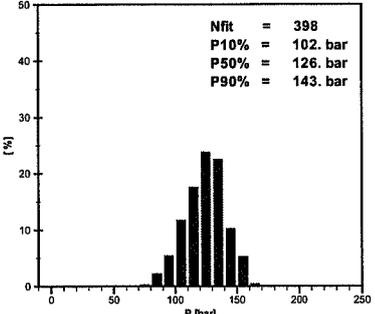
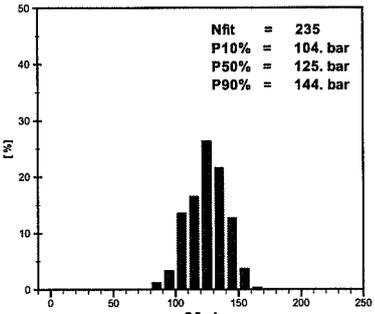
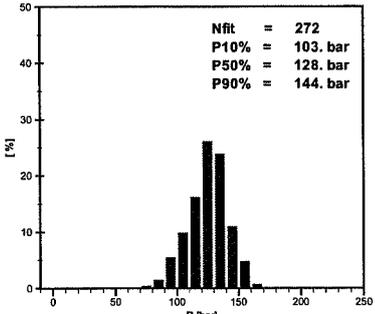
Tab. 41: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ a und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s, Evaluation aus dem originalen Satz von Störzonen-Modellen

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ V10% = 10% aller Volumina sind kleiner V50% = 50% aller Volumina sind kleiner V90% = 90% aller Volumina sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m A33 3/1 d = 0 m 	

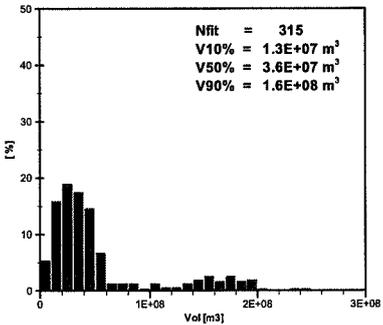
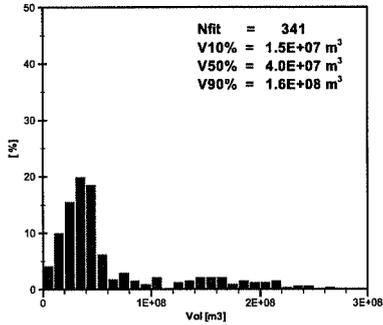
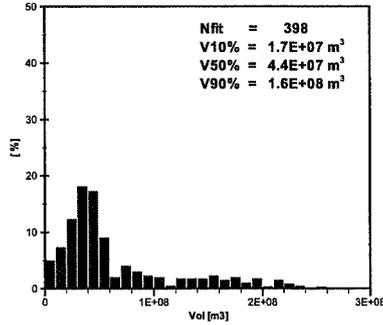
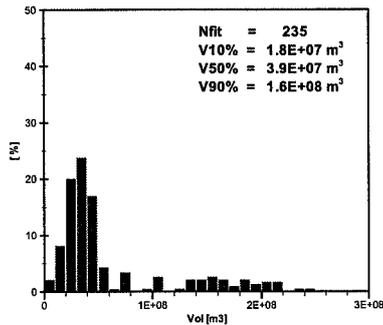
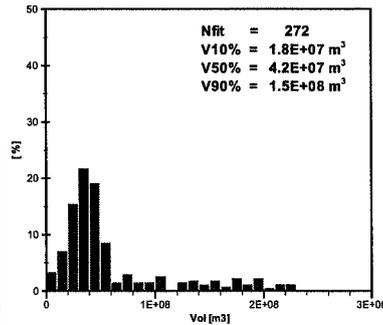
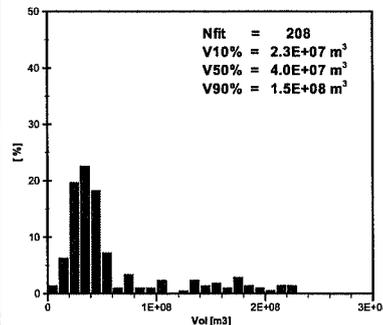
Tab. 42: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 1/1 d = 0 m

