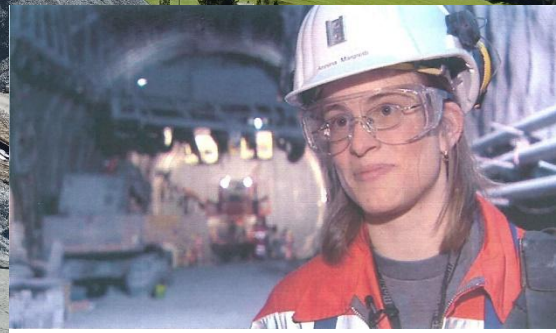
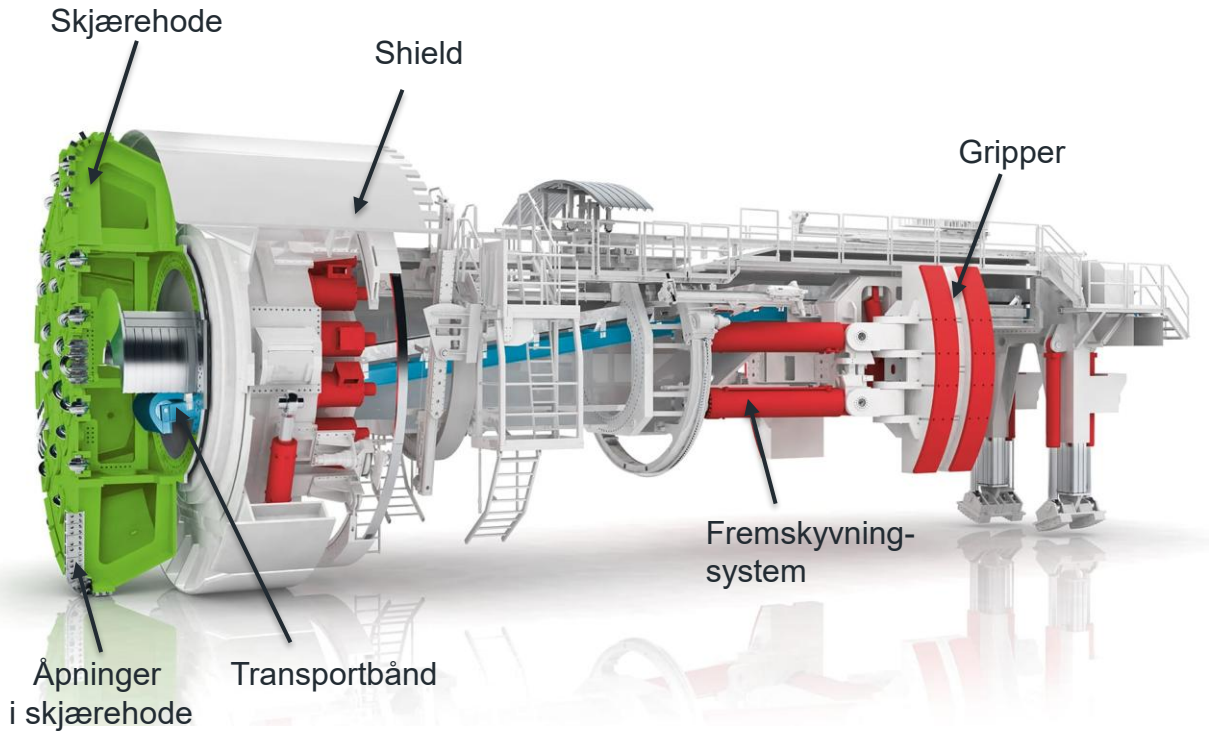
Albula Tunnel, GR, Sveits

Nyttegjøring av tunnelboremasser (TBM)



Annina Margreth, NGU
Seksjon for mineralressurser

Hva er en tunnelboremaskin?



Fordeler:

- Mindre forstyrrelser
- Jevn tunnelvegg
- Effektiv uttak → forkortet byggetid

Ulemper:

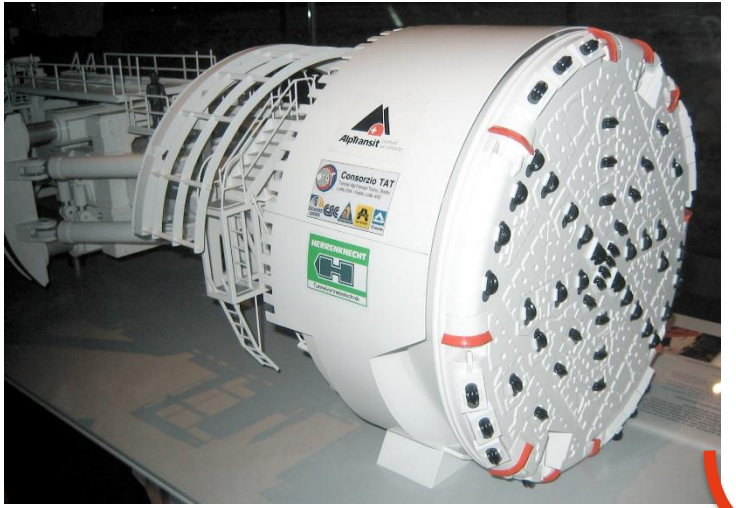
- Dyrt i anskaffelse
- Vanskelig å transportere

➢ Lønner seg særlig for lange tunneler med mer eller mindre jevn geologi

Skjema av en gripper-TBM som er egnet for hard fastfjell (Herrenknecht AG)

https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/gripper-tbm/

Hva er TBM-masser?



