

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft?

*Faktencheck am Beispiel
zweier Grossprojekte in den
Alpen*



Alexander Wyss

www.simatec.org

www.martitechnik.ch



STC Colloquium 5. Juni 2024



Inhalt

Wie zirkulär ist unsere Wirtschaft? global betrachtet

Der wichtigste (feste) Rohstoff der Welt

*Die NEAT Projekte und eine wegweisende
Dissertation an der ETHZ*

*Die Alp- Transit Kriterien zur Wiederverwertung von
Tunnelausbruch und deren Entwicklung über die Zeit*

*Wie gross ist der Anteil Ausbruch, der heute wiederverwertet wird?
Ist unsere Industrie ein Champion?*

*Fazit: Eine Schweizer Pionierleistung,
welche die Welt zirkulärer macht*

In 2017, [Circle Economy Foundation](#) recognised the urgent need to accurately measure the circular economy. At that time, there was no baseline measurement on the circular state of our world or data available to truly understand how to effectively move towards circularity or monitor progress.

That is why, in January 2018, the first *Circularity Gap Report* was launched at the World Economic Forum in Davos. This report established that our world was only 9.1% circular, leaving a massive Circularity Gap. It also provided a framework and knowledge base from which to measure and monitor progress in bridging the gap. In 2023, global circularity fell to 7.2%, as reported by the sixth-annual *Circularity Gap Report*, reiterating that our global economy is stuck in reverse and failing people and the planet.

3X

The circular economy has reached megatrend status.

The volume of discussions, debates and articles on the concept has almost tripled over the past five years.

-21%

But global circularity is still in decline.

The share of secondary materials consumed by the global economy has decreased from 9.1% in 2018 to 7.2% in 2023—a 21% drop over the course of five years.

28%

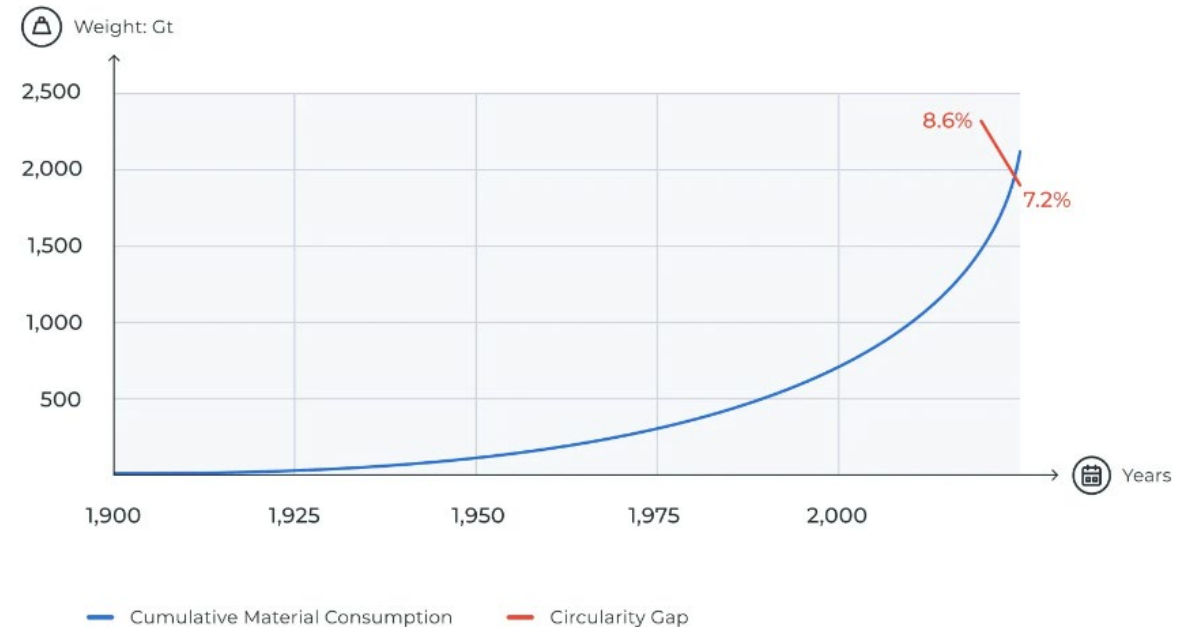
And consumption continues to accelerate.

