

# KI-gestützte Verwertungs- und Aufbereitungsstrategien von Aushubmaterialien bei Großprojekten des Tief- und Tunnelbaus

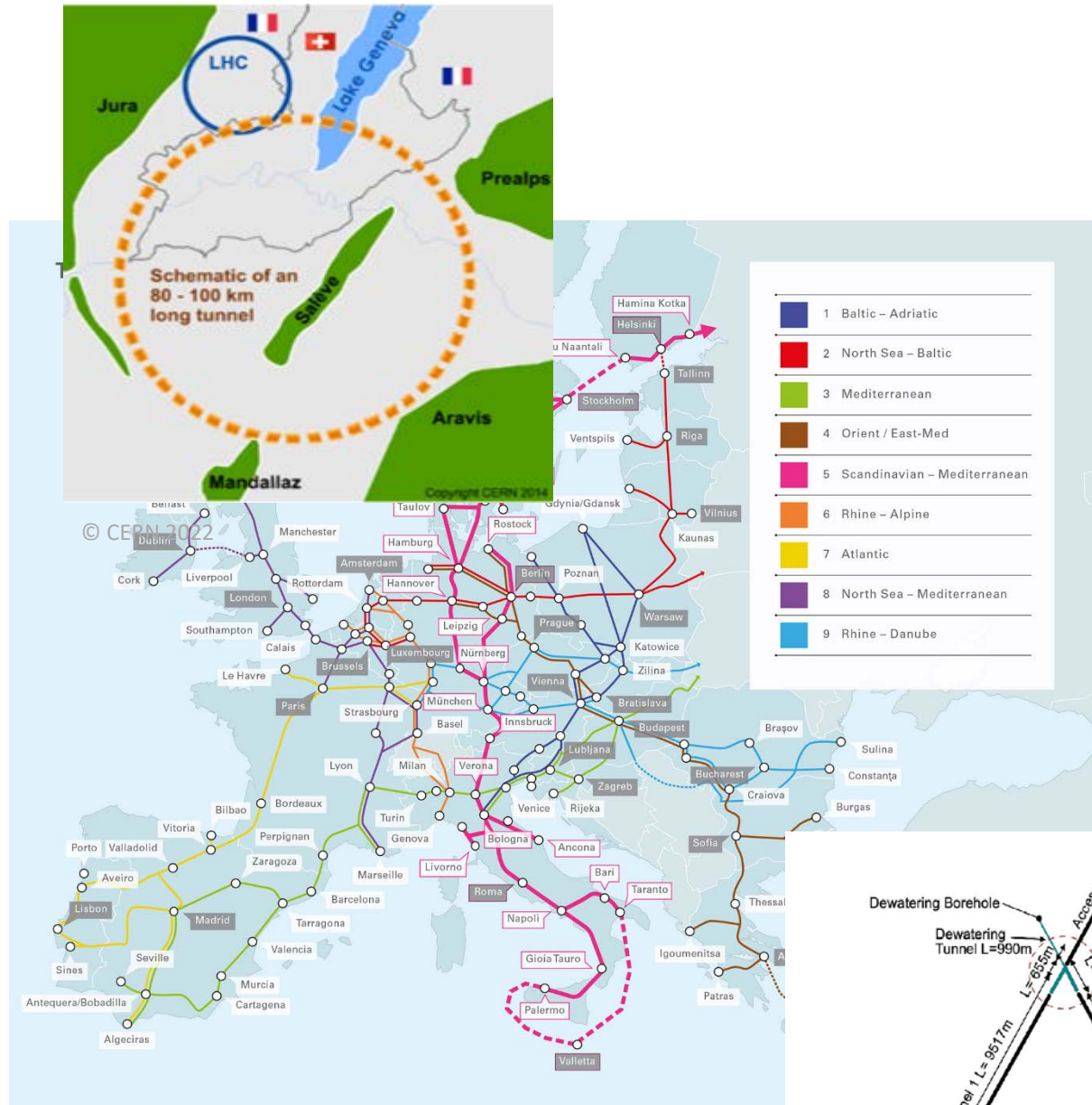


Lehrstuhl für Subsurface Engineering  
Department Zentrum am Berg

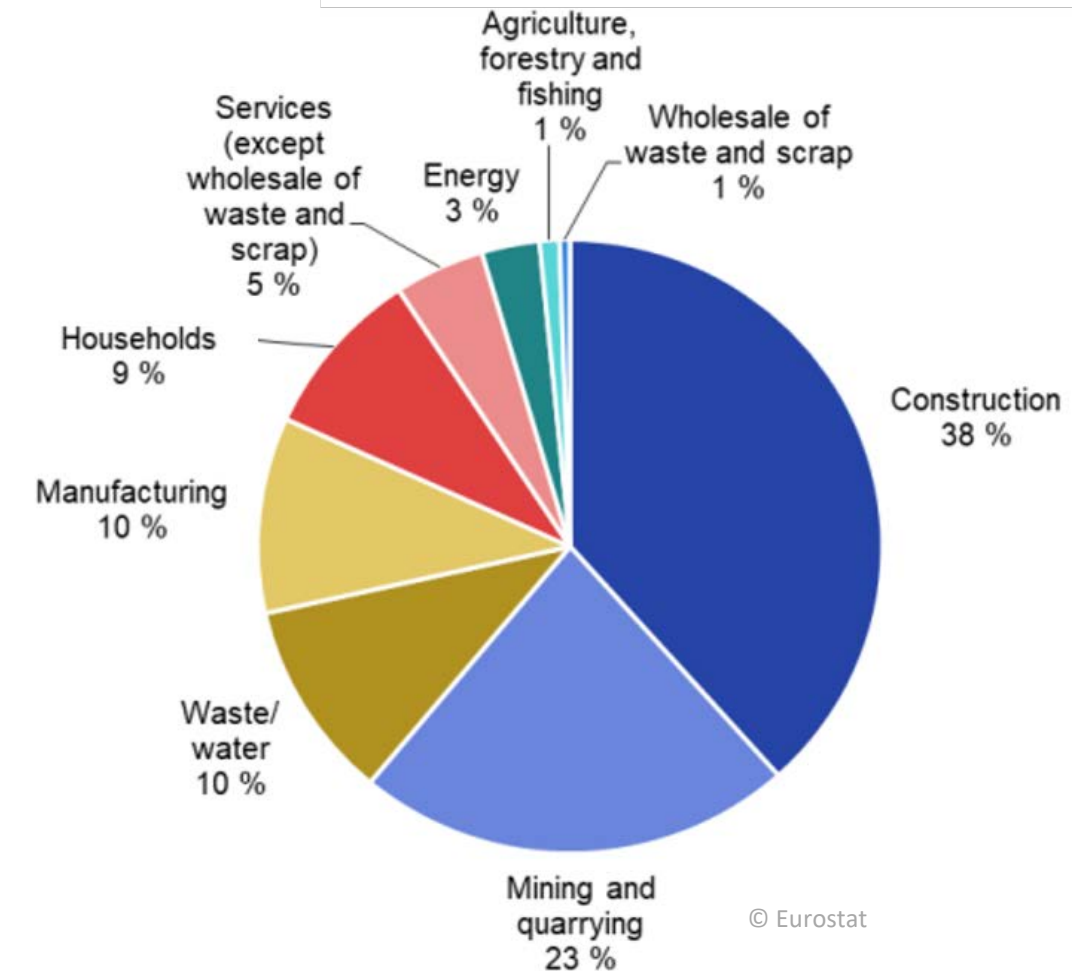
Elisabeth Hauzinger  
Daniel Schneider  
Robert Galler