Borehode (Modell fra Gotthard-Basistunnel)

Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic

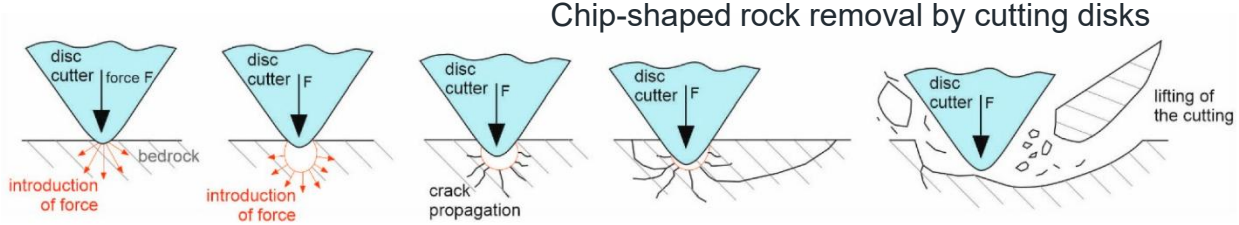
Voit Habilitationsschrift 2016
(Photo: Bag Klöch)

Uprosessert TBM-material

(a)

Siktet TBM-material

Chip-shaped rock removal by cutting disks



Voit & Kuschel Appl. Sci. 2020, 10, 2722

Hva kan TBM-masser brukes til?

- Tunnelboremaskiner (TBM) er lite brukt i Norge
  (f.eks. Nedre Røssåga kraftverk, Ulriksbanen, Follobanen, ny vannforsyning Oslo)
- Ulike typer avhengig av forventet geologi → rett TBM til rett geologi!

➢ Med tilpasning av TBM og optimal prosessering kan materialegenskaper forbedres

➢ Avhengig av geologi kan materialet brukes som tilslag i betong, fyllmasse, landskapsmodellering

«Norges geologi er ikke egnet for TBM»

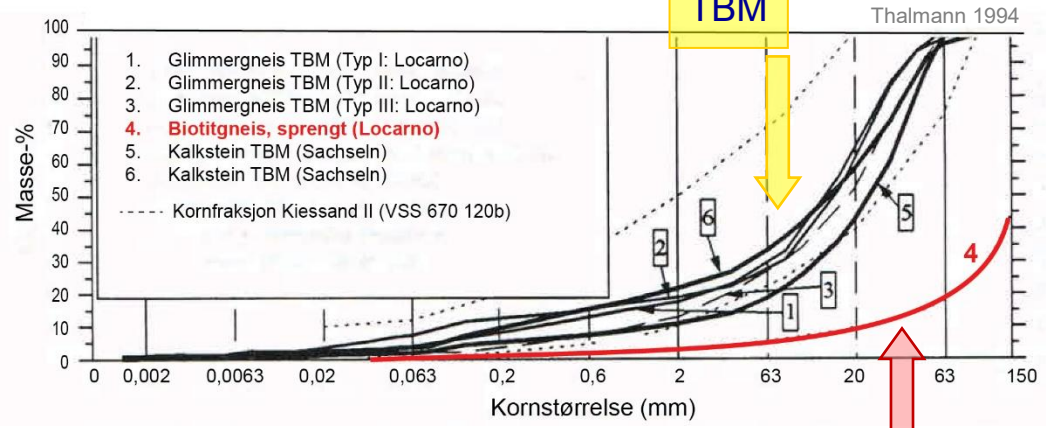
«TBM-masser er dritt »

Egenskaper av TBM-masser

- Mer finkornet material
- Flisig material (chips)
- Direkte transport fra stuff

→ for mye finstoff I forhold til grove masser

TBM



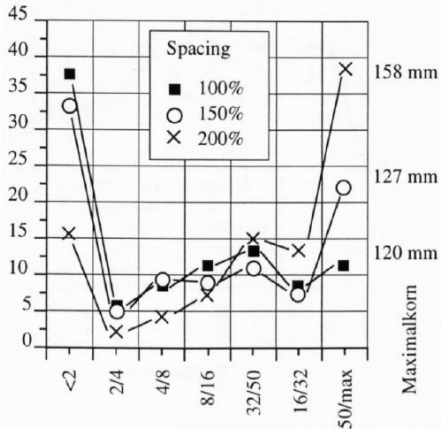
Større blokker
Knusing i tunellen før transport fra stuff
Separasjon av for store blokker
→ prosessering som for pukk