In the same period, we have consumed over 500 gigatonnes. That's 28% of all the materials humanity has consumed since 1900.

zirkuläre Wirtschaft ist ein Megatrend

globale Recyclingrate ist tief (<10%) und über die letzten Jahre sogar gefallen

Ressourcenverbrauch steigt



Alexander Wyss

www.simatec.org

www.martitechnik.ch



STC Colloquium 5. Juni 2024



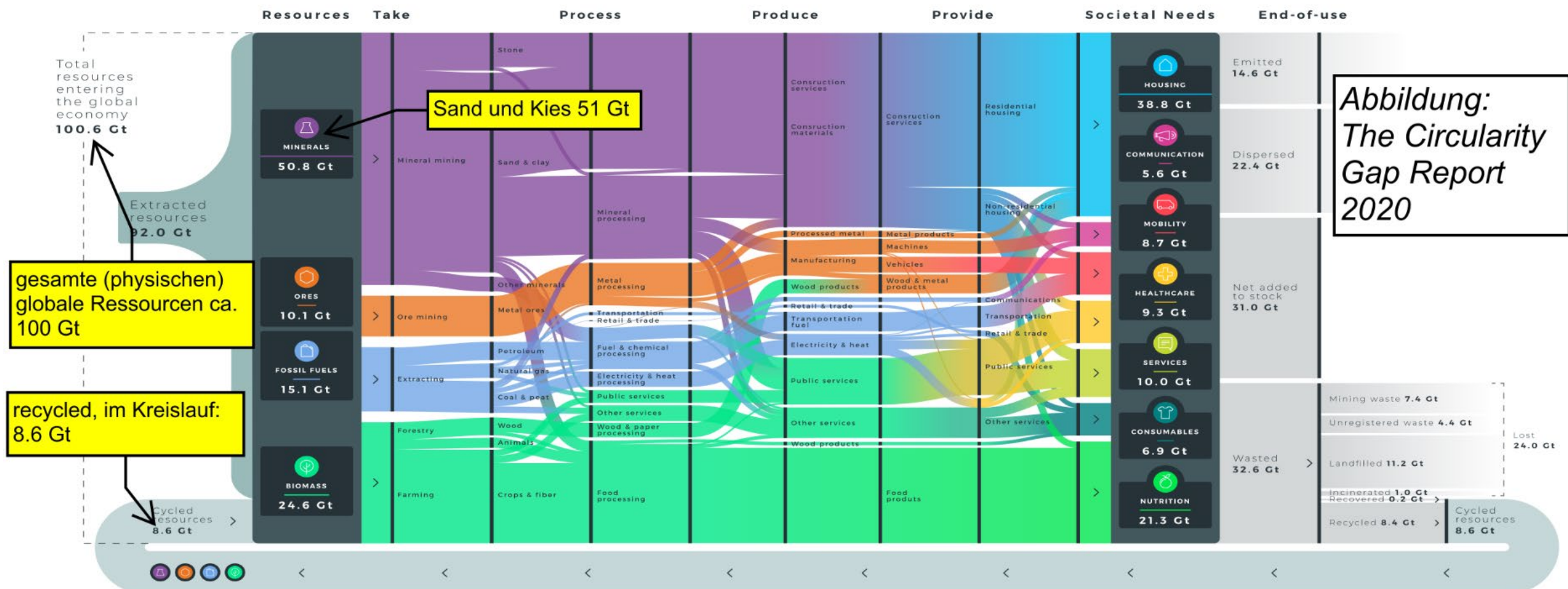
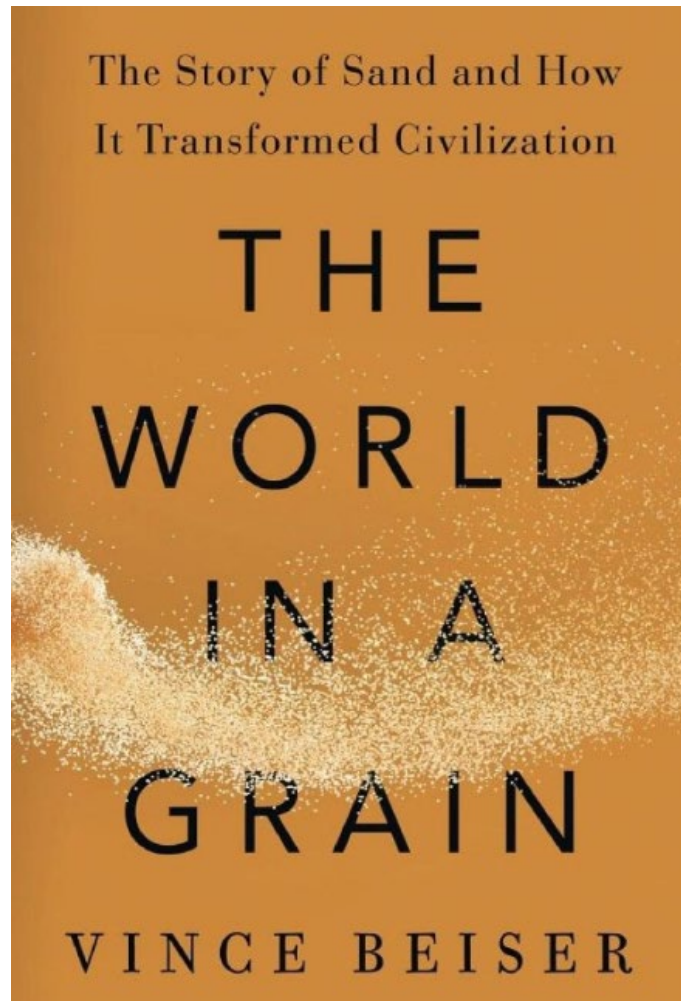