15<sup>th</sup> November 2024

# Derzeitiger Verbleib von Ausbruchsmaterial



- Trans European Transport Network (TEN-T)
- Forschungsinfrastruktur (Future Circular Collider, Einstein Teleskop, ...)
- Städtische Infrastruktur
- (Pumpspeicher-)Kraftwerke
- ...



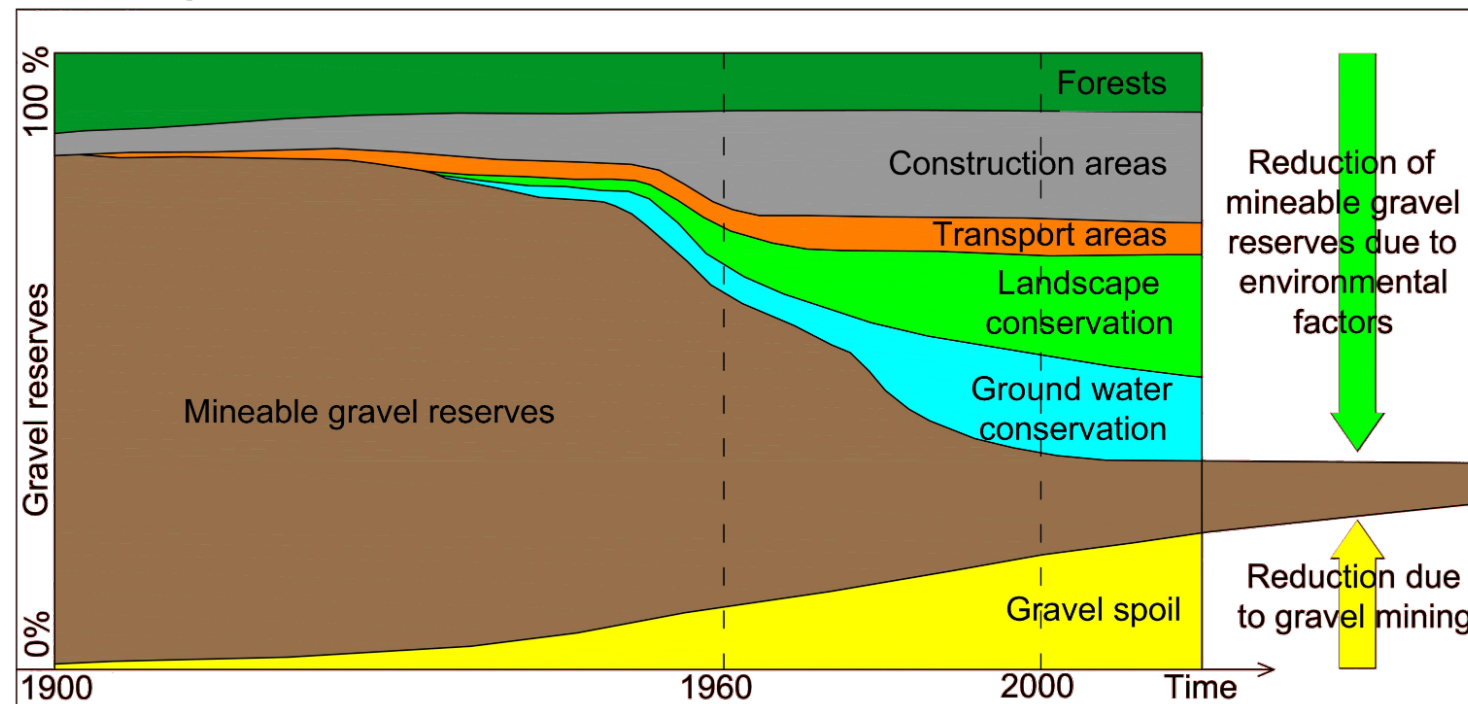
→ 800 Mio. m<sup>3</sup>  
Ausbruchmaterial/  
~20 Jahren