Sprengning

Galler 2012 – Recycling von Tunnelausbruch

Linear Cutter Test

Thalmann, PhD 1996



Kornstørrelsesfraksjon

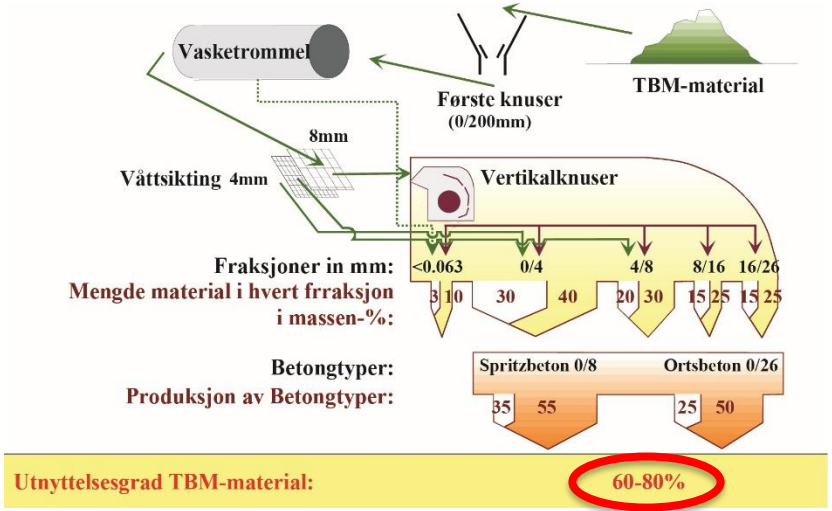
Forbedring av kornstørrelse og kornform:

- Økning av avstand mellom kutter
- Antall kuttere
- Mindre fremskyvningstrykk

➢ Avhengig av bergartene (geologi)!

Prosessering av TBM-masser

Prosesseringsskjema og materialflyt for TBM masser. Minimum og maksimum andeler av 10 ulike prosesseringstester.



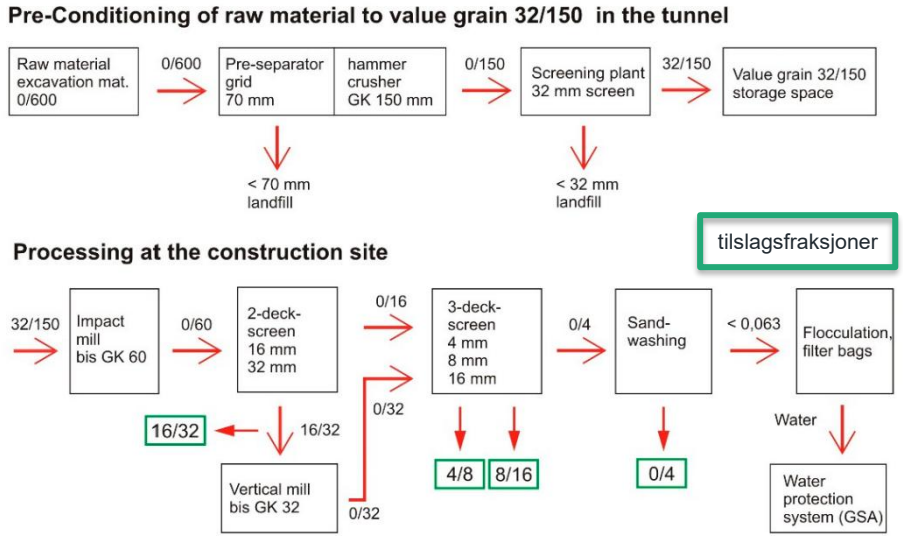
Modified after Thalmann 1995 & 1998

Gotthard Basistunnel – Granitt og gneis!

- Vasking for å fjerne finmaterialet
- sikting av <8 mm fraksjon før knusing
  <8 mm har god gradering og kornform → brukt direkte som tilslag
- skånsom knusing av >8 mm fraksjon → kubisk kornform

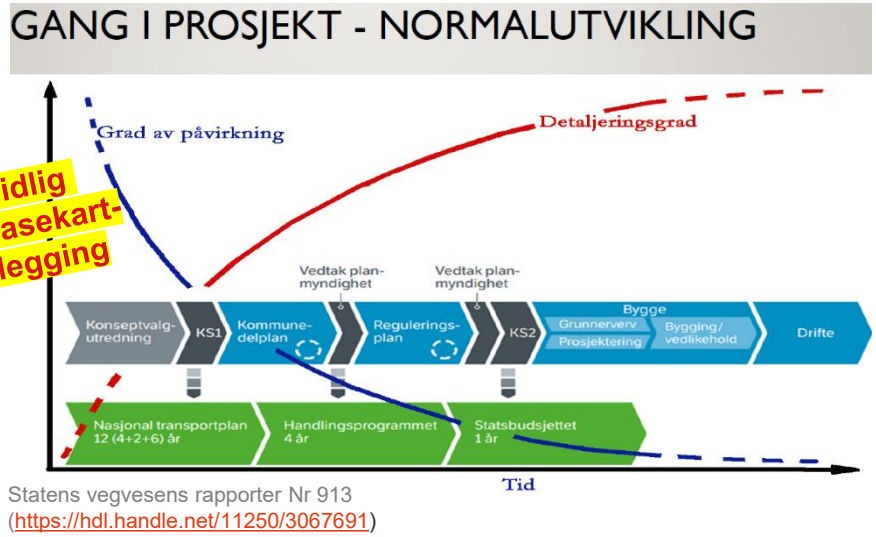
Brenner Basistunnel (adgangstunnel Wolf) – Bündnerschiefer!

