

Zürich, Mai 24<sup>th</sup>, 2018

# Erfahrungen mit EPBM unter mixed face Bedingungen

Dr.-Ing. Ulrich Rehm, Tunnelling Consultant GmbH, Germany

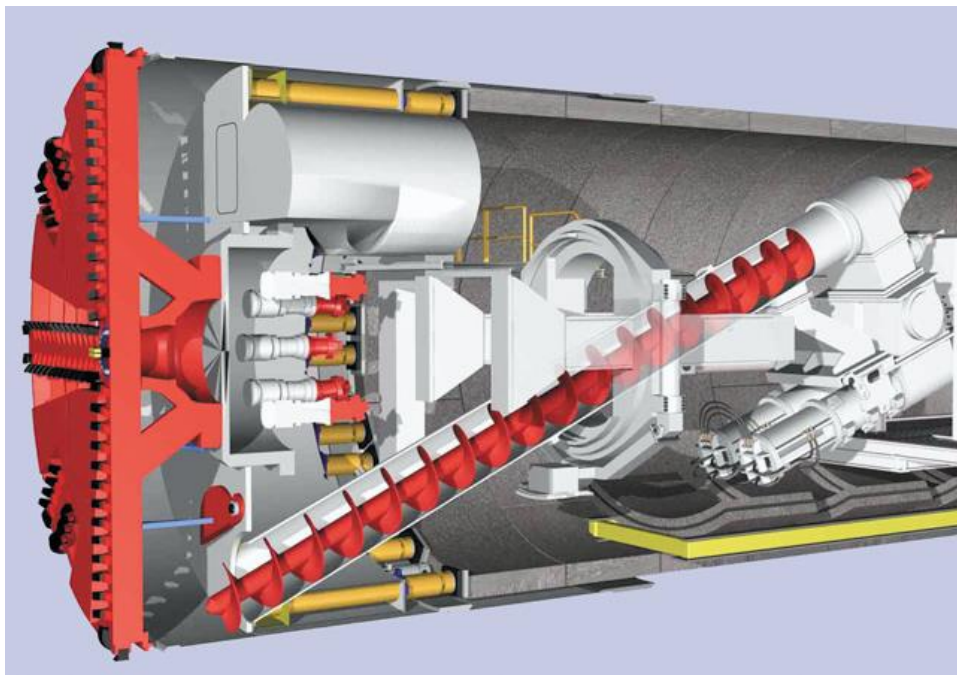


Dr. Rehm | D. Seibert





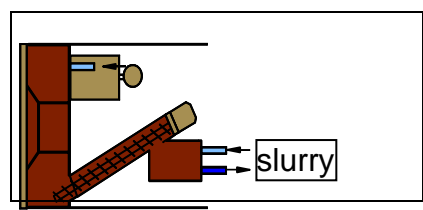
## Erweiterte EPB Technologie



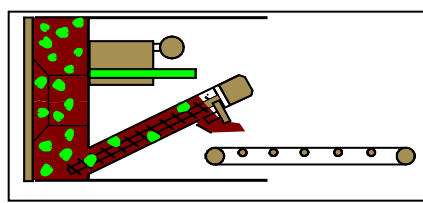
„Mechanischer Propfen“ am  
Schneckenauslaß



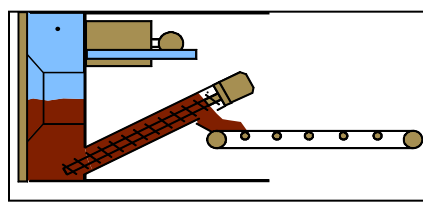
# EPB Technologie. Vortriebsmodi



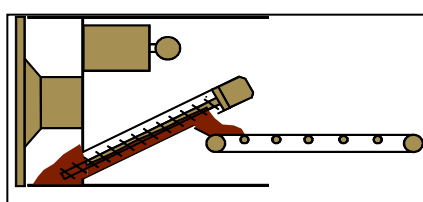
Slurry Modus



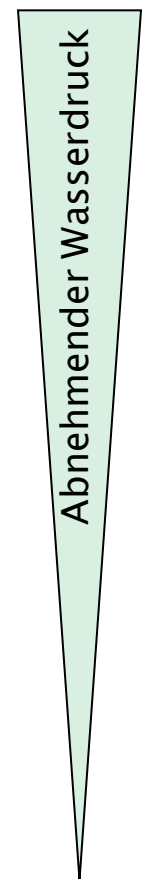
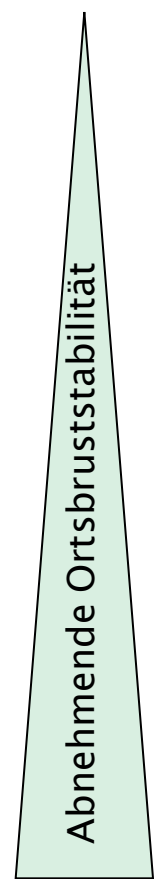
Geschlossener Modus



Semi geschlossner Modus



Offener Modus

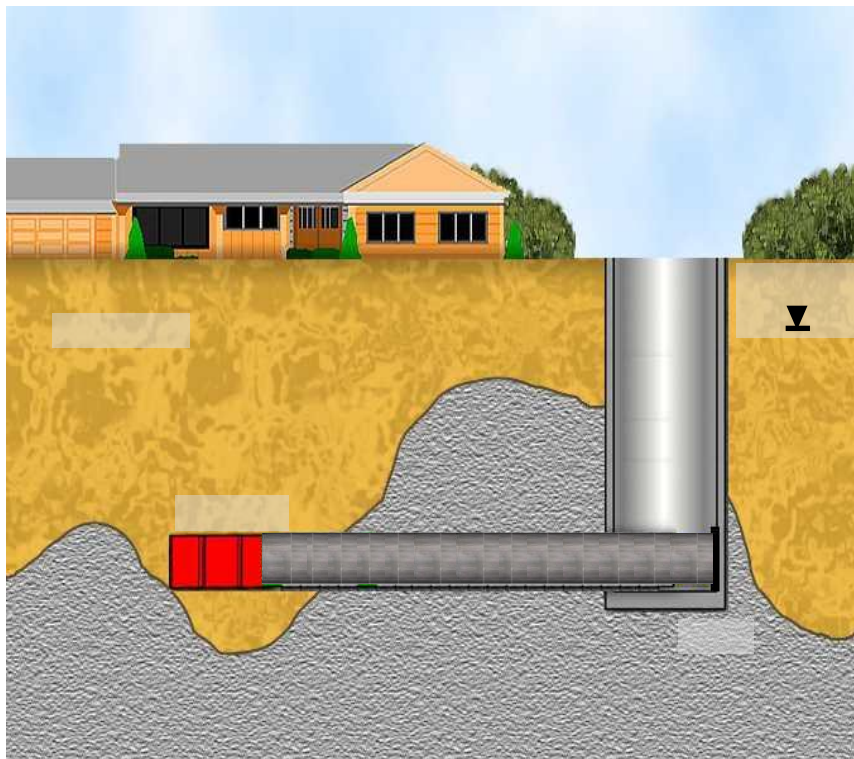




Definition für Mixed face Bedingungen:  
Gleichzeitiges Auftreten von mindestens zwei unterschiedlichen Baugrundtypen mit deutlich unterschiedlichen Auswirkungen auf eine TBM:

- Unterschiedliche Baugrundsichten in Fels entstanden durch eruptive Gesteinsgänge, in Scher- und Störzonen
- Übergänge von Boden und Fels (z.B. verwitterter Fels oberhalb unverwittertem Fels, sedimentäre Ablagerungen oberhalb Felshorizont)
- Boden mit eingeschlossenen Steinen bzw. Findlingen

## Beispiele von mixed face Bedingungen



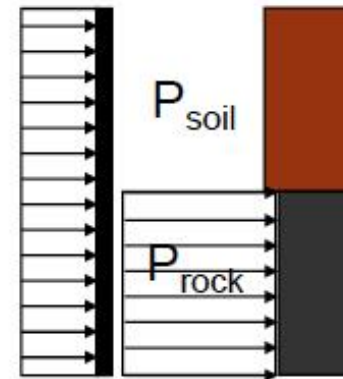
Mixed face Bedingungen sind für eine TBM am kritischsten wegen ihrer stark variierenden Festigkeiten

## Probleme für TBM in mixed face Baugrund:

Aufgrund der unterschiedlichen Festigkeiten an der Ortsbrust wirken auf den festeren Felsbereich höhere (Stütz-, Abbau-)Drücke als auf den Bodenbereich, was zu eklatantem Strukturkollaps im Bodenbereich führen kann

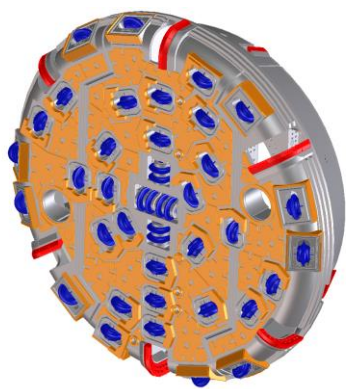


$$\begin{aligned}
 E_{\text{rock}} &\gg E_{\text{soil}} \\
 P_{\text{rock}} &\gg P_{\text{soil}} \\
 P_{\text{soil}} &\approx 0
 \end{aligned}$$

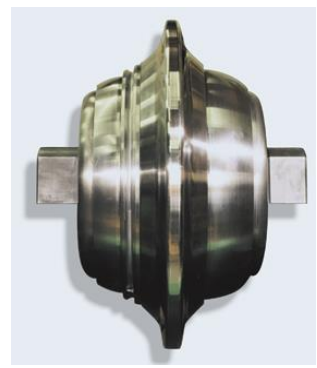
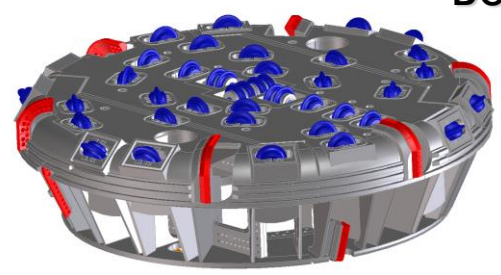




