

Symposium Luzern, 16. März 1995

TBM Know-How zum Projekt NEAT, ATLAS-COPCO-ROBBINS

## Wiederverwendung von TBM-Ausbruchmaterial - Einfluss des Scheidrollenabstandes

Ernst Büchi, GEOTEST AG

Cédric Thalmann, ETHZ

### Zusammenfassung

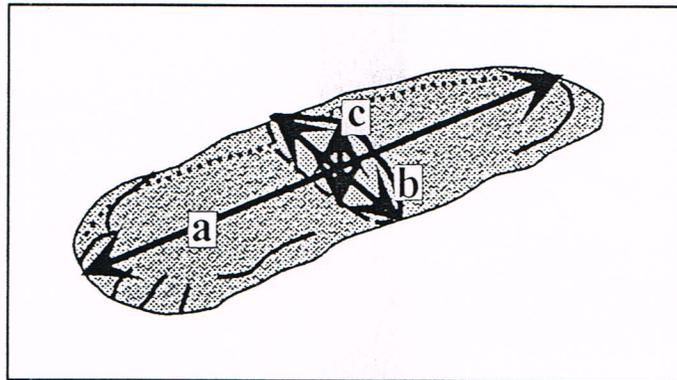
Die Firma Robbins führte im Herbst 94 einen Fräsversuch mit unterschiedlichen Schneidrollenabständen durch. Der Versuch fand im gesunden Granit (Einachsige Druckfestigkeit rund 250 MPa) des Äspö-Versuchsstollen im Süden Schwedens statt. Gebohrt wurde mit einer Robbins TBM - Typ Jarva MK 15-1680 - mit 5.0m Durchmesser. Die Autoren hatten die Möglichkeit eine detaillierte Studie über das Ausbruchmaterial durchzuführen, welches vom Vortrieb mit drei unterschiedlichen Rollenabständen - 86, 129 und 172mm - der Brustschneidrollen stammte. Das Ziel dieser Untersuchungen war es - im Hinblick auf eine optimierte Wiederverwendung von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial als Beton- und Spritzbetonzuschläge - das Verhältnis zwischen dem Schneidrollenabstand und der Grösse des anfallenden Ausbruchmaterials zu bestimmen. Die Resultate haben gezeigt, dass die Chipdicke mit dem zunehmenden Schneidrollenabstandes korreliert. Die Chipdicke (c-Kornachse) ist die massgebende Grösse für die Bildung der Grobsplittfraktion von Betonzuschlägen. Ein Schneidrollenabstand von 107mm in einem granitischen Fels würde somit ausreichend grobes Ausbruchmaterial liefern, um Betonzuschläge von 0 bis 32mm zu produzieren. Mit den heutigen Schneidrollenabständen von 70 bis 85mm ist der Anfall und somit die Produktion von Zuschlägen grösser als 20mm nicht immer gewährleistet. Der verbreitete Schneidrollenabstand wird somit den Wiederverwertungsgrad von geeignetem TBM-Ausbruchmaterial zu Betonzuschlägen verbessern. Dies kann sich entsprechend positiv auf wirtschaftlichen und die Umweltschutz-Aspekte von Tunnelprojekten auswirken.

## Einleitung

Im Tunnelbau wird - neben dem konventionellen Sprengvortrieb - der maschinelle Vortrieb (TBM) zunehmend auch im harten, qualitativ guten Fels und bei grossem Bohrdurchmesser eingesetzt. Je nach dem Konzept für temporäre Gebirgssicherung respektive Endauskleidung werden unterschiedliche Mengen an Beton- und Spritzbeton benötigt.

Der Abbau von natürlichen Sand- und Kiesvorkommen für Betonzuschläge ist bereits heute auf Grund zunehmender Knappheit oder infolge restriktiver Umweltschutzgesetzen erschwert. Somit liegt es auf der Hand in kiesarmen Regionen das anfallende Ausbruchmaterial als Splittprodukte aufzubereiten und einzusetzen.

