

Anlage 1

Untersuchungen zum Nachweis
der Eignung der Materialien der
mineralischen Dichtungsschicht;
Kurzfassung,
SIG Hessen Ingenieure

**Untersuchungen zum Nachweis der Eignung der Materialien
der mineralischen Dichtungsschicht
KURZFASSUNG: SECURSOL + NANOALPS (STAND Juni 2019)
K+S KALI GmbH Werk Werra Standort Wintershall
Nachhaltiges Rückstandsmanagement
T2-Flächenvorbereitung, Wasserhaltung
System Basisabdichtung**

- Projekt-Nr. 16511 -

Verteiler: 1. - 4. Ausfertigung K+S KALI GmbH
5. Ausfertigung z. d. A.

Aufgestellt: Specht

Stand: Juni 2019

**Untersuchungen zum Nachweis der Eignung der Materialien
der mineralischen Dichtungsschicht
KURZFASSUNG: SECURSOL + NANOALPS (STAND Juni 2019)
K+S KALI GmbH Werk Werra Standort Wintershall
Nachhaltiges Rückstandsmanagement
T2-Flächenvorbereitung, Wasserhaltung
System Basisabdichtung**

- Projekt-Nr. 16511 -

. Ausfertigung

Stand: Juni 2019



Inhaltsverzeichnis

Seite:

1. Allgemeines	5
2. Aufbau der Abdichtung und Rahmenbedingungen des	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Standortes Wintershall.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3. Laborversuche	7
3.1 Untersuchungen an Gemischen mit Secursol und Polymer	7
3.1.1 Gemischherstellung	7
3.1.2 Chemische Analytik.....	9
3.1.3 Bestimmung Kalkgehalt.....	9
3.1.4 Wassergehalt	9
3.1.5 Proctordichte und optimaler Wassergehalt	9
3.1.6 Kornverteilungen	10
3.1.7 Durchlässigkeit.....	13
3.1.8 Scherversuche	13
4. k_f -Werte Langzeitversuche	14
4.1 Langzeitversuche ab 2015.....	14
4.2 Langzeitversuche ab 2018.....	15
5. Bewertung der Ergebnisse.....	18

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Datenblatt Secursol
Anlage 2	Datenblatt Nanoalps
Anlage 3	Kornverteilungen Secursol + Nanoalps
Anlage 4	Prüfberichte Agrolab
Anlage 5	Ergebnistabelle Secursol + Nanoalps
Anlage 6	Proctorkurven Secursol + Nanoalps
Anlage 7	Grafische Auswertung Durchlässigkeitsbestimmung
Anlage 8	Scherversuche Secursol + Nanoalps
Anlage 9	Grafische Auswertung Durchlässigkeitsbestimmung Langzeitversuche ab 2015
Anlage 10	Grafische Auswertung Durchlässigkeitsbestimmung Langzeitversuche ab 2018



Grundlagen, verwendete Unterlagen

[U32]	LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-0 Mineralische Basisabdichtungskomponenten - übergreifende Anforderungen vom 28.02.2011
[U33]	LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-2 Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus vergüteten natürlichen mineralischen Baustoffen vom 25.09.2013
[U38]	Untersuchungen zum Nachweis der Materialien der mineralischen Dichtungsschicht K+S Kali GmbH Werk Werra Standort Hattorf, Nachhaltiges Rückstandsmanagement T2-Flächenvorbereitung, Wasserhaltung System Basisabdichtung, SIG-HESSSEN Ingenieure, Prof. Steffen, Hütteroth & Schröder GmbH, vom 29. Mai 2015
[U39]	Untersuchungen zum Nachweis der Materialien der mineralischen Dichtungsschicht K+S Kali GmbH Werk Werra Standort Hattorf, Nachhaltiges Rückstandsmanagement T2-Flächenvorbereitung, Wasserhaltung System Basisabdichtung, SIG-HESSSEN Ingenieure, Prof. Steffen, Hütteroth & Schröder GmbH, KURZFASSUNG vom Januar 2016



1. Allgemeines

Die SIG-HESSSEN Ingenieure GmbH wurde am 08.10.2014 durch die K+S KALI GmbH mit der Durchführung von Eignungsuntersuchungen für die Materialien der für die Haldenerweiterung der K+S KALI GmbH, Werk Werra, Standort Hattorf vorgesehen mineralische Dichtungsschicht beauftragt. Zuerst wurden die regional verfügbaren und geeigneten Materialien recherchiert. Danach erfolgte die Begutachtung der Lagerstätten und Materialauswahl für die Rezepturdarstellung. Um die dichteste Packung bzw. dem geringsten Porenraum des Korngerüsts und damit verbundene hohe Verdichtbarkeit sowie geringe Durchlässigkeit zu erreichen, wurden die Materialien mit dem Körnungsband 0/2 mm, 0/8 mm, 0/2 mm, 0/1 mm ausgewählt. Mit diesen Ausgangsbaustoffen wurden drei Versuchsreihen bzw. Versuche mit unterschiedlichen Hilfsstoffen durchgeführt. Dem entsprechende Mischungen werden seit 2018 als Bestandteil des System Basisabdichtung im Rahmen der Haldenerweiterung Hattorf erfolgreich und unter Einhaltung aller Qualitätsanforderungen eingebaut. Daher soll das Dichtungsmaterial auch bei der Haldenerweiterung am Standort Wintershall zum Einsatz kommen.