# Hard- und Softrock Klassiker



schwere  
massiver  
Bohrkopf



Schneidrolle



„leichte“  
offene  
Bohrkopf-  
scheibe



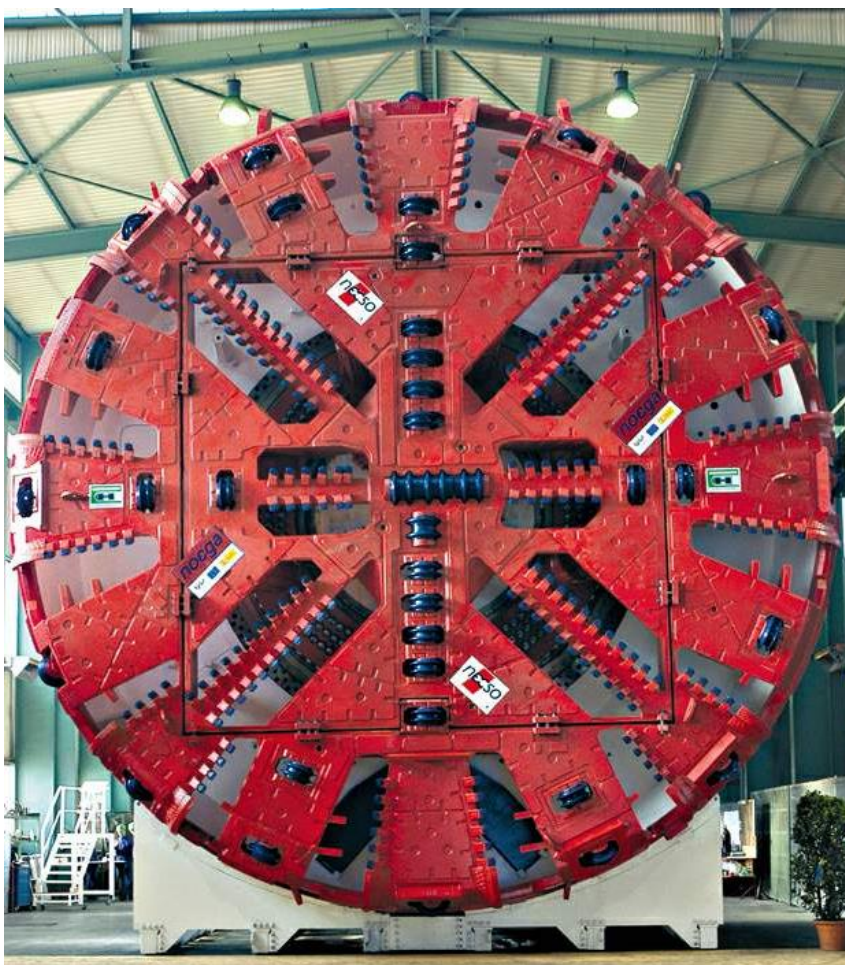
Schälmesser



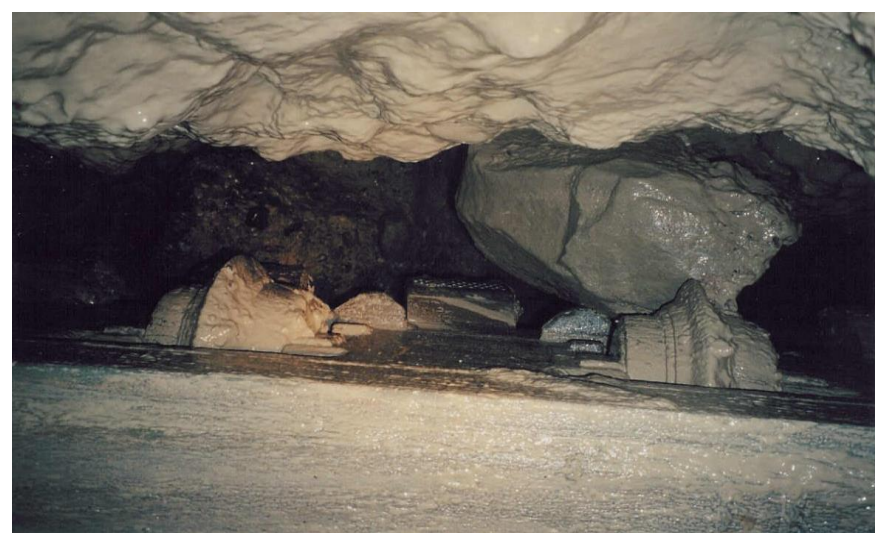




# Mixed face Bohrkopf

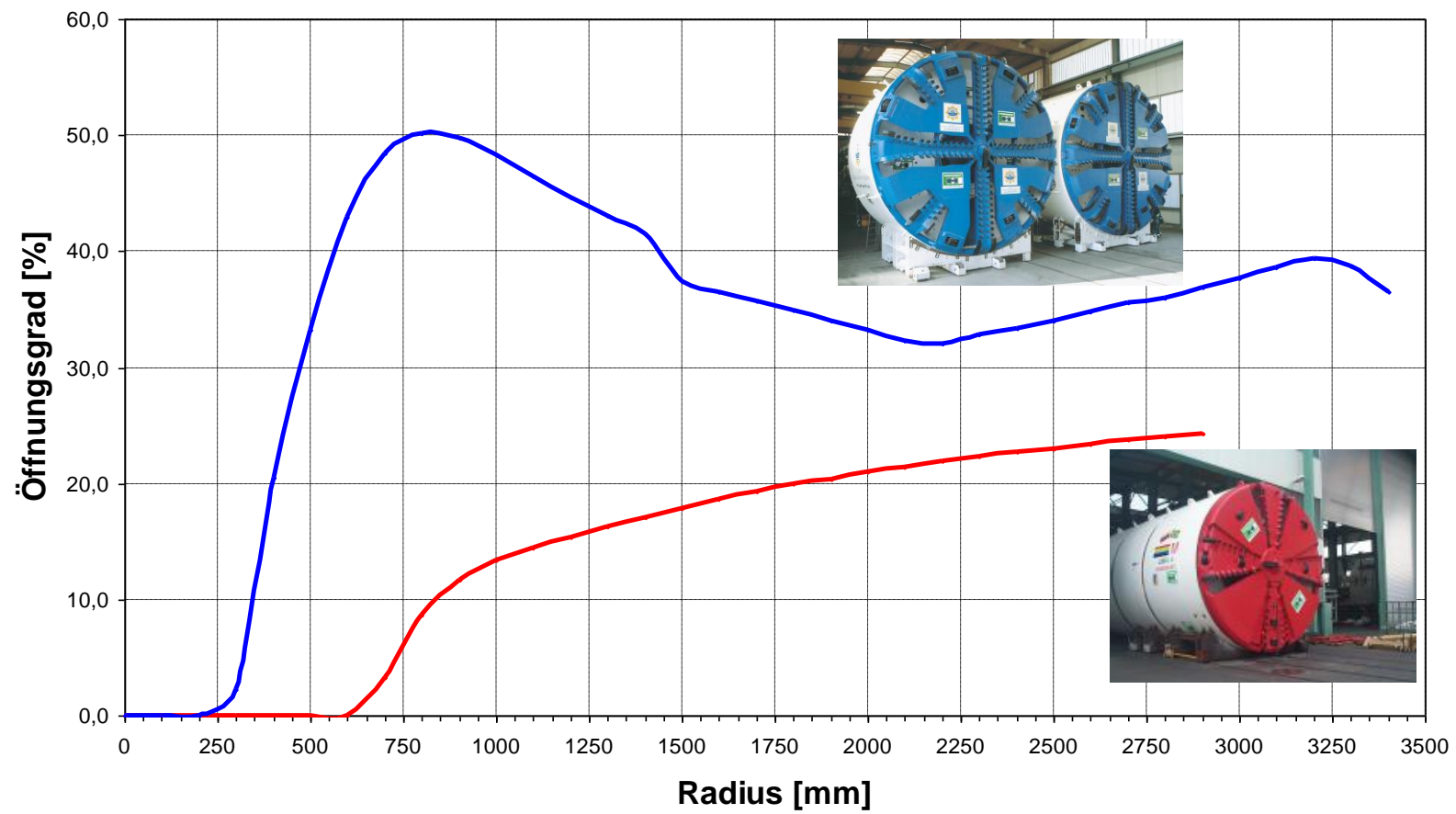


„Kompromiss-Werzeuge“



Gemischte Ortsbrust

# Bohrkopf Design





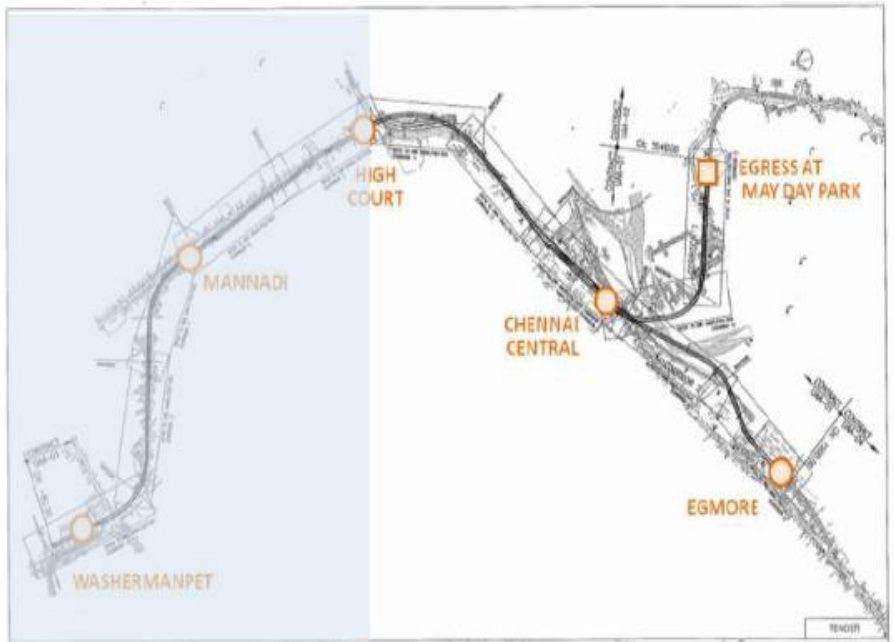
# Bohrkopf Design



fatale Folgen von schlechtem Abraumfluss

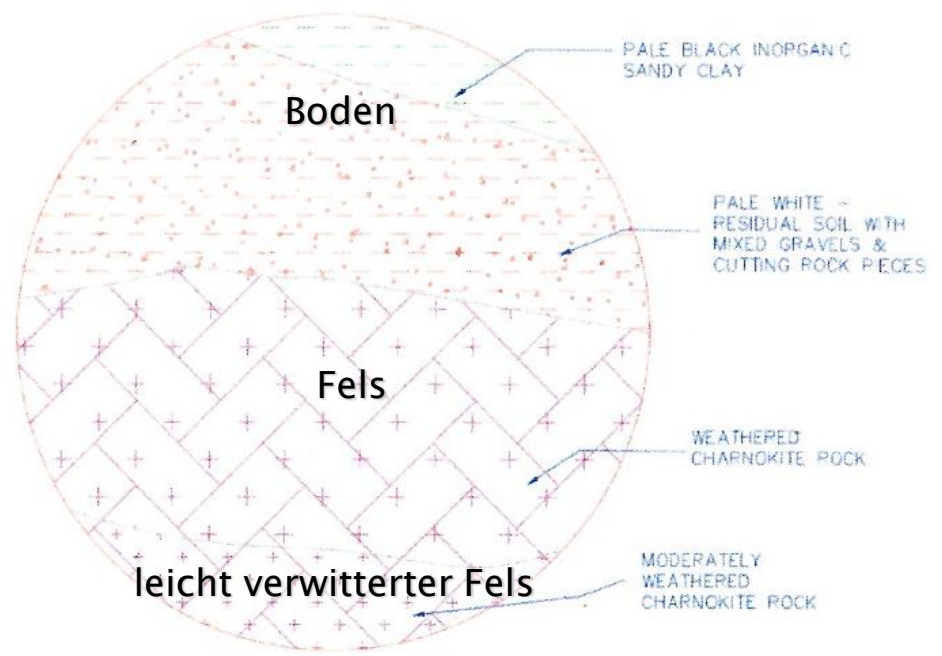


# Erfahrungen in Indien (Chennai)



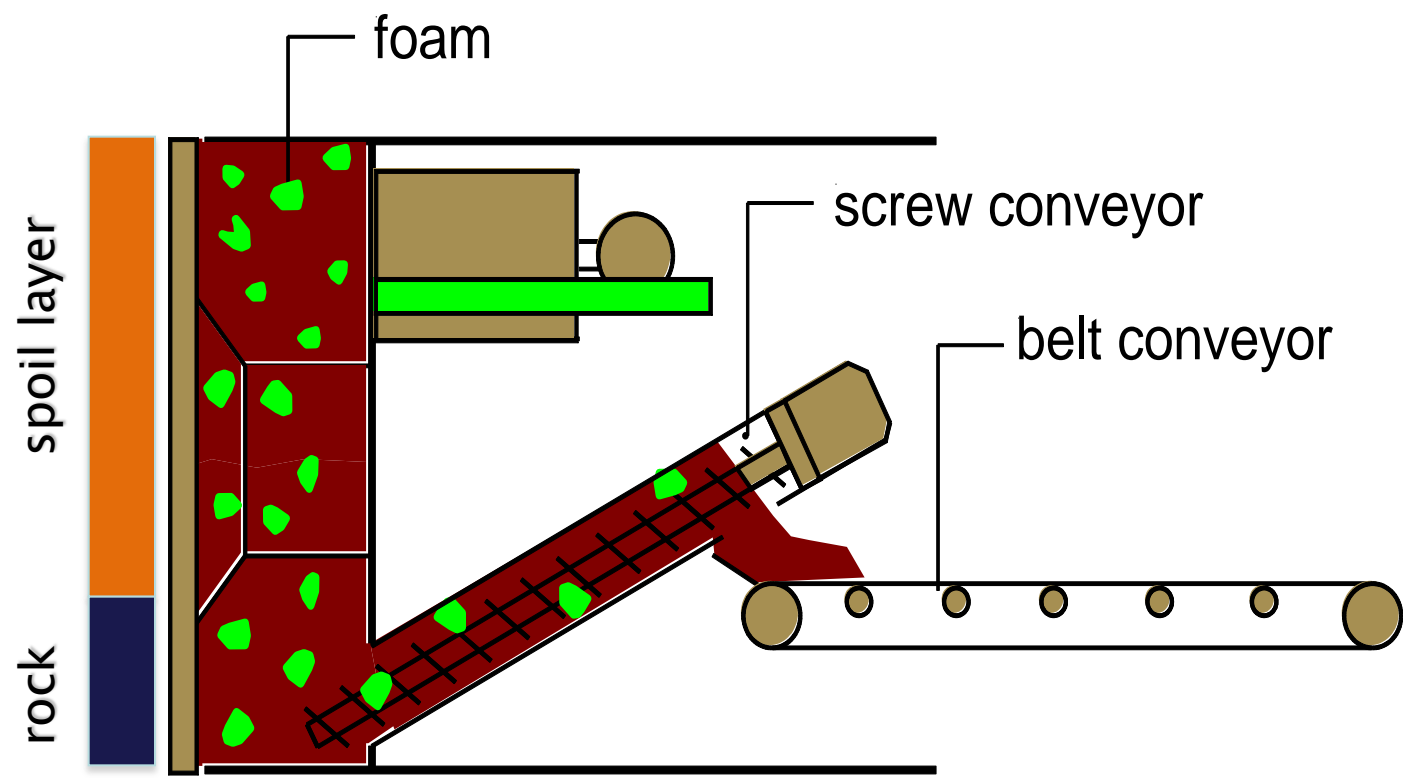
## S-703 GEOLOGICAL FACE MAPPING

ADVANCE RING # 1865, CHAINAGE- 8749.04

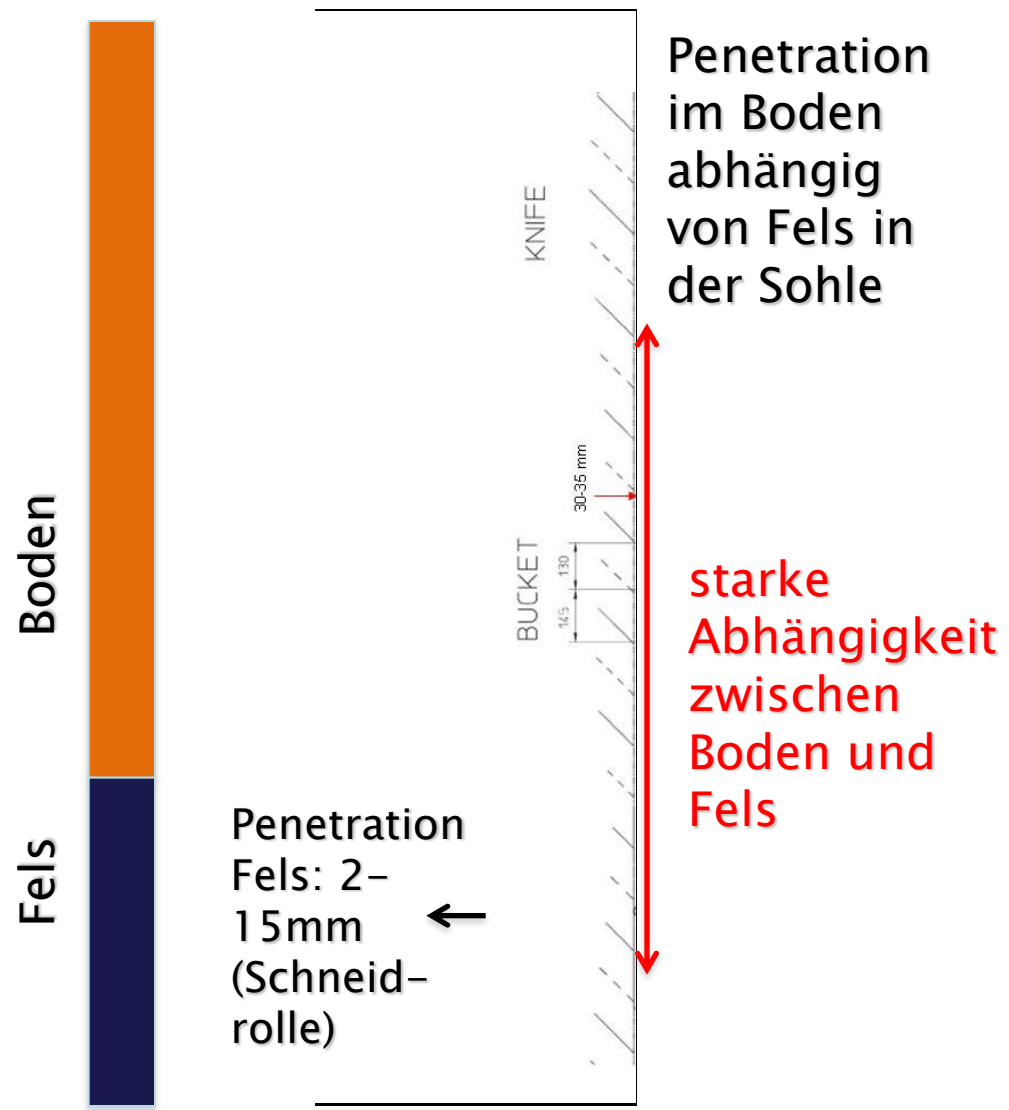


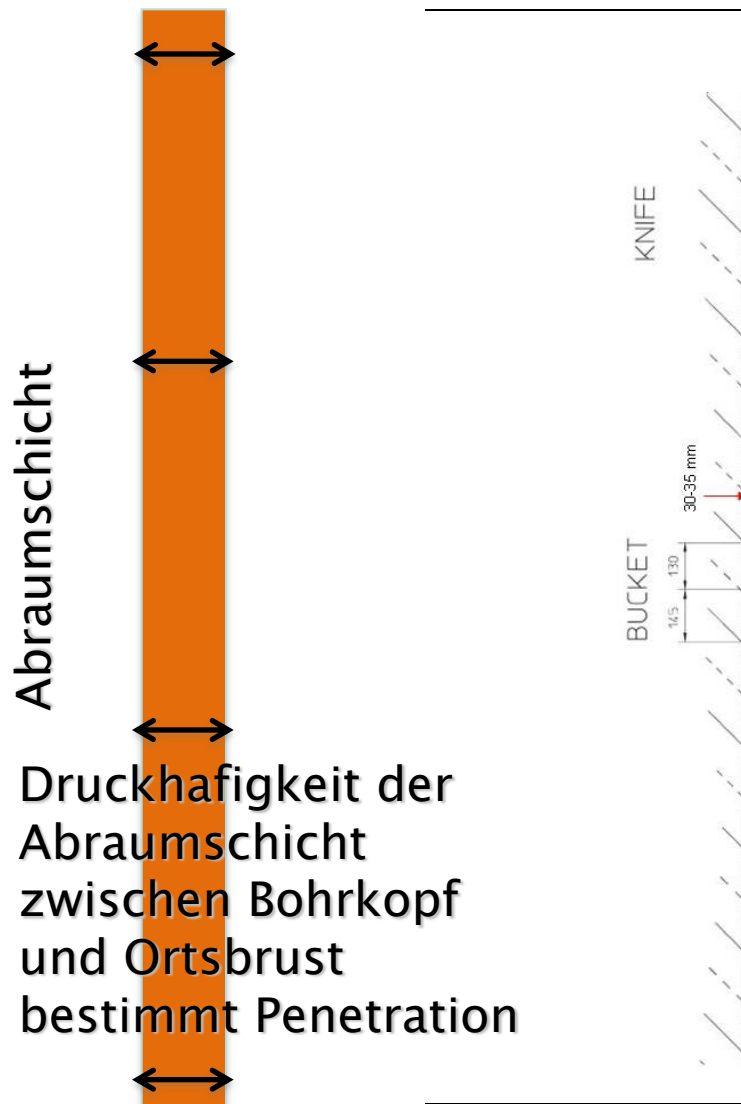


## Erfahrungen in Indien (Chennai)



Hardrock TBM: hohe Bohrkopfdrehzahl bei kleinem Antriebsdrehmoment  
EPBM: niedrige Bohrkopfdrehzahl bei hohem Antriebsdrehmoment





Wichtigste Aufgabe d.  
Schälmesser: Abraumschicht zw.  
Ortsbrust und Schneidrad  
entfernen



Erhöhte Bohrkopfdrehzahl,  
um Abraumfluss zu erhöhen



**ABER: hohe Bohrkopfdrehzahl  
erhöht Verschleiß !**



## Erfahrungen in Indien (Chennai)

klassisch  
EPB:

$$P = M \times \omega$$

Boden

Penetration der TBM wird durch Fels bestimmt aber aufgrund Arbeitskammerfüllung nur geringe Drehzahl (1-2 rpm) möglich (hohes Antriebsdrehmoment).

klassisch  
hardrock TBM:

$$P = M \times \omega$$

Fels

Hardrock TBM dieser Größe (6m Durchm) Bohrkopfdrehzahl bis zu 10 rpm möglich.

