



Oberflächenabdichtungs- Testfelder

**Ergebnisse aus über 20
Jahren Feldversuchs-Betrieb
der Dillinger Hüttenwerke**

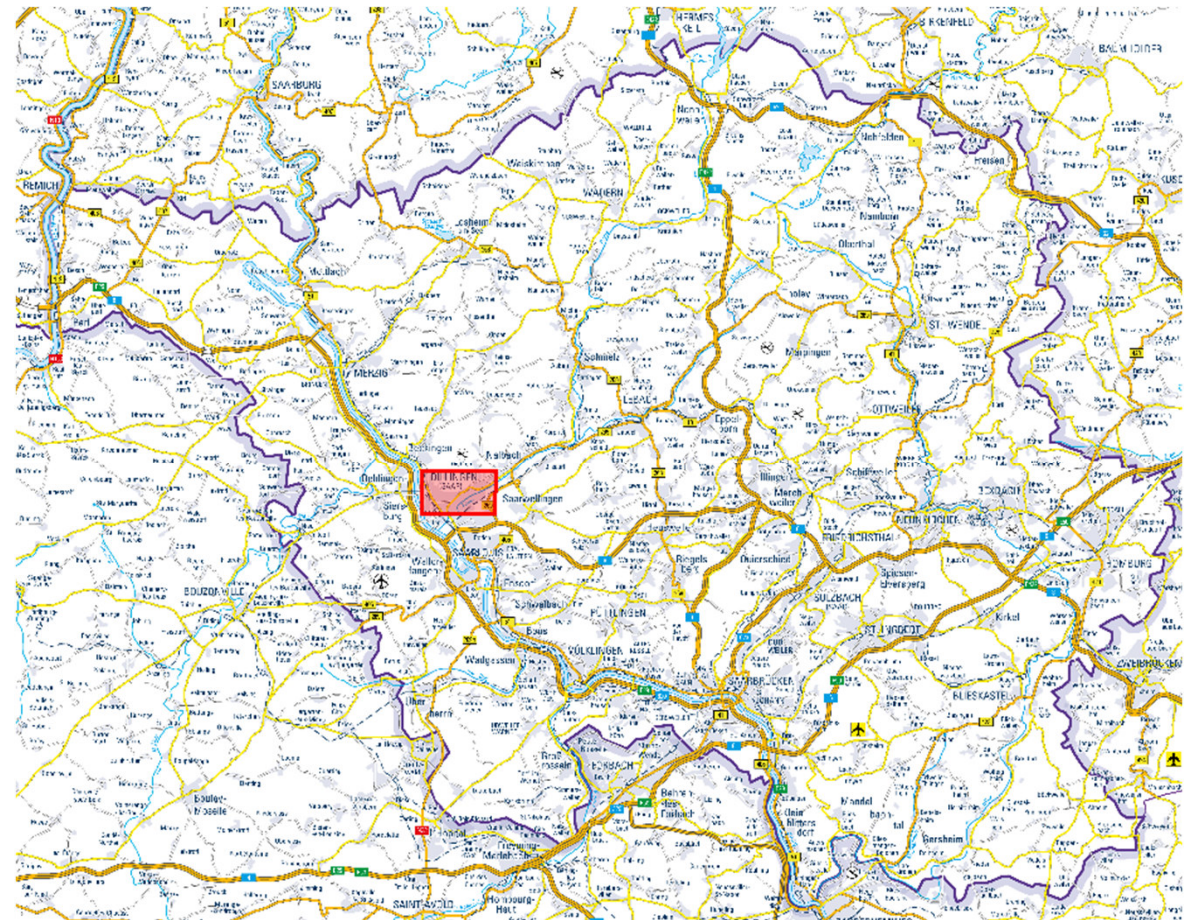
DILLINGER 

We are Pure Steel+

AG der Dillinger Hüttenwerke

Werksstandort Dillingen/Saar

- Saarland
- Mündung des Flüsschens Prims in die Saar
- nördlich der 1680 gegründeten Vauban-Festungsstadt Saarlouis
- Gründung einer Eisenhütte 1685 (Ludwig XIV)



2

Oberflächenabdichtungs-Testfelder

Ergebnisse aus über 20 Jahren Feldversuchs-Betrieb der Dillinger Hüttenwerke, 16.10.2024

We are Pure Steel+

AG der Dillinger Hüttenwerke

Werksstandort Dillingen/Saar

heute, 339 Jahre
später:

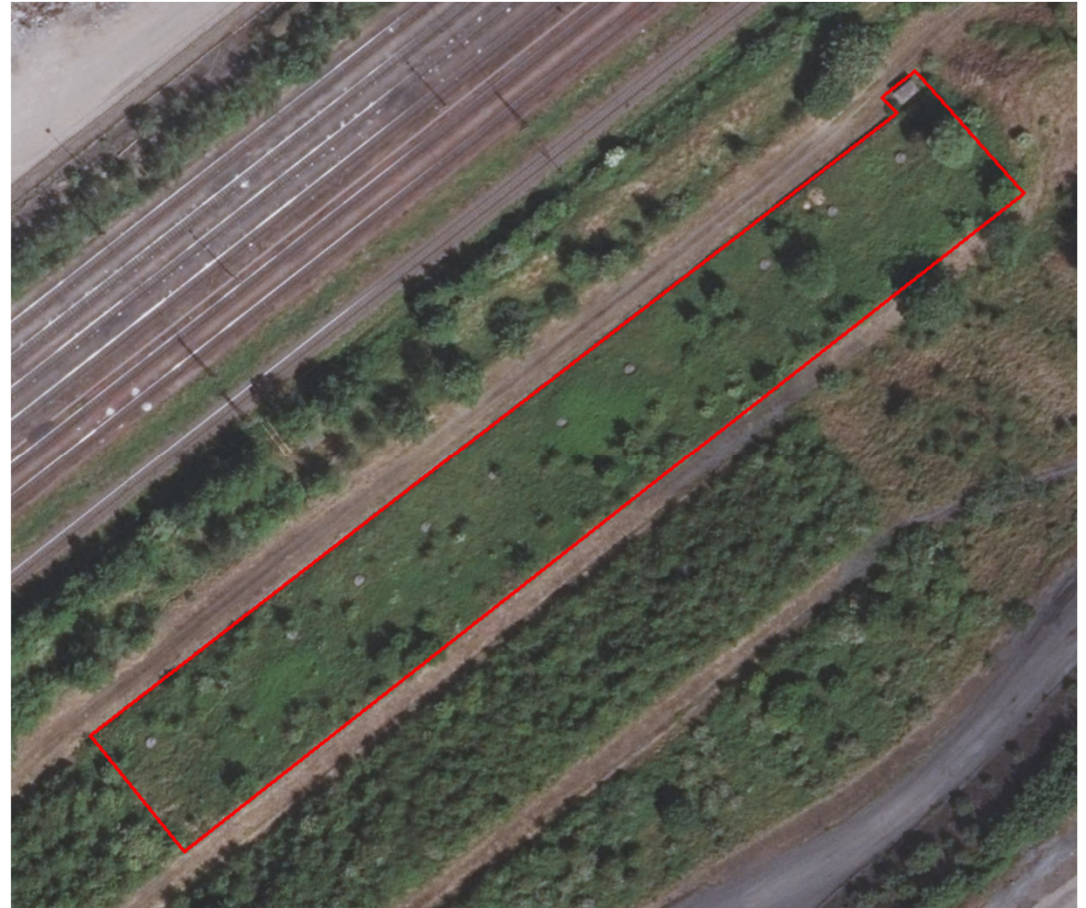
- Integrierte
Stahlherstellung von
Erz und Kohle über
Roheisen und Stahl
bis zum gewalzten
Grobblech
- ca. 5350 Mitarbeiter
- ca. 1,85 Mio t/a
Grobblech
- und:
eine werkseigene
DK1-Deponie