TBM-Ausbruchmaterial besteht aus 25 bis 40% Sand  $\leq 4\text{mm}$ . Das gröbere Material fällt in der Regel plattig an (tellerartig) und weist eine maximale Dicke (c-Korndurchmesser) von 15 bis 25mm auf (Figur 1). Die maximale Breite (b-Kornachse) des Ausbruchmaterials (Chip) ist direkt abhängig vom Schneidrollenabstand. Die Länge der gefrästen Komponenten (a-Korndurchmesser) hingegen wird vom Gesteinstyp und seinen Eigenschaften - Sprödigkeit, Anisotropie, usw. - bestimmt.



Figur1: Schematisierte Skizze von TBM-Ausbruchmaterial

Kürzlich durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass es für Spritzbetonarbeiten möglich ist die Fraktion 0 bis 8mm vom anfallenden und geeigneten Ausbruchmaterial abzusieben und ohne weitere Behandlung einzusetzen. Auf Baustellenversuchen konnte sogar ein 'normaler' Pumpbeton 0/32mm mit unbehandeltem TBM-Material (ungebrochen und ungewaschen) eingebracht werden, der sowohl die Frisch- als auch die Festbetonanforderungen erfüllen konnte.

Für höhere Betonanforderungen kann das TBM-Material auf geeigneten Aufbereitungsanlagen mittels Waschen, Brechen und Aussiebung zu gewünschten Splittprodukten veredelt werden. Es ist naheliegend, dass die Dicke (c-Korndurchmesser) des Ausbruchmaterials die maximale kubische Korngrösse der gebrochenen Splittprodukte definiert. Erfahrungsgemäss fällt mengenmässig - im Gegensatz zum Sand - relativ wenig Material im gewünschten Grobbereich an, welches zu Splittprodukten  $> 20\text{mm}$  verarbeitet werden kann.

Sowohl die Aufbereitungskosten als auch der zu geringe Anfall an groben Ausbruchmaterial werden als Hauptgründe angesehen, dass geeignetes TBM-Material bis heute nicht zu Betonzuschlägen weiterverwertet wurde. Geringere Aufbereitungskosten und ein vermehrter Anfall an größeren Ausbruchmaterialien sind für eine wirtschaftliche Weiterverwertung von TBM-Material die Voraussetzung.

Die Wiederverwendung von TBM-Ausbruchmaterial führt zu folgenden Vorteilen:

- Finanzielle Vorteile
  - Einsparungen bezüglich Transportkosten zu den Entsorgungsdeponien
  - Einsparungen bezüglich Transportfahrten zur Anlieferung von Sand und Kies
  - Einsparungen bezüglich kleinerem Deponieraum
- Umweltschützerische Vorteile
  - infolge schonungsvollerem Umgang mit natürlichen Kiesressourcen
  - infolge kleinerer Deponien
  - infolge geringerer Staub- und Lärmemission

## Äspö - Projekt

Äspö liegt im Süden Schwedens in der Nähe von Oskarshamn, wo eine Atomkraftwerkanlage betrieben wird. Die mittels maschinellm Vortrieb aufgefahrenen Felsstrecke soll als Untersuchungsstrecke für das Äspö Hartgesteinslaboratorium der SKB dienen (Svensk Kämbränslehantering AB) - Schwedische staatliche Atomenergie und -entsorgungs Abteilung.

Nach Beendigung einer rund 2.6km spiralförmig verlaufenden Tunnelstrecke (bis zur Kote -345m), wurde der anschliessende, gradlinig verlaufende Abschnitt von der Bauunternehmung Skanska (Kote -345m bis rund -430m) im konventionellen Sprengvortrieb weitergeführt. Die letzte Tunnelstrecke von Rund 420m wurde (bis zur Kote -450m) schliesslich mit der TBM mit 5.0m Bohrdurchmesser aufgefahren. In diesem Abschnitt fanden die TBM-Versuche im August 94 statt.