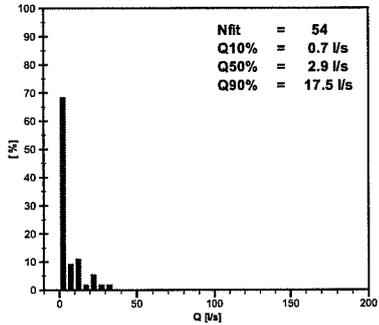
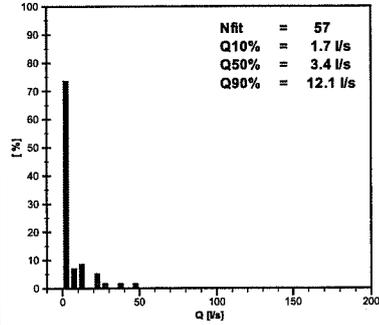
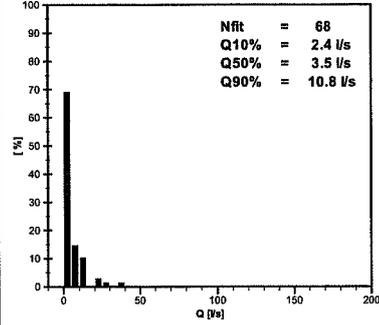
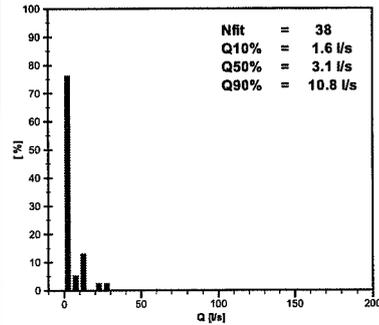
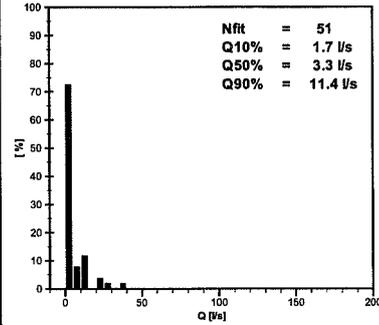
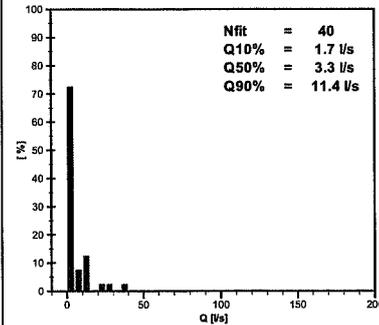
Tab. 43: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

Tab. 44: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		A33 1/1 d = 0 m 

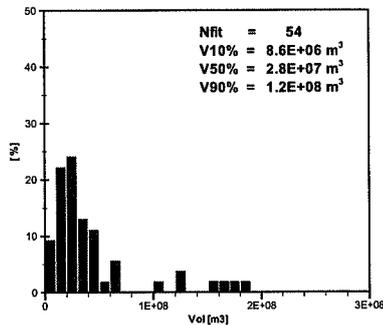
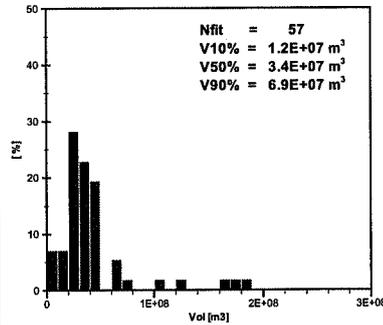
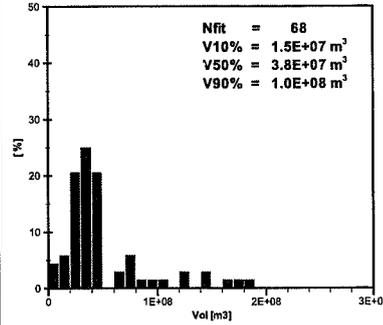
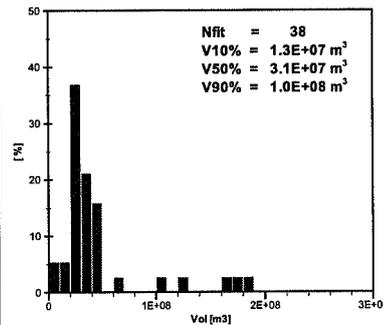
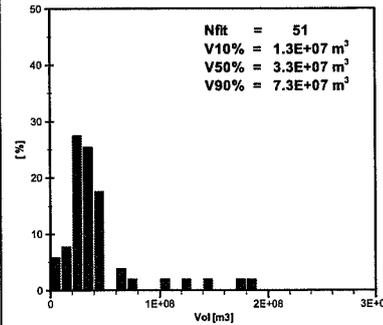
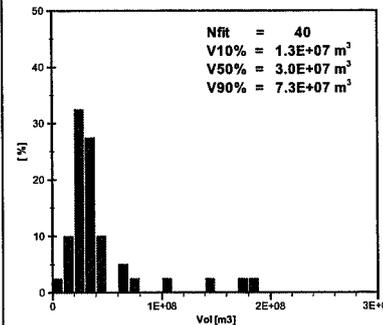
Tab. 45: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	A33 1/1 d = 0 m 