Abbildung:
The Circularity
Gap Report
2020

Der globale Ressourcenverbrauch zur Deckung der wichtigsten gesellschaftlichen Bedürfnisse zeigt, dass unsere Weltwirtschaft **nur zu 8,6 % zirkulär ist.**

- | | |
|--|--|
| RECOVERED | RECYCLED |
| <ul style="list-style-type: none"> Waste-to-Energy more than 65% efficient Biogasification Component recovery | <ul style="list-style-type: none"> Recycling/Reclamation Backfilling Composting Regeneration |



CHAPTER 1

The Most Important Solid Substance on Earth

This book is about something most of us barely ever think about and yet can't live without. It is about the most important solid substance on Earth, the literal foundation of modern civilization.

It is about sand.

Sand? Why is this humblest of materials, something that seems as trivial as it is ubiquitous, so significant?

Because sand is the main material that modern cities are made of. It is to cities what flour is to bread, what cells are to our bodies: the invisible but fundamental ingredient that makes up the bulk of the built environment in which most of us live.

Sand is at the core of our daily lives. Look around you right now. Is there a floor beneath you, walls around, a roof overhead? Chances are excellent they are made at least partly out of concrete. And what is concrete? It's essentially just sand and gravel glued together with cement.

Stand der Kenntnis 1992 vor NEAT
TBM- Material:

- *zu fein (Korngrößenverteilung)*
- *zu hoher Glimmergehalt*
- *zu plattig (Kornform)*
- *zerbrochen*
- *100% gebrochener Sand geht nicht, zu hohe Schwankungen im Rohmaterial*

