

Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung anthropogener Lager für geotechnische Anwendungen

5. Fachtagung Geotechnik an der HTW Dresden
Erdbau und Umwelt – Neue Entwicklungen, 16. März 2017

Dr.-Ing. Friedemann Sandig / HTWK Leipzig

Inhalt

- Hintergrund
- Mineralische Baustoffe – Situation und Prognose
- Technische Substrate – Anwendungen und Potential
- Forschungsansatz und Ergebnisse
- Möglichkeiten und Grenzen der Praxisübertragung
- Fazit

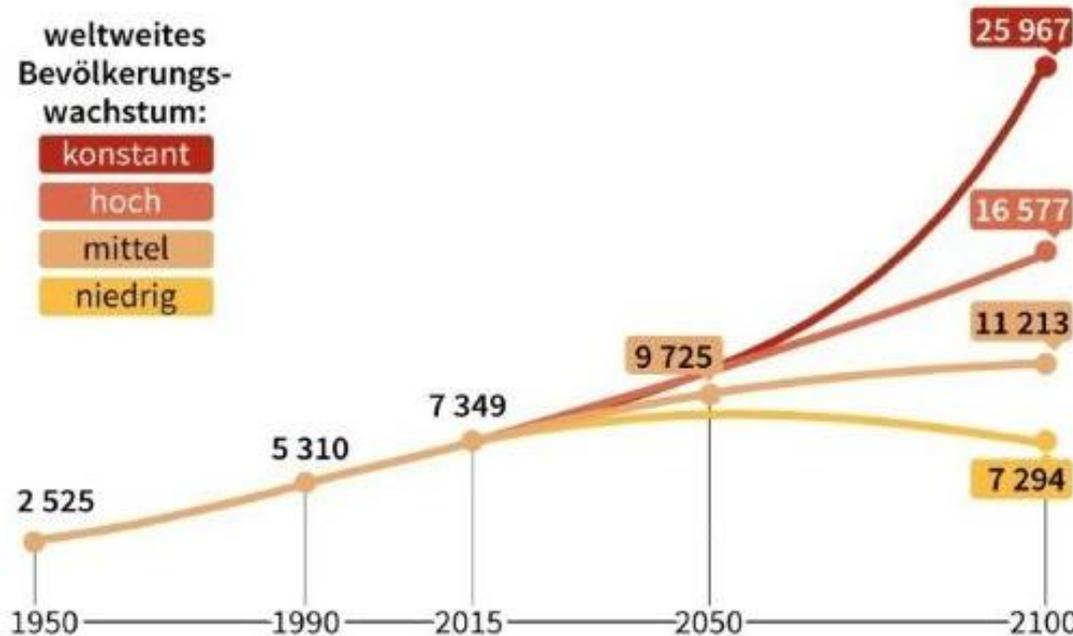
Bevölkerung und Rohstoffverbrauch

Entwicklung der Weltbevölkerung

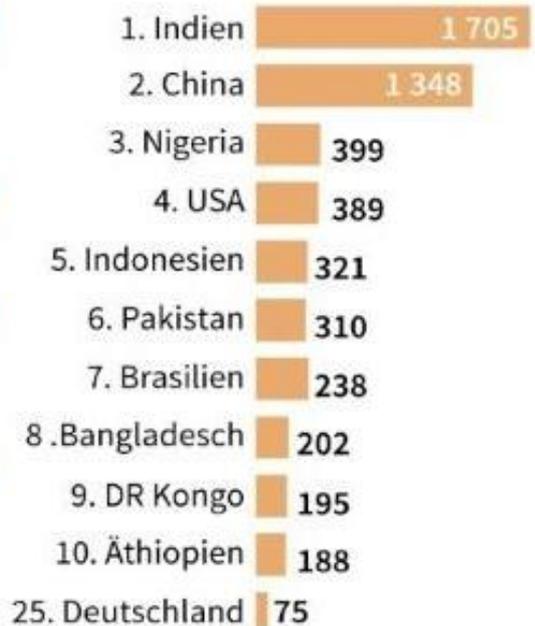
Prognose der Vereinten Nationen, *Bevölkerung gerundet in Millionen*

weltweites
Bevölkerungs-
wachstum:

- konstant
- hoch
- mittel
- niedrig



Die zehn bevölkerungsreichsten
Länder im Jahr 2050, *in Millionen*



Quelle: Stiftung Weltbevölkerung, nach AFP-Bericht UNO 2015

Not macht erfinderisch

Fritz Haber
* 9. Dezember 1868 Breslau
† 29. Januar 1934 Basel



Gold aus dem Meer!

0,358423 g =



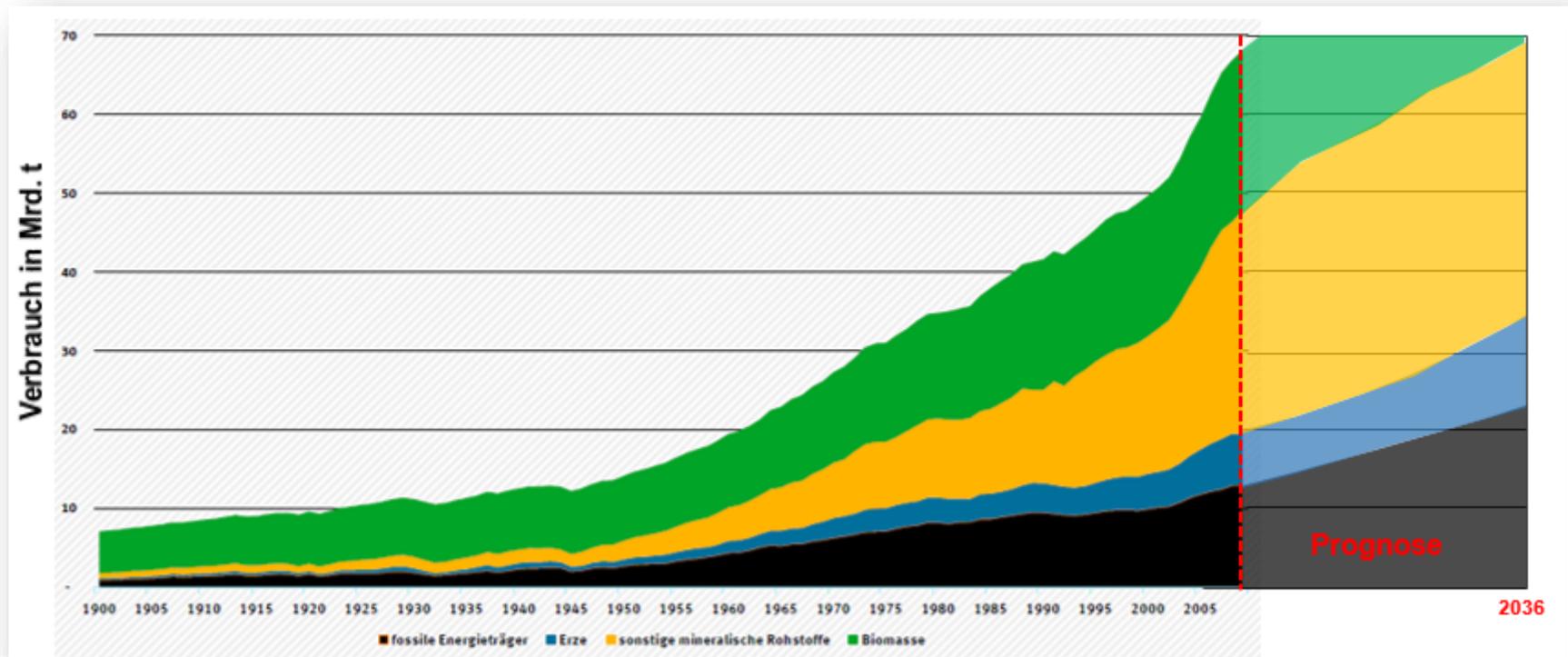
1 m³ Meerwasser = 0,0044 mg Gold

→ 70.000.000 t Gold

"Der Wissenschaftler dient im Frieden der Menschheit, im Kriege dem Vaterland."