Tab. 46: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	P10% =	10% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P50% =	50% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P90% =	90% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m	A12 1/1 d = 300 m	A13 1/1 d = 500 m
	<p>Nfit = 54 P10% = 98. bar P50% = 119. bar P90% = 136. bar</p>	<p>Nfit = 57 P10% = 103. bar P50% = 122. bar P90% = 138. bar</p>	<p>Nfit = 68 P10% = 105. bar P50% = 126. bar P90% = 138. bar</p>
A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m	A23 1/1 d = 200 m	
	<p>Nfit = 38 P10% = 103. bar P50% = 122. bar P90% = 138. bar</p>	<p>Nfit = 51 P10% = 105. bar P50% = 126. bar P90% = 138. bar</p>	
A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 1/1 d = 0 m
			<p>Nfit = 40 P10% = 110. bar P50% = 126. bar P90% = 138. bar</p>

Tab. 47: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=10$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 1/1 d = 0 m 	A23 1/1 d = 200 m 
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		A33 1/1 d = 0 m 

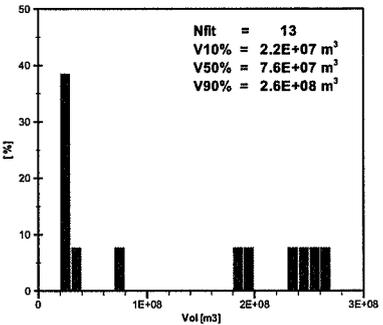
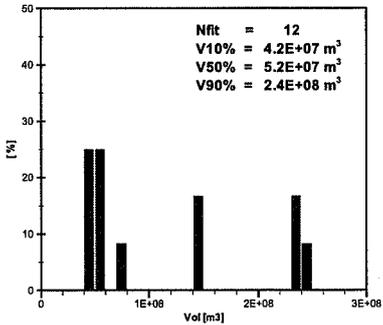
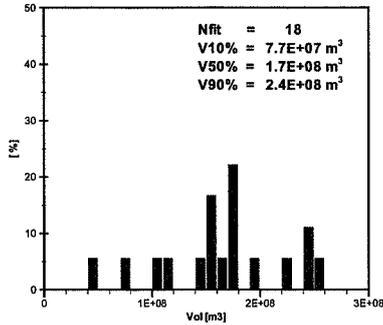
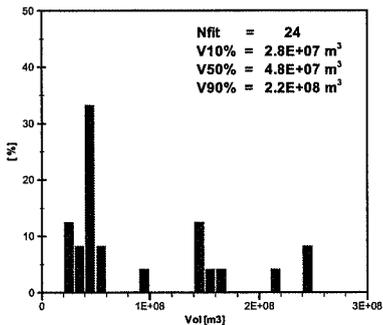
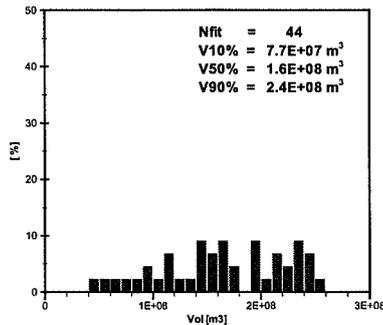
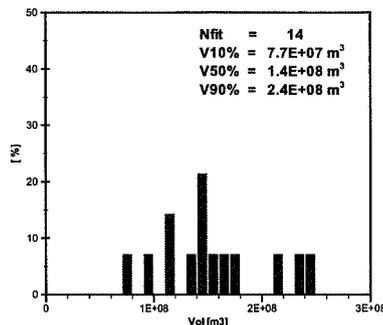
Tab. 48: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	