- I tunnelen: - sikting av < 70 mm → fjerning av dårlig material
  - knusing til <150 mm og sikting <32 mm
- Prosesseringsanlegg: 32/150 mm material → flere trinn
  - sikting <16 mm → direkte brukt som tilslag etter vasking
  - skånsom knusing 16/32 mm fraksjon → kubisk kornform
- Vasking av <4 mm fraksjon → fjerning av finstoff <0,063 mm



Voit & Kuschel Appl. Sci. 2020, 10, 2722

Testing og dokumentasjon av materialtekniske egenskaper



Statens vegvesens rapporter Nr 913
(https://hdl.handle.net/11250/3067691)

Statens vegvesen planleggingsskjema:
Grad av påvirkning er høyest
i tidlig fase, mens **detaljeringsgrad**
øker utover planfase

Los Angeles (LA)
10/14 mm - 5kg

Slag/knusing

micro-Deval (M_{DE})
10/14mm - 1kg

Slitasje

Kulemølle (A_N)
11/16mm - 2kg

Piggdekk-slitasje

→ kartlegging og testing av bergartene langs planlagt trasé (↑ detaljeringsgrad → planfaser)

→ både standardiserte laboratorieundersøkelser (f.eks. Los Angeles, Micro Deval, Kullemølle) og storskala prosesseringsforsøk med flere tonn material i eksisterende pukkverk

→ testing av prosessert materiale og ønsket «sluttprodukt» (f.eks. betong) for å undersøke om prosessering kan forbedres eller om sammensetning av betong må tilpasses

Testing og dokumentasjon av materialtekniske egenskaper

→ Under driving: fortløpende testing og dokumentasjon av både tunnelmasser og prosesserte massene

→ sikrer smidig samarbeid mellom uttaksvirksomhet i tunnelen, ved prosesseringsanlegg og forbrukere av disse massene

→ ansvarsfordeling må avklares på forhånd og er et sentralt element i kontraktene med entreprenører

Eksempel Gotthard-Basistunnel (GBT) Sveits
→ lukket materialstrøm

Prosesseringsanlegg

Testing og dokumentasjon av materialtekniske egenskaper

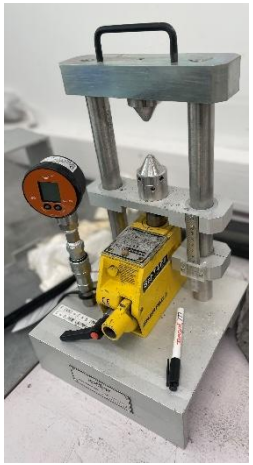
Utvalg av kriterier brukt ved Gotthard Basistunnel (GBT) i Sveits:

- standardiserte analysemetoder & forenklete testmetoder som enkelt kan utføres på byggeplass og gir raske resultater → må korreleres til standardiserte metoder

	Testmetode	Norm	Krav	Merknad
Råmaterial	LCPC-Indeks	AFNOR P 18-579 (med modifikasjoner for TBM råmaterial)	≤ 70 70-75	Krav for å utføre Punktlast-test i tillegg
	Punktlast-Indeks	ISRM 1985 (med modifikasjoner for TBM råmaterial)	IS50 parallel: ≥ 2.5 (N/mm2) IS50 isotrop: ≥ 3.5 (N/mm2)	
	Antall glimmerkorn i 0,25-0,5 mm fraksjon	Egen definisjon for GBT og LBT	≤ 40	
	Potensiell AAR-reaktivitet	AFNOR P18-588	Ekspansjon ≤ 0,11 (%)	
Foredlet material	Los Angeles-verdi	prEN 1097-2	≤ 40	
	Antall glimmerkorn i vasket sand 0/1 mm		≤ 35	

LCPC
(AFNOR P18-579)