AG der Dillinger Hüttenwerke Werkseigene DK1-Deponie



Feldversuchsanlage am Nordhang



4

Oberflächenabdichtungs-Testfelder

Ergebnisse aus über 20 Jahren Feldversuchs-Betrieb der Dillinger Hüttenwerke, 16.10.2024

We are Pure Steel+

AG der Dillinger Hüttenwerke

Versuchsziele

- angelegt, um unter Realbedingungen die, von der damaligen TA-Siedlungsabfall (TASi) geforderten, **Gleichwertigkeitsnachweise für 11 verschiedene Dichtungsvarianten gegenüber der „Regelabdichtung auf Basis Tonmineralien“** zu führen. Heutige Bewertung anhand bundeseinheitlicher Qualitätsstandards (BQS). Ziel: Ersatz Tonminerale durch eisenhüttenstämmige Mineralstoffe.
- darüber hinaus wurde untersucht, welchen **Beitrag unverdichtet abgelegte bindige Rekultivierungsböden mit einer vitalen Vegetation** am Wasseraustrag aus dem Wasserhaushalt einer Oberflächenabdichtung leisten. Ziel: Minimierung der Sickerspende unterhalb der Rekultivierungsschicht.

Feldversuchsanlage

12 Großlysimetern auf ca. 4600 m² Fläche

- je ca. 200 m² Fläche und
- 420 bis 510 m³ Volumen
- Komplexe hydraulische Abgrenzung zur Vermeidung von Randumläufigkeit
- Durchgehende Rekultivierungsschicht



Feldversuchsanlage

Bau der 12 Großlysimetern in 2001, Datenauswertung ab 1.4.2002

- 1 : 2,5 (23°) Hangneigung
- Jeweils ein Messschacht DN1800 zur Aufnahme Messgeräte, Steuerung und Datenlogger



Feldversuchsanlage

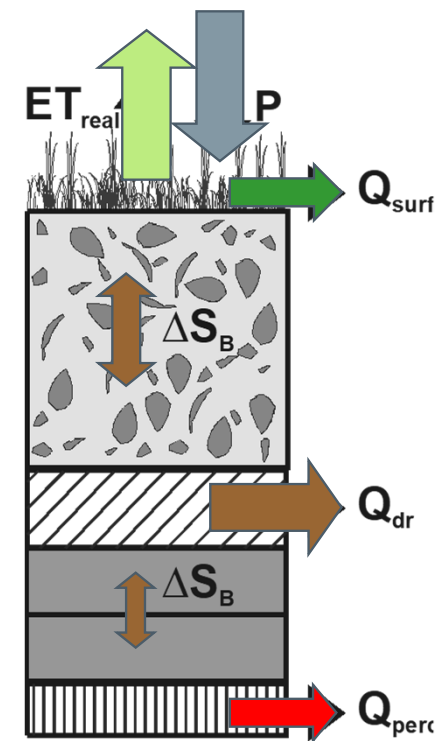
Messumfang und Auswertungen

Erfassung der meteorologischen Kennwerte (Wetterstation vor Ort)

Messung des Abflussverhaltens der Einzelschichten

Ableitung von Wasserhaushaltsbilanzen

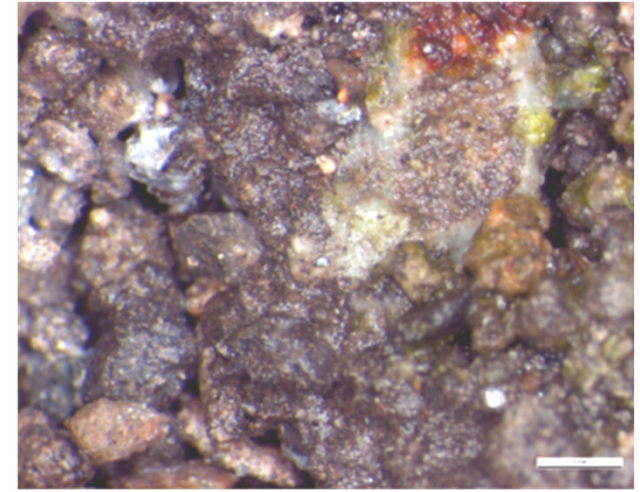
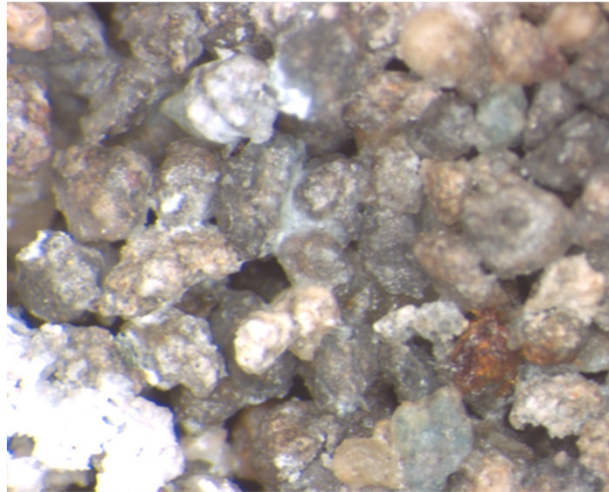
$$P = ET_{\text{real}} \pm \Delta S_B + Q_{\text{surf}} + Q_{\text{drain}} + Q_{\text{perc}}$$



Feldversuchsanlage

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

- Gießpfannen oder Konverter-Schlacke als Dichtungsbaustoff ?



Einlagerungsverdichtung

In Stahlwerksschlacken vorliegendes **mobiles Ca(OH)_2** reagiert unter CO_2 -Verbrauch in wässriger Lösung zu CaCO_3 .

=> Ausfällung von großen Mengen **CaCO_3** dort, wo die Lösung mit Atmosphären- CO_2 und Porenwasser in Berührung kommt.