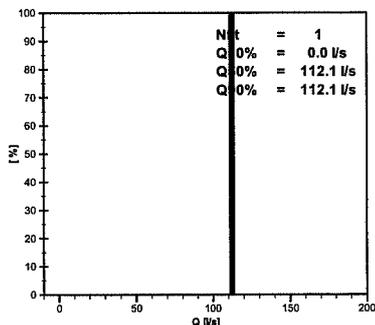
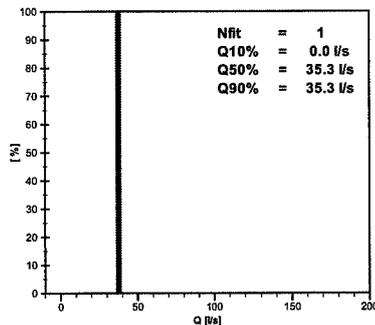
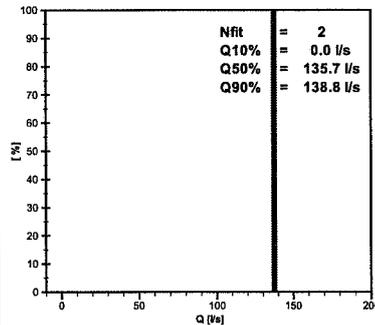
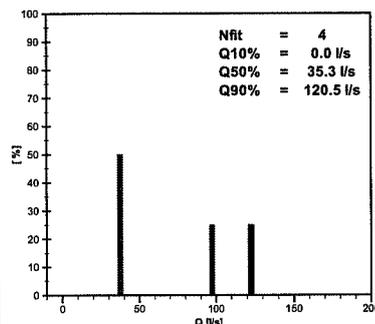
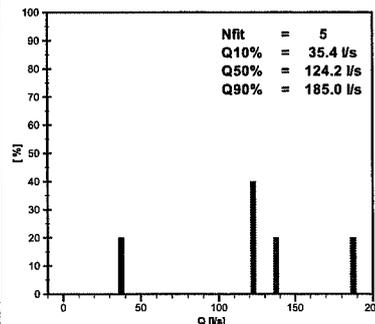
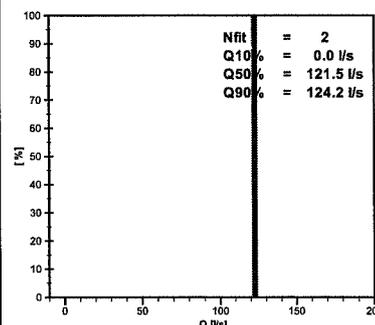
Tab. 49: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbruch und Störzone</p> <p>Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$</p> <p>P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner</p> <p>P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner</p> <p>P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner</p>			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbruch-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbruch-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbruch-Störzone = 0 m			A33 3/1 d = 0 m

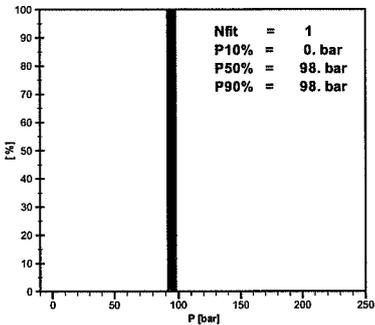
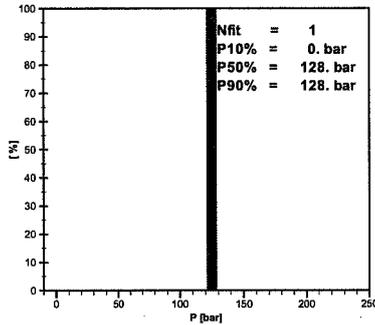
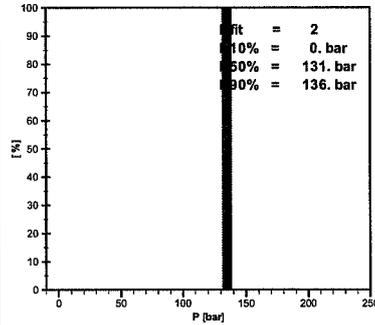
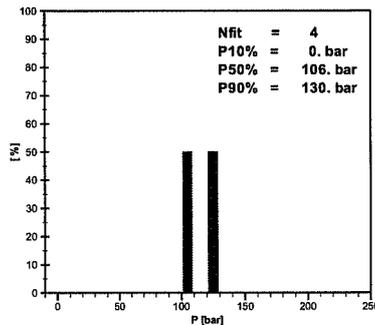
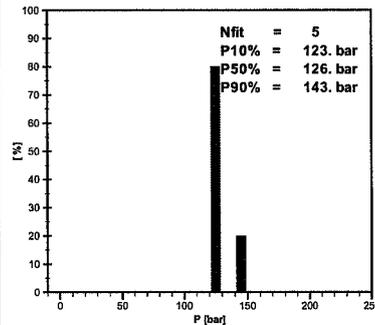
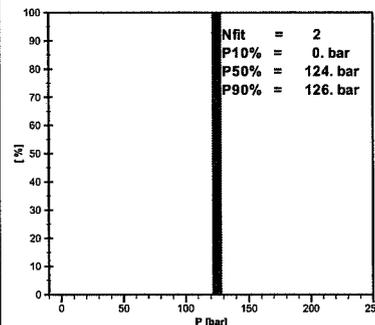
Tab. 50: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ b mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ V10% = 10% aller Volumina sind kleiner V50% = 50% aller Volumina sind kleiner V90% = 90% aller Volumina sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728		
	Modelle total: 1649		
	Modelle total: 1728		
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	A33 3/1 d = 0 m 