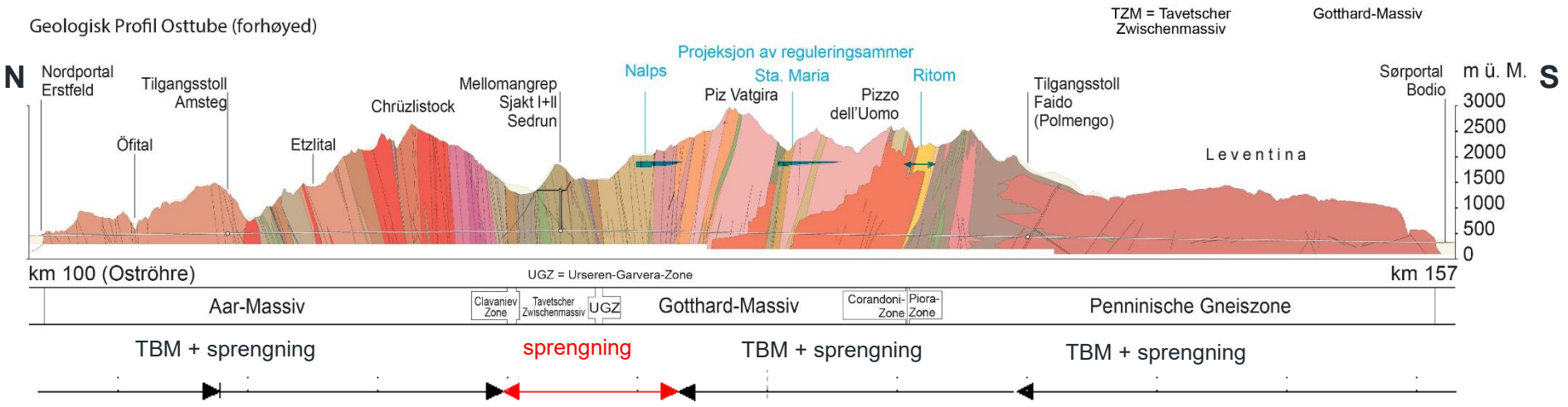
Punktlast



Thalmann 1998

Eksempel: Gotthard Basistunnel - Sveits

57 km lang togtunnel under Alpene (N – S)



(Gjen-)bruk av overskuddsmasser per tunnelparsell

Erstfeld 3.1 Mio t	Amsteg 5.3 Mio t	Sedrun 6.5 Mio t	Faido 3.3 Mio t	Bodio 10.5 Mio t
95 %	**72 %**	**56 %**	**60 %**	**79 %**
gneis	Granitt, gneis og migmatitt	metamorfe sedimenter og gneis	gneis og granitt	gneis

Mengde brukt material

Mengde brukt material for ulike bergartene

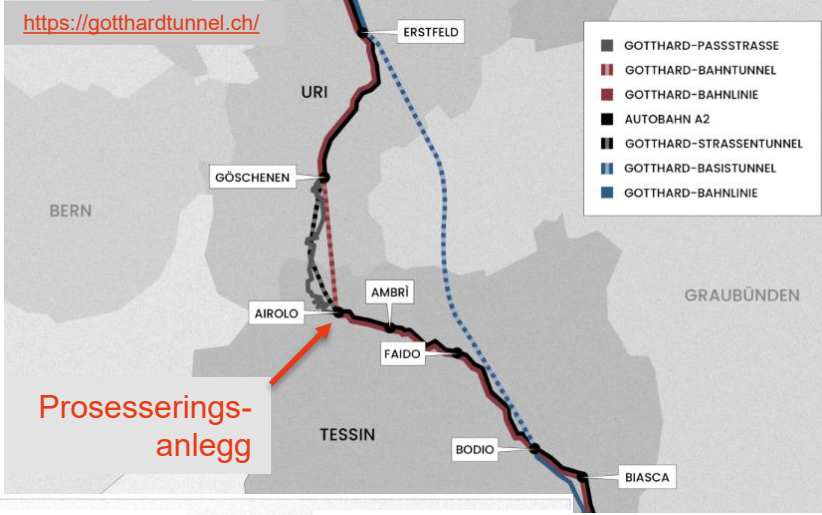
Klassisk norsk geologi

Eksempel: 2. Gotthard Veitunnel - Sveits

Ny 16,9 km lang veitunnel parallell til den eksisterende tunnelen (åpnet 1980)

- Muliggjør oppgradering av den eksisterende tunnelen
- Øking av sikkerheten med å dele trafikk i hver retning
- (Gjen-)bruk av nesten alle tunnelmasser

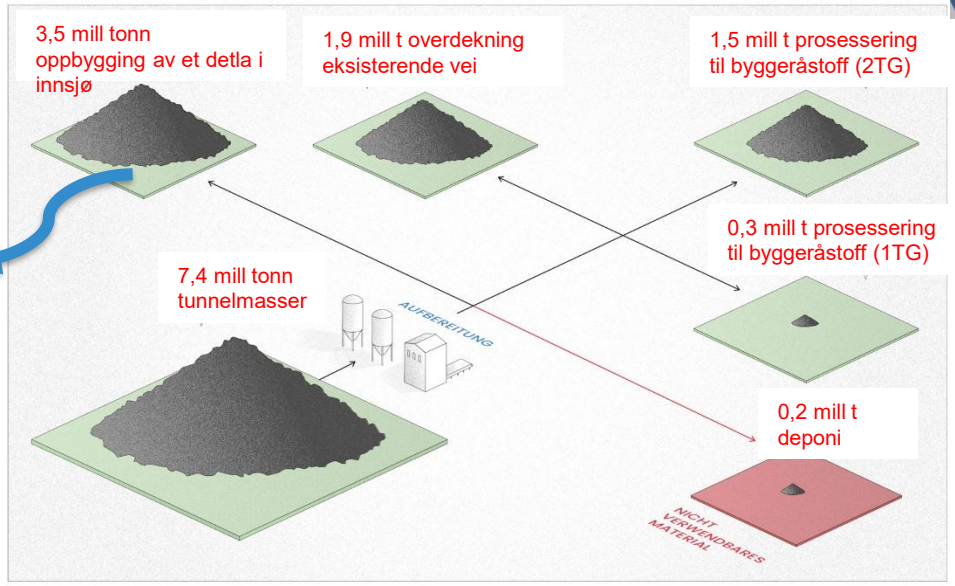
  → videreføring av oppbygging av flatvannsoner i innsjø