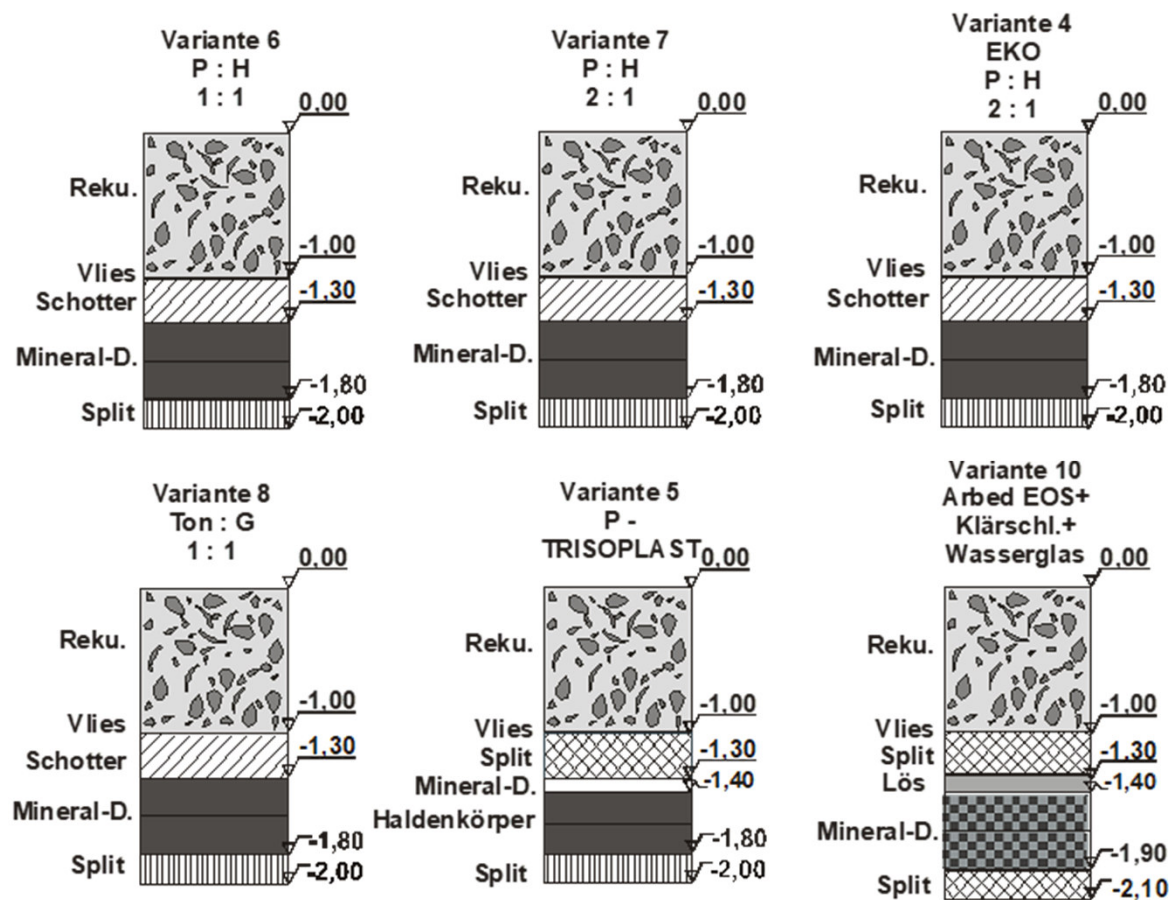
=> Langfristige diffusive Nachlieferung von Ca(OH)_2 aus dem Korninneren entlang eines Sättigungsgradienten.

Feldversuchsanlage

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

• Dichtungs-Baustoff- Varianten im direkten Vergleich untereinander:

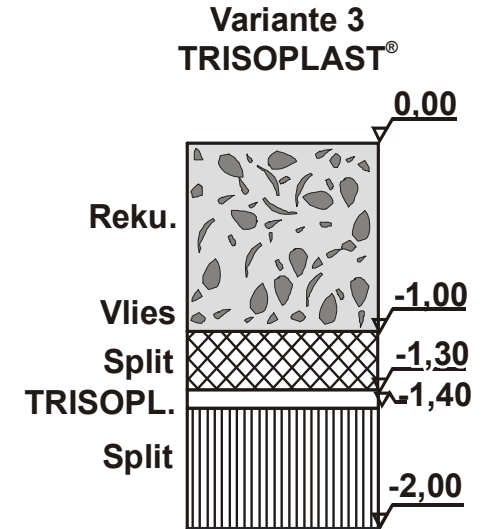
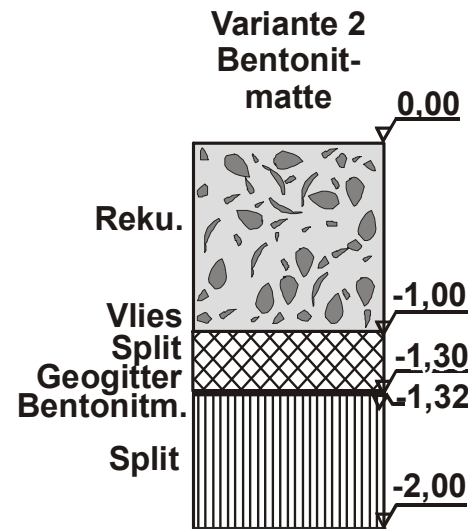
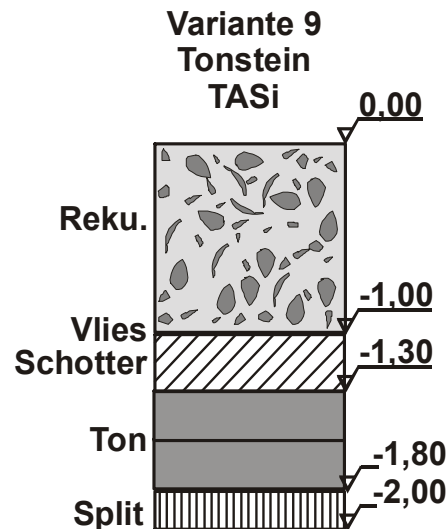
- Gießfannenschlacke P
- Hochofenfeinststaub H
- Elektroofenschlacke EOS
- Ton
- Trisoplast
- Klärschlamm (kommunal)
- Wasserglas



Feldversuchsanlage

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

- **Dichtungs-Baustoff-Varianten im direkten Vergleich zu „marktgängigen“ tonmineralischen Dichtungsbaustoffen**



Feldversuchsanlage

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

- Bindiger Boden aus Buntsandstein-verwitterung
- Locker abgelegt mit Langarmbagger ohne Glätten der Oberfläche



Schwemmboden der Prims

Su2 - Su3 (SI2)