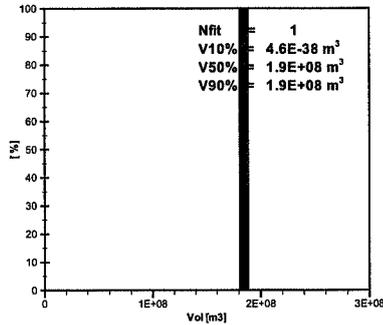
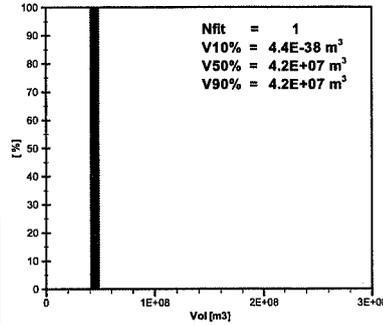
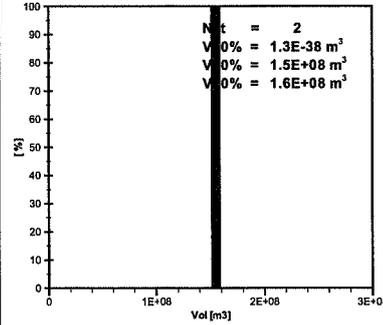
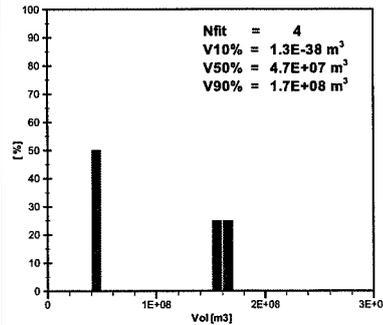
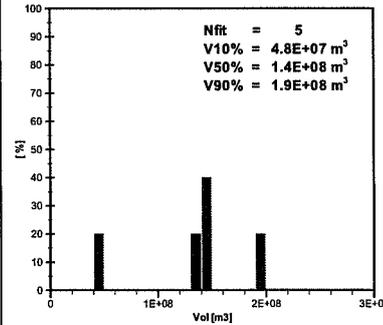
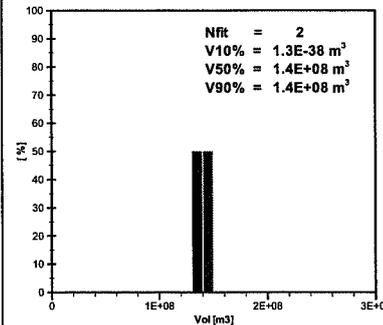
Tab. 51: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner</p>			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 3/1 d = 0 m 

Tab. 52: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	P10% =	10% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P50% =	50% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	P90% =	90% aller Ruhedrucke sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A33 3/1 d = 0 m 		