2TG Nordvortrieb
TBM Ausbruch
Aaregranit

Foto: M. Aeberli

**-> Herstellung von
hochwertigem
Tunnelbeton nicht möglich**

Alexander Wyss

www.simatec.org

www.martitechnik.ch



STC Colloquium 5. Juni 2024





Foto: M. Aeberli

**N
o
r
d**

Ausbruchmaterial ab SPV

**Biotit-Augengneis
(geologische Einheit: Aare-Granit)**

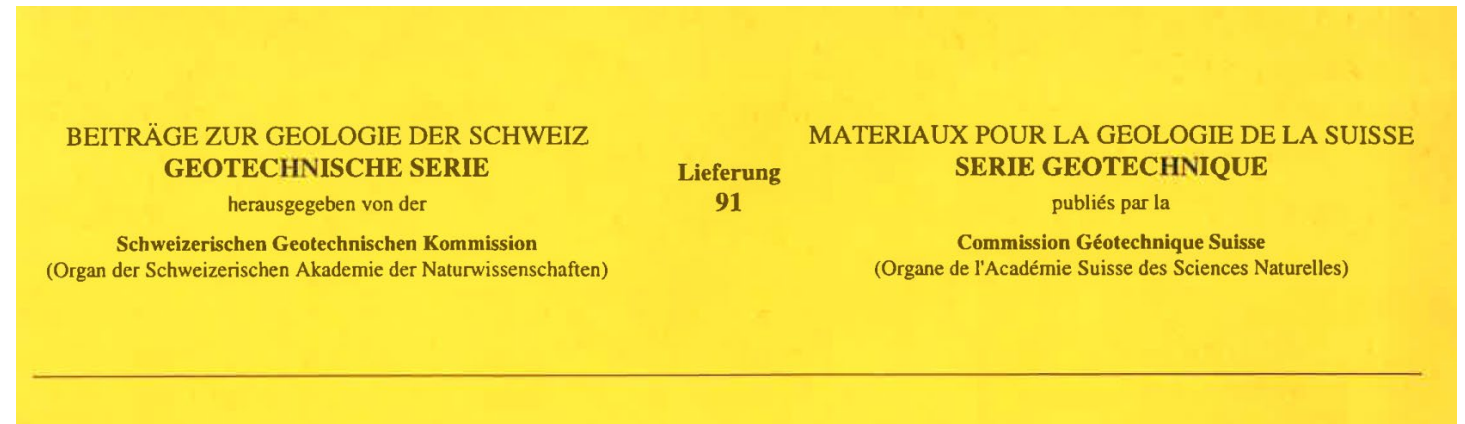
**S
ü
d**

Ausbruchmaterial ab TBM

**Hellglimmer-Biotit-Epidot-Augengneis
(geologische Einheit: Fibbia-Granit-
Gneis), Gotthardmassiv**

**Publikation beruhend auf der Dissertation (1994)
von C. Thalmann an der ETH Zürich.**

**Arbeit an der Fragestellung ab 1992
an der ETHZ (Hönggerberg)**



Alexander Wyss

www.simatec.org

www.martitechnik.ch



STC Colloquium 5. Juni 2024



Physikalische Eigenschaften

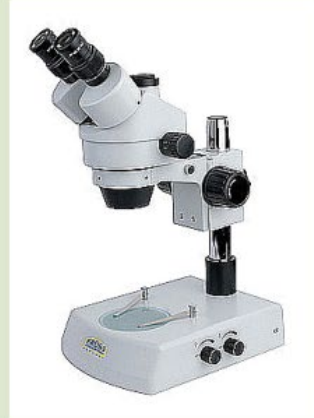
Point-Load-
Index



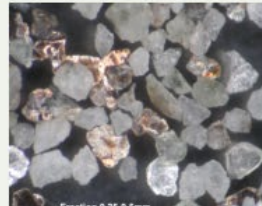
Brechbarkeits-
Index



Petrographie



Mikroskopie



Glimmer und
ungeeignete Komponente

- *zu fein (Korngrößenverteilung)*
- *zu hoher Glimmergehalt*
- *zu plattig (Kornform)*
- *zerbrochen*
- *100% gebrochener Sand geht nicht, zu hohe Schwankungen im Rohmaterial*

Foto: BplusG

Kriterien zur Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial = "Rohmaterialkriterien"