Zur Situation heute

Globale Primärrohstoffentnahme – Stand und Prognose



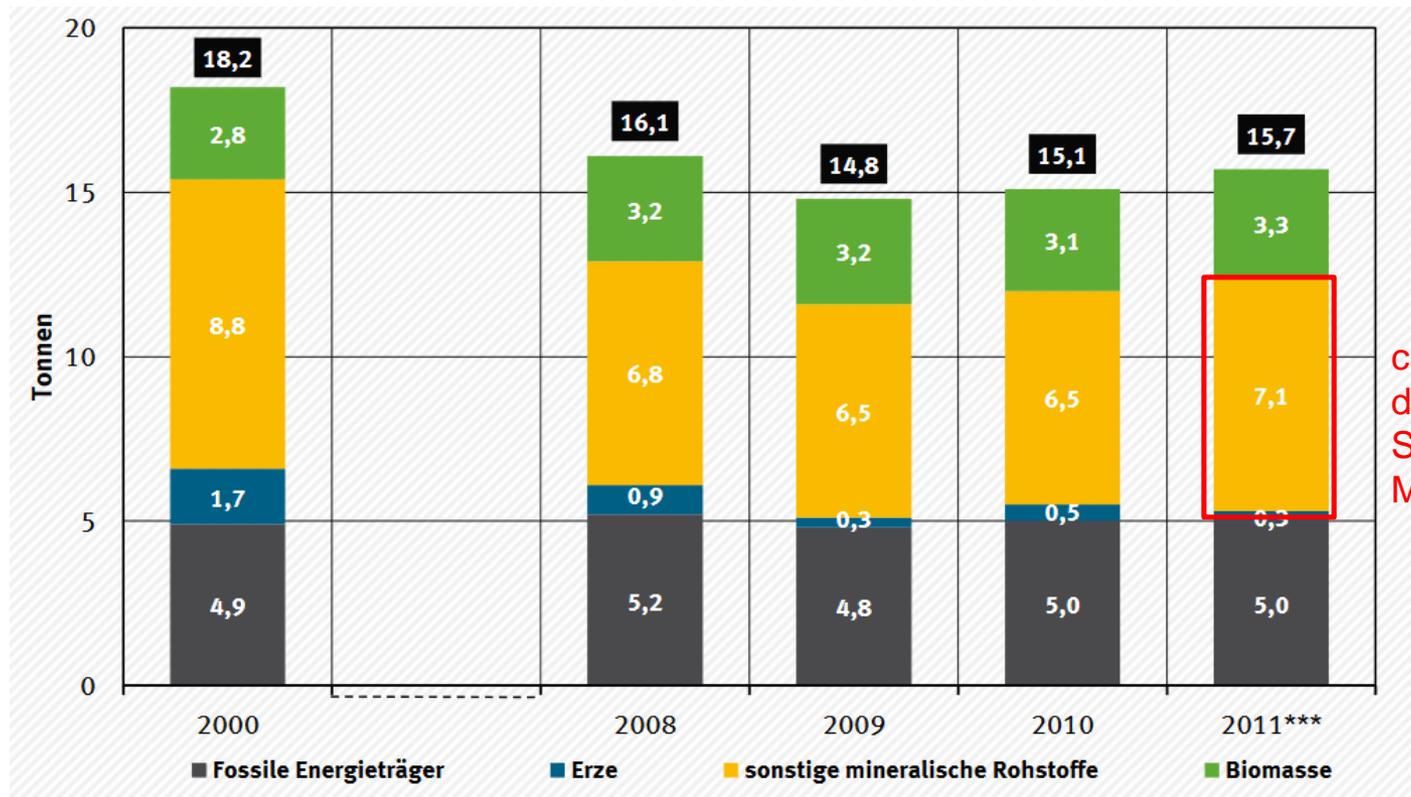
Quelle: Krausmann et al. (2011), www.uni-klu.ac.at/socec/inhalt/3133.htm

Zur Situation heute



Zur Situation heute

Inländische Rohstoffverwendung pro Kopf

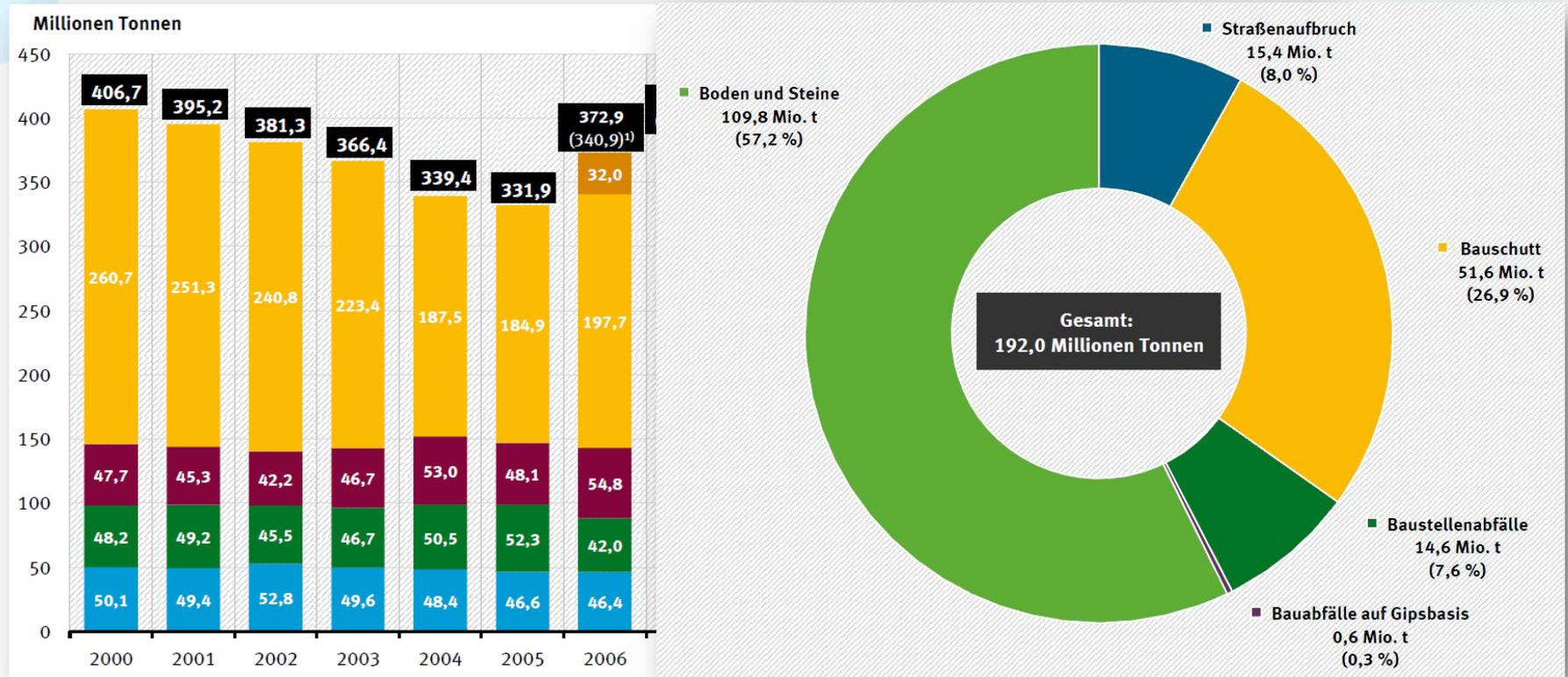


ca. 530 Mio. t,
davon Kiese &
Sande: ca. 280
Mio. t

Quelle: Statistisches Bundesamt 2014

Zur Situation heute

Mineralische Bauabfälle 2012

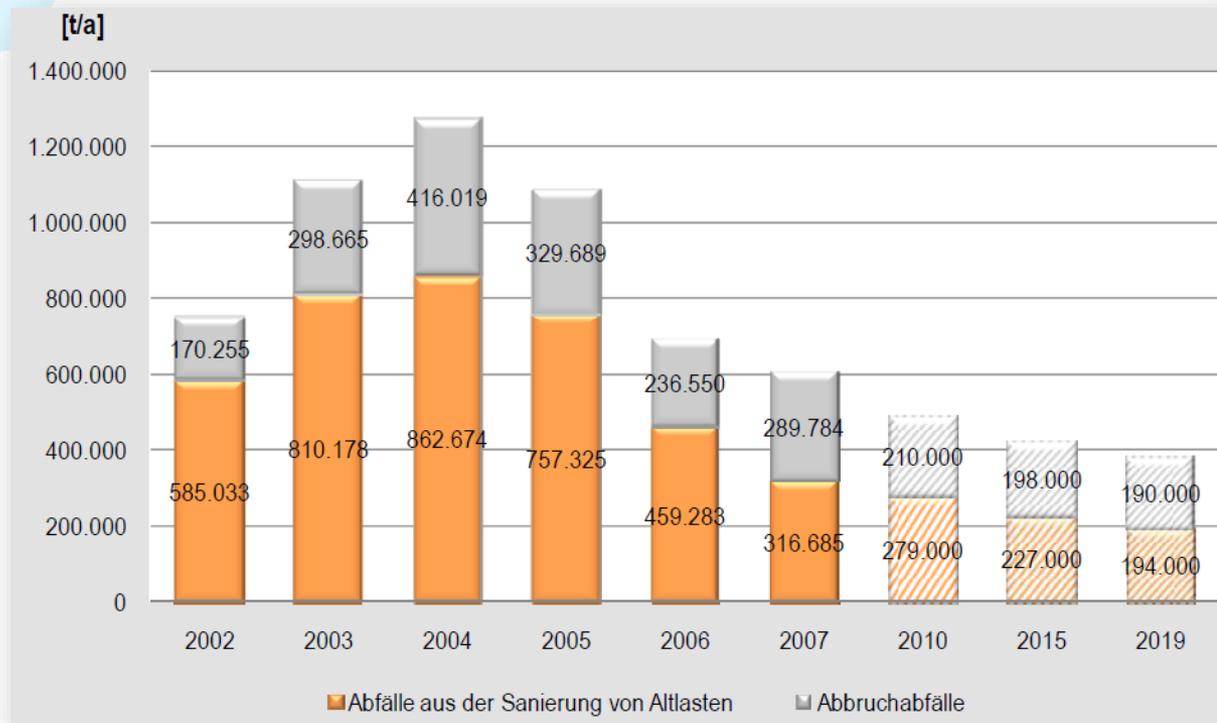


Quelle: Statistisches Bundesamt, Abfallbilanz 2016

Quelle: 9. Monitoring-Bericht Kreislaufwirtschaft Bau 2015

Zur Situation heute

Aufkommen an gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen 2002-2007 und Prognose für den Freistaat Sachsen



Quelle: SMUL (2010):
Abfallwirtschaftsplan für den Freistaat Sachsen, Fortschreibung
2009, Dresden.