Der Untergrund besteht aus einem 1'700 Millionen alten Granit (Smalands Granite) mit folgenden Felskennwerten:

Einachsige Druckfestigkeit:	250 MPa
Point Load Index I <sub>s50</sub>	7.5 MPa
Cherchar Abrasivitäts Index	5.3

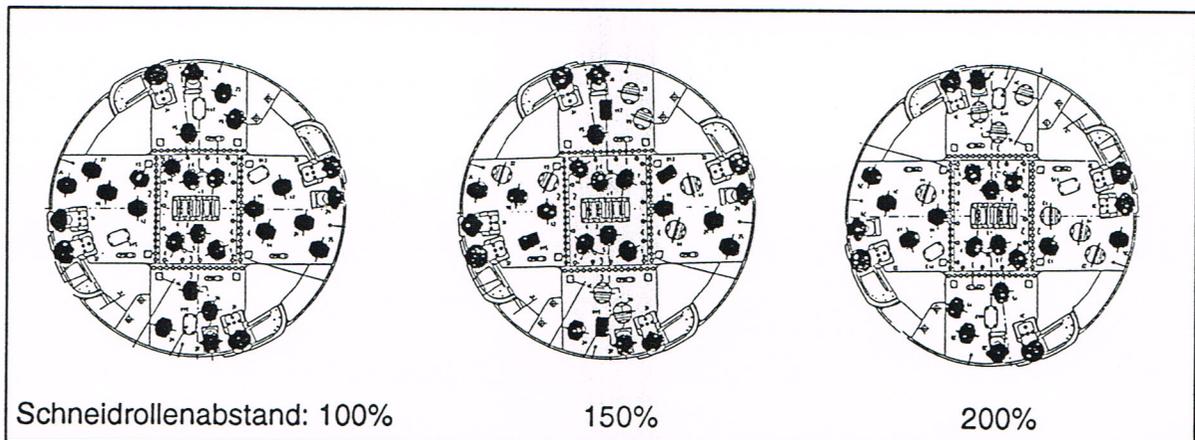
## TBM-Spezifikation

Für die Versuchsanordnung stand folgender TBM-Typ im Einsatz:

Hersteller, Typ	ROBBINS JARAVA MK 15 - 1680 / 5.0
Bohrdurchmesser	5.0 m
Bohrkopf - Leistung	1680 kW
Bohrkopf - Anpressdruck	8330 kN
Bohrkopf - Umdrehung pro Minute	0 - 12.7 rpm VSD
Anzahl Schneidrollen	34
Schneidrollen - Durchmesser	17"
Maximaler Anpressdruck pro Schneidrolle	245 kN

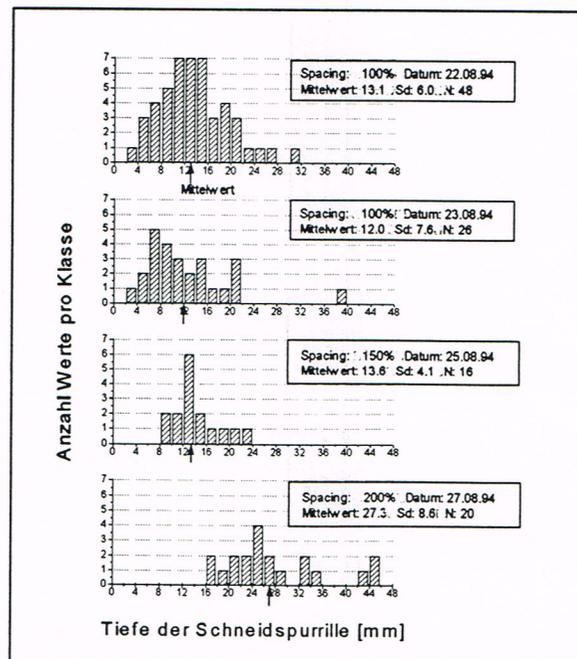
## Versuchsordnung

Beginnend mit der Standard Schneidrollenanordnung mit einem Schneidspurabstand von 86mm (=100%), wurden zwei Tunnelabschnitte mit Schneidspurabständen von 129mm (=150%) und 172mm (=200%) gebohrt. Bei den Versuchsanordnungen mit den vergrößerten Schneidspurabständen (150% und 200%) wurden die Schneidrollen im Brustbereich entfernt replektive verschoben (Figur 2). Dies heisst, dass man rund 60% des Tunnelquerschnittes mit vergrößerten Schneidrollenabständen fräsen konnte. Die Schneidrollen des Zentrums- und Kaliberbereiches blieben unverändert. Bei allen drei Versuchsphasen wurden maschinenspezifische Daten erhoben, Bohrbarkeit-Tests durchgeführt und Ausbruchmaterial entommen. Letzteres ist zum Teil an Ort und Stelle untersucht worden.