Art der Prüfung:	Prüfnorm	Nachzuweisender Richtwert	Bemerkungen
Nr. A: Makroskopische Petrographie		Vgl. Kap. 3.5, Tab. 3 Petrographie: i.O.	visuelle Grobbeurteilung an der Ortsbrust
Nr. B Brechbarkeits-Index	AFNOR P 18-579	Fall a: ≤ 65 [-] Fall b: falls $65-70$ [-] muss mit Prüfung Nr. C Fall c erfüllt sein	Grenzwerte gemäss Definition BH TELT ≤ 70
Nr. C Punktlast-Index	ALP TRANSIT ≤ 70	ISRM Fall c: I_{S50} parallel: ≥ 2.5 [N/mm ²] I_{S50} isotrop: ≥ 3.5 [N/mm ²] Fall d: Falls I_{S50} parallel: ≥ 2.0 [N/mm ²] I_{S50} isotrop: ≥ 3.0 [N/mm ²] muss mit Prüfung Nr. B, Fall a erfüllt sein	TELT ≥ 2.0 ≥ 2.5 TELT LA-Index ≤ 45
Nr. Da Mikroskopische Petrographie	nach Def. BHT	-	Beschrieb der Mineralien an Dünnschliffen
Nr. Db Petrographisch ungeeignete Komponenten, Fraktionen 1/4, 4/22, 22/128 mm	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 10 [Gew.-%] nach Definition BH	
Nr. Dc: Freie Schichtsilikate im Rohsand (Bestimmung Kennwert an der Fraktion 0.25-0.50 mm)	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 40 [Stck-%] nach Definition BH und EMPA	
Nr. E Potentielle Alkali-Reaktivität	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] Expansion > 0.10 [%] Performance-Test	

Tabelle Astra

Grenzwerte der Parameter im Vergleich

- Gotthard 2TG

- TELT

- "original" Alp Transit

Anforderungen Gesteinskörnungen für Beton

Nr. 01B	Kornzusammensetzung grobe Gesteinskörnungen (4/8, 8/16, 16/22mm)		SN 670'102b (EN 12620), Tab. 1: G _c 85/20
Nr. 02	Feinanteile 6 % 5 % feine GK	EN 12620	EN 12620: feine Gesteinskörnungen: f 7 grobe Gesteinskörnungen: f 1.5 (toleriert bis f 2.5)
Nr. 03	Kornform (4/8 8/16 16/22 mm)	SN 670'902-3a und EN 933-3	EN 12620: FI 35 30 35
Nr. 04	Wassergehalt	SN 670'903-5a u. EN 1097-5	Def. BH: feine Gesteinskörn. ≤ 12% grobe Gesteinskörn. ≤ 2% (toleriert bis ≤ 3.5%)
Nr. 05	Rohdichte und Wasseraufnahme aller Gesteinskörnungen	SN 670'903-6a u. EN 1097-6	Def. BH: Rohdichte: >2'500 kg/m ³ und <3'000kg/m ³ Def. BH: feine Gesteinskörn. WA 1.5% grobe Gesteinskörn. WA 1.0%
Nr. 06	Los Angeles-Index	SN 670'903-2a u. EN 1097-2	Def. BH: LA 40 35 40
Nr. 07	Petrographie aller Gesteinskörnungen - 07A: Petrogr. Beschreibung - 07B: Ungeeignete Kompon.: - 07C: Mikroskopie Dünnschliff	BH u. EMPA SN 670'115	nach Definition BH / EMPA für Schichtsilikate und für ungeeignete Komponenten (siehe Anhang A3)
Nr. 08	Alkali-Aggregat-Reaktion (0/4 und 8/16mm)	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] nicht reaktiv Expansion > 0.10 [%]: Performance-Test
Nr. 09	Säurelöslicher Sulfatgehalt aller Gesteinskörnungen Gesamt Schwefelgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670'905-1 und EN 1744-1	EN 12620: AS 0.8 EN 12620: ≤ 1M% spezielle Regelung Klasse CL1S
Nr. 10	Chloridgehalt.	SN 670 905-1, SN EN 1744-1)	EN 12620: ≤ Cl 0.1
Nr. 11	Schüttdichte und Hohlraumgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670 903-3a und EN 1097-3	EN 12620: Indikative Angabe

Tabelle ASTRA

Grenzwerte der Parameter im Vergleich

- *Gotthard 2TG*
- *TELT*
- *"original" Alp Transit*

Projekt	Tunnel- länge	Ausbruch total	Gesteins- körnungen	Beton	Verwertungs- grad
	[km]	[Mio. t]	[Mio. t]	[Mio. m ³]	[%]
AlpTransit Gotthard	2 x 57	28,20	6,5	3,3	23
AlpTransit Lötschberg	2 x 35	16,50	3,8	1,9	23
Lyon-Turin TELT	2 x 57.3	30,80	9,7	5,5	31
Gotthard Strassentunnel 2. Röhre	1 x 16,8	7,31	1,6	0,8	23