Zur Situation heute

„anthropogene Lager“

Jährlicher Bestandszuwachs: 0,82 Milliarden t, circa 10 Tonnen pro Jahr und Einwohner

→ 1960 bis 2010: bis zu 42 Mrd. t Material (geschätzt, Quelle: BMUB 2016)

- mineralische Materialien (ungeb. Gesteine und Sande, Beton- und Mauersteine): 26 Mrd. t
- Metalle (vorrangig Stahl): 1,2 Mrd. t
- Holz: 350 Mio. t
- Kunststoffe: 250 Mio. t
- Sonstige Materialien: 200 Mio. t

Quelle: BMUB (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, Berlin.

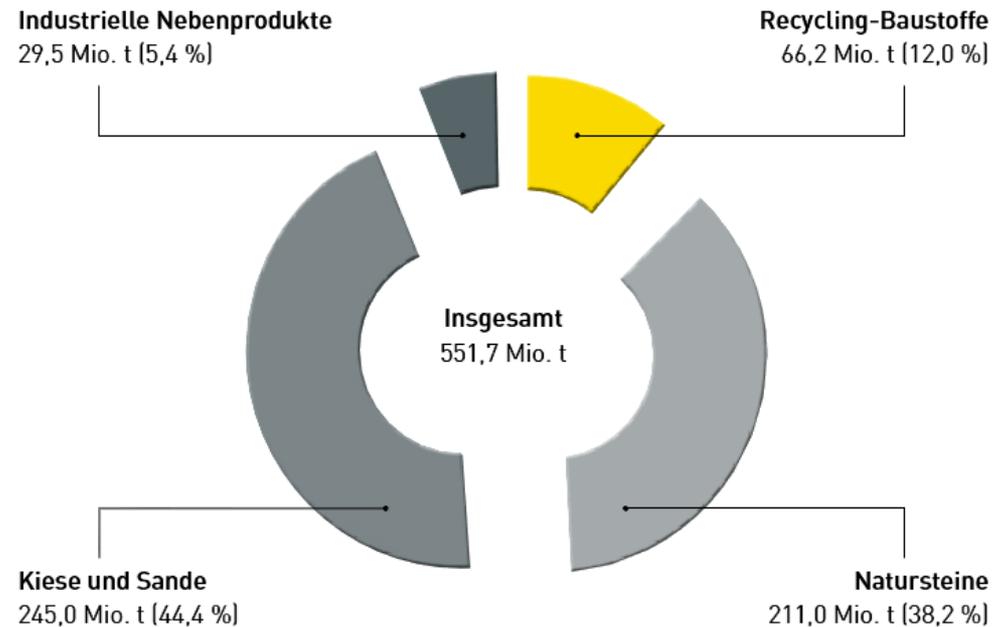
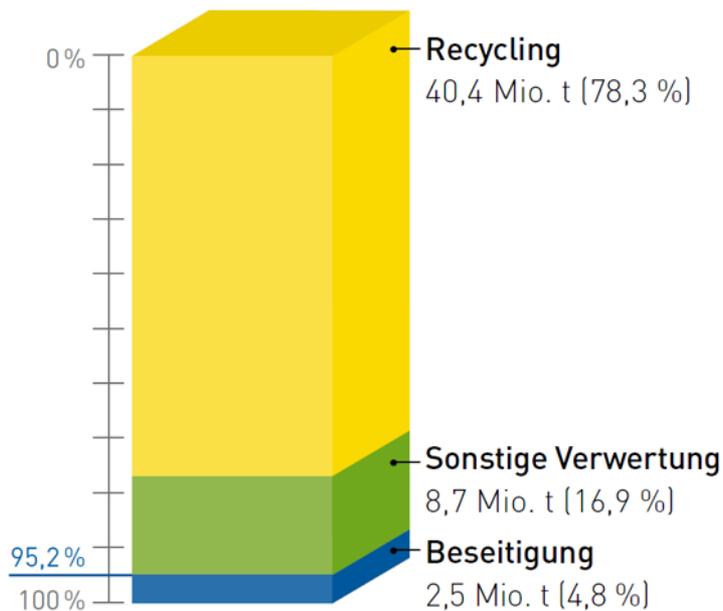
Zur Situation heute

„anthropogene Lager“

- genutzte Lager: PKWs, bewohntes Gebäude, Möbel, Elektrogroßgeräte...
- ungenutzte Lager: keine Nutzungsabsicht (stillgelegte Bahntrassen, Industriebrachen, Erdkabelleitungen etc.)
- **Ablagerungen: obertägige und untertägige Deponieklassen, Bergbau- und Hüttenhalden, verfüllte Steinbrüche etc.**

Zur Situation heute

Recyclingquote 2012 (Bauschutt) und Bedarf an Gesteinskörnungen



Quelle: Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. 2015

...und morgen?

Deponien in Sachsen:

Kodersdorf / LK Görlitz (in Betrieb)

Rothschönberg / LK Meißen (genehmigt)

Kodersdorf / LK Görlitz (beantragt)

Taucha-Südfeld / LK Nordsachsen (beantragt)

Quelle: SMUL, Jahresbericht 2015

400 Mio. t Abfall/Jahr in D

ca. 11% Bau- & Abbruchabfälle

Verwertung auf Deponien: 15 Mio. t

Ablagerung: 37 Mio. t

Quellen: Verband Abbruch & Entsorgung e.V., Statistica 2016

142



Deponien (Klasse 1)
für mineralische
Abfälle

...und morgen?

| Rohstoffart | Geologische Vorräte in Mio. t | Nicht blockierte Vorräte in Mio. t | Zur Gewinnung genehmigte Vorräte in Mio. t | Reichweite ¹⁾ in a | |
|------------------------|--|--|--|---|------------|
| | | | | 2) | 3) |
| Feststeine | 220.555 | 145.929 | 817 | >1000 | ~40 |
| Kiese und Sande | 35.819 | 25.729 | 571 | >300 | ~40 |
| Kaolin | 1.967 | 1.565 | 37 | >200 | ~25 |
| Lehm (Ziegelton) | 4.665 | 2.873 | 36 | >500 | ~40 |
| Kalk und Dolomit | 770 | 460 | 30 | >200 | ~60 |
| Spezialton | 2.183 | 1.186 | 27 | >900 | ~100 |
| Quarz und Formsand | 2.829 | 884 | 1 | >300 | ~2 |
| Braunkohle | Geologische Vorräte in Mio. t | Vorräte im Vorfeld aktiver Tagebaue in Mio. t | Vorräte in Braunkohlenpläne Eingeordnet in Mio. t | Reichweite¹⁾ in a | |
| | | | | 4) | 5) |
| | 21.333 | 1.593 | 1.188 | >100 | ~40 |

1) grobe (statische) Orientierung auf der Basis der gegenwärtigen Förderung und von:

2) 20% der nicht blockierten geologischen Vorräte

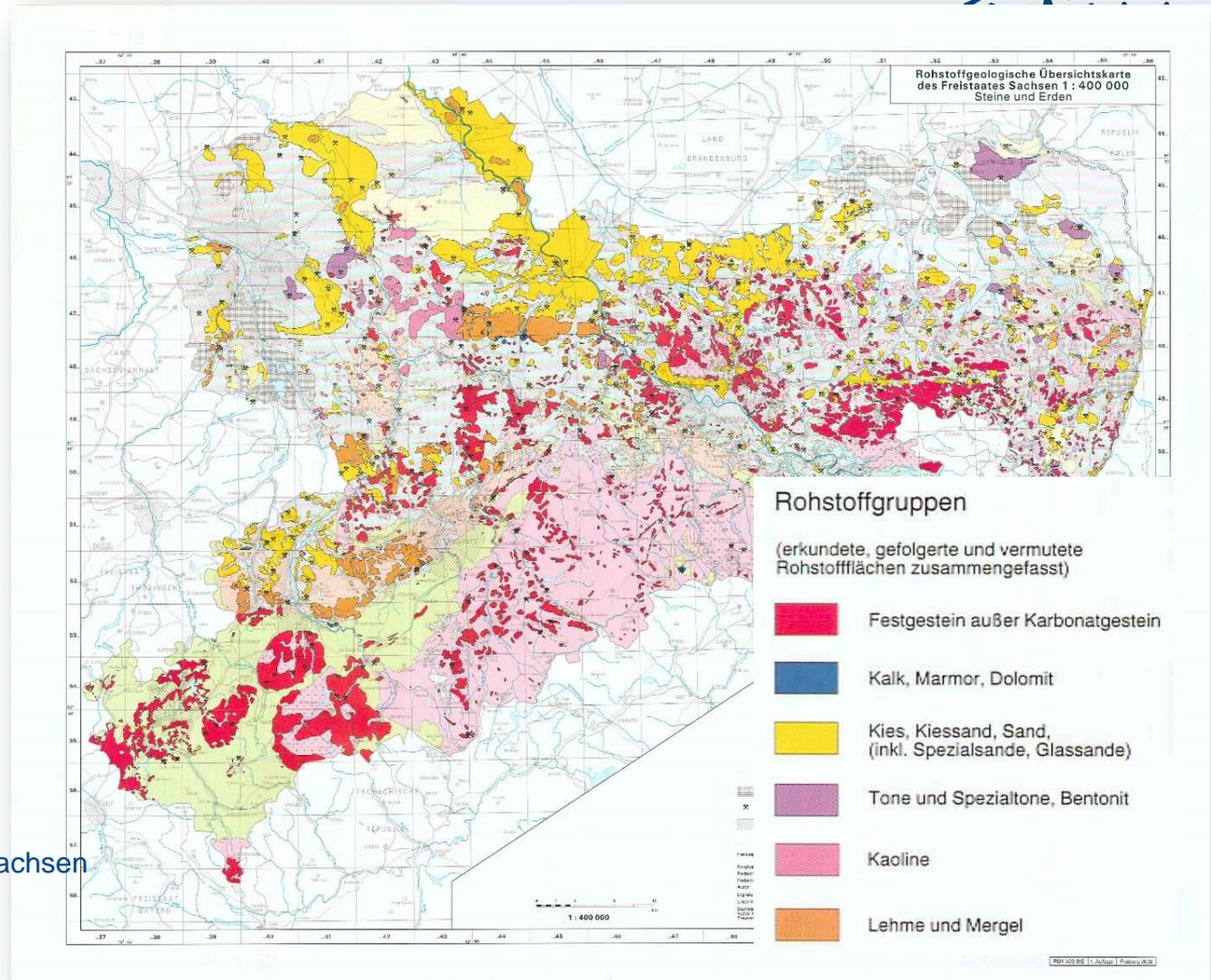
3) der zur Gewinnung genehmigten Vorräte

4) 20% der geologischen Vorräte

5) der in den Braunkohlenplänen eingeordneten (genehmigten) Vorräte

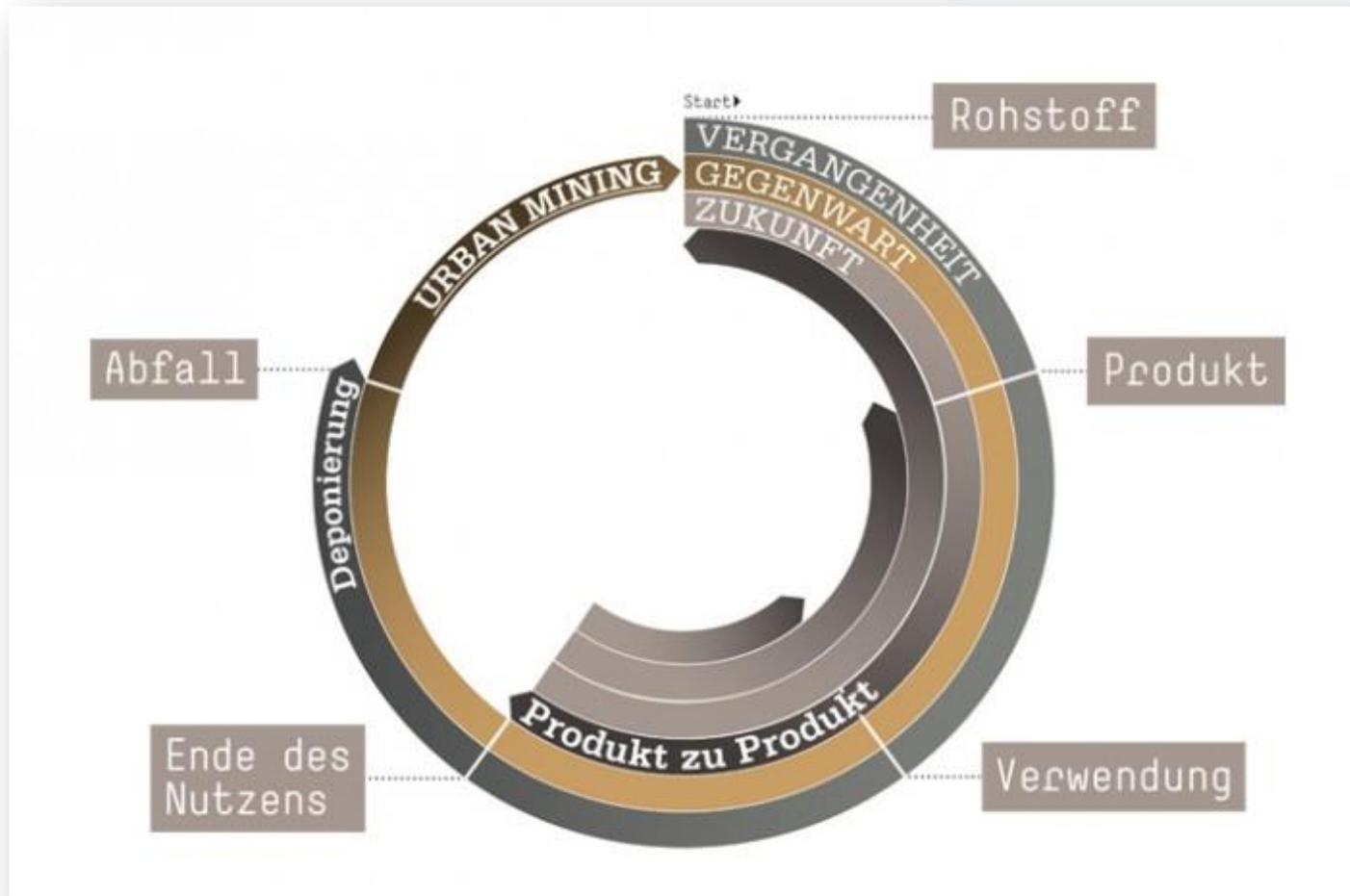
Quelle: Gerhard & Slaby (2006):
Bewertung, Sicherung und Gewinnung mineralischer Rohstoffe in Sachsen,
„Sächsischer Rohstofftag 2006“

...und morgen?



Quelle: Rohstoffgeologische
Übersichtskarte des Freistaates Sachsen
1 : 400 000 – Steine und Erden
(RÜK400StE)

...und morgen?



Quelle: urbanmining.at

Anwendungen für technische Substrate



Anwendungen für technische Substrate

Zeitweise Fließfähige Selbstverdichtende Verfüllbaustoffe ZFSV („Flüssigböden“)



Baugrubenverfüllung



Rohrumhüllung, [U.S. Dept. of Transp.]



Bodenaufbereitung durch Sternsiebzanlage



Verfüllung am Neubau HTWK Leipzig

Anwendungen für technische Substrate

Dichtungen und Deckschichten im Deichbau



Herstellung einer Dichtung aus ZFSV



Versuchsdeich der HTWK Leipzig



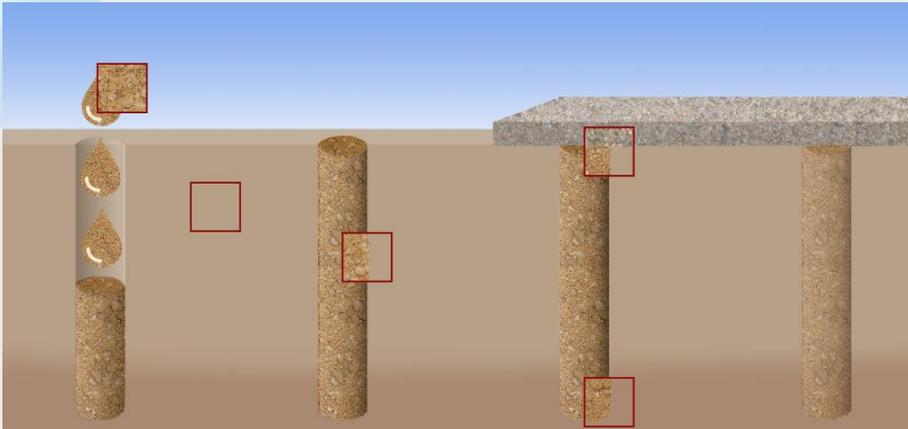
Aufgrabung und Kontrolle der Dichtung nach 2 Jahren