500 Mio. t/Jahr Bau- und Abbruchabfälle in Europa;  
Recyclingquote ~ 25%

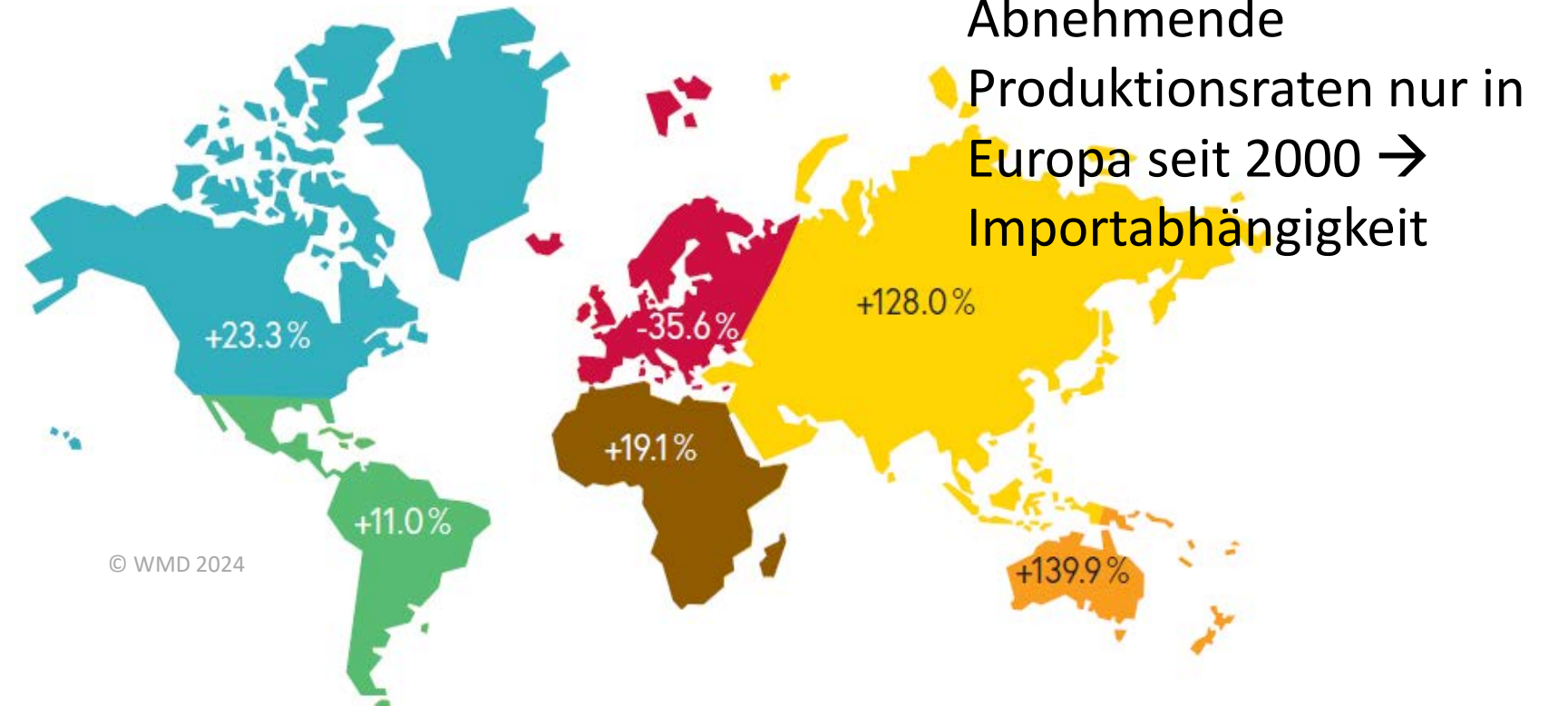


# Knappheit von Baurohstoffen

## Verfügbarkeit von Ressourcen



© Kündig et al., 1997

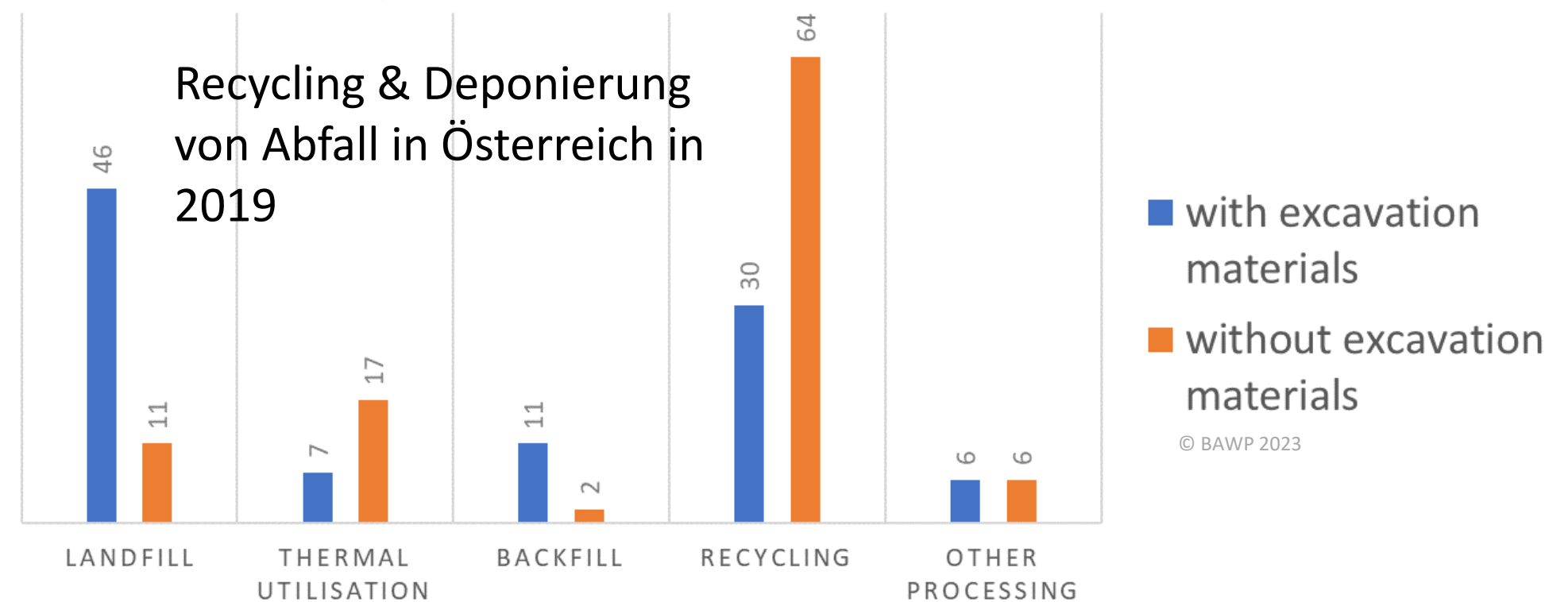


© WMD 2024

## Mittlere Zusammensetzung von Ausbruchsmaterial

Lithology	Hard Rock [%]	Loose Rocks [%]
Sand & gravel	12	39
Magmatic rocks	8	2
Carbonate	20	11
Clay & marl	4	23
Sediments	9	14
Metamorphic rocks	45	10
Clastics	2	1