Figur 2: Position der Schneidrollen (ausgefüllt = eingesetzte; leer = ohne Schneidrollen)

Weiter wurden die Eindringtiefen der Schneidspurrillen an der Tunnelbrust jeweils direkt eingemessen, mit folgenden Ergebnissen:



Figur 3: Eindringtiefen der Schneidspurrillen bei unterschiedlichen Schneidrollenabständen (Spacing). Histogramm der gemessenen Werte: Sd = Standardabweichung; N = Anzahl Messungen.

## Untersuchungen am Ausbruchmaterial

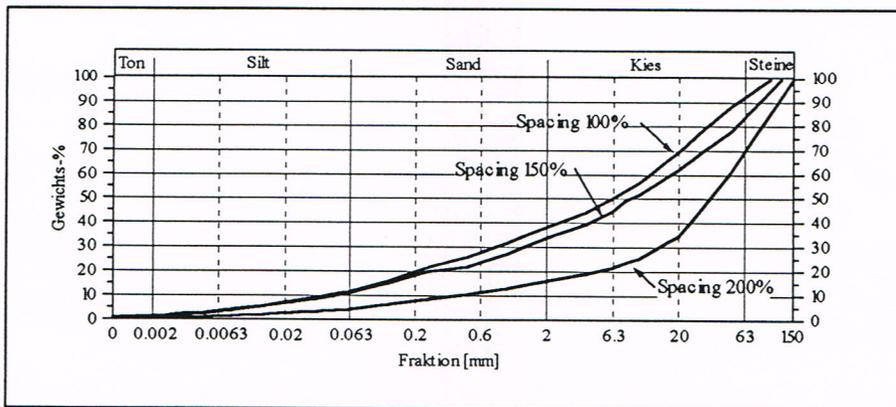
Rund 280kg Ausbruchmaterial wurde dem Felslabor der Firma Geotest (CH-Zollikofen) für weitere Untersuchungen überbracht:

Art der Untersuchung	Gesuchte Kenngrösse	Verwendetes Ausbruchmaterial
Standard Siebkurven	b-Kornachse	gesamt
Siebkurve mit Stangensieben	c-Kornachse	gesamt
Chip - Grösse	a-, b-, c-Kornachse	nur Komponente die direkt zwischen den Schneidspuren herausgebrochen wurden (=Chips)
Kornformanalysen und Plattigkeitsindex	Kubizität und Plattigkeit	showohl an Chips wie auch am gesamten Ausbruchmaterial $\geq 4\text{mm}$

## Resultate

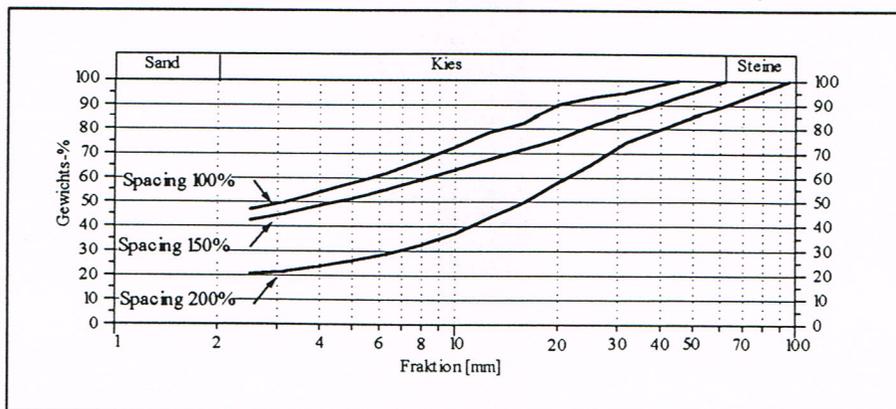
### Siebkurven

In der nachfolgenden Figur 4 sind Standard-Siebkurven (Quadratlochsieb) dargestellt. Die Siebkurven werden hier durch den b-Korndurchmesser bestimmt:



Figur 4: Siebkurven der TBM-Ausbruchmaterialien mit unterschiedlichen Schneidspurabständen (Spacing).