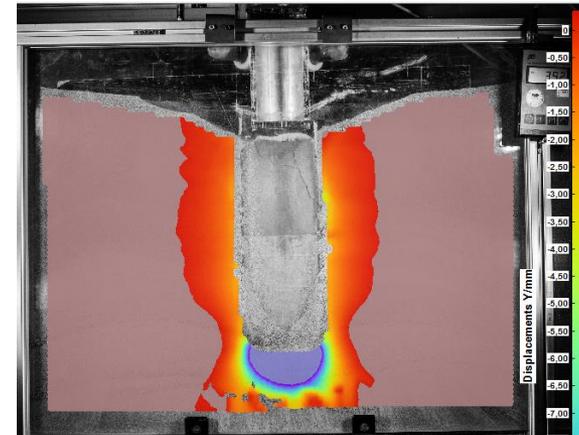
Deckschicht aus aufbereitetem Boden

Anwendungen für technische Substrate

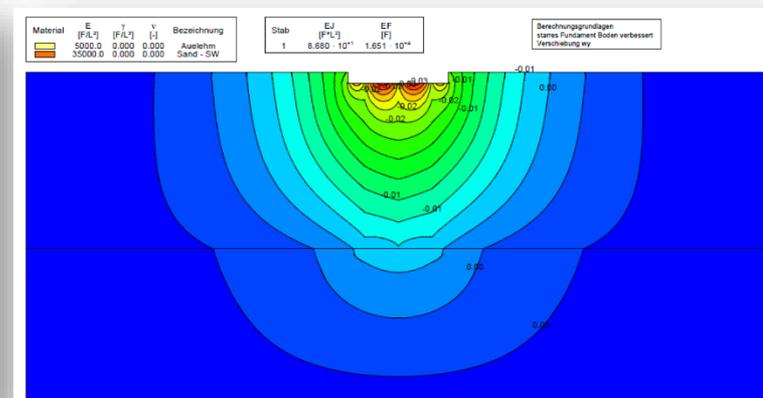
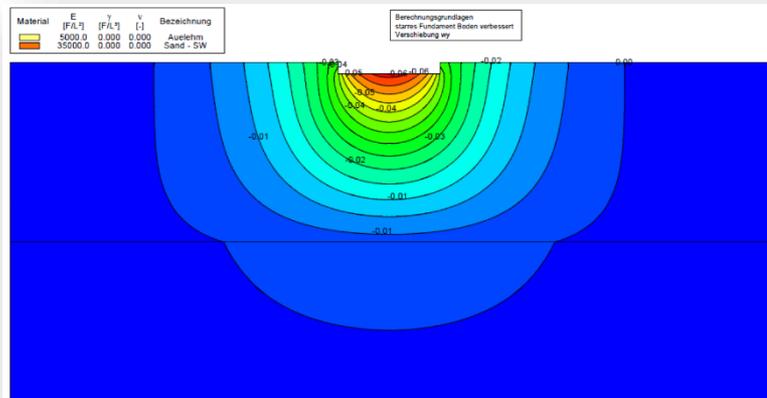
Stabilisierungssäulen aus Bodenrestmassen



Prinzipskizze



FE-Analyse vertikaler Verschiebung (ISTRA)



Setzungsberechnung: links ohne, rechts mit Bodenmischsäulen

Forschungsansatz

Deponien als Rohstofflagerstätten der Zukunft?

- Verwertung mineralischer Abfälle
- in besonderen technischen Kreisläufen
- zu technischen Produkten
- in bekannten und neuen Anwendungen

Forschungsansatz

Materialanforderungen an
Rekultivierungsschichten in
Deponieoberflächenabdichtungssystemen:
nach BQS 7-1 "Rekultivierungsschichten in
Deponieoberflächenabdichtungssystemen"
(13.4.2016)

- „...soll vorrangig aus natürlichem Bodenmaterial aufgebaut werden.“
- „...können auch andere geeignete Rekultivierungssubstrate eingesetzt werden, wenn die eingesetzten Materialien langzeitbeständig sind.“
- Optimierung durch Mischen von ungeeignetem Bodenmaterial



Forschungsansatz

Materialanforderungen an
Rekultivierungsschichten in
 Deponieoberflächenabdichtungssystemen:
 nach BQS 7-1 "Rekultivierungsschichten in
 Deponieoberflächenabdichtungssystemen"
 (13.4.2016)

- Auswahl:
 - ✓ Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität
 - ✓ Humusgehalt
 - ✓ Schadstoffgehalte in Feststoff und Eluat
 - ✓ bodenfremde Bestandteile (Bauschutt, Straßenaufbruch etc.) ≤ 1 M.-% / ≤ 1 Vol.-%

| Nr. | Parameter | Anforderung | Prüfvorschrift | Eignungsprüfung | |
|-----|---|--|---|-----------------|-------------------------------|
| | | | | Art | Häufigkeit |
| 1 | Korngrößenverteilung | Dokumentation, Orientierungswerte siehe Abb. 1 | DIN ISO 11277 DIN 4220 | L | mindestens 3 |
| 8 | nutzbare Feldkapazität ^{4, 5} | nFK ≥ 140 mm bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht | Feldkapazität nach DIN EN ISO 11274 permanenter Welkepunkt aus Tabelle | L | mindestens 3 |
| 12 | Schadstoffgehalte in Feststoff und Eluat - Bodenmaterial, das nicht dem Abfallrecht unterliegt - Deponieersatzbaustoffe | DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9 DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9 | DepV, Anhang 4 DepV, Anhang 4 | L L | mindestens 3 § 17 DepV |
| 13 | Bodenfremde Bestandteile (Bauschutt, Straßenaufbruch etc.) | mineralisch ≤ 5 Masse-%; nicht-mineralisch: nicht ins Auge fallend und ≤ 1 Vol.-% | Visuell, ggf. gravimetrisch visuell | F (L) | mindestens 3 |
| 11 | | | | | |

Forschungsansatz

perspektivischer Forschungsumfang

bodenphysikalische Parameter

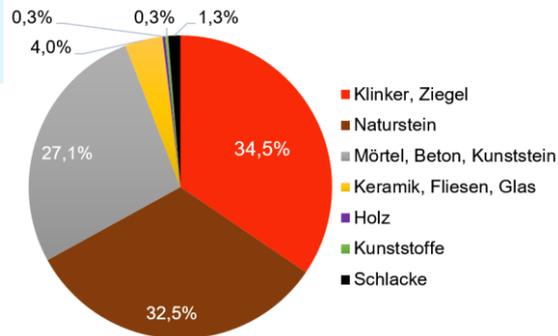
bodenkundliche Parameter

Erprobung in Langzeitstudien

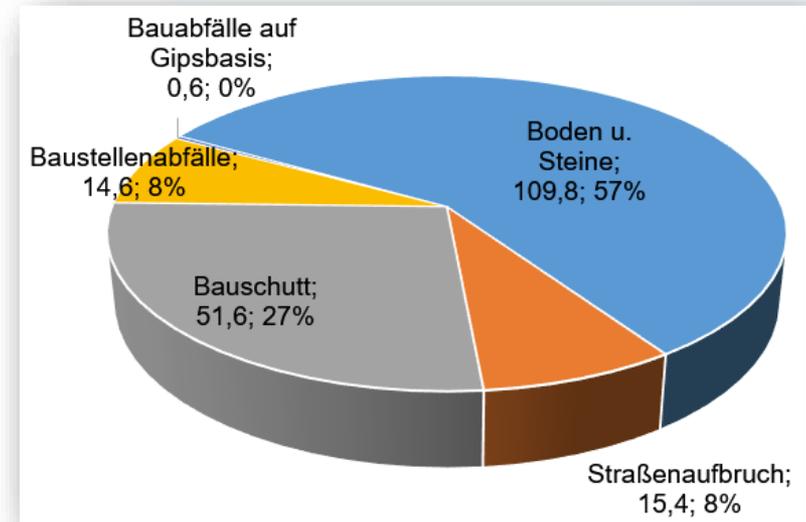


Forschungsergebnisse

Materialsituation im anthropogenen Lager

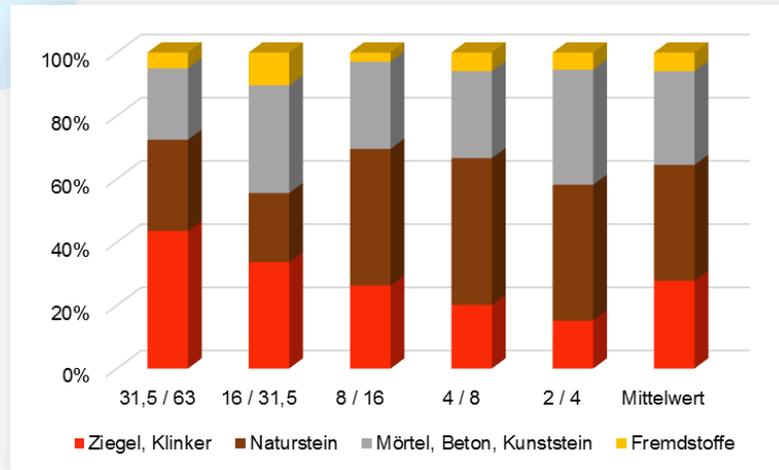


Quelle: Fotos: eigene, Grafik: nach UBA, 9. Monitoring-Bericht der Bauwirtschaft



Forschungsergebnisse

Stoffanalyse: Abbruchmaterial mit hohem Ziegelanteil (RC-Material)



Strukturuntersuchungen I (Auflichtmikroskopie 6,5 bis 50-fach)