Versuchsreihe 1

Die Mischung für die Versuchsreihe 1 wurde mit der Zugabe von Hilfsstoff T-Mix (Fertigprodukt aus Tonmehl und Polymer) hergestellt. Die Rezeptur wurde in Anlehnung an die durch die upi Umwelt Projekt Ingenieurgesellschaft mbH ursprünglich für den Standort Zielitz der K+S KALI GmbH vorgeschlagenen Mischungen gewählt. Die Mischverhältnisse wurden entsprechend upi verwendet und sind in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Zuschlagsstoffe	Mischungsverhältnis	
	Obere Lage [%]	Untere Lage [%]
Sand-Kies 0/8 mm	88	0
Sand 0/2 mm	0	76
T-Mix	10	20
Polymer	2	4

Tabelle 1: Obere und untere Lage Oberzella, Bestimmung Mischungsverhältnis

Im Zuge der Untersuchung wurde nachgewiesen, dass das Material die im Rahmenbetriebsplan definierte Anforderungen an die Durchlässigkeit von $k_f \leq 5,0E-10$ m/s für die untere Lage und $k_f \leq 1,0E-09$ m/s für die obere Lage einhält.



Versuchsreihe 2

Die Mischung für die Versuchsreihe 2 wurde alternativ mit der Zugabe von SECURSOL® 3301 (Anlage 1) erstellt. Die Mischungsverhältnisse sind in der Tabelle 2 wiedergegeben:

Zuschlagsstoffe	Mischungsverhältnis	
	Obere Lage [%]	Untere Lage [%]
Kies 2/8 mm	48	2
Sand-Kies 0/8 mm	40	0
Sand 0/2 mm	0	80
Sand 0/1 mm	0	0
Secursol	12	20

Tabelle 2: Obere und untere Lage Oberzella, Bestimmung Mischungsverhältnis

Mit der Untersuchung der Durchlässigkeit der Probekörper mit dem Gesamtaufbau wurde nachgewiesen, dass die Durchlässigkeit des Gesamtsystems von $k_f \leq 5,0E-10$ eingehalten ist.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen 1 und 2 wurden in [U39] zusammenfassend dokumentiert und bewertet.

Versuchsreihe 3

Die Gemische der Versuchsreihe 3 entsprechen mit Ausnahme der Polymerzugabe denen der Versuchsreihe 2 in [U39]. Die Versuchsreihe 3 wird in den nächsten Kapiteln detaillierter beschrieben.

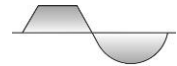
2. Aufbau der Abdichtung und Rahmenbedingungen des

Standortes Wintershall

Für die zweilagige mineralische Dichtungsschicht wurde basierend auf dem RBP HA-04/09 folgender Schichtenaufbau in der technischen Beschreibung der Untersuchungsleistung vorgegeben:

obere Dichtungslage:

- ca. 0,50 m kornabgestufte mineralische Dichtung (in Annäherung an die Fuller-Kurve-Kornverteilung mit minimalem Hohlraumgehalt)



- Rezeptur soll aus ortsnah verfügbaren standardisierten Baustoffen bestehen, aus z. B. Kies 2/8, Sand 0/2 mm sowie mind. 12 Gew.-% Feinstbestandteil (Tonmehl)
- geforderte Durchlässigkeit: $k_f \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$
- geforderter Reibungswinkel: $\varphi' \geq 35^\circ$.

untere Dichtungslage:

- ca. 0,25 m vergütete/aufbereitete mineralische Dichtung (Zusatz eines Polymers)
- Rezeptur bestehend aus Sand 0/2 mm sowie mind. 20 Gew.-% Feinstbestandteil (Tonmehl)
- geforderte Durchlässigkeit: $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$
- geforderter Reibungswinkel: $\varphi' \geq 30^\circ$

Diese Anforderungen sind adäquat im Band 1.1 des RBP WI-27/12 verankert.