Tidligere oppbygging med materiale fra b.a. Gotthard Basistunnel (2001-2008)

- Økning av biodiversitet
- Nye habitater for flora og fauna

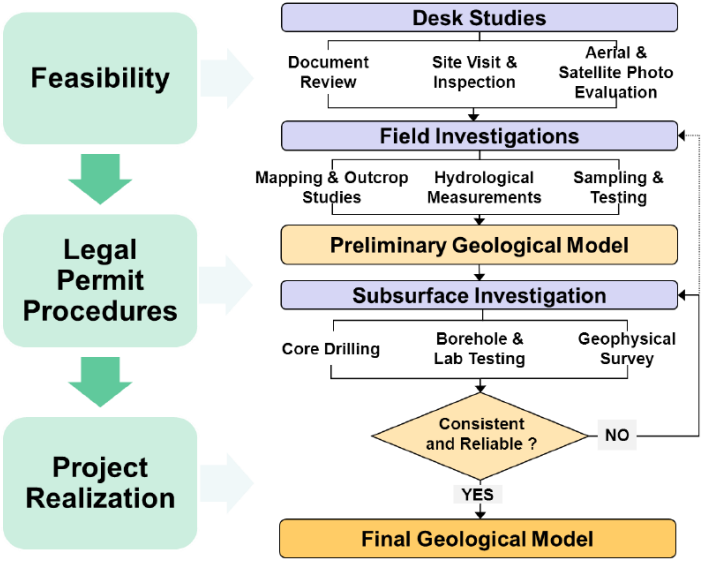
https://www.seeschuettung.ch/

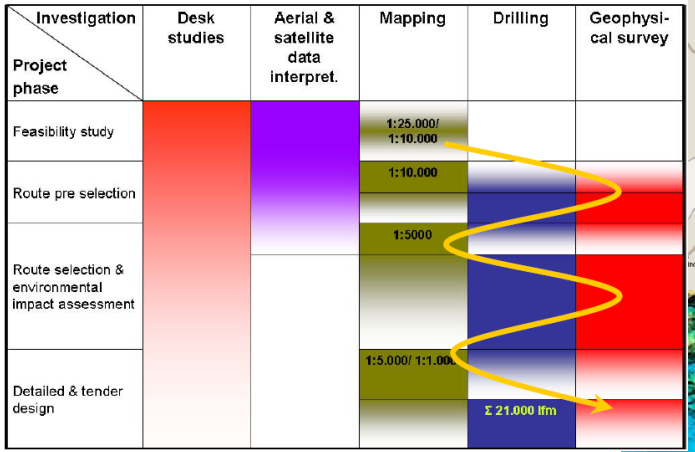


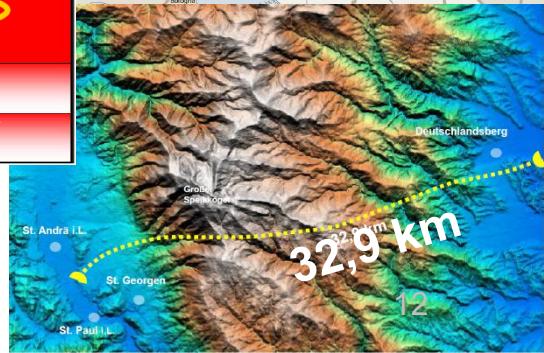
Eksempel: Koralmtunnel - Østerrike

32,9 km lang togtunnel ved Baltic – Adriatic TEN (Trans-European Transport Network) korridor:

- Start av planlegging 1998, start driving 2010, åpning slutten av 2025
- Mye fokus på kartlegging av geologi: trinnvis «from coarse to fine»