K7-3



Z4-6



K1-2

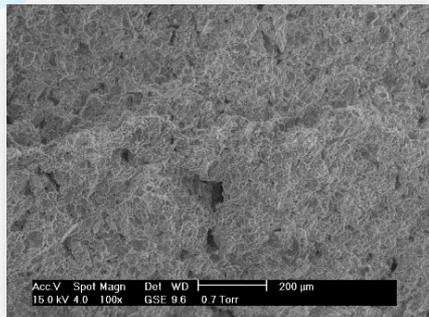


Z2-0.3

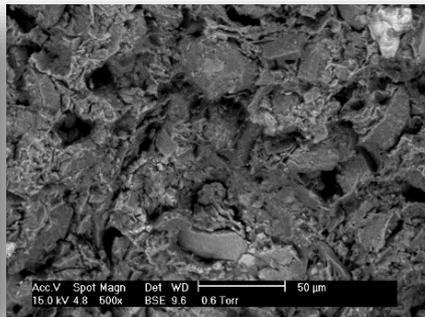
Forschungsergebnisse

Abbruchmaterial mit hohem Ziegelanteil (RC-Material)

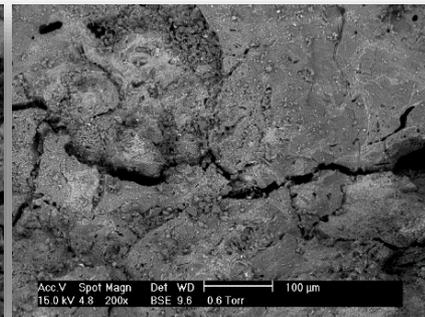
Strukturuntersuchungen II (ESEM 100 bis 500-fach)



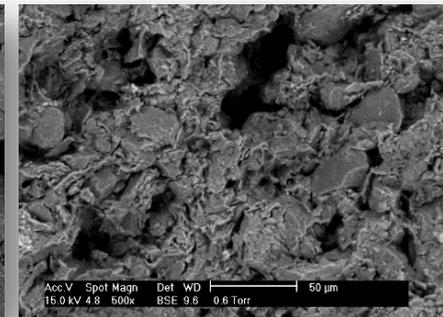
K7-3 – 100x



Z4-6 – 500x



K1-2 – 200x



Z2-0.3 – 500x

Dichte und Porosität

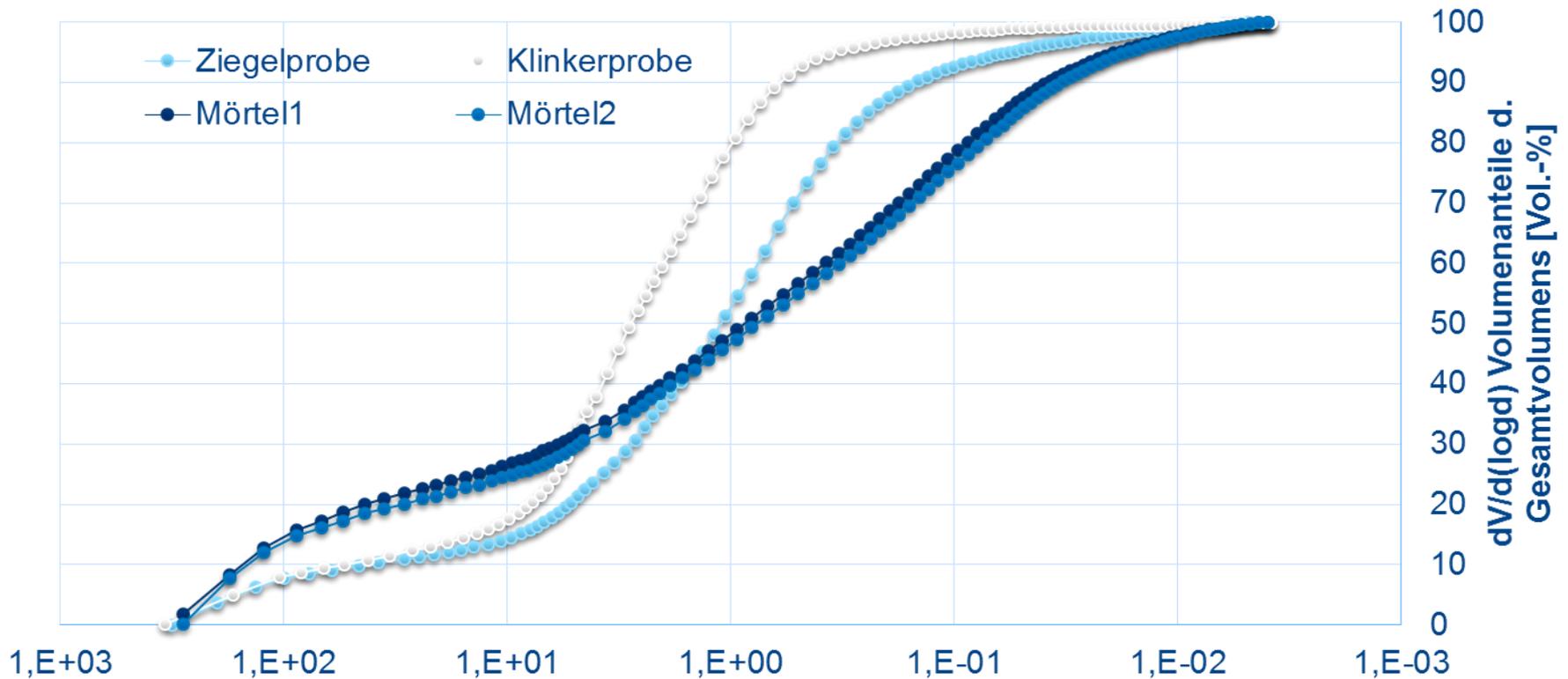
| Probe | m_1 (g) | m_2 (g) | m_3 (g) | Roh- dichte (g/cm ³) | offene Porosität (V.-%) | Wasser- aufnahme (M.-%) |
|-------|--------------|--------------|--------------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 42,7 | 26,2 | 50,1 | 1,8 | 30,9 | 17,3 |
| 2 | 113,7 | 71,0 | 126,9 | 2,0 | 23,7 | 11,6 |
| 3 | 80,9 | 52,6 | 100,2 | 1,7 | 40,5 | 23,8 |
| 4 | 84,0 | 52,3 | 90,9 | 2,2 | 17,8 | 8,2 |

Bestimmung der Rohdichte und der offenen Porosität lt. DIN EN 993-1 (Trängung durch Kochen, lt. DIN 51056)

Forschungsergebnisse

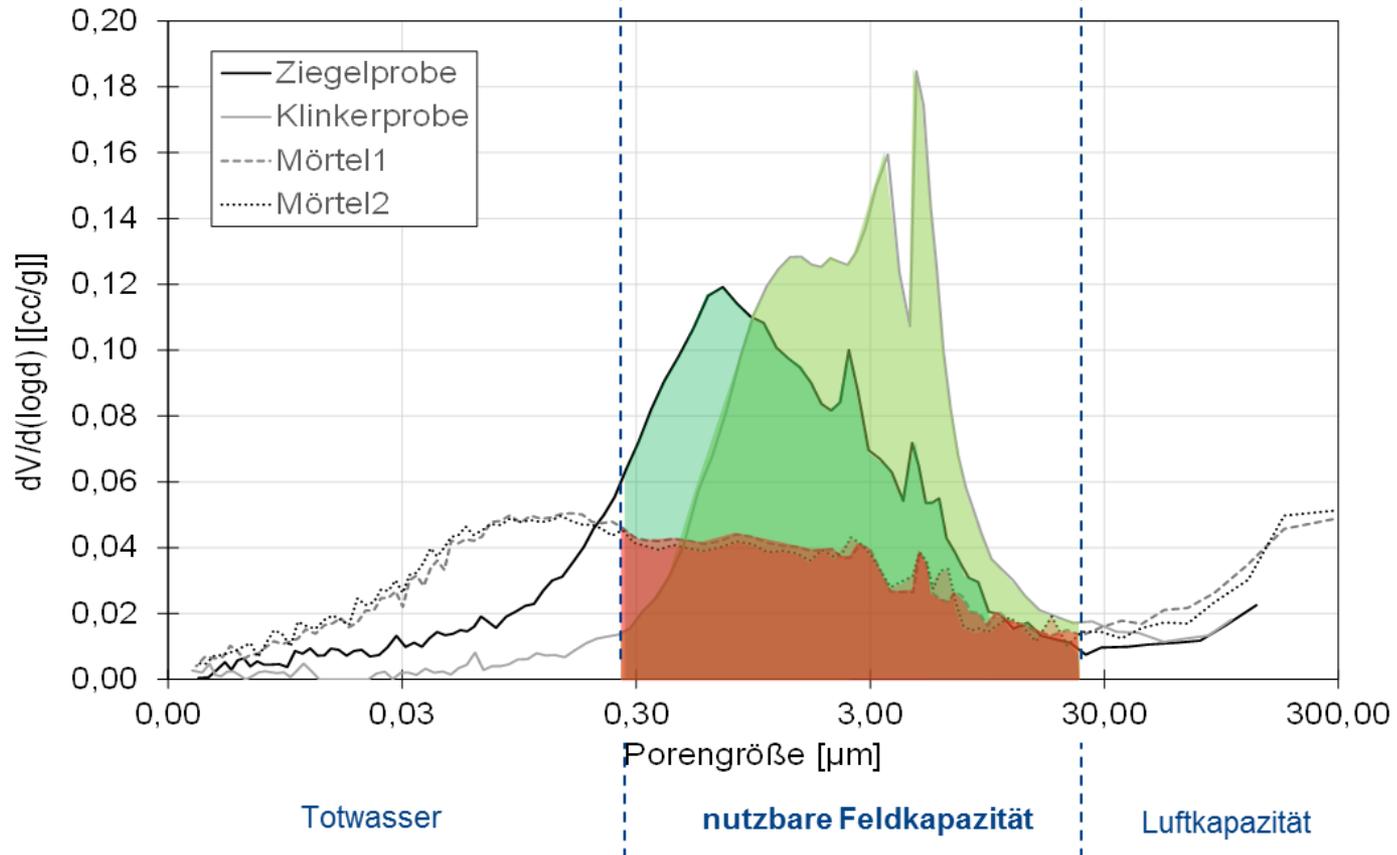
Abbruchmaterial mit hohem Ziegelanteil (RC-Material)