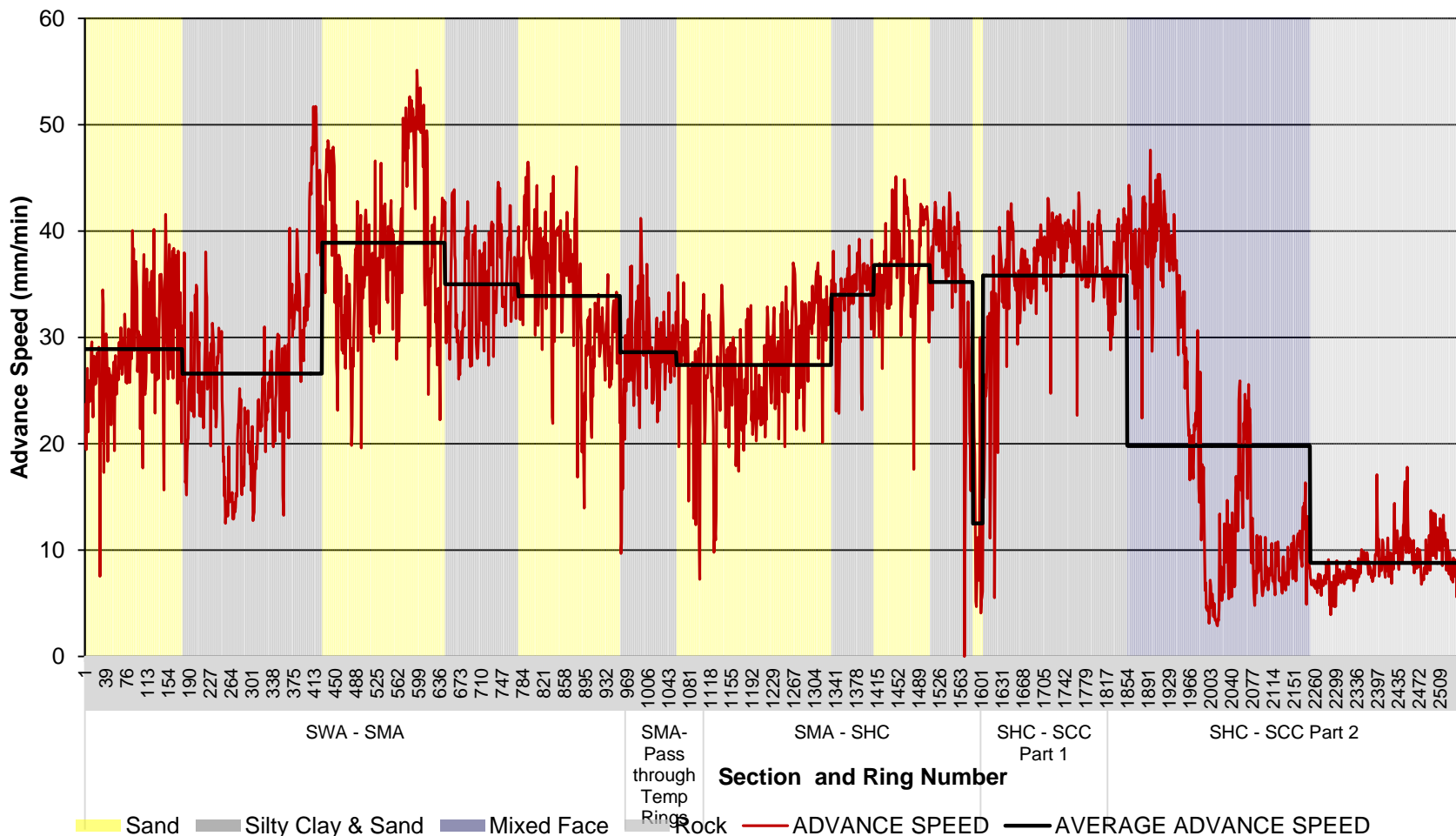


Strak  
reduzierte  
Vortriebs-  
leistung in  
mixed face



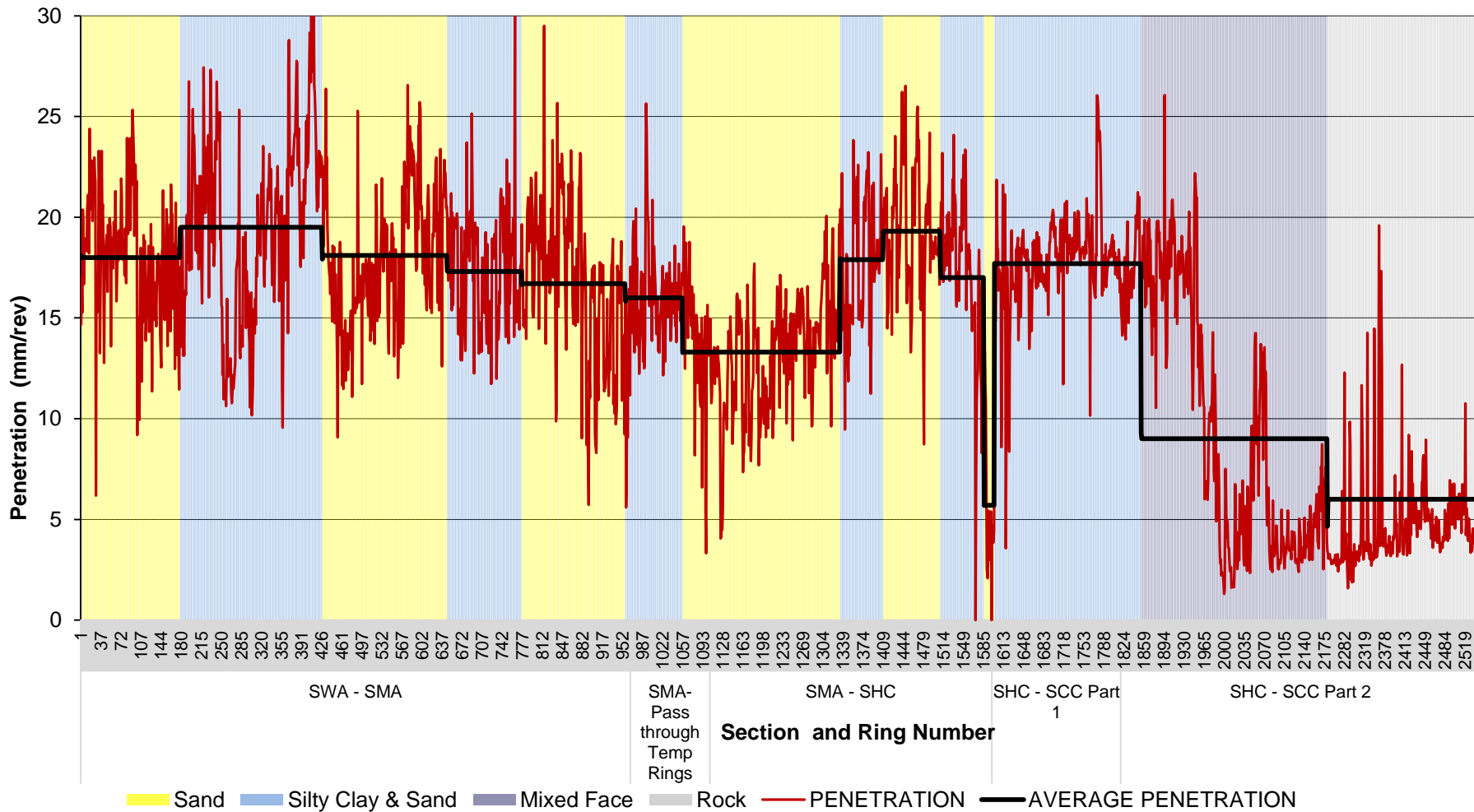


# Vortriebsgeschwindigkeit



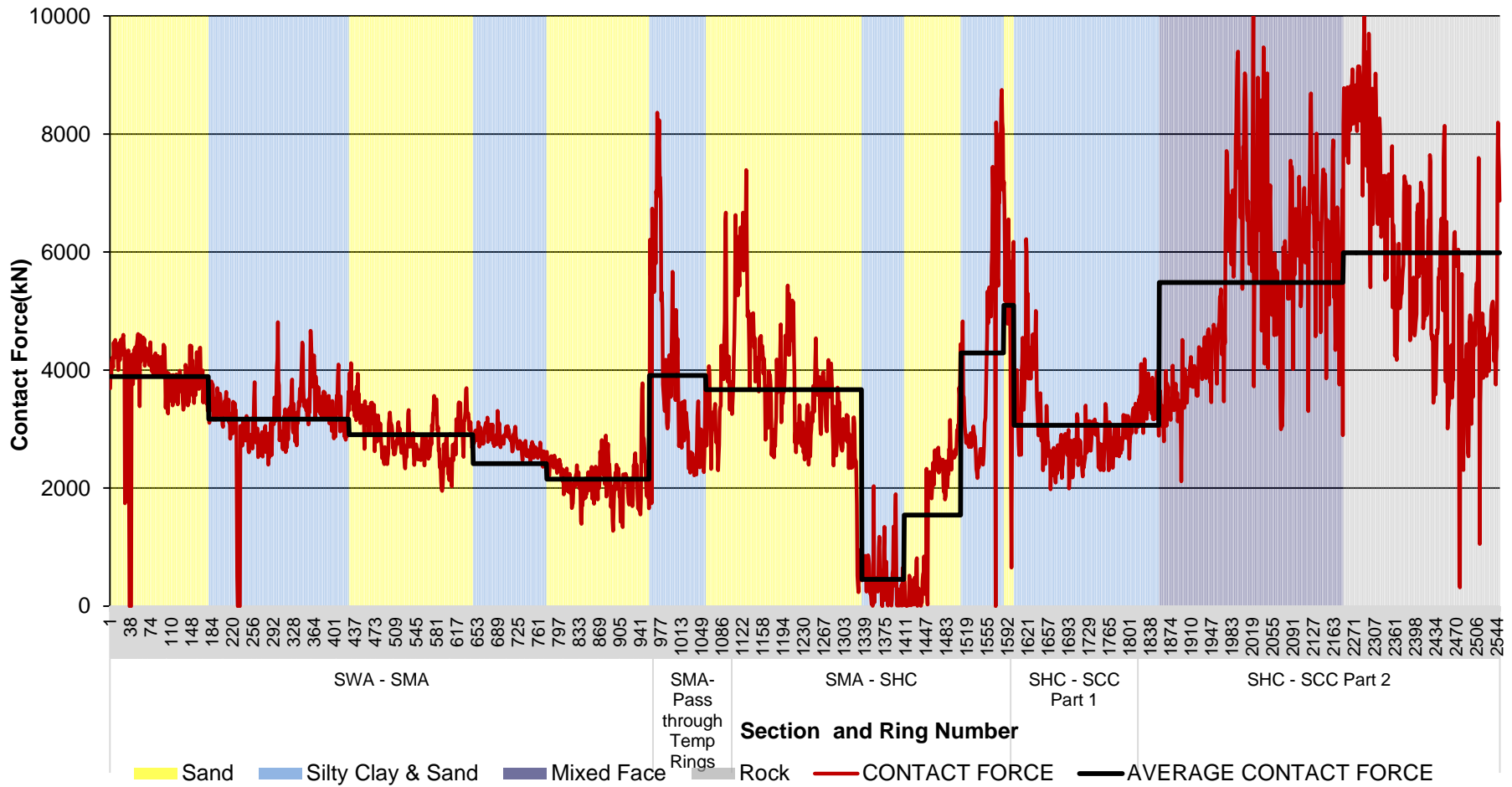


# Penetration





# Bohrkopfandruckkraft



## Erfahrungen in Indien (Chennai)



Kein direkter Ortbrustkontakt



Schneidrollen im Boden



Hoher Schneidrollenverbrauch



## Klassische Probleme in mixed face:

Ungleiche Verteilung der  
Werkzeugkräfte an der Ortsbrust

Werkzeuge im Fels erhalten höhere  
Andruckkräfte

Sehr hohe dynamische Lasten beim  
Übergang von fest zu weich  
(Gewaltversagen Lager)