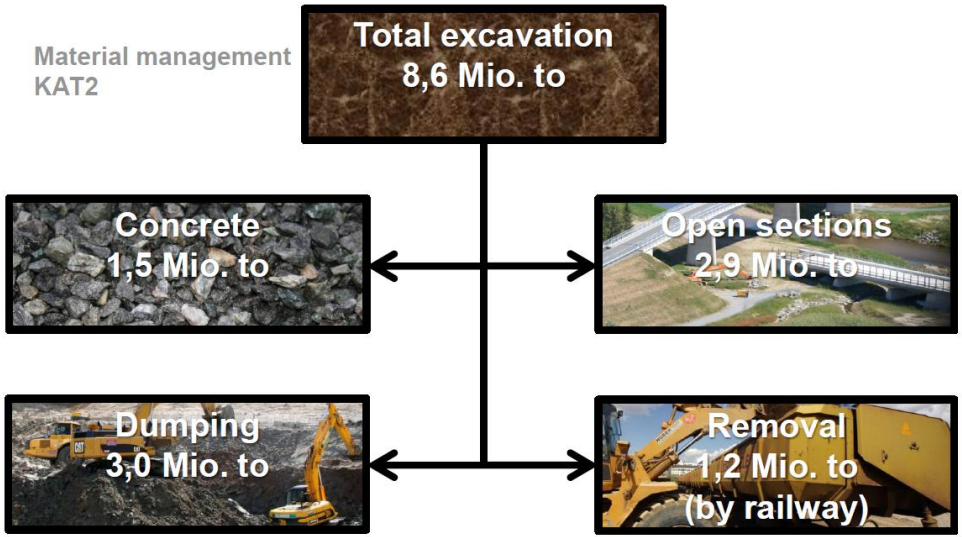


Eksempel: Koralmtunnel - Østerrike

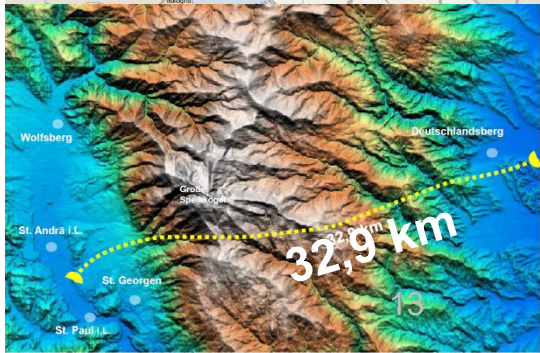
32,9 km lang togtunnel ved Baltic – Adriatic TEN (Trans-European Transport Network) korridor:

- Mål å utnytte 100% av uttatt tunnelmasser

➢ Tidlig-fase undersøkelse i et trinnvis strategi med høy kvalitetskrav gir mulighet for å tilpasse prosjektdesign for å redusere risiko og spare tid og penger (foredrag G. Harer, ÖBB 2011)



Harer
ÖBB
2011 &
2012



Eksempel: Brenner Basistunnel - Østerrike

TEN (Trans-European Transport Network) Corridor: SCAN-MED (Scandinavia-Mediterranean)

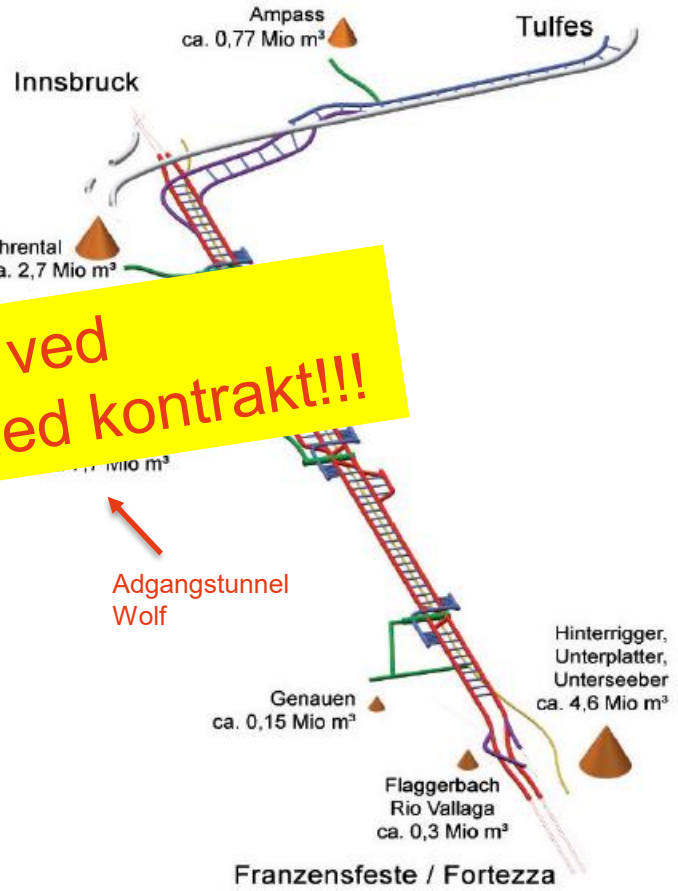
64 km lang togtunnel mellom Østerrike og Italia

- 16 mio fm^3 → stor deponibehov
- Vurdering og undersøkelse for (gjen-)bruk
- Mestparten (35 %) av strekning Bündnerschiefer → kalkrike til mergelrike skifer av dårlig til medium materialtekniske egenskaper
- Prosesserings- og betongtesting ved adgangstunnel Wolf

Voit et al., 2015

Dessverre ingen prosessering ved hovedtunnel pga problemer med kontrakt!!!

	Mengde
TBM-material fra stuff	376 000 t (100%)
Utskilt 32/150 mm	188 000 t (50 %)
Prosessert 0/4 mm	78 000 t (41 %)
Prosessert 4/8 mm	35 500 t (19 %)
Prosessert 8/22 mm	21 400 t (11 %)
Prosessert 16/32 mm	7 000 t (4 %)
Slam <0,063 mm	47 000 t (25 %)



Bergmeister, 2008

Hva er nøkkelen til (gjen-)bruk av tunnelmasser?

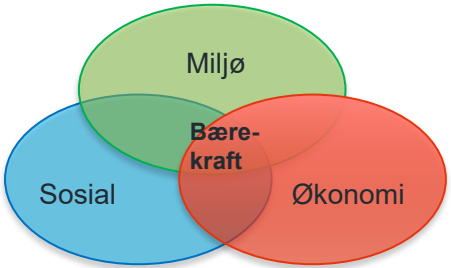
Tiden er moden for økt bruk overskuddsmasser!