FK 25,9 % nFK 10,1 %

Oberboden

Su2

FK 19,5 % nFK 13,4 %

10 % überhöhter Einbau

keine künstliche Begrünung



Feldversuchsanlage

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

- 3 Schicht-
mächtigkeiten:
30 cm, 100 cm
und 200 cm



Ergebnisse

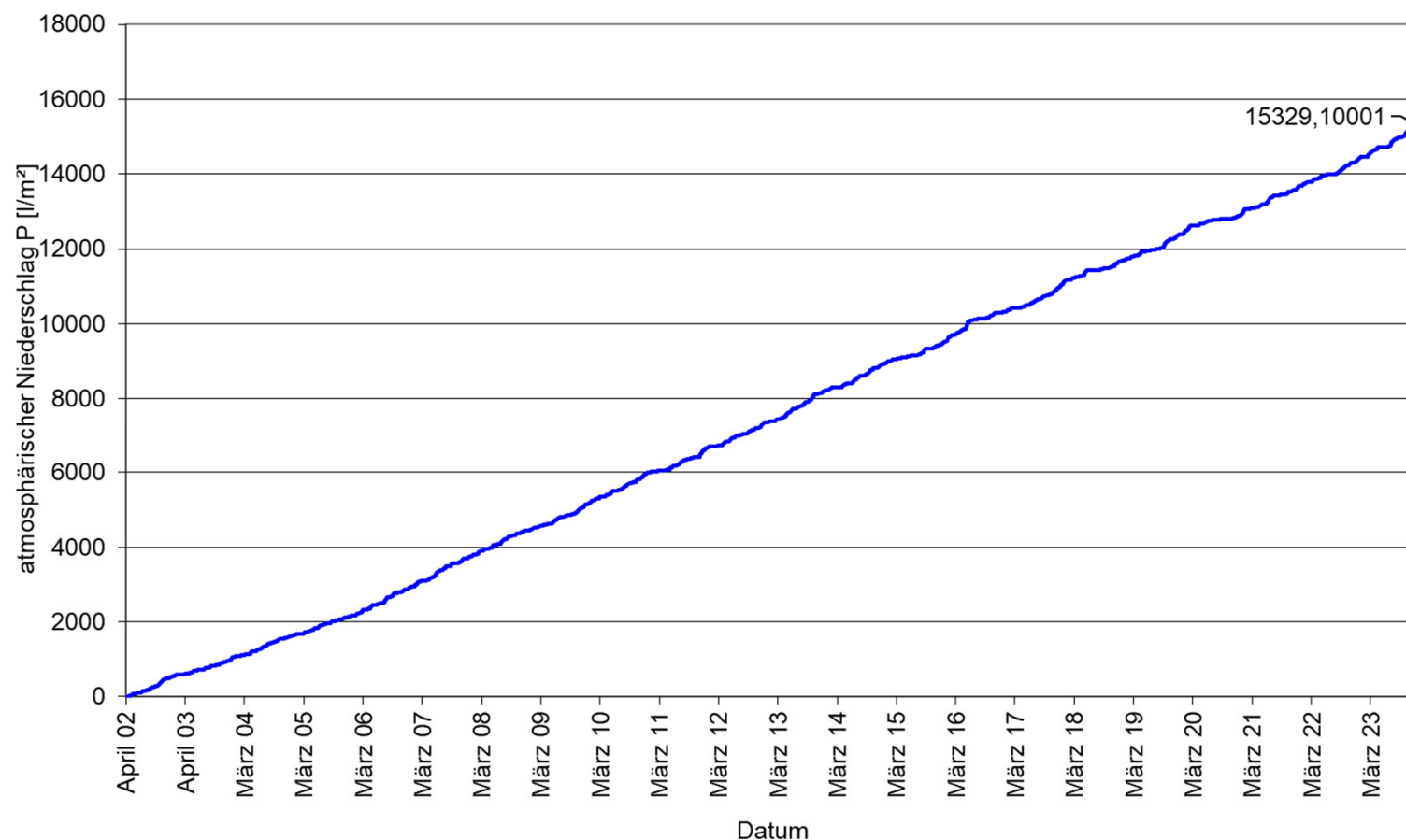
- **Dichtungsbaustoffe**
- **Wasserhaushaltswirksame Reku**



Feldversuchs-Ergebnisse

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

- Ca. **700 mm**
Jahresniederschlag
- In 22 Jahren ca.
15.000 l/m²
Niederschlagseintrag