Porenverteilung



Forschungsergebnisse

| | | | |
|------------------|----------|----------------|---------------|
| pF-Wert | > 4,2 | 4,2 ... 2,5 | 2,5 ... < 1,8 |
| - Ψ_m (hPa) | > 15.000 | 15.000 ... 300 | 300 ... < 60 |



Forschungsergebnisse

Abbruchmaterial mit hohem Ziegelanteil (RC-Material)

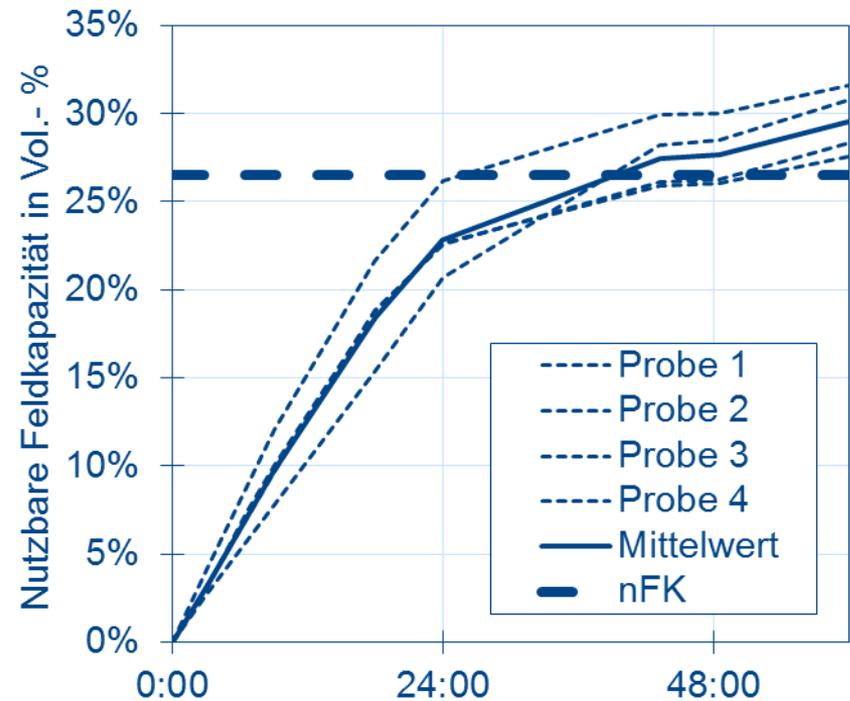
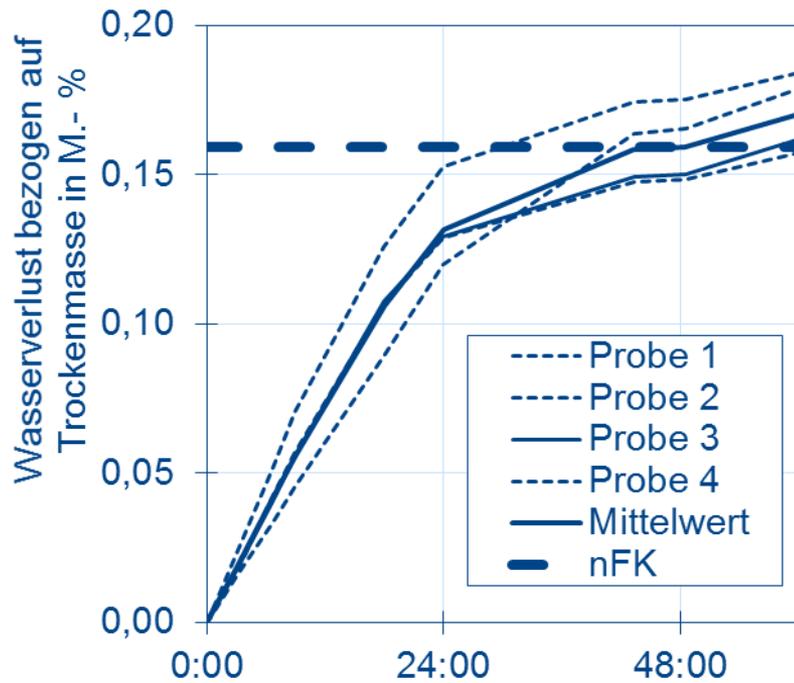
Strukturuntersuchungen II (ESEM 100 bis 500-fach)

| Uhrzeit | Zeit | Gesamtmasse $m_{\text{Boden}} + m_w + m_{\text{Ko}}$ | Masse Kons- truktion m_{Ko} | Boden + Wasser $m_{\text{Boden}} + m_w$ | Masse Wasser m_w | Wasser- gehalt w | dräniertes Wasser $m_{w \text{ drain}}$ | Σ dräniertes Wasser $m_{w \text{ drain}}$ | Volumen der wassergefüllten Poren V_{Pw} | Feld- kapazität FK | Feld- kapazität FK | Volumen der luftgefüllten Poren V_{PL} | Luft- kapazität LK |
|---------------|----------|---|--|---|--------------------------|--------------------------|--|--|--|---------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 = 2 - 1 | 4 = 3 - m_d | 5 = 4 / m_d | 6 _x = 4 _{x-1} - 4 _x | 7 _x = 6 _{x-1} + 6 _x | 8 = 4 | 9 = 8 / $V_2 \times 10^3$ | 10 = 8 / V_2 | 11 _x = 8 _{x-1} - 8 _x | 12 = 11 / V_2 |
| | [h] | [g] | [g] | [g] | [g] | M.- [%] | [g] | [g] | [cm ³] | mm/m | Vol.- [%] | [cm ³] | Vol.- [%] |
| 24.8.16 14:10 | 0:00:00 | 18410,4 | 393,7 | 18016,7 | 3155,0 | 0,212 | 0,00 | 0,00 | 3155,00 | 368,47 | 36,85% | 0,0 | 0,00% |
| 24.8.16 14:30 | 0:20:00 | 18276,8 | 356,1 | 17920,7 | 3059,0 | 0,206 | 96,00 | 96,00 | 3059,00 | 357,26 | 35,73% | 96,0 | 1,12% |
| 24.8.16 17:15 | 3:05:00 | 18001,1 | 356,1 | 17645,0 | 2783,3 | 0,187 | 275,70 | 371,70 | 2783,30 | 325,06 | 32,51% | 371,7 | 4,34% |
| 24.8.16 19:00 | 4:50:00 | 17941,6 | 356,1 | 17585,5 | 2723,8 | 0,183 | 59,50 | 431,20 | 2723,80 | 318,11 | 31,81% | 431,2 | 5,04% |
| 24.8.16 21:30 | 7:20:00 | 17892,4 | 356,1 | 17536,3 | 2674,6 | 0,180 | 49,20 | 480,40 | 2674,60 | 312,36 | 31,24% | 480,4 | 5,61% |
| 25.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |
| 25.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |
| 25.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |
| 25.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |
| 26.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |
| 26.8.16 05:20 | 15:10:00 | 17844,4 | 356,1 | 17488,3 | 2626,6 | 0,177 | 48,00 | 528,40 | 2626,60 | 306,76 | 30,68% | 528,4 | 6,17% |