Die mittels Stangensieben ausgesiebten Ausbruchmaterialien in Figur 5 ergeben eine Siebkurve die auf der Dicke der Komponenten (c-Korndurchmesser) beruht.



Figur 5: Siebkurven der TBM-Ausbruchmaterialien mit unterschiedlichen Schneidspurabständen (Spacing) nach ihrem c-Korndurchmesser aufgetragen.

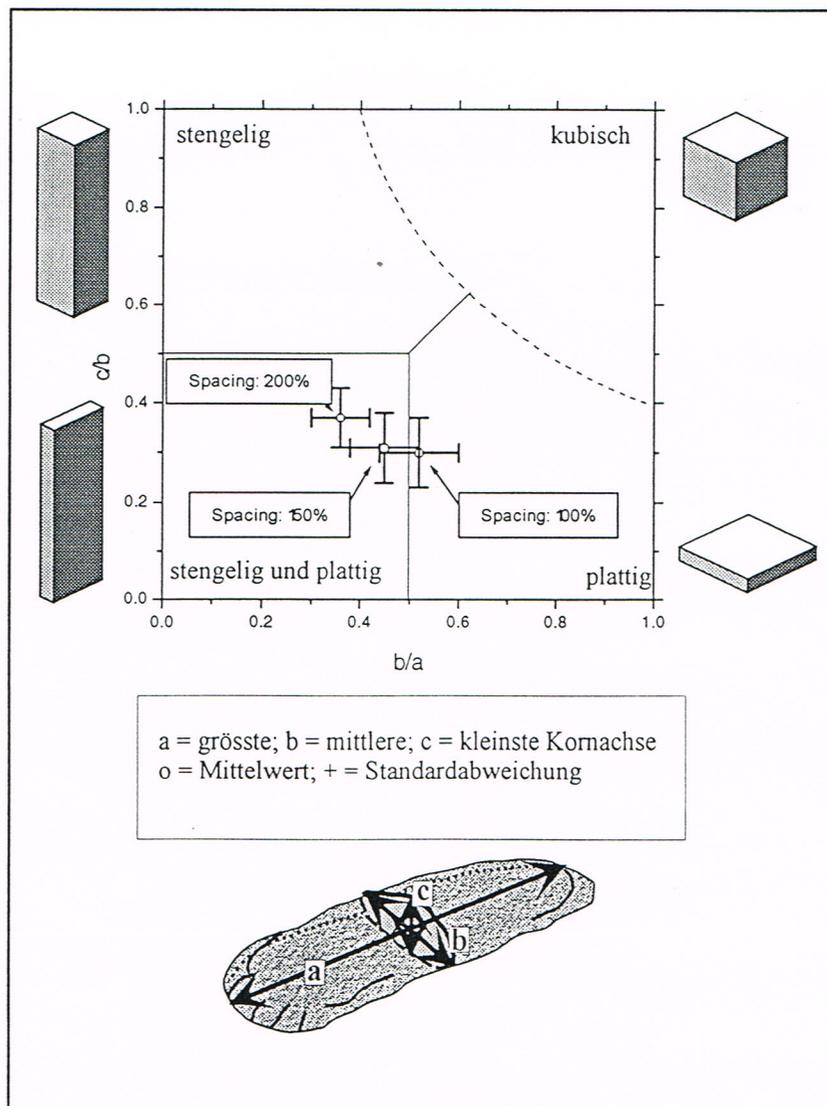
## Kornachsen der Chips

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Chip-Kornachsengrößen aufgeführt (s. auch Anhang I). Pro Testphase wurden rund 50 Chips ausgemessen:

Schneidrollenabstand	[%]	100	150	200
	[mm]	86	129	172
a-Kornachse	[mm]	142	257	426
b-Kornachse		72	113	154
c-Kornachse		22	35	58

## Kornformen der Chips

Die Kornformen der ausgemessenen Chips sind in der nachfolgenden Figur 6 dargestellt:

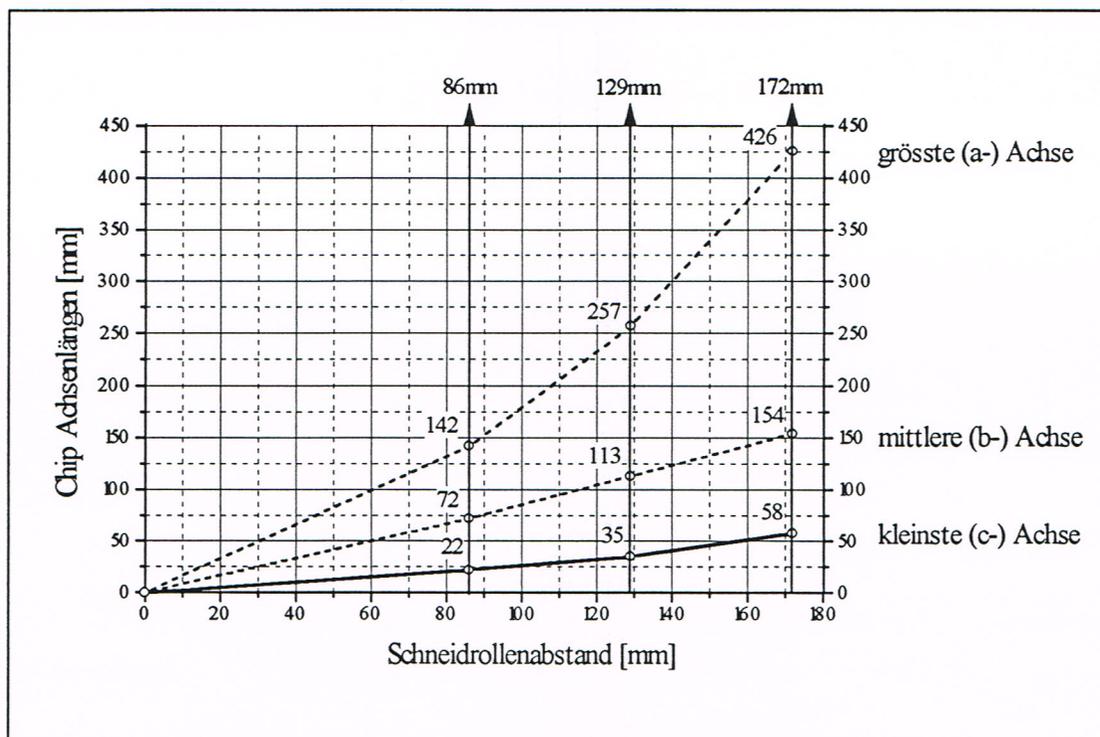


Figur 6: Kornformdiagramm der ausgemessenen Chips

## Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen aus den Resultaten können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Alle drei Kornachsen-Grössen der Chips sind direkt abhängig vom Schneidrollenabstand.
2. Die Vergrösserung des Schneidrollenabstandes um 50% führt zu rund 60% dickeren respektive zu rund 80% längeren Chips (Figur 7). Die Zunahme der Dicke und der Länge ist im gegensatz zur Breite leicht überproportional.



Figur 7: Verhältnis des Schneidrollenabstandes zu den Chip-Kornachsen

Das obenstehende Diagramm zeigt, dass ein Schneidrollenabstand von rund 107mm in einem granitischen Fels genügend würde, um Chips mit einer Dicke von rund 28 bis 30mm zu erhalten. Dadurch könnten auch die gröbereren Betonzuschläge 16/32mm in grösseren Mengen produziert werden. Es sei hier am Rande erwähnt, dass eine Betonsiebkurve mit gebrochenen Zuschlägen 0/25mm (bis 0/28mm) volumenmässig in etwa einer Siebkurve mit runden Zuschlägen von 0/32mm entspricht.

3. Die Siebkurven zeigen, dass bei zunehmender Schneidrollenabstand der Sandanteil  $\leq 4\text{mm}$  von ursprünglich 44 Gewichts-% auf 39 Gewichts-% (Schneidrollenabstand = 150%) respektive auf 19 Gewichts-% (Schneidrollenabstand = 200%) gesenkt wird. Dies führt somit zu einem verbesserten Sand-Kies-Verhältnis der aufbereiteten (gebrochenen) Splittprodukte für die Betonproduktion. Der Anteil an Ausschussmaterial wird dadurch verkleinert.
4. Der Plattigkeitsindex zeigt, dass die Zunahme der Komponenten-Dicke nicht nur bei den Chips sondern auch bei den kleineren Bruchstücken bis 4mm zu beobachten sind.