© DRAGON Consortium 2015



© BAWP 2023

# State of the Art

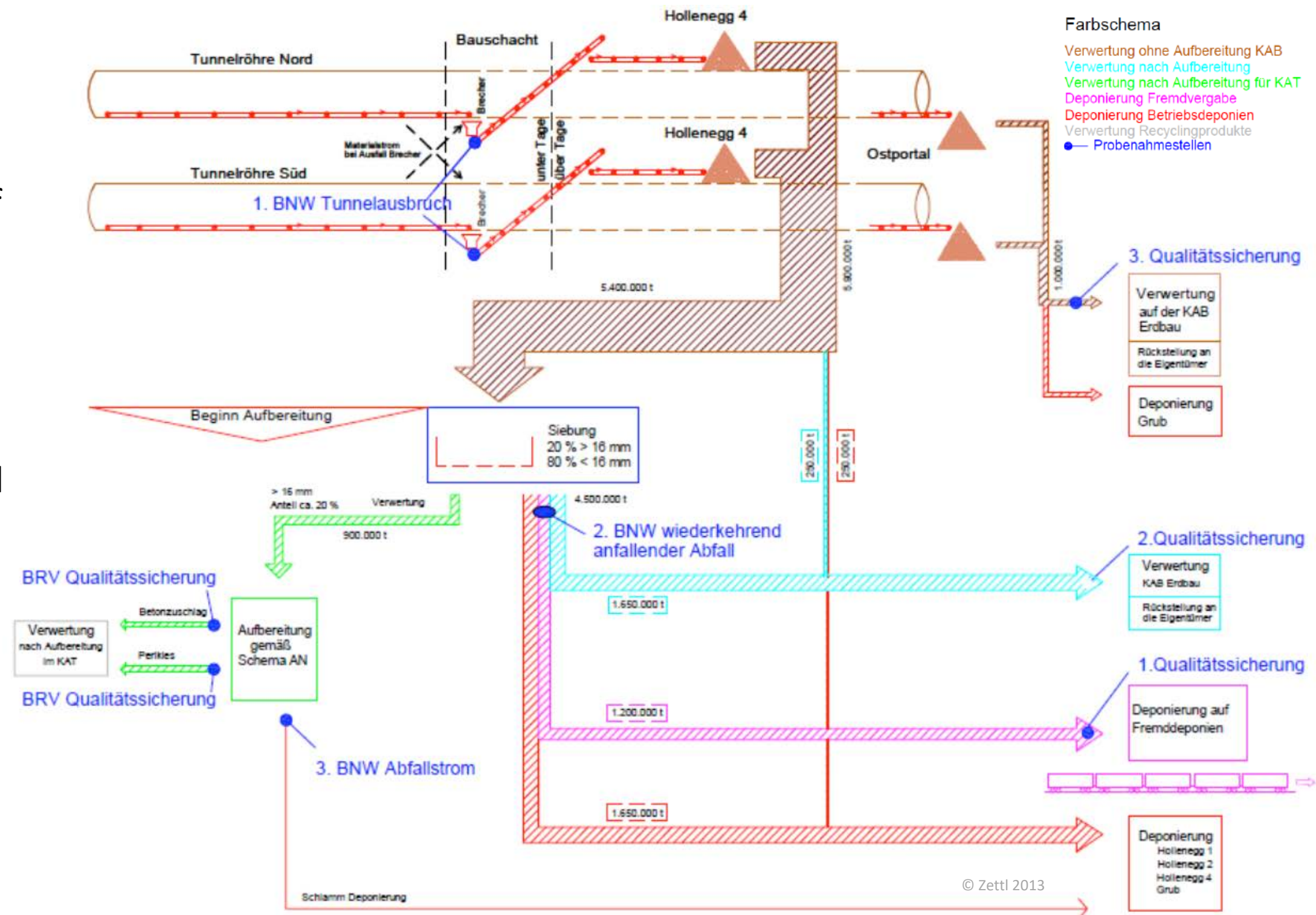
## Probennahme:

- Hauptprobe alle 1000 m, aber zumindest 3x im tunnel → Vollanalyse aller Parameter im Feststoff und Eluat für Einteilung in Deponieklassen lt. DepVO2008 & Verwertungsklassen lt. BAWP2023
- Nebenprobe alle 100 m → Analyse der Leitfähigkeit, pH, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, TOC, KW-Index
- Nach Aufbereitung muss jeder Massenstrom nochmals beprobt werden, da nach wie vor Abfall
- Analysen dauern mehrere Tage → riesige Zwischenlager auf Baustelle notwendig

## Lösung: Früheres Abfallende

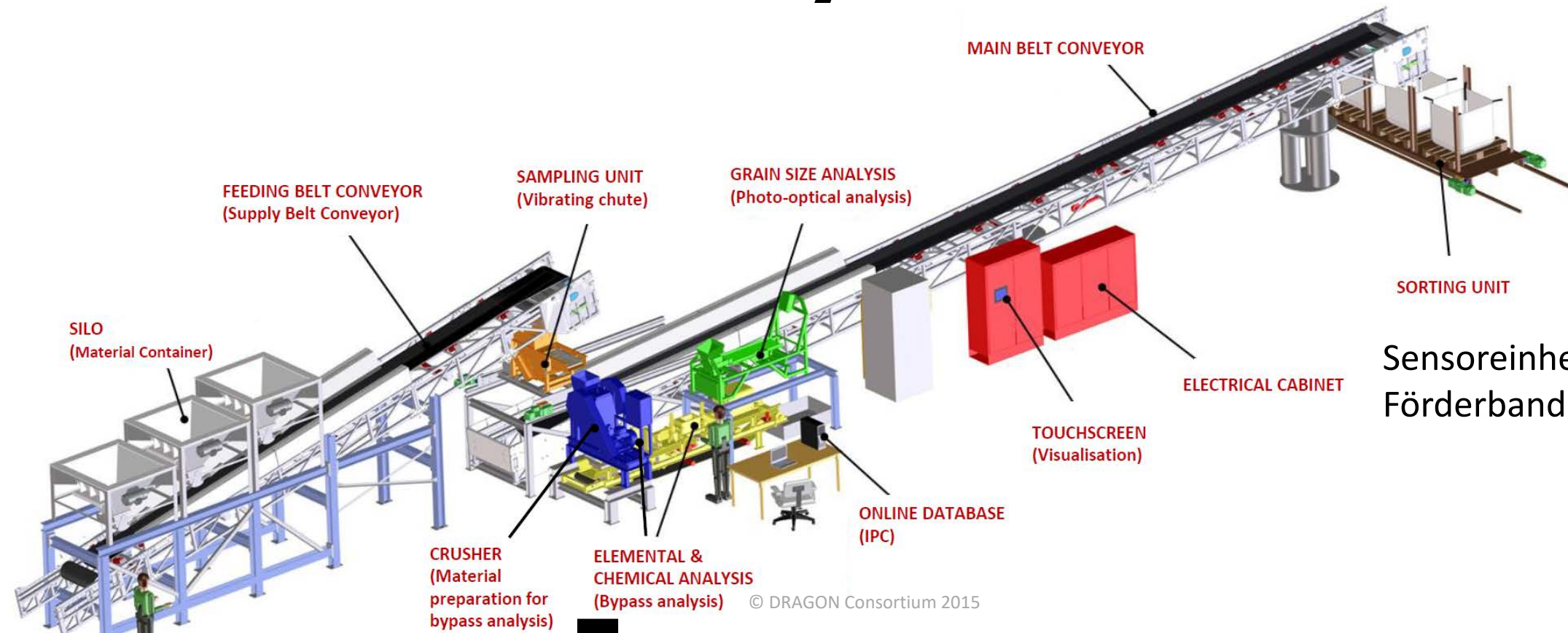
Urteil des EuGH im November 2022:

„Die Herstellung von Aushubmaterial ist einer der ersten Schritte im Bauprozess und kann daher als Nebenprodukt betrachtet werden. Handelt es sich dennoch um Abfall, ist eine Qualitätskontrolle ohne weitere Aufbereitung ausreichend.“

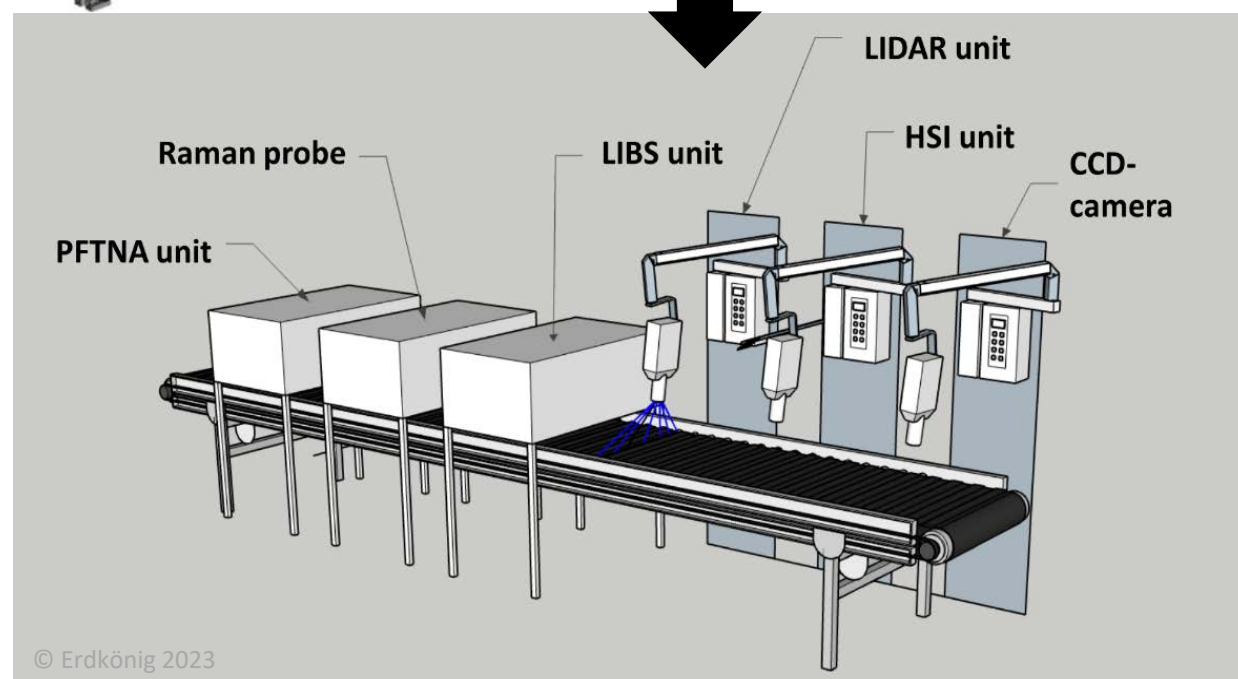
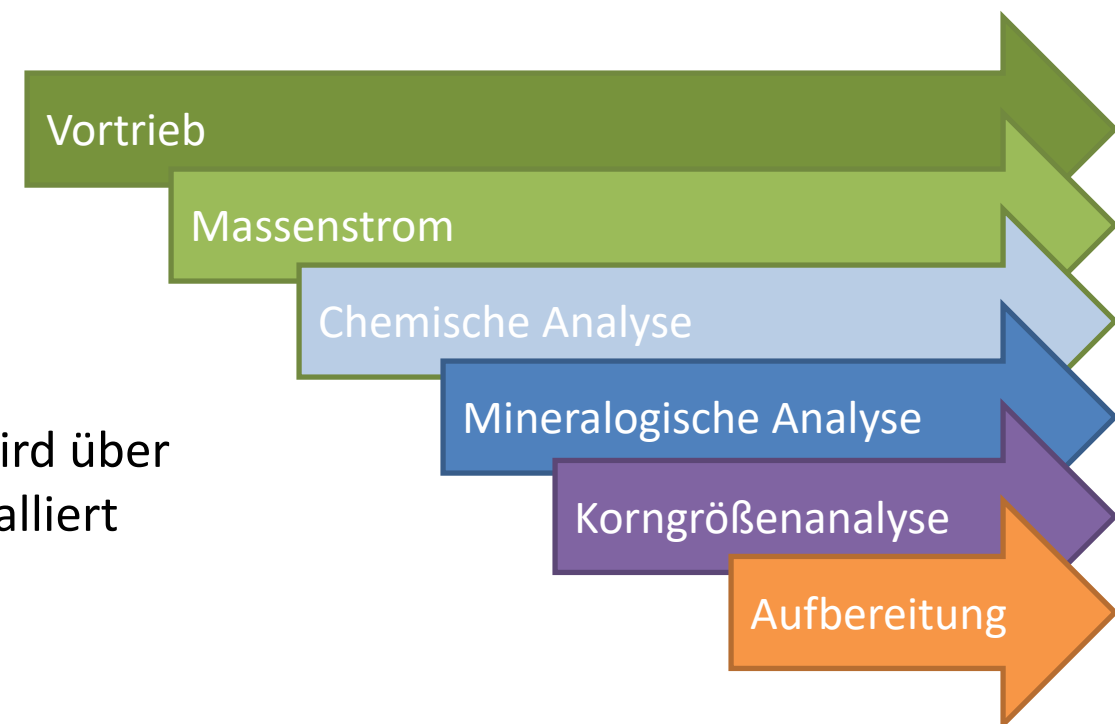


Fließschema Probenahme im kontinuierlichen Vortrieb mit Aufbereitung am Bsp. KAT2