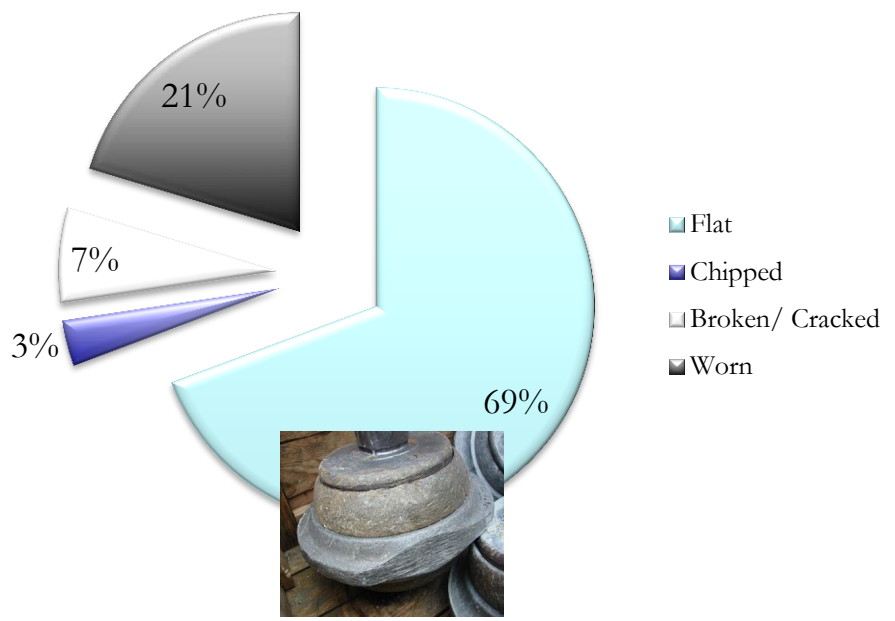
Sehr hoher Werkzeugverschleiß,  
geringe Abbaueffizienz, geringe  
Vortriebsraten.



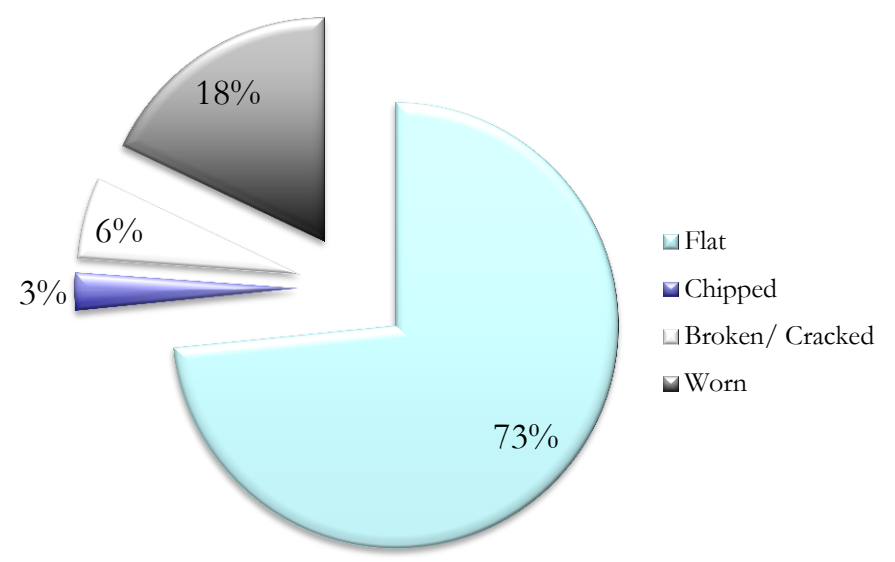
# Erfahrungen in Indien (Chennai)



## TBM S710

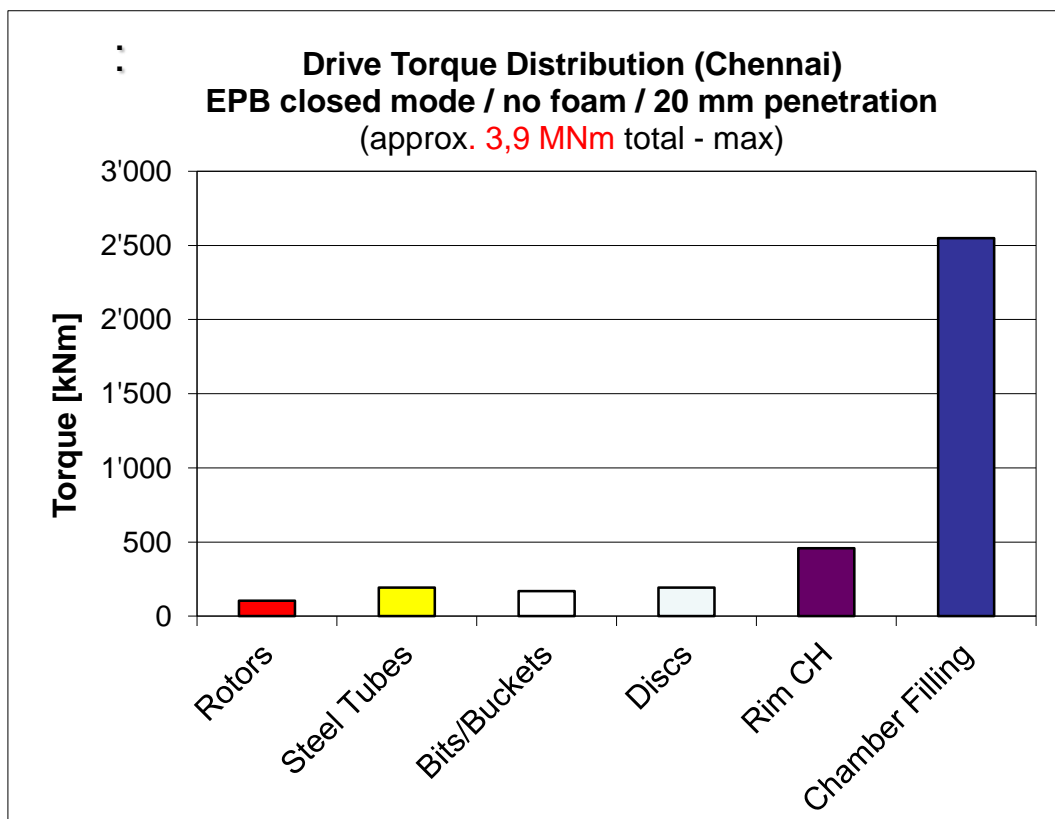


## TBM S711

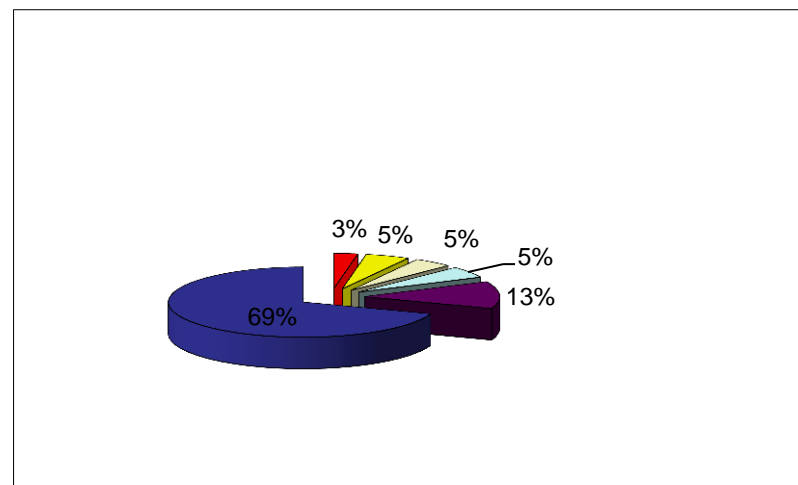


Überwiegend Stopper und Gewaltschäden

## Berechnete Antriebsdrehmomentanteile.



installiert:  
 Nominal: 4,474 MNm  
 Breakout: 5,253 MNm

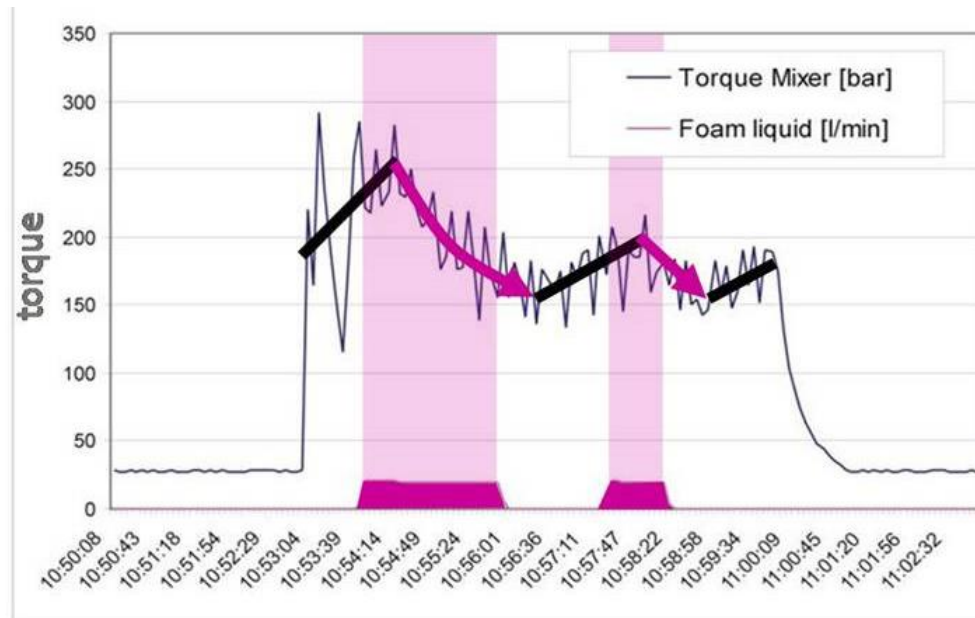


Größter Einfluss auf Antriebsdrehmoment: Kammerfüllung.

Arbeitskammerfüllung hat ca. 70% Anteil am Antriebsdrehmoment und damit an Vortriebsleistung!