Die Ergebnisse dieser Pilotstudie werden als positive Antwort gewertet, auf die Frage, ob sich geeignetes TBM-Ausbruchmaterial - im Zusammenhang mit einem vergrösserten Schneidrollenabstand - vermehrt zu Betonzuschlägen wiederverwenden lässt.

Die im Auftrag der Firma Robbins durchgeführten Bohrbarkeit-Tests haben gezeigt, dass ein TBM-Vortrieb mit deutlich vergrössertem Schneidrollenabstand nicht unrealistisch ist. Eine grundsätzliche Bestätigung der positiven Befunde vom Äspö-Versuch ist jedoch mit einem weiteren Test möglich. Von besonderen Interesse sind dabei die Auswirkungen auf die -Penetration respektive des Schneidrollenverschleisses.

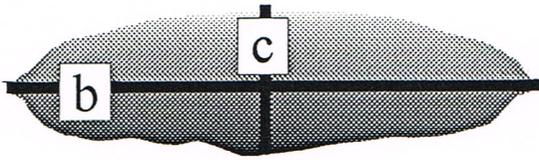
## **Verdankungen**

Die Autoren danken der Firma Robbins für die Erlaubnis diese Ergebnisse zu publizieren. Gedankt sei auch dem Bauherren SKB und dem Unternehmer Skanska für die Unterstützung während der Versuchsphase.

## **Literatur**

1. Büchi, E. und Thalmann, C.: Reuse of TBM-muck versus cutter spacing. TBM-Symposium Lucia, Stockholm 1994.
2. Thalmann, C.: Beurteilung und Möglichkeiten der Weiterverwertung von Tunnelausbruchmaterialien aus dem maschinellen Tunnelvortrieb (Dissertation ETH Zürich, Ingenieurgeologie, in Vorbereitung).
3. SKB-Swedish nuclear fuel and waste management company - Report: Activities 1993.

# Grösse der Chips bei unterschiedlichem Schneidrollenabstand (Spacing)



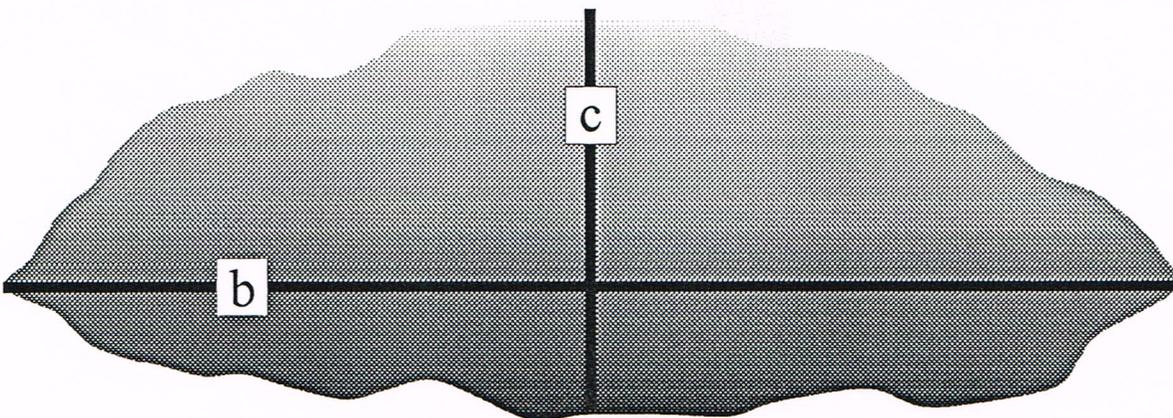
Standard-Spacing  
100%

$b = 72\text{mm}$   
 $c = 22\text{mm}$



Spacing  
150%

$b = 113\text{mm}$   
 $c = 35\text{mm}$



Spacing  
200%

$b = 154\text{mm}$   
 $c = 58\text{mm}$

$b = \text{Chip - Breite}$   
 $c = \text{Chip - Dicke}$

(Massstab 1:1)