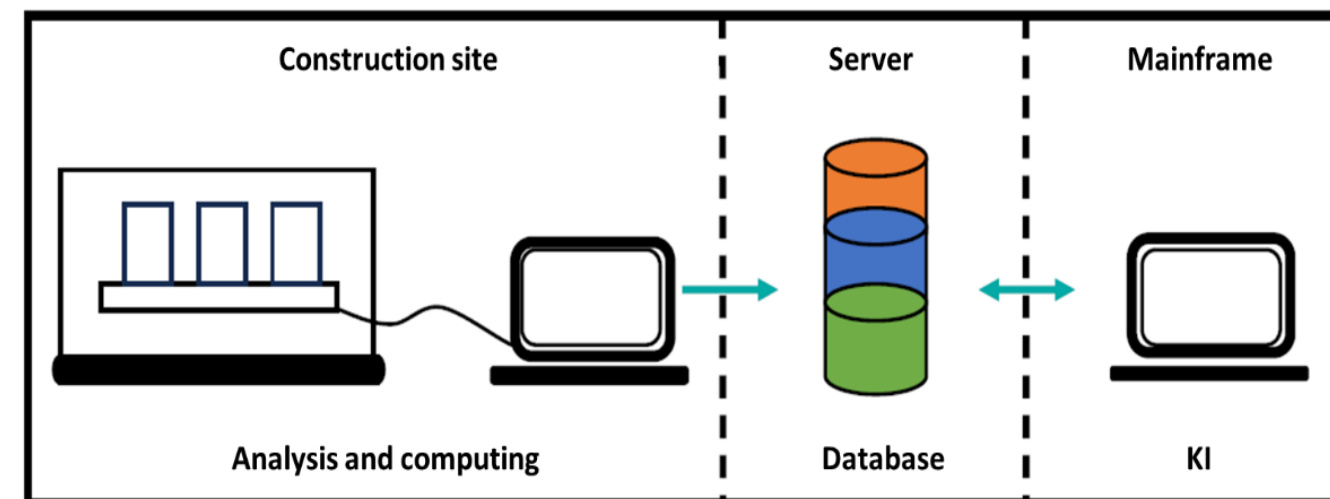
# Real-Time Analyse



Sensoreinheit wird über Förderband installiert



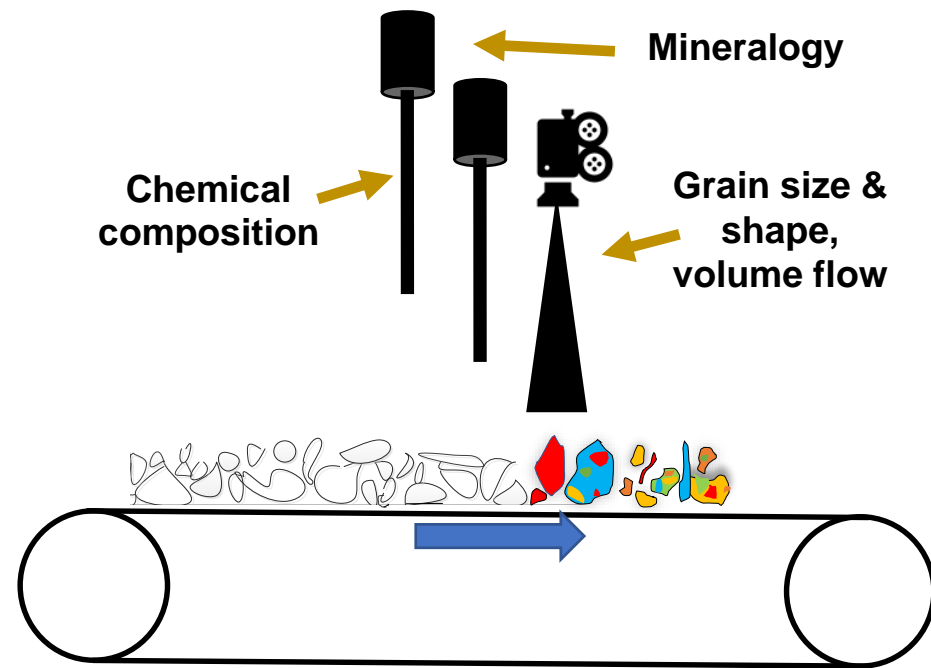
Struktur zur Datenübertragung mit (cloudbasierter) Datenbank