Tab. 53: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		A33 3/1 d = 0 m 

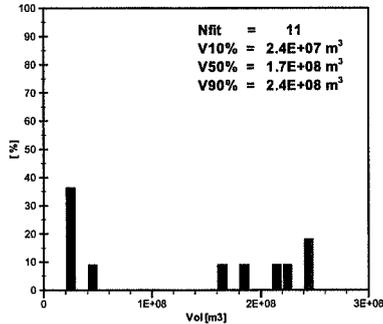
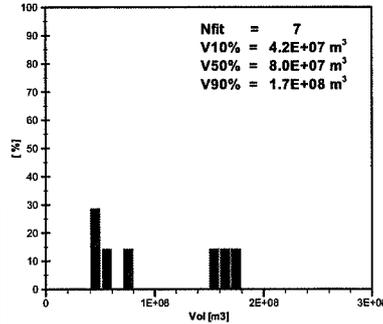
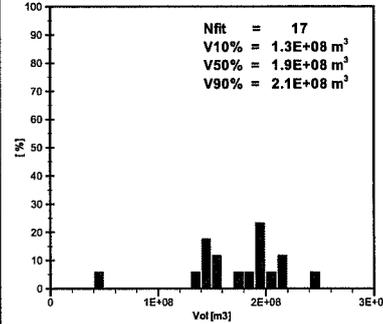
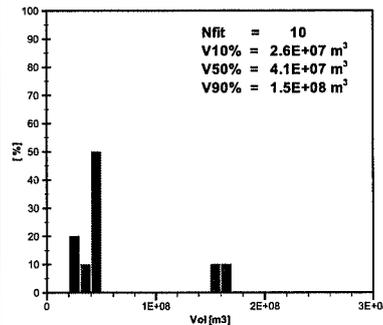
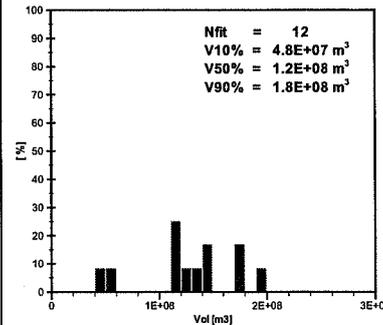
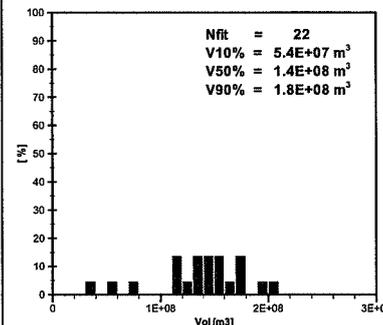
Tab. 54: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s, Bandbreite des Temperatur-Fits um 1 °C erhöht

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbruch und Störzone</p> <p>Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$</p> <p>Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner</p> <p>Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner</p> <p>Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner</p>	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbruch-Störzone = 500 m	A11 1.5/1.5 d = 0 m 	A12 1.5/1.5 d = 300 m 	A13 1.5/1.5 d = 500 m 	
	A2 Ortsbruch-Störzone = 200 m	A22 2/1.5 d = 0 m 	A23 2/1.5 d = 200 m 	
	A3 Ortsbruch-Störzone = 0 m			A33 3/1.5 d = 0 m

Tab. 55: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}= 100$ l/s, Bandbreite des Temperatur-Fits um 1 °C erhöht

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1.5/1.5 d = 0 m 	A12 1.5/1.5 d = 300 m 	A13 1.5/1.5 d = 500 m
A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m		A22 2/1.5 d = 0 m 	A23 2/1.5 d = 200 m
A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 3/1.5 d = 0 m

Tab. 56: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ b mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=100$ l/s, Bandbreite des Temperatur-Fits um 1 °C erhöht

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbruchst und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbruch-Störzone = 500 m	A11 1.5/1.5 d = 0 m 	A12 1.5/1.5 d = 300 m 	A13 1.5/1.5 d = 500 m 
	A22 2/1.5 d = 0 m 	A23 2/1.5 d = 200 m 	
	A33 3/1.5 d = 0 m 		

Tab. 57: Prognostizierte Schüttungsraten Q_p für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ c mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff} = 0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_p \approx T_{eff}$			
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_p \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m			A33 3/1 d = 0 m