Abraumkonditionierung hat entscheidenden Anteil an Vortriebsleistung



Beispiel für Drehmoment-senkung durch Schaumzugabe

## Modifizierung der Schaumparameter

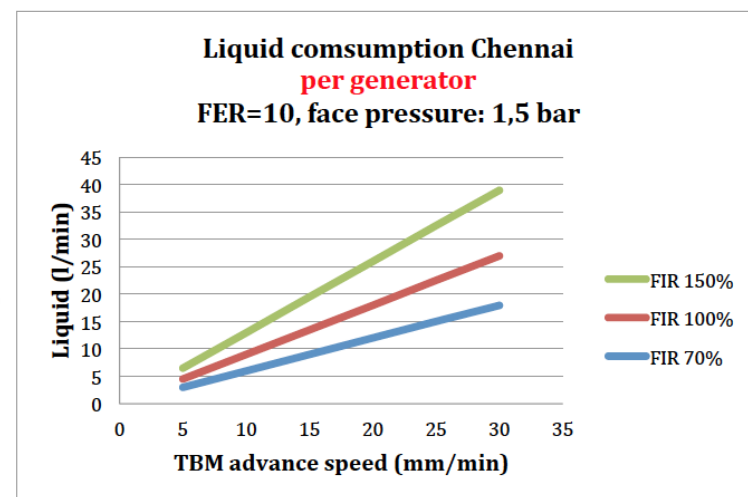


Kontrolle der  
Abraumkonsistenz





# Darstellung von maßgebenden Konditionierungsparameter zur schnellen Kontrolle für Schildfahrer



## Abraumkonditionierung in mixed face



Bildung von „Naturbeton“ aufgrund schlechter Abraumkonditionierung.

Permanente Kontrolle der TBM Vortriebsparameter um Verklebungen frühzeitig zu erkennen.

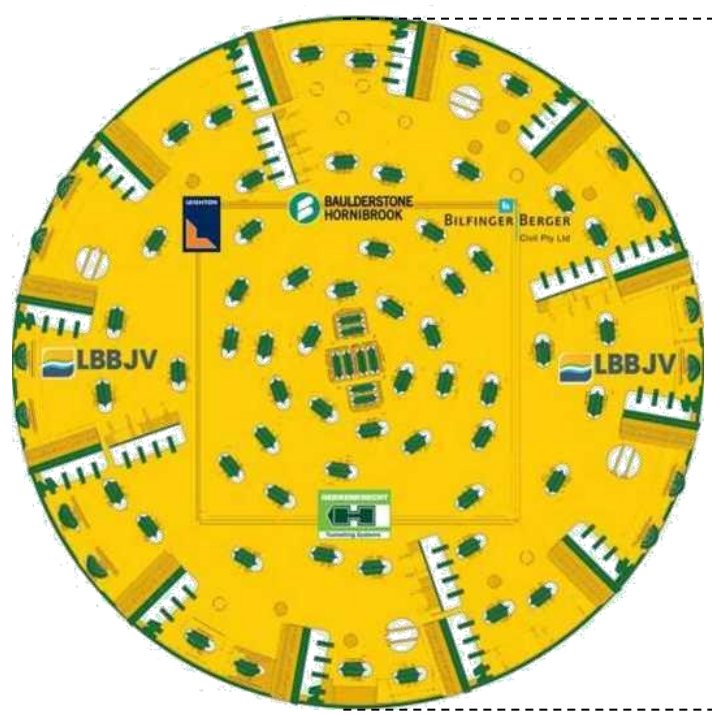
## Abraumkonditionierung in mixed face



Förderschnecke  
„einbetoniert“



# Sehr große TBM in mixed face



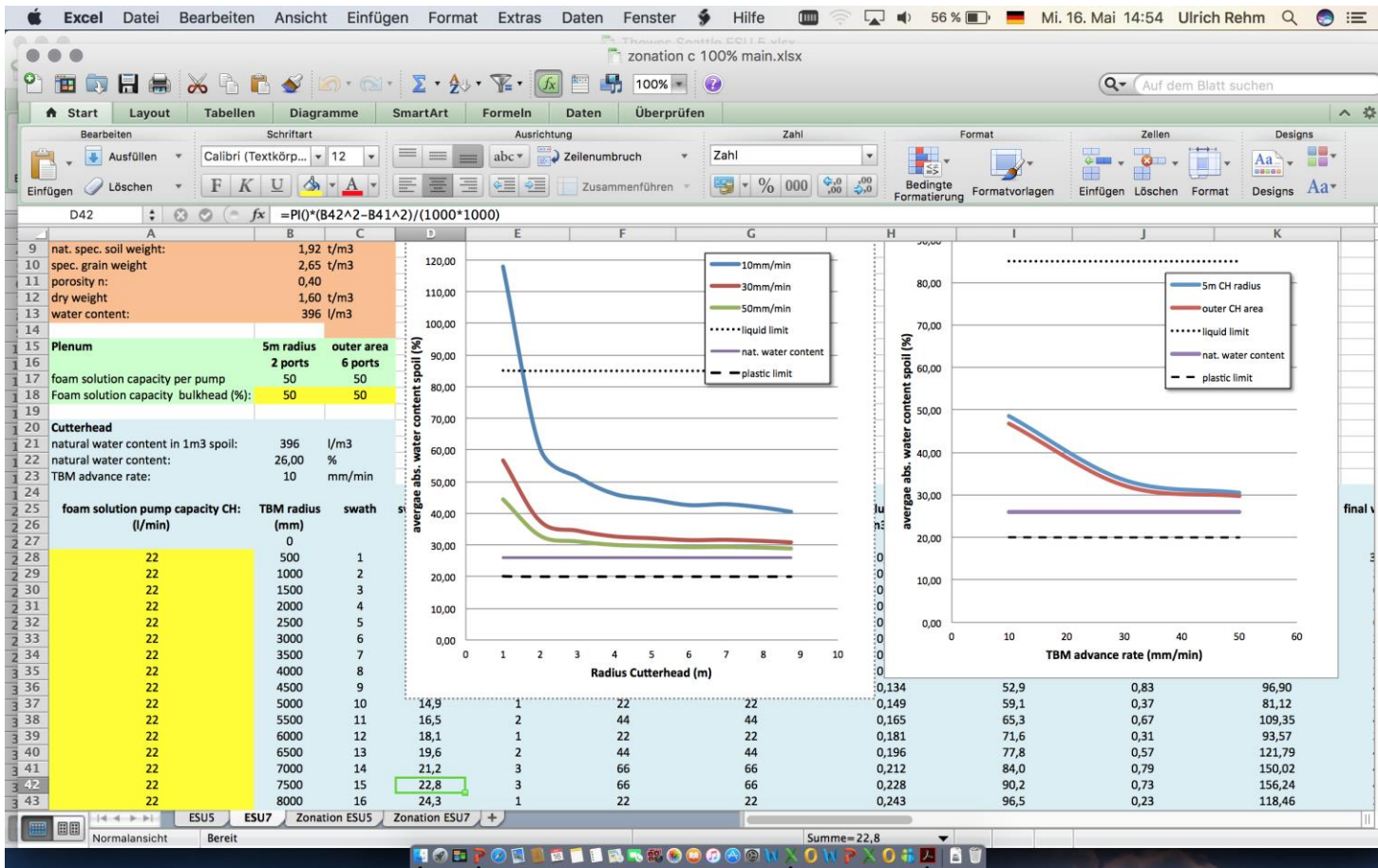
∅ = Monster TBM







# Sehr große TBM in mixed face



Szenario:  
 Verklebung  
 von  
 Schaum-  
 düsen

Einteilung des Bohrkopfes in Zonen für adäquate Konditionierung

## Verklebungstendenzen nach THEWES



verändernde Verklebungscharakteristik

# Schaumtests auf Baustelle



„golden foam“



Original Schaumdüse“

## Specialities of mixed face conditions



**Extremely  
high wear on  
gauge cutters  
(bucket lips)**



## Conclusions from the job-site visit

- EPBM is fit for purpose/ professional job-site management / good support from HK
- Reasonable availability for both TBM according to industrial experience
- Penetration (mm/min) mainly depending on hardrock sections
- Advance rate (m/h) depends on penetration and on logistics
- Performance (m/day) mainly depending on intervention which depends on wear on CH tools (even with high penetration the performance can be slow)
- Spoil conditioning should be adjusted daily depending on penetration rate
- Always closed EPB mode recommended in order to control settlements

## Uncontrolled consistency in the working chamber



Grout should be in the annulus (not in the working chamber)!

## Bentonite slurry



The quality and efficiency of slurry shield tunnelling depends mainly on handling the slurry technology.

→ decisive for Thames tunnel !

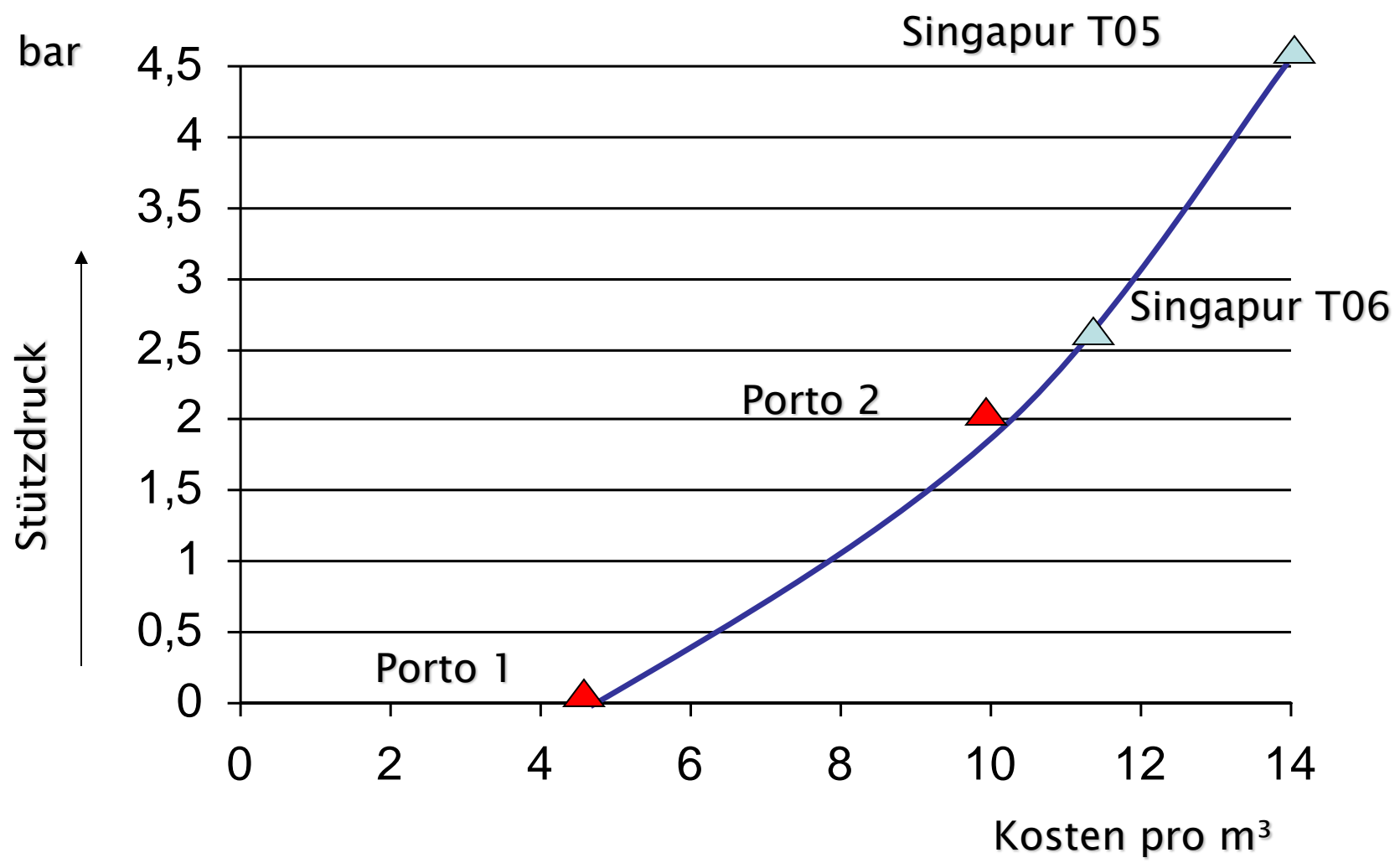
Bentonite slurry acts as transport and support medium.