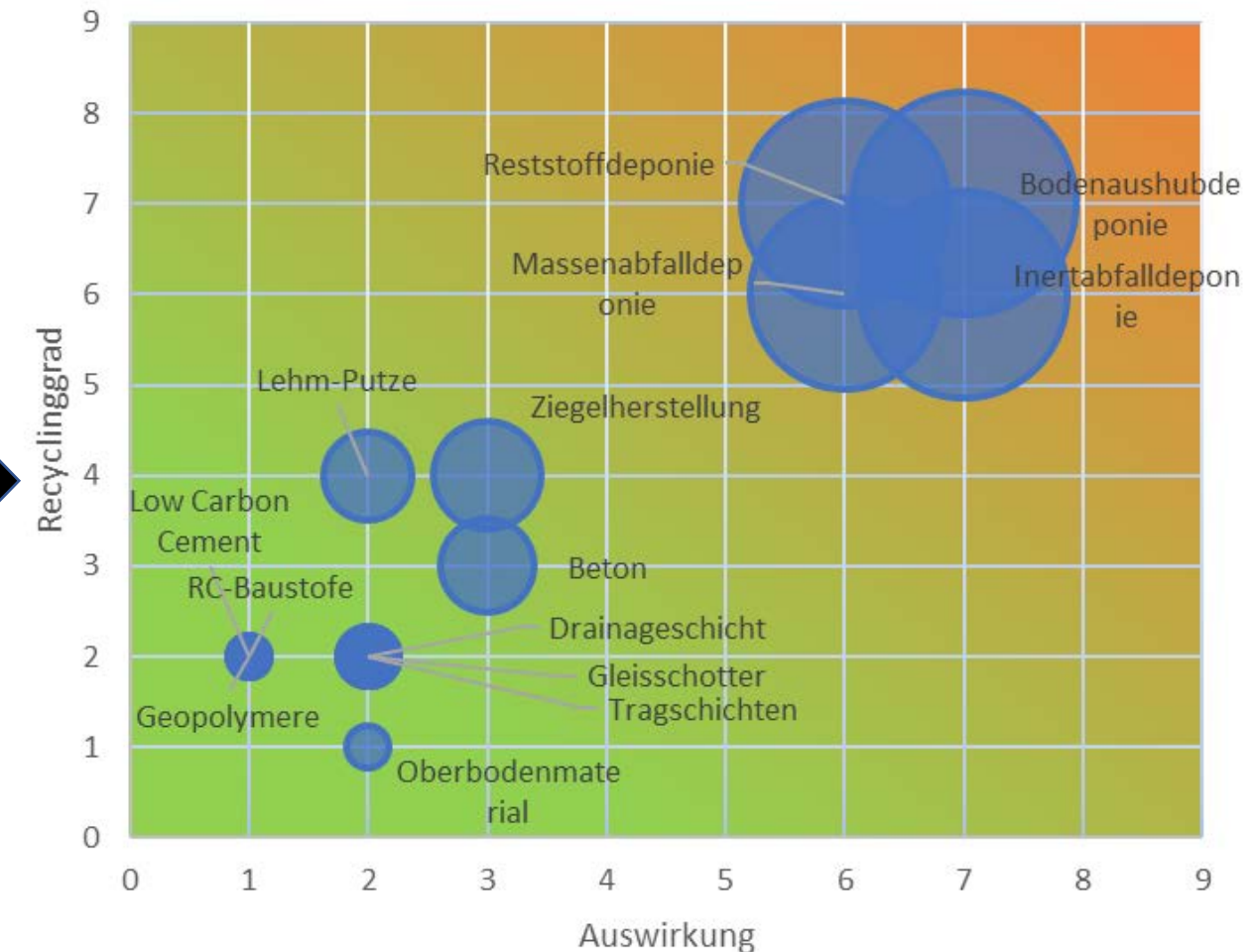
© Erdkönig 2023

# KI-basierte Charakterisierung

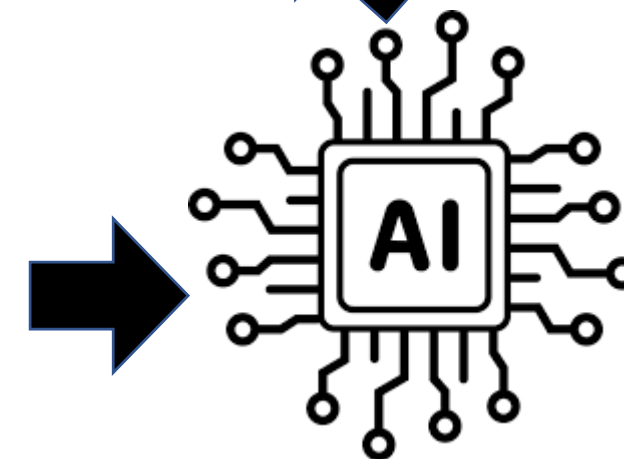
Daten der Sensoren werden mithilfe KI mit Grenzwerten aktuell gültiger Richtlinien abgeglichen und anhand einer Risikomatrix ausgewertet



Use Case	Kategorie	Auswirkung	Recyclinggrad	Bewertung
Bodenaushubdeponie	Deponierung	katastrophal	7 sehr gering	7 49
Inertabfalldeponie	Deponierung	katastrophal	7 gering	6 42
Reststoffdeponie	Deponierung	kritisch	6 sehr gering	7 42
Massenabfalldeponie	Deponierung	kritisch	6 gering	6 36
RC-Baustofe	Verwendung	begrenzt	1 hoch	2 2
Beton	Verwendung	wenig	3 eher hoch	3 9
Low Carbon Cement	Verwendung	begrenzt	1 hoch	2 2
Geopolymere	Verwendung	begrenzt	1 hoch	2 2
Ziegelherstellung	Verwendung	wenig	3 mittel	4 12
Lehm-Putze	Verwendung	sehr wenig	2 mittel	4 8
Oberbodenmaterial	Verwendung	sehr wenig	2 sehr hoch	1 2
Tragschichten	Verwendung	sehr wenig	2 hoch	2 4
Gleisschotter	Verwendung	sehr wenig	2 hoch	2 4
Drainageschicht	Verwendung	sehr wenig	2 hoch	2 4

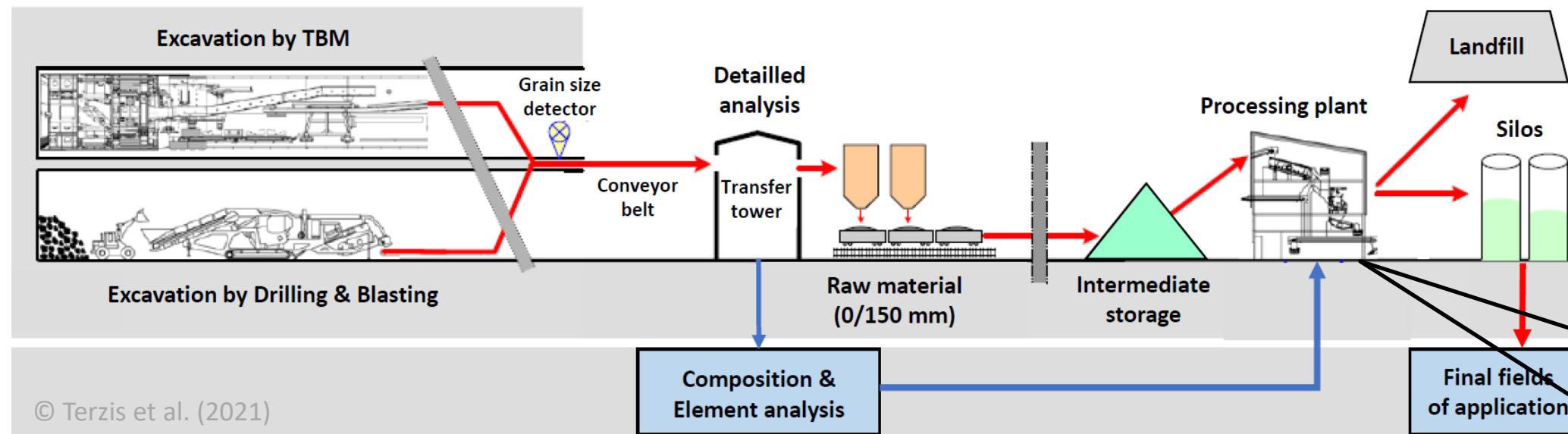


Klassifikationsmodell	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/kg]	[%]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/kg]	[%]	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/kg]	[%]	KW [mg/kg]	[%]	Score [%]
Material	0,80		1,30		0,70		1,15		
Use Case 1	< 0,75	106,67	< 0,70	185,71	< 0,90	77,78	< 1,00	115,00	121,29
Use Case 2	< 0,20	400,00	< 2,00	65,00	< 1,20	58,33	0,75	153,33	169,17
Use Case 3	< 0,40	200,00	< 10,00	130,00	< 0,60	116,67	< 1,25	92,00	134,67
Use Case 4	< 1,25	64,00	< 1,50	86,67	< 0,80	87,50	< 1,30	88,46	81,66