Tabelle BplusG

Vergleich Wiederverwertungsgrad (s. str.) Gesteinskörnung für Beton

- Alp Transit Gotthard

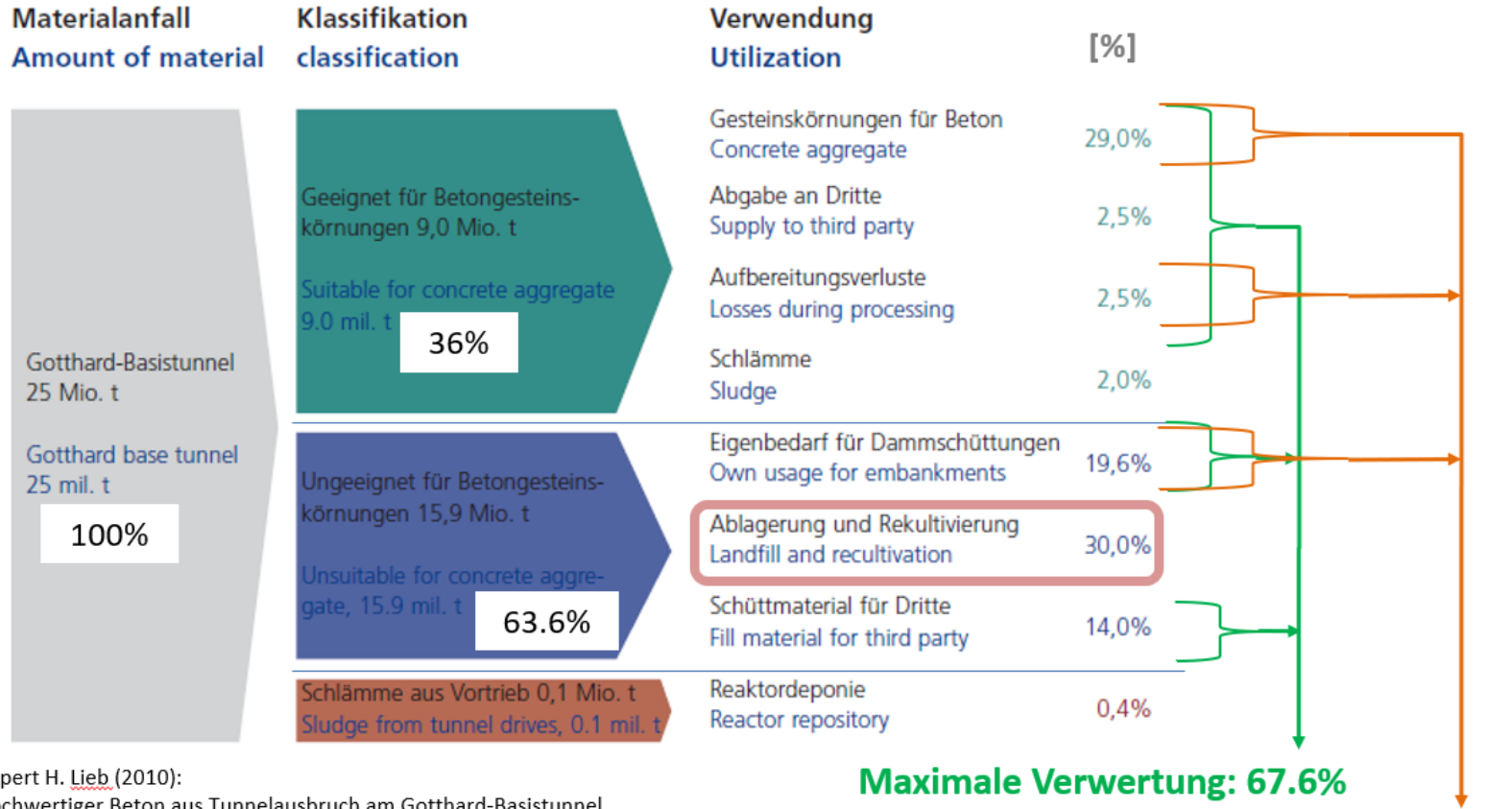
- Alp Transit Lötschberg

- TELT

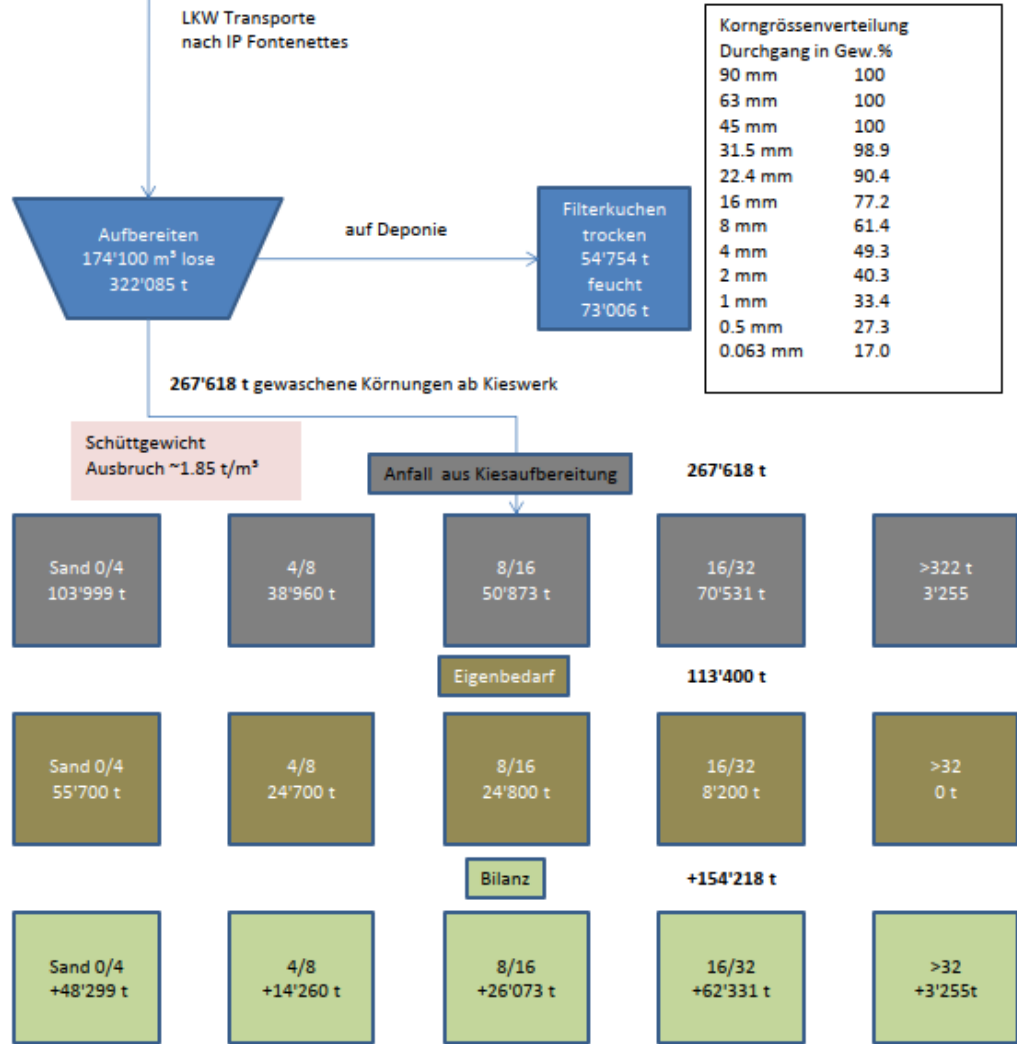
- Gotthard 2TG

Maximale Verwertung GBT

Vergleich Wiederverwertungsgrad im weiteren Sinne



Rupert H. Lieb (2010):
Hochwertiger Beton aus Tunnelausbruch am Gotthard-Basistunnel
High grade concrete for the Gotthard Base Tunnel using tunnel spoil material



Tunnel de Champel Projekt CEVA

Wiederverwertung
rund **83 %**

Massenbilanz







Jon Shapley / Houston Chronicle / Getty

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



2018 AI SpaceFactory/Plomp