Ribbon type screw

*“Big stones do what they want, mostly not what you want them to do!”*

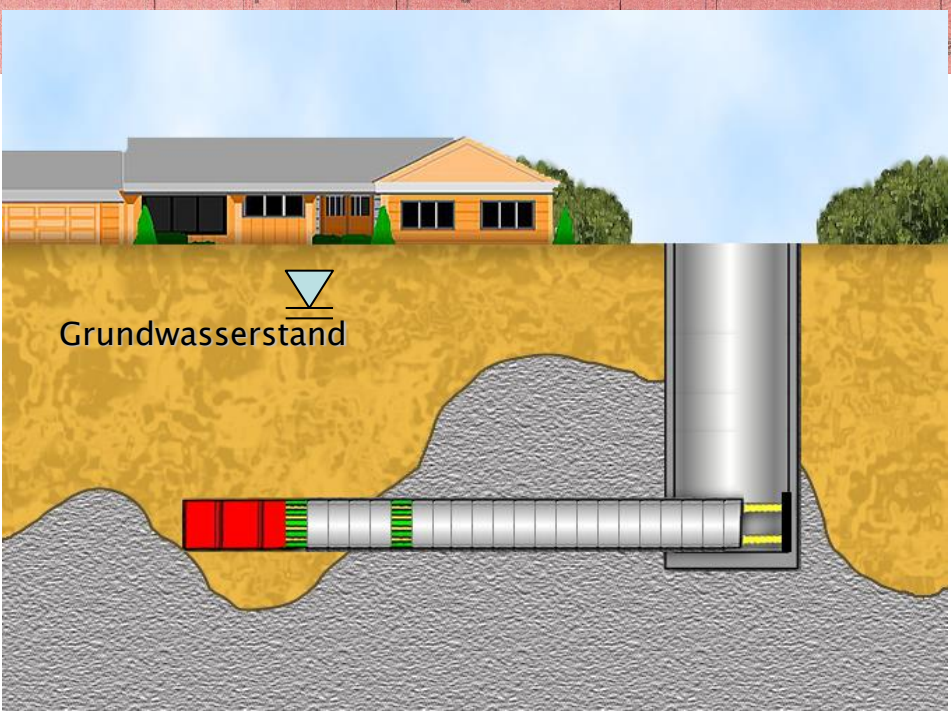
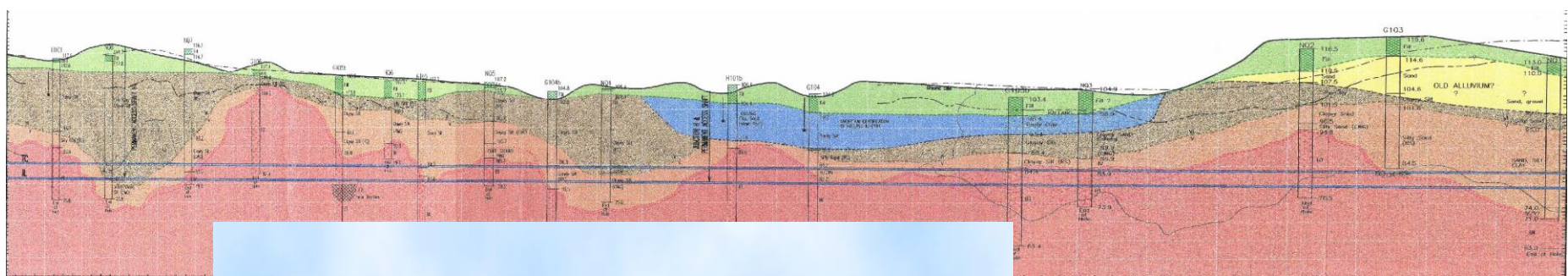