Preparation for processing

# Aufbereitung von Ausbruchsmaterial



- Eigene Aufbereitungstechnologien für jede Baustelle
- Herstellung von Massenströmen ähnlicher Korngröße und Zusammensetzung für weitere Produkterzeugung
- Automatische Bestimmung des endgültigen Verbleibs des Materials

## 1 Baustoffe

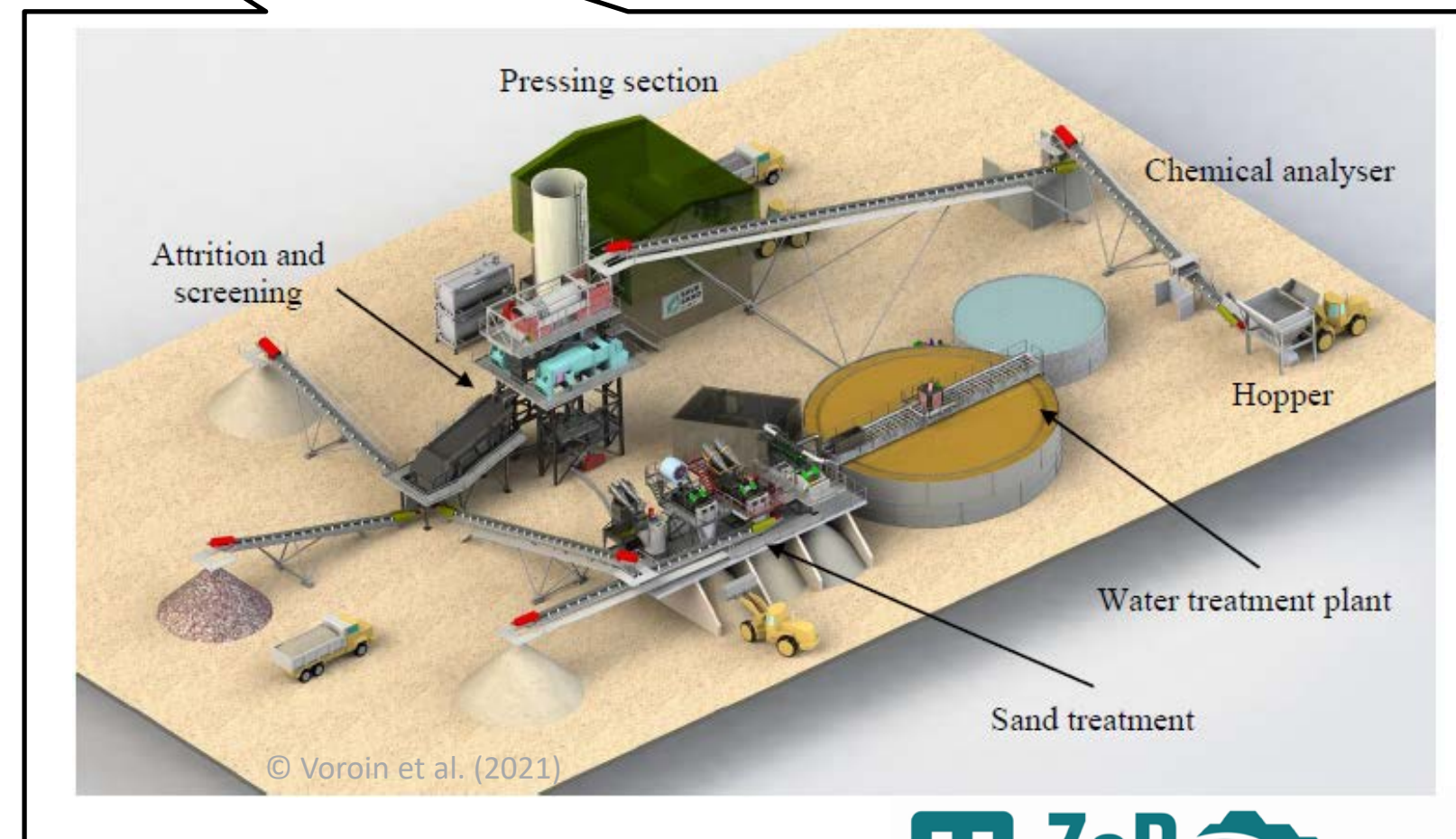
- Gesteinskörnungen für Beton & Spritzbeton, Straßen- und Wegebau, ...
- 0/2 mm Fraktion für Rohbeton
- 2/4 mm Fraktion für feinkörnige Materialien

## 2 Substitution von Baustoffen

- Thermische Aktivierung der Tonfraktion (<math><15\mu\text{m}</math>) (Low Carbon Cement)
- Innovative Baumaterialien (alkalische aktivierte Materialien, Geopolymere, Roherdeziegel, ...)
- Oberbodenmaterial (Landwirtschaft, Renaturierung, grüne Infrastruktur)

## 3 Industrieminerale

- Metallurgie
- Keramiken
- Feuerfestindustrie
- Glasindustrie
- Schleif- & Poliermittel
- Chemische Industrie
- Farben & Lacke
- ...



# Impacts & Nachhaltigkeit

+

**Ökologisch**

- Verringerte CO<sub>2</sub> Emissionen aufgrund kürzerer Transportwege
- Substitution konventioneller Baustoffe mit hohem Carbon Footprint
- Schonung heimischer Ressourcen

**Ökonomisch**

- Niedrigere Kosten durch ausbleibende Deponierung/Beschaffung
- Verkauf von (aufbereitetem) Material, welches nicht auf Baustelle benötigt wird

**Sozial**

- Beschaffung neuer Jobs im Aufbereitungssektor, Materialmanagement, ...

-

**Erhöhter technischer & logistischer Einsatz auf Baustelle**

- Charakterisierung des Materials
- Aufbereitung
- Marktstudie
- ...



**Neue Industriezweige & mehr Innovation** in der Bauindustrie



Recyclate für die **Produktion von Gütern des täglichen Bedarfs** und als **recycelte Baumaterialien** für neue Gebäude & Infrastruktur



Recycelte Baumaterialien haben **geringeren Energieaufwand & Carbon Footprint** in der Herstellung



**Long term goals**

- Internationale Richtlinie für den Umgang mit Ausbruch- & Aushubmaterialien in der EU
- Schaffung von Standards & Normen für neue Verwertungswege von Ausbruchmaterial & Implementierung auf der Baustelle

**Einsparungen an CO<sub>2</sub> Emission** durch weniger **LKW-Transporte**



**Deponiefläche** wird eingespart. **Oberboden** dient als **CO<sub>2</sub> Speicher** und fördert regionale **Artenvielfalt** bei **Renaturierung**