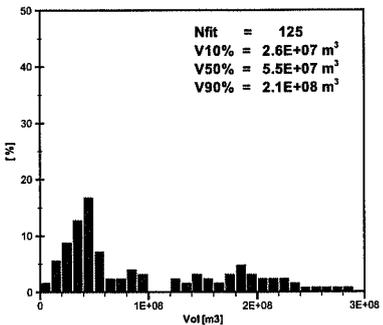
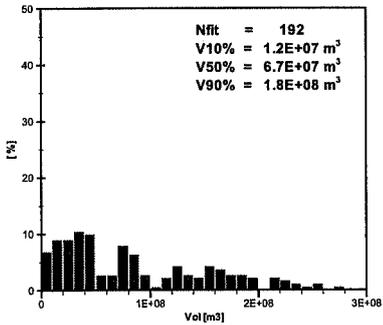
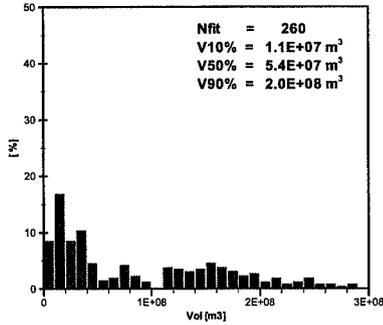
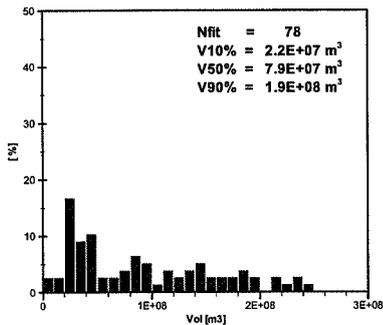
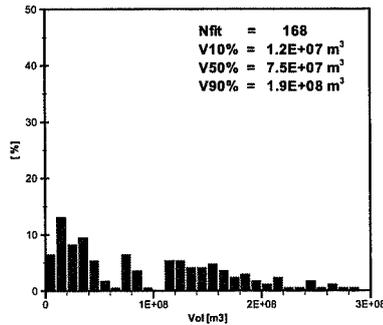
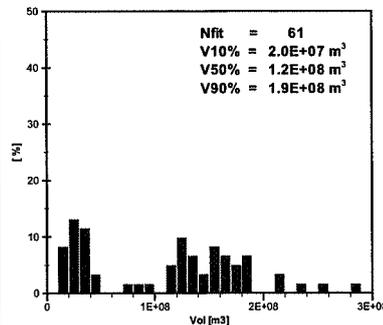
Tab. 58: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ c mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff} = 0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$			
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner			
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone	
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728	
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 	
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		

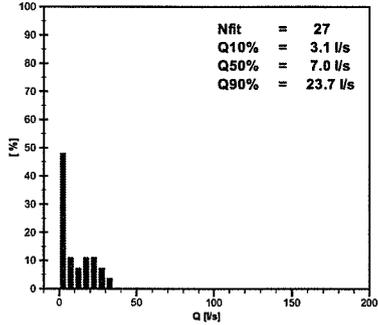
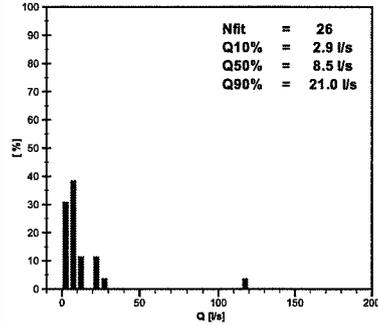
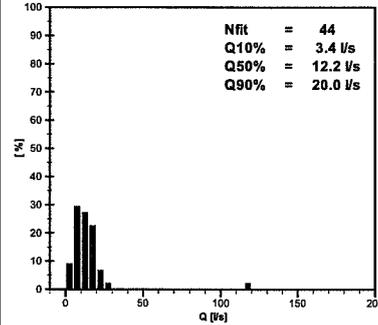
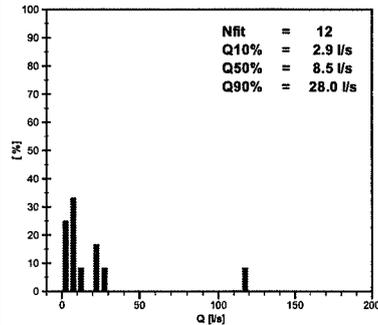
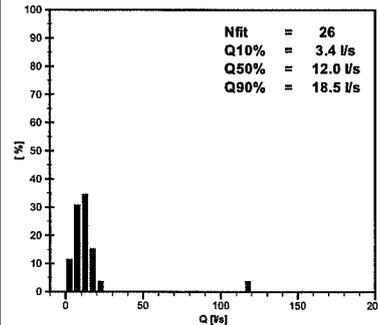
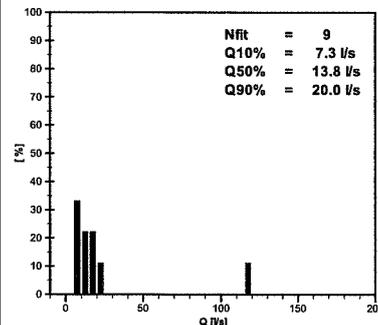
Anhang 4-5