Verschleiß in Abhängigkeit vom Stützdruck in mixed face

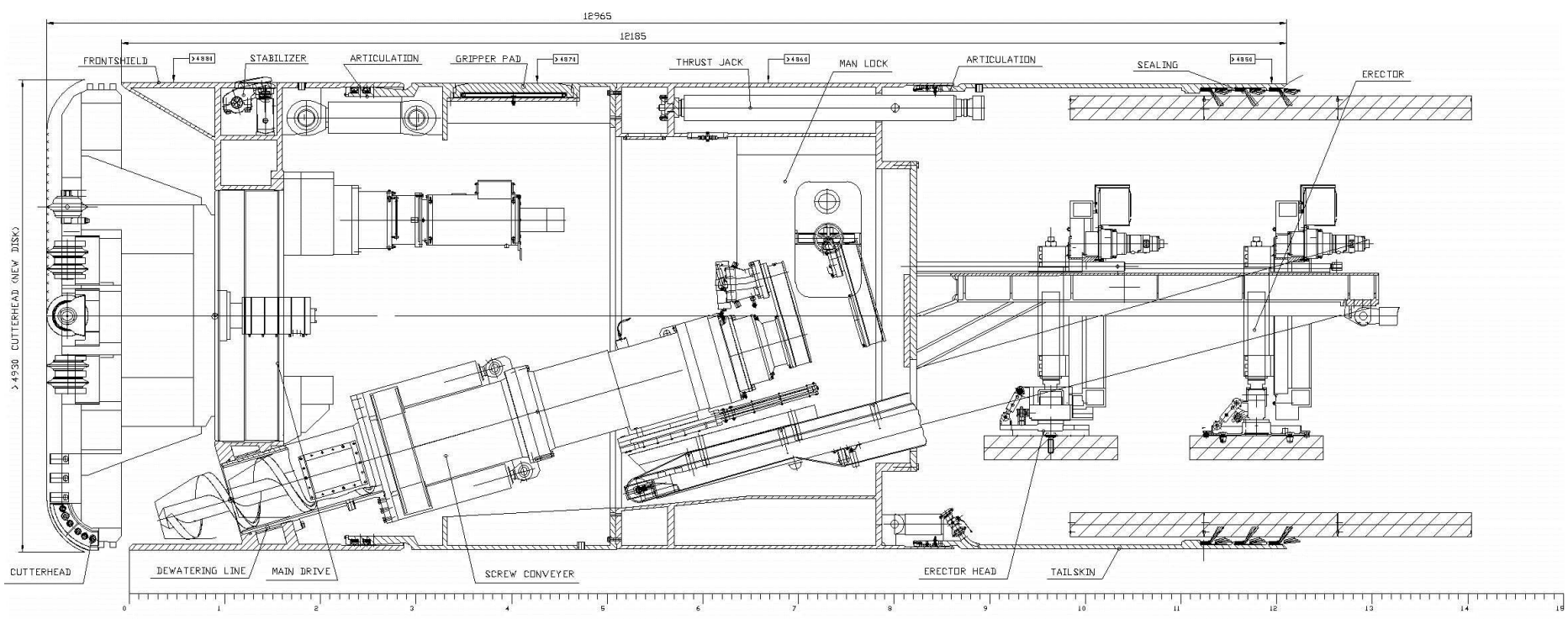


# Mixed face Bedingungen mit hohem Stützdruck





# Mixed face Bedingungen mit hohem Stützdruck

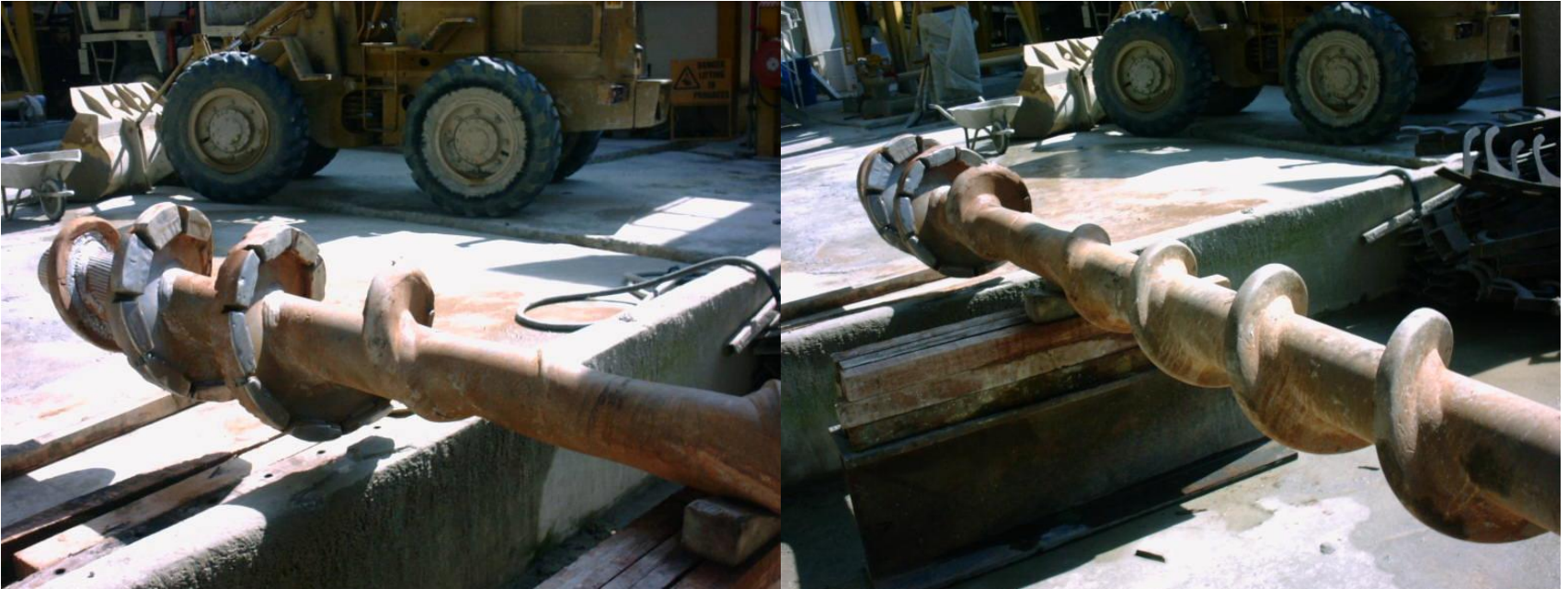


Relativ kurze Förderschnecke für Stützdruckabbau





## Mixed face Bedingungen mit hohem Stützdruck



Sehr stark verschlissene Förderschnecke nach kurzer Zeit



## Mixed face Bedingungen mit hohem Stützdruck



Sehr stark verschlissene Förderschnecke nach kurzer Zeit



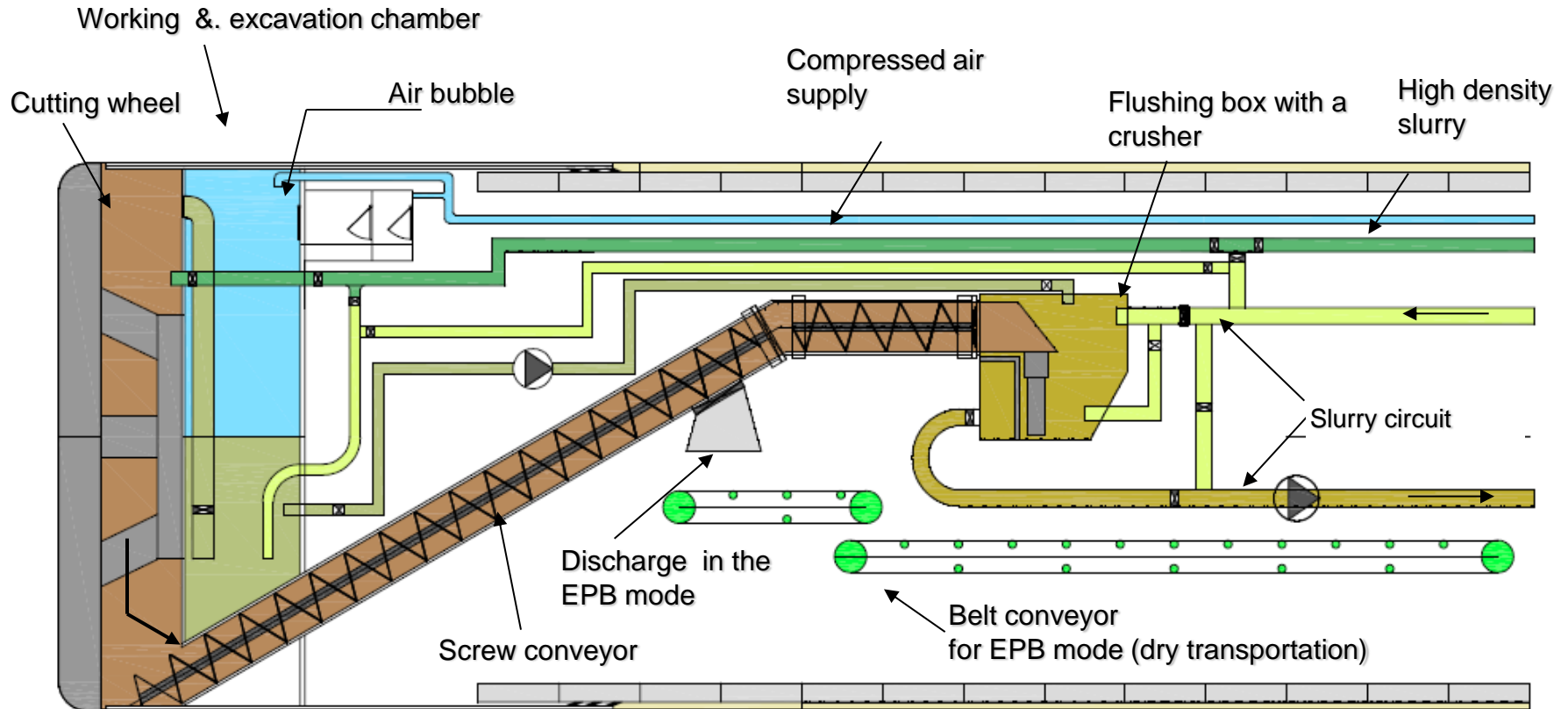
## Mixed face Bedingungen mit hohem Stützdruck



Förderschnecke und Gehäuse mit starkem Verschleißschutz

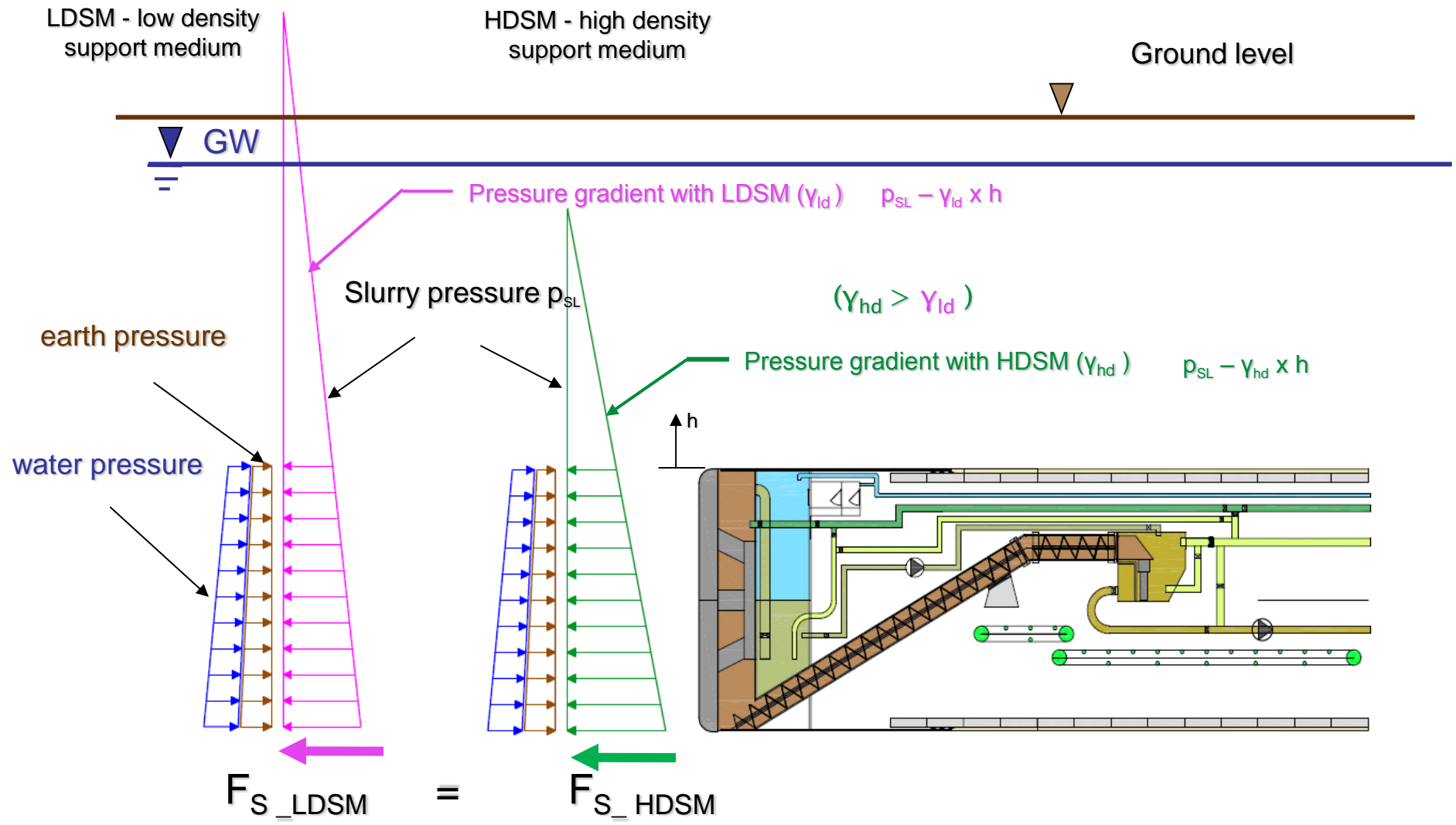


# SYSTEM VARIABLE DENSITY TBM.



|   |  |
|---|--|
| The TBM can have different configuration level: |  |
| 1. Non-convertible                              | One transportation system for the excavated soil : Slurry circuit                                  |
| 2. Convertible                                  | Two transportation systems for the excavated soil: Slurry circuit (Slurry TBM) – Dry mucking (EPB) |

# VARIATION OF SUPPORT MEDIUM DENSITY.



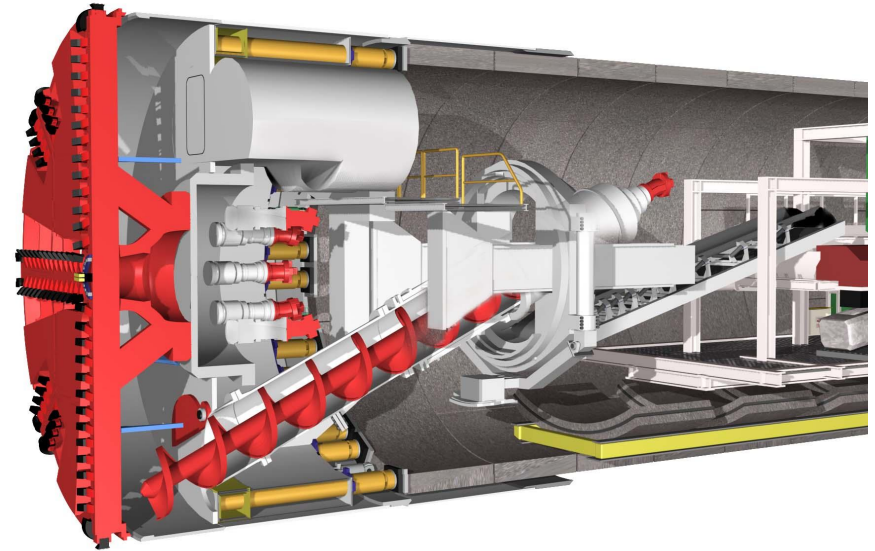




# WORKING MODES OF THE VARIABLE DENSITY - TBM.

| <b>Mode 1</b><br><b>EPB – closed mode</b>  | <b>Mode 2</b><br><b>EPB – closed mode with additional bentonite support</b> | <b>Mode 3</b><br><b>Mixshield mode with LDSM (bentonite slurry)</b> | <b>Mode 4</b><br><b>HDSM - Mode</b> |
|--|---|---|-------------------------------------|
|  |   |   |                                     |
| Application criteria::   | Application criteria:   | Application criteria::  | Application criteria::              |
| <p>← The application criteria will be specified for each section of the drives in accordance with the relevant exiting data. (see Chapter 8. ) →</p> |   |   |                                     |
| <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">Face support</div>  | EPB - TBM   | Mixshield - TBM   |                                     |
| <p style="text-align: center;">← Variable Density - TBM →</p>  |   |   |                                     |
| <p>← „Dry mucking“ possible → Hydraulic Transportation required →</p>  |   |   |                                     |





Zürich, Mai 24<sup>th</sup>, 2018

# Erfahrungen mit EPBM unter mixed face Bedingungen

Dr.-Ing. Ulrich Rehm, Tunnelling Consultant GmbH, Germany



Dr. Rehm | D. Seibert