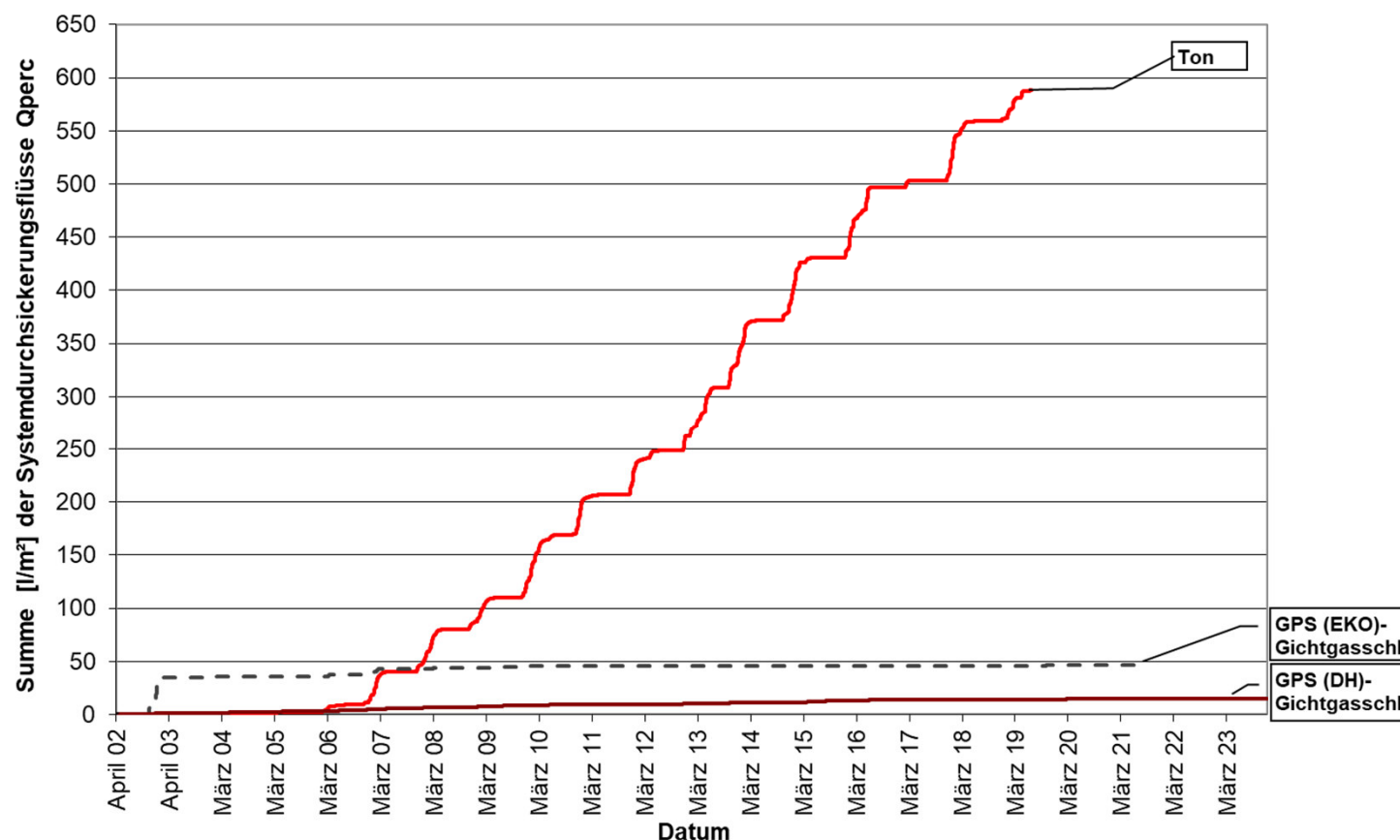
Feldversuchs-Ergebnisse

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

Vergleich zwischen den
Summenkurven der
Durchsickerung durch die
OFA mit

- tonmineralischer Dichtung
- Gießpfannen-Schlacke

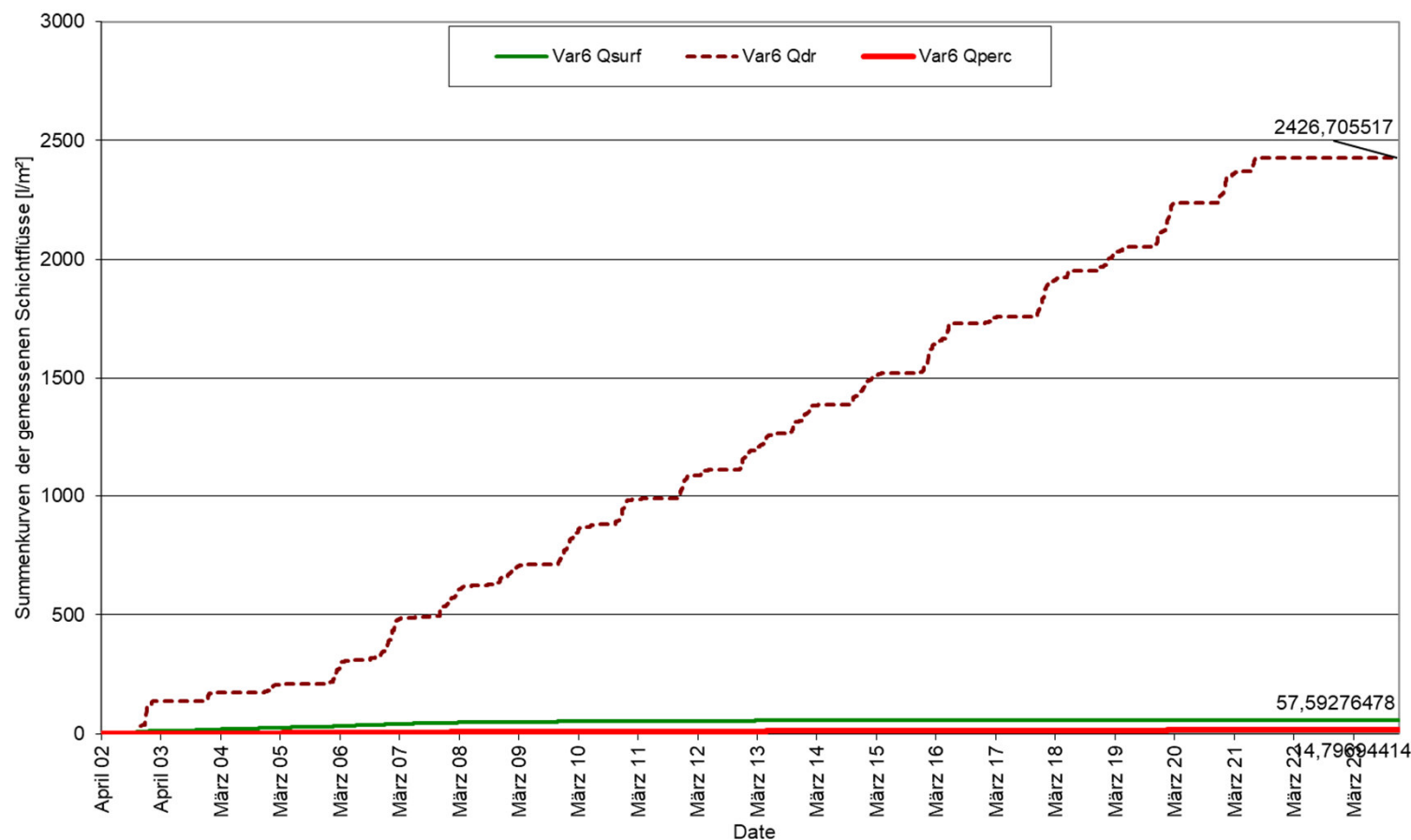
Beide unter 5% des
Niederschlagseintrags



Feldversuchs-Ergebnisse

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

- Summenkurven der
Oberflächen-,
Drainagen- und
Durchsickerungs-
Mengen in l/m² für die
OFA auf Basis
Gießpfannenschlacke

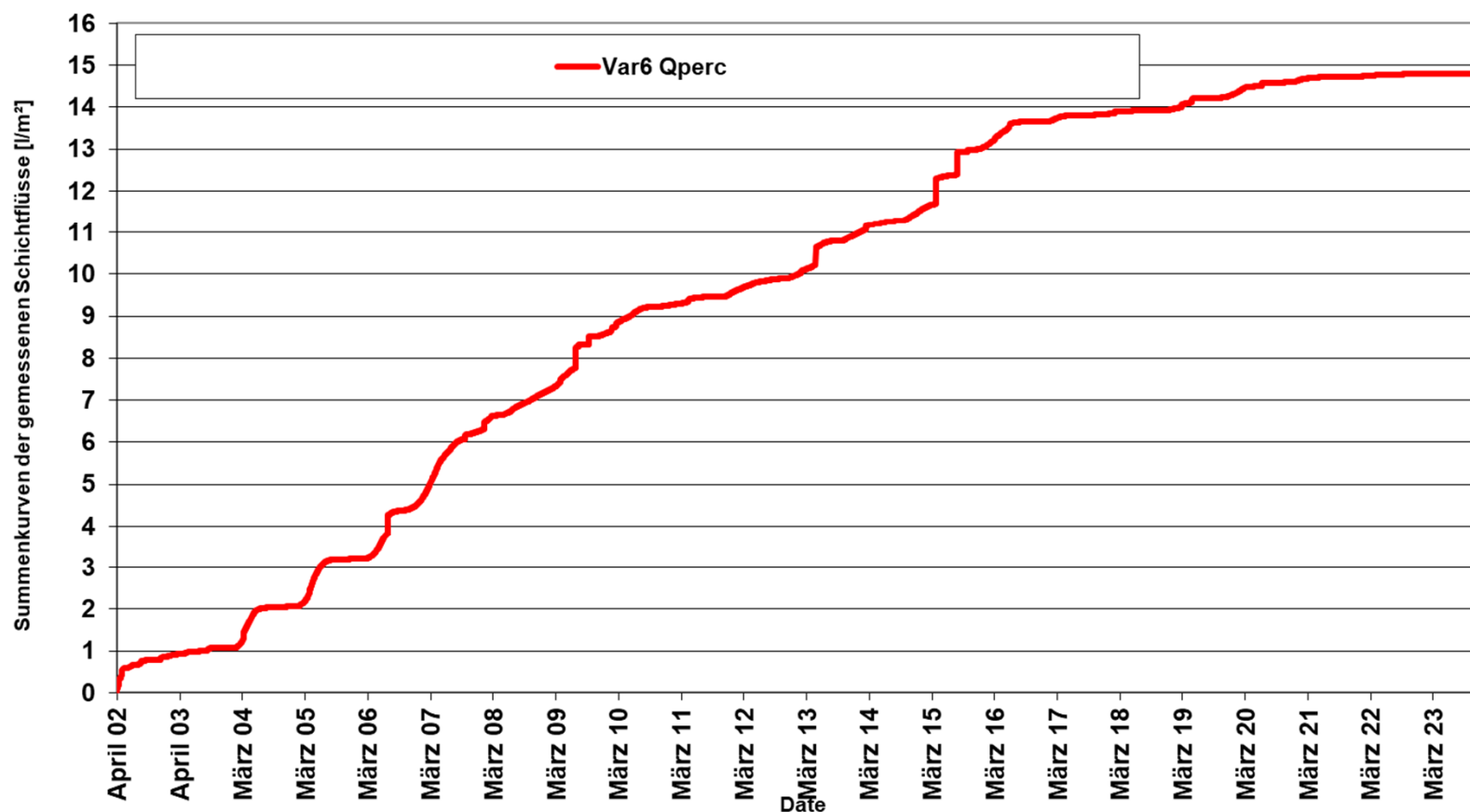


Feldversuchs-Ergebnisse

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

Var6 Qperc

Summenkurve der
Durchsickerung in
 l/m^2 für die OFA-
Variante mit
Gießpfannenschlacke
als Dichtungsbaustoff