V. Störzontentyp c, Mächtigkeit =50 m, Q=0 l/s, unbekannte Orientierung

Tab. 59: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ c mit unbekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff} = 0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d =	Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone	
	Nfit =	Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$	
	V10% =	10% aller Volumina sind kleiner	
	V50% =	50% aller Volumina sind kleiner	
	V90% =	90% aller Volumina sind kleiner	
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 	
	A33 3/1 d = 0 m 		

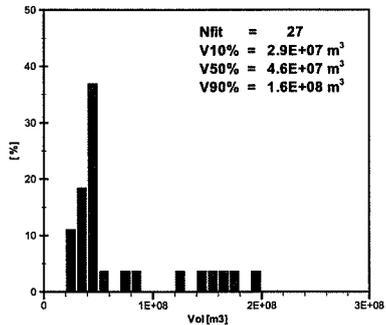
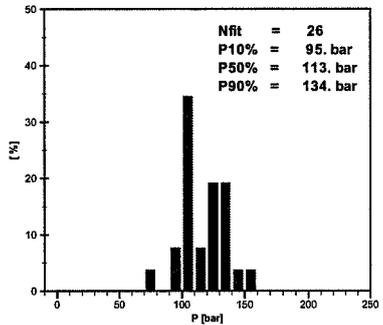
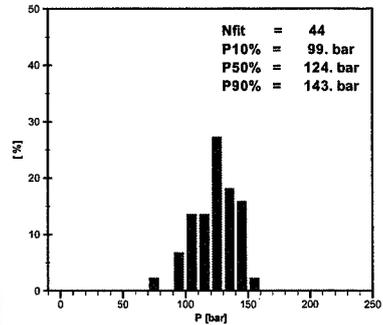
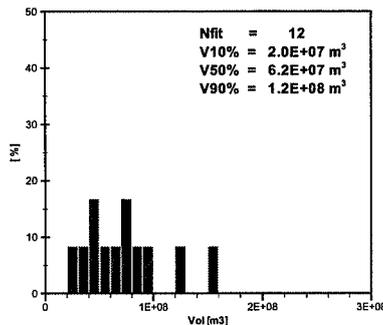
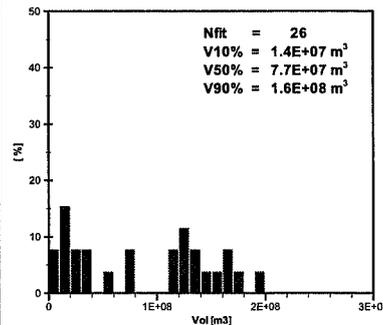
Tab. 60: Prognostizierte Schüttungsraten Q_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ c mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit der prognostizierten Schüttungsraten in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbruch und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ Q10% = 10% aller Schüttungsraten sind kleiner Q50% = 50% aller Schüttungsraten sind kleiner Q90% = 90% aller Schüttungsraten sind kleiner		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbruch-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbruch-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbruch-Störzone = 0 m A33 3/1 d = 0 m 	

Tab. 61: Prognostizierter Ruhedruck P_P für eine 50 m mächtige Störzone vom Typ c mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Ruhedruckes in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ P10% = 10% aller Ruhedrucke sind kleiner P50% = 50% aller Ruhedrucke sind kleiner P90% = 90% aller Ruhedrucke sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m
	A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m		A33 3/1 d = 0 m

Tab. 62: Prognostizierte Volumina V_P einer 50 m mächtigen Störzone vom Typ c mit bekannter Orientierung und einer effektiven Schüttungsrate $Q_{eff}=0$ l/s (effektiv keine Durchörterung der Störzone)

Stand Ausbruch	Häufigkeit des prognostizierten Volumina in % aller Störzonen-Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$		
	<p>d = Angenommener Abstand zwischen Ortsbrust und Störzone Nfit = Anzahl Modelle, deren $T_P \approx T_{eff}$ V10% = 10% aller Volumina sind kleiner V50% = 50% aller Volumina sind kleiner V90% = 90% aller Volumina sind kleiner</p>		
	Angenommene Störzone ist 500 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist 200 m vor effektiven Störzone	Angenommene Störzone ist am Ort der effektiven Störzone
	Modelle total: 1728	Modelle total: 1649	Modelle total: 1728
A1 Ortsbrust-Störzone = 500 m	A11 1/1 d = 0 m 	A12 1/1 d = 300 m 	A13 1/1 d = 500 m 
	A2 Ortsbrust-Störzone = 200 m	A22 2/1 d = 0 m 	A23 2/1 d = 200 m 
		A3 Ortsbrust-Störzone = 0 m	A33 3/1 d = 0 m 