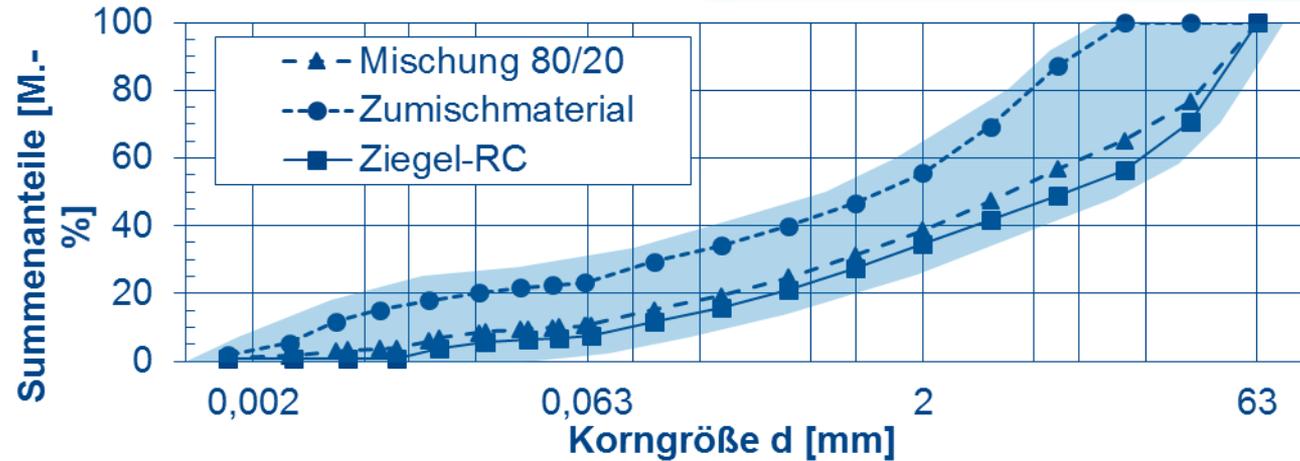
Forschungsergebnisse

Trocknung und Bestimmung der nFK



Forschungsergebnisse

Mischungsversuche



Kennwerte

| Parameter | Symbol | Einheit | Tabellen-/Literaturwert | Messwert |
|--------------------------|------------------|-------------------|---|----------------------|
| Wasserdurchlässigkeit | k | m/s | 1×10 ⁻⁴ bis 1 × 10 ⁻⁶ | 7 × 10 ⁻⁵ |
| Wassergehalt | w | M.-% | 11,0...13,7 | 4,9...20,5 |
| wirksamer Reibungswinkel | φ' | Grad | 35,0...37,5 | n.b. |
| eff. wirksame Kohäsion | c' | kN/m ² | 0 | n.b. |
| Korndichte | ρ _s | g/cm ³ | 2,6...2,8 | 2,75 |
| Rohdichte | ρ _{Roh} | g/cm ³ | 1,6...2,2 | 1,7...2,2 |
| Schüttdichte | ρ _{Sch} | g/cm ³ | 1,1...1,5 | 1,45 |
| Proctordichte | ρ _{Pr} | g/cm ³ | k.A. | 1,7 |
| optimaler Wassergehalt | w _{opt} | M.-% | k.A. | 18 |
| Krümmungszahl | CC | - | k.A. | 1,2 |
| Ungleichförmigkeitszahl | CU | - | 200...300 | 247 |
| Kalkgehalt | - | M.-% | > 5 % (stark kalkhaltig) | > 5 % |

Grenzen der Praxisübertragung

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Bundesbodenschutzgesetz

Mantelverordnung



Grenzen der Praxisübertragung

Mantelverordnung

Artikel 2 Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV):

(2) Diese Verordnung gilt nicht für:

„...das Auf- und Einbringen von mineralischen Ersatzbaustoffen **auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht oder zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht**, auch dann nicht, wenn die durchwurzelbare Bodenschicht im Zusammenhang mit der Errichtung eines technischen Bauwerkes auf- oder eingebracht oder hergestellt wird...“

Seite 131:

Zusätzliche Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht

„...Bodenmaterial und Baggergut **mit nicht mehr als 10 Volumenprozent** bereits beim Anfall enthaltener mineralischer Fremdbestandteile und ohne sichtbare Störstoffe sowie...“

Grenzen der Praxisübertragung

Deponieverordnung

DepV - Teil 3: Verwertung von Deponieersatzbaustoffen:

„...soweit hierdurch das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.“

(2) „Zur Herstellung von Deponieersatzbaustoff sowie unmittelbar als Deponieersatzbaustoff dürfen nicht verwendet werden:

1. **Abfälle nach § 7 Absatz 1** sowie Abfälle, die Asbest oder andere gefährliche Mineralfasern enthalten...“

Anhang 3 Tabelle 2: Zuordnungswerte → Spalte 9 „Rekultivierungsschicht“

- Organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz
- Feststoffkriterien
- Eluatkriterien

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | g ¹⁾ |
|---------------------------|--|------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| Nr. | Parameter | Maßeinheit | Geologische Barriere | DK 0 | DK I | DK II | DK III | Rekultivierungsschicht |
| Trockenrückstandes | | | | | | | | |
| 2.07 | extrahierbare lipophile Stoffe in der Originalsubstanz | Masse% | | ≤ 0,1 | ≤ 0,4 ⁵⁾ | ≤ 0,8 ⁵⁾ | ≤ 4 ⁵⁾ | |
| 2.08 | Blei | mg/kg TM | | | | | | ≤ 140 |
| 2.09 | Cadmium | mg/kg TM | | | | | | ≤ 1,0 |
| 3.11 | Chlorid ¹²⁾ | mg/l | ≤ 10 | ≤ 80 | ≤ 1 500 ¹³⁾ | ≤ 1 500 ¹³⁾ | ≤ 2 500 | ≤ 10 ¹⁴⁾ |
| 3.12 | Sulfat ¹²⁾ | mg/l | ≤ 50 | ≤ 100 ¹⁵⁾ | ≤ 2 000 ¹³⁾ | ≤ 2 000 ¹³⁾ | ≤ 5 000 | ≤ 50 ¹⁴⁾ |
| 3.13 | Cyanid, leicht freisetzbar | mg/l | ≤ 0,01 | ≤ 0,01 | ≤ 0,1 | ≤ 0,5 | ≤ 1 | |
| 3.14 | Fluorid | mg/l | | ≤ 1 | ≤ 5 | ≤ 15 | ≤ 50 | |
| 3.15 | Barium | mg/l | | ≤ 2 | ≤ 5 ¹³⁾ | ≤ 10 ¹³⁾ | ≤ 30 | |
| 3.16 | Chrom, gesamt | mg/l | | ≤ 0,05 | ≤ 0,3 | ≤ 1 | ≤ 7 | ≤ 0,03 |
| 3.17 | Molybdän | mg/l | | ≤ 0,05 | ≤ 0,3 ¹³⁾ | ≤ 1 ¹³⁾ | ≤ 3 | |
| 3.18a | Antimon ¹⁶⁾ | mg/l | | ≤ 0,006 | ≤ 0,03 ¹³⁾ | ≤ 0,07 ¹³⁾ | ≤ 0,5 | |
| 3.18b | Antimon - C ₀ -Wert ¹⁶⁾ | mg/l | | ≤ 0,1 | ≤ 0,12 ¹³⁾ | ≤ 0,15 ¹³⁾ | ≤ 1,0 | |
| 3.19 | Selen | mg/l | | ≤ 0,01 | ≤ 0,03 ¹³⁾ | ≤ 0,05 ¹³⁾ | ≤ 0,7 | |
| 3.20 | Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen ¹²⁾ | mg/l | ≤ 400 | ≤ 400 | ≤ 3 000 | ≤ 6 000 | ≤ 10 000 | |
| 3.21 | elektrische Leitfähigkeit | µS/cm | | | | | | ≤ 500 |

Grenzen der Praxisübertragung

KrWG [Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)]

§ 5 Ende der Abfalleigenschaft

(1) „Die Abfalleigenschaft eines Stoffes oder Gegenstandes endet, wenn dieser ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass

1. er üblicherweise für **bestimmte Zwecke** verwendet wird...“

• Randbedingungen:

- Verwertungsverfahren
- Umweltverträglichkeit
- positiver Marktwert

2. § 9 Getrennhalten von Abfällen zur Verwertung, Vermischungsverbot

(2) „Die Vermischung, einschließlich der Verdünnung, gefährlicher Abfälle mit anderen Kategorien von gefährlichen Abfällen oder mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien **ist unzulässig.**“

Grenzen der Praxisübertragung

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554)

§ 12 Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden

(2) „Das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht... **ist zulässig, wenn**

- ... die **Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen** gemäß § 7 Satz 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und § 9 dieser Verordnung **nicht hervorgerufen wird und**
- **mindestens eine** der in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 3 Buchstabe b und c des Bundes-Bodenschutzgesetzes genannten **Bodenfunktionen nachhaltig gesichert oder wiederhergestellt wird.**“

Zusammenfassung

Nutzung anthropogener Lager mineralischer Abbruchmassen:

- nur als technische Substrate
- nicht für bodenähnliche Anwendungen

Aktueller Forschungsbedarf:

- Materialverfügbarkeit, -qualität, -stoffströme etc.
- Materialanpassung durch qualifizierte Mischungsvorgaben
- mechanische Langzeitparameter, chemischer Hintergrund
- Sanierungsaufwand, Sonderverfahren (Einkapselung von Einzelkörnern oder in Matrix)

- **Rückgewinnung von Rohstoffen (urban mining...)**
- **Rückbau oder Nachsorge**

Geotechnik trifft Zukunft

Herausforderungen & Forschungsbedarf

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik 2016

Berücksichtigung von Nachhaltigkeit & Ressourcenschonung

Entwicklungs- Forschungsbedarf:

- Entwicklung von Designböden
- Einsatz industrieller Nebenprodukte, Abfälle und Recyclingmaterialien



...oder trifft die Zukunft die Geotechnik? – Vielen Dank...