Feldversuchs-Ergebnisse

Stahlwerks-Schlacken als mineralischer Dichtungsbaustoff

BQS 5-0 Anforderungen

Die k-Werte wurden für die eingebaute Dichtungsschicht

1. nach Einbau ermittelt
2. aus den gemessenen Flüssen rückgerechnet.

Ergebnis	Versuchszeitraum	Anforderung BQS
$k \leq 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	FÜ Einbau	$k \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ (DIN 18130)
$k \leq 4,62 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$	Mittel-k-Wert 1.4.2002 bis 1.4.2009, aus $n = 2557$ Tages-k-Werten, soweit Drainagefluss erfolgte	Nicht nach DIN 18130
$k \leq 1,09 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	95%-Quantil aus $n=2557$ Tages-k-Werten, soweit Drainagefluss erfolgte	Nicht nach DIN 18130
$Q_{\text{perc}} \varnothing \text{Jahre } 1-5 = 1,0 \text{ mm/Jahr}$ $Q_{\text{perc}} \varnothing \text{Jahre } 2-6 = 1,14 \text{ mm/Jahr}$ $Q_{\text{perc}} \varnothing \text{Jahre } 3-7 = 1,22 \text{ mm/Jahr}$	1.4.2002 bis 1.4.2009 im 5-jährigen Mittel	Permeation $\leq 20 \text{ mm/Jahr}$ im 5-jährigen Mittel
$Q_{\text{perc}} \Sigma \text{Jahre } 1-7 = 7,34 \text{ l/m}^2$ $713,04 \text{ l/m}^2$ Drainagefluss, 4576 mm Niederschlag	1.4.2002 bis 1.4.2009 Summarisch 7 Jahre	



Ergebnisse

- Dichtungsbaustoffe
- **Wasserhaushaltswirksame Reku**



Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

Entwicklung der **nutzbaren**

Feldkapazität nFK anhand

von 135 Bodenproben aus

3 Tiefen der

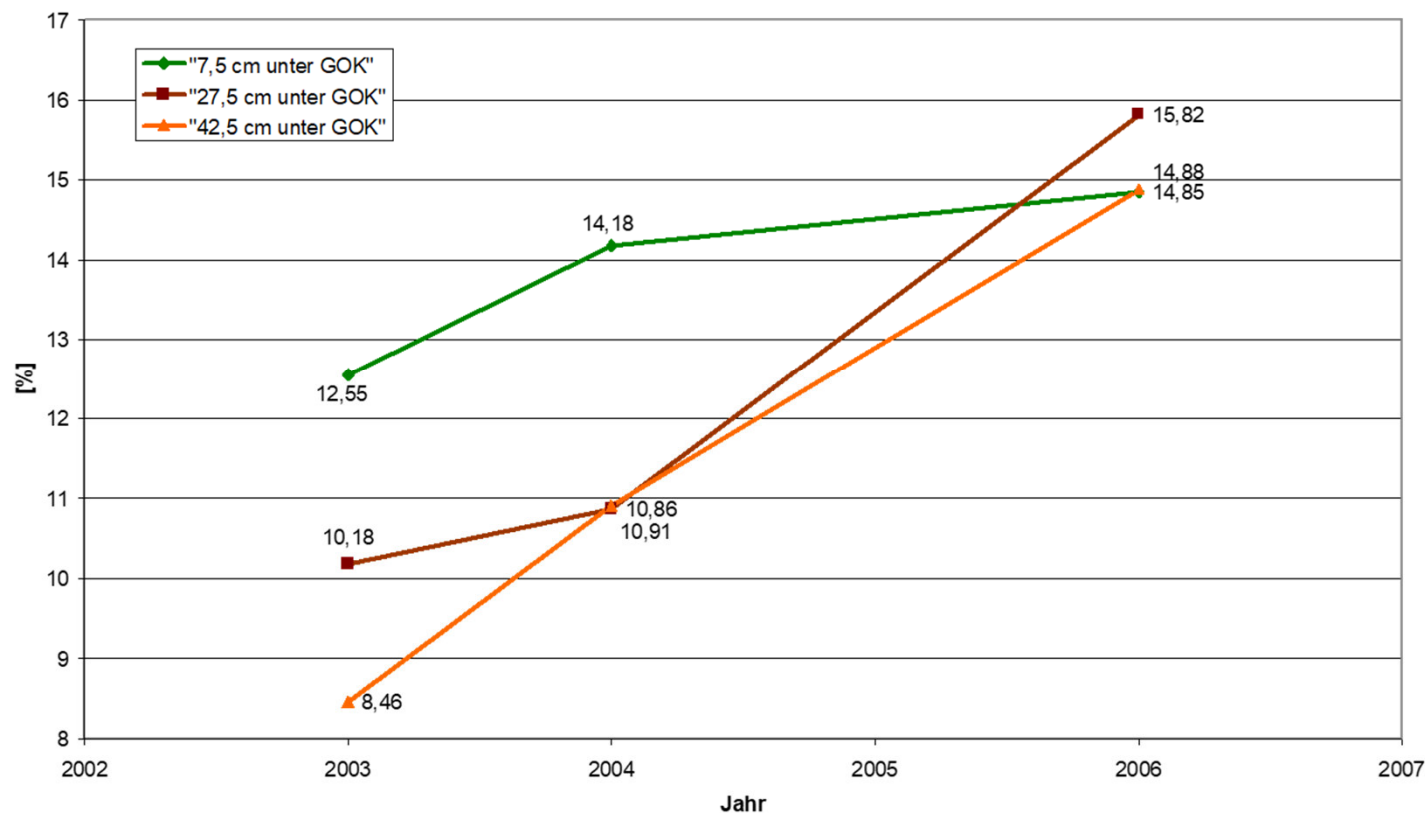
Rekultivierungsschichten:

5-10 cm unter GOK

25-30 cm unter GOK

40-45 cm unter GOK

Entwicklung der nFK (pF 4,2 bis 1,8) in 3 Tiefenstufen unter GOK

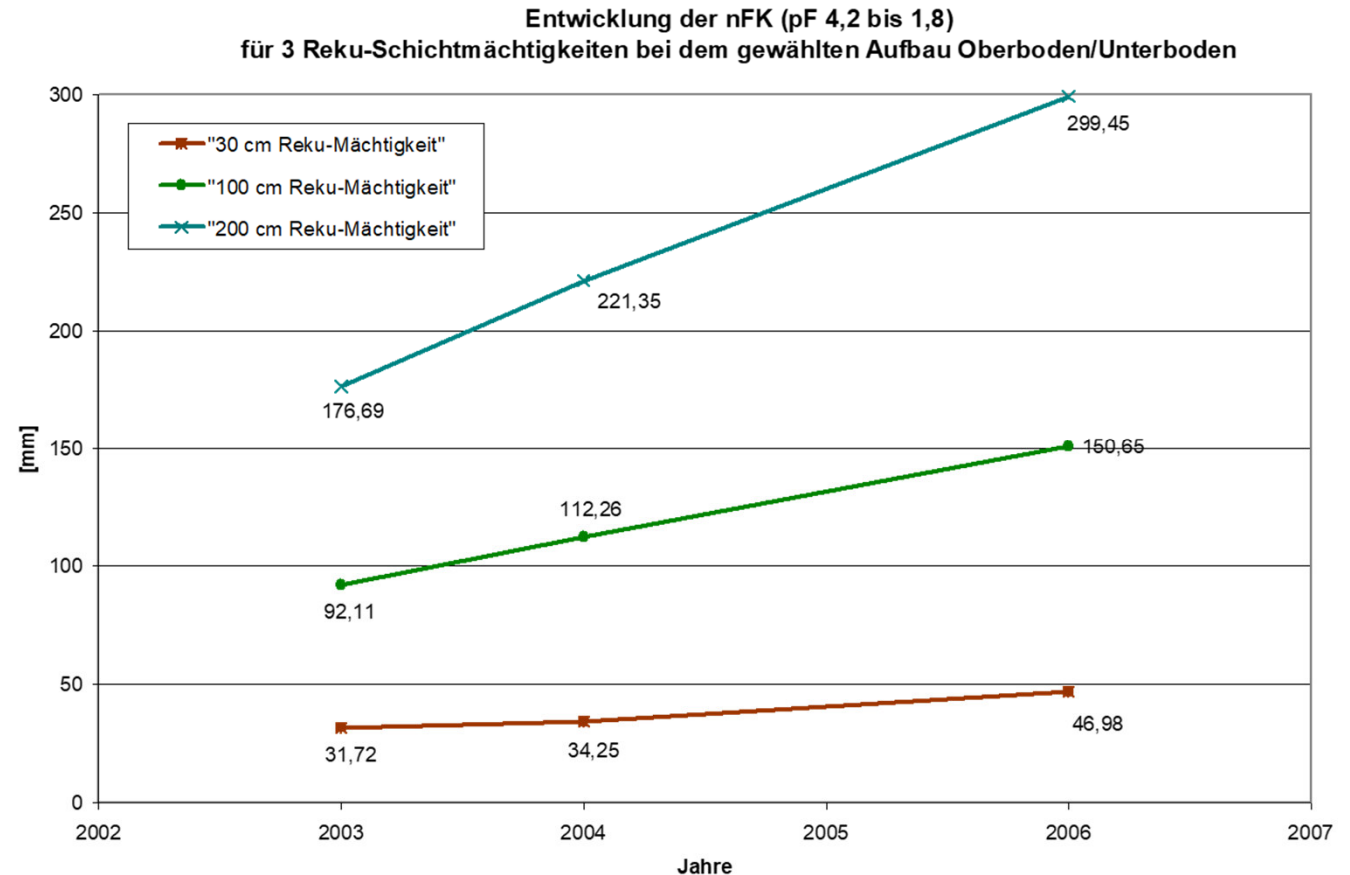


Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

Entwicklung des
pflanzenverfügbaren
Wasserangebots in mm bzw.
l/m² anhand der nFK der 135
Bodenproben

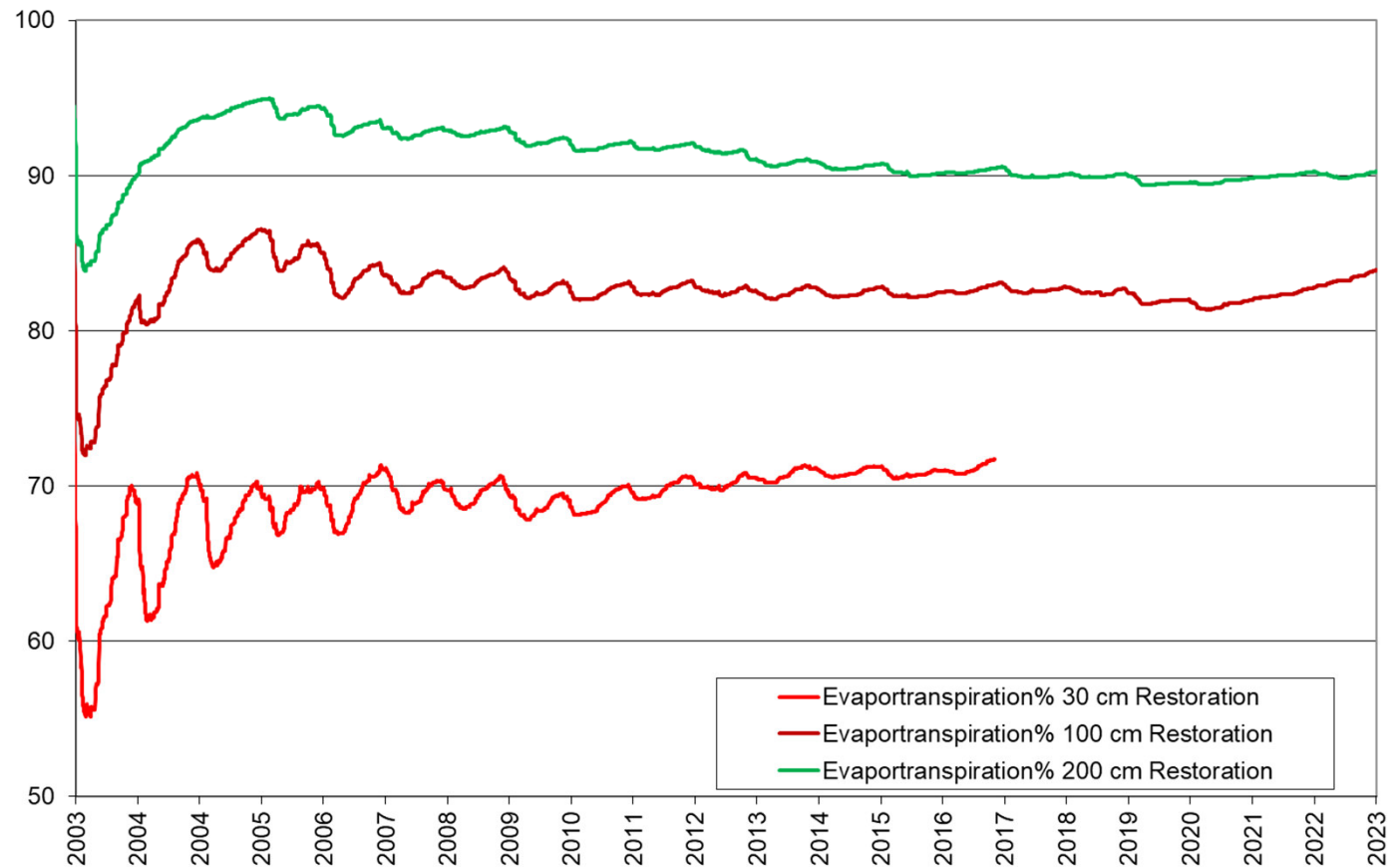
für **200 cm, 100 cm und 30 cm**
Rekultivierungs-Aufbau



Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

- **Wirkungsgrad** der Reku
beim Austrag von
Niederschlag aus dem OFA-
System
- **%-Anteil der realen
Evapotranspiration am
Niederschlagseintrag**



Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

- **BQS 7-2**
- 5-Jahresmittel der
Durchsickerung **< 10 %**
des mittleren
Niederschlags-Eintrags
von 782 mm

%P des 30jährigen Mittels				Soll < 10%
5-Jahresgruppe	Regen	2m WHS Feld 11	2m WHS Feld 12	Durchschnitt 2m WHS
	30 jähriges Mittel P [mm]	Qperc %P	Qperc %P	Qperc %P
2002-2006	782,00	3,12	1,24	2,18
2003-2007	782,00	3,21	1,04	2,13
2004-2008	782,00	2,02	0,51	1,27
2005-2009	782,00	2,12	0,52	1,32
2006-2010	782,00	2,68	0,54	1,61
2007-2011	782,00	2,04	0,48	1,26
2008-2012	782,00	1,24	0,21	0,72
2009-2013	782,00	1,00	0,08	0,54
2010-2014	782,00	1,08	0,08	0,58
2011-2015	782,00	0,52	0,07	0,30
2012-2016	782,00	0,46	0,08	0,27
2013-2017	782,00	0,35	0,07	0,21
2014-2018	782,00	0,28	0,07	0,18
2015-2019	782,00	0,10	0,39	0,24
2016-2020	782,00	0,09	0,55	0,32
2017-2021	782,00	0,06	0,54	0,30
2018-2022	782,00	0,29	0,54	0,42
2019-2023	782,00	0,29	0,54	0,41



Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

- **BQS 7-2**
- Jahres-Eintrag in den Deponiekörper **< 60 mm**
- Im Durchschnitt aller Jahre 2002-2023 **7,7 mm**

Einzeljahres-Summen		Soll < 60mm		
Jahr	offiz. Regen Dill SLS	2m WHS Feld 11	2m WHS Feld 12	Durchschnitt 2m WHS
	P [mm]	Qperc [mm]	Qperc [mm]	Qperc [mm]
2002	1017,9	32,8	18,6	25,7
2003	655,1	58,9	26,4	42,7
2004	800,0	0,6	0,3	0,5
2005	695,3	0,8	0,7	0,7
2006	898,1	29,1	2,3	15,7
2007	958,9	36,1	11,0	23,6
2008	835,9	12,5	5,6	9,0
2009	710,4	4,3	0,7	2,5
2010	758,3	22,7	1,4	12,1
2011	544,5	4,3	0,2	2,2
2012	645,7	4,5	0,5	2,5
2013	946,8	3,2	0,4	1,8
2014	808,2	7,5	0,6	4,1
2015	610,0	0,8	1,3	1,1
2016	922,8	1,9	0,4	1,2
2017	811,7	0,1	0,0	0,1
2018	802,5	0,8	0,2	0,5
2019	764,8	0,2	13,1	6,6
2020	655,3	0,7	7,7	4,2
2021	804,9	0,4	0,1	0,3
2022	778,1	9,2	0,2	4,7
2023	972,0	14,1	0,1	7,1
Durchschnitt	782,2	11,2	4,2	7,7



Feldversuchs-Ergebnisse

Lockere Schüttung des Rekultivierungsbodens zur Optimierung der Evapotranspiration

• BQS 7-2

Jahres-Eintrag in den Deponiekörper < 20 mm

5 jährige Mittel der Durchsickerung				Soll < 20mm
5-Jahresgruppe		2m WHS Feld 11	2m WHS Feld 12	Durchschnitt 2m WHS
		Qperc [mm]	Qperc [mm]	Qperc [mm]
2002-2006	ab 1.4.2002	24,4	9,7	17,0
2003-2007		25,1	8,2	16,6
2004-2008		15,8	4,0	9,9
2005-2009		16,5	4,1	10,3
2006-2010		20,9	4,2	12,6
2007-2011		16,0	3,8	9,9
2008-2012		9,7	1,7	5,7
2009-2013		7,8	0,6	4,2
2010-2014		8,5	0,6	4,5
2011-2015		4,1	0,6	2,3
2012-2016		3,6	0,6	2,1
2013-2017		2,7	0,6	1,6
2014-2018		2,2	0,5	1,4
2015-2019		0,8	3,0	1,9
2016-2020		0,7	4,3	2,5
2017-2021		0,4	4,2	2,3
2018-2022		2,3	4,3	3,3
2019-2023		2,2	4,2	3,2



Nutzung und Ausblick

- Realisierung einer an den Ergebnissen orientierten Oberflächenabdichtung auf der werkseigenen Deponie
- Dauerhafter Betrieb der Großlysimeter 11 und 12 („Wasserhaushaltsschicht“)



Ausblick

Realisierung einer an den Ergebnissen orientierten Oberflächenabdichtung

**GPS als
Dichtungsbaustoff**

Genehmigung als
**Ausgleichsschicht mit
nachweislich
abdichtender Wirkung**
(auf Basis der
Feldversuchsergebnisse)



GPS 0/8mm
Einbau mit $d > 20\text{cm}$, $D_{pr} > 97\%$ ($5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$)



Ausblick

Realisierung einer an den Ergebnissen orientierten Oberflächenabdichtung

Wasserhaushaltsschicht:
110 cm Unterboden, 90 cm
humoser Oberboden

unverdichteter Einbau
mit Langarmbagger bzw.
Telebelt

ohne Startbegrünung



$n_{FK} > 160 \text{ mm/m}^3$, $LK > 8 \text{ Vol-\%}$, BQS 7-1 und 7-2 konform

Ausblick

Realisierung einer an den Ergebnissen orientierten Oberflächenabdichtung

2016 und 2017 Rekultivierung (19.000 m²) im Rahmen der Oberflächenabdichtung



GPS-Ausgleichs-/Dichtungsschicht, 0,2 m

Kunststoffdichtungsbahn nur im Bereich Bermenweg

Wasserhaushaltsschicht mit 2 m locker geschüttetem Boden, Selbstbegrünung

Ausblick

Weiterbetrieb der Felder 11 und 12 mit 200cm wasserhaushaltsoptimierter Reku

- **Aktualisierung der Datenerfassung (neuer Logger, neue Datenverbindung, neue PC-Basis)**
- **Vereinfachte und zukunftstaugliche Software-Auswertung, möglichst direkt nach den Erfordernissen der BQS**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Norbert Wolsfeld

AG der Dillinger Hüttenwerke

Abt. Umweltschutz/-technik

norbert.wolsfeld@dillinger.biz