- Økt fokus på avfallspyramiden og bærekraftig bruk av ressurser (KDD Nasjonale forventinger til regional og kommunal planlegging 2023-2027)
- Økt fokus på klima og miljø i anskaffelser

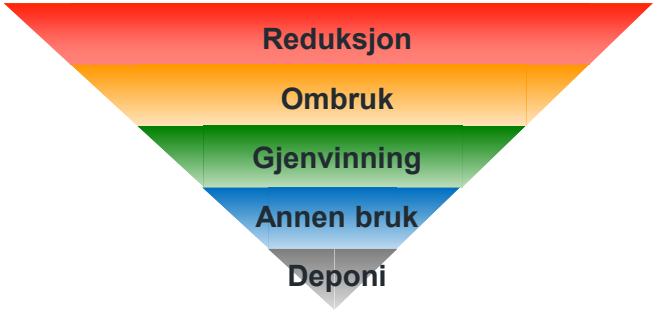
bruk av stedegne masser =
→ mindre transportbehov
→ mindre arealbehov
→ bedre økonomi

By Rajeeb (Marajozkee) - Own work, CC BY-SA 4.0

FNs Bærekraftsmål



Bærekraftig utvikling

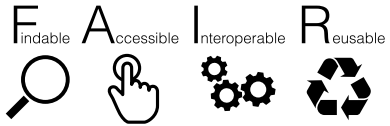


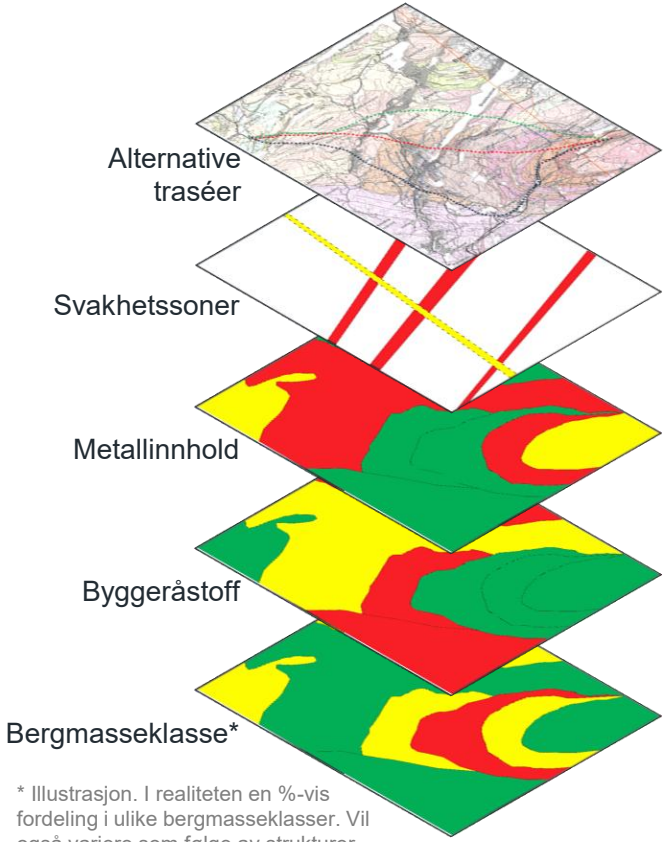
Avfallpyramiden

Tidligfasekartlegging

Gode geologiske grunnlagsdata i tidlig planfase

- Kartlegging av sammensetning (samt forurensingspotensial), kvalitet og mengde langs trasé
  - → rett material til rett formål (massehåndteringsplaner)
  - → Arealer til prosessering, mellomlagring og deponering
  - → Kortere og mer miljøvennlig transport (kortreist stein)
- Deling og åpen tilgang på data (www.ngu.no)
  - → FAIR-prinsippet





* Illustrasjon. I realiteten en %-vis fordeling i ulike bergmasseklasser. Vil også variere som følge av strukturer.

Trasé	Bergmasse-kvalitet	Byggeråstoff -kvalitet	Metallinnhold	Syredannede	Mineral-ressurser	Prognose berg-kostnadsdrivere
A						«Høy» / NOK
B						«Høy» / NOK
C						«Moderat»

- Bruk av geologiske data i tidligfase kartlegging
- Innrapportering av geologiske data til nasjonale databaser
- Bedre datagrunnlag for prognosekart

TAKK FOR OPPMERKSOMHETEN

Ta gjerne kontakt: annina.margreth@ngu.no

https://easy-peasy.ai/ai-image-generator/images/cartoon-duck-character-amidst-mountain-of-gold-coins-and-safe

NY KONFERANSE I 2026

Geologien er fundamentet vi bygger landet på.

Den har gitt oss verdier og vekst – men også krevende dilemmaer.

Møt eksperter, industri og forvaltning, og delta i samtalen om løsninger for en tryggere, grønnere og mer robust framtid, bygget på Norges geologiske ressurser.

Fundament
GEOLOGIKONFERANSEN 2026
12.- 13. FEBRUAR