3. Laborversuche

3.1 Untersuchungen an Gemischen mit Secursol und Polymer

Den Ausgangsbaustoffen aus Oberzella und Wildeck für die Gemische der oberen und unteren Lage wurde neben dem Tonmehl Secursol 3301 das Polymer Nanoalps® der Nanoalps GmbH hinzugegeben. Die Dosierung erfolgte mit 0,5 Gew.-% bezogen auf die Gesamttrockenmasse. Im RBP ist eine Polymerzugabe von 0,4 Gew.-% bezogen auf die Gesamttrockenmasse angegeben. Die Gemische der Versuchsreihe 3 entsprechen mit Ausnahme der Polymerzugabe denen der Versuchsreihe 2 in [U39].

Das Produkt Nanoalps (siehe Anlage 2) ist ein flüssiges Polymeradditiv, das u.a. zum Bau von mineralischen Abdichtungssystemen eingesetzt wird. Nanoalps®-System Safe ist umweltneutral und ungiftig.

3.1.1 Gemischherstellung

Zur Optimierung der Verdichtung und Durchlässigkeit wurden virtuelle Kornverteilungskurven an den Ausgangsbaustoffen Oberzella und Wildeck für die obere und untere Lage untersucht, um eine möglichst gute Anpassung an die Fullerkurve zu erreichen. Die Mischungsverhältnisse wurden durch entsprechende Absiebungen bzw. Zumischungen angepasst und für die folgenden Untersuchungen genutzt. Bei der Mischung „Wildeck“ wurde die 2/8 mm Körnung durch Material aus dem Werk „Tannenhöhe“ der Firma Irma Oppermann GmbH ersetzt. Die



Körnungsanteile der optimierten Gemische sind in den folgenden Tabellen Nr.1 und 2 zusammengestellt, die Kornverteilungskurven sind in Kap. 2.1.4 sowie in Anlage 3 wiedergegeben.

Zuschlagsstoffe	Mischungsverhältnis	
	Obere Lage [%]	Untere Lage [%]
Kies 2/8 mm	48	0
Sand-Kies 0/8 mm	40	0
Sand 0/2 mm	0	80
Sand 0/1 mm	0	0
Secursol	12	20
Summe	100	100

Tabelle 1: Obere und untere Lage Oberzella, Bestimmung Mischungsverhältnis.

Zuschlagsstoffe	Mischungsverhältnis	
	Obere Lage [%]	Untere Lage [%]
Kies 2/8 mm	52	0
Sand-Kies 0/8 mm	0	20
Sand 0/2 mm	36	50
Sand 0/1 mm	0	10
Secursol	12	20
Summe	100	100

Tabelle 2: Obere und untere Lage Wildeck, Bestimmung Mischungsverhältnis

In 2018 wurden die Materialien Wildeck 0/1 mm und 0/2 mm durch die Materialien Oberzella 0/1 mm und Fambach 0/2 mm ersetzt. Das Kiesmaterial 2/8 mm (Dankmarshausen) wurde durch das Material 2/8 mm Immelborn ersetzt.



3.1.2 Chemische Analytik

Die Proben aus den Standorten Oberzella (Probe 15,) sowie die Baustoffe aus dem Kieswerk Wildeck (17, 18) wurden durch das Analytiklabor Agrolab auf Ihre Leitfähigkeit und den pH Wert untersucht:

Probe 15	pH= 6,5	Leitfähigkeit <50 μ S
Probe 17	pH= 7,1	Leitfähigkeit <50 μ S
Probe 18	pH= 7,1	Leitfähigkeit <50 μ S

Die Prüfprotokolle sind dem Bericht in der Anlage 4 beigelegt.

3.1.3 Bestimmung Kalkgehalt

Der Kalkgehalt V_{Ca} der Materialien Oberzella und Wildeck wurde wie folgt bestimmt:

Probe 16	Sandgrube Oberzella	$V_{Ca} = 0,5 \%$
Probe 17	Sandgrube Wildeck 0/2 mm	$V_{Ca} = 0,4 \%$
Probe 18	Sandgrube Wildeck 0/8 mm	$V_{Ca} = 0,5 \%$

3.1.4 Wassergehalt

Die Wassergehaltsbestimmung in Anlehnung an die DIN EN 1097-5 der gestörten Proben der Ausgangsstoffe und der Mischproben wurde im Trockenofen bei 100° C durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass Nanoalps eine verbindende Wirkung auf das Material hat, aber auch den (Gesamt-)Wassergehalt erhöht. Für die Berechnungen der Mischungsverhältnisse wurde für Nanoalps eine Dichte von 1,0 g/m³ angenommen. Die an den Ausgangsbaustoffen und Gemischen in Anlehnung an die DIN EN 1097-5 ermittelten Wassergehalte sind in der Ergebnistabelle in Anlage 5 zusammengestellt.

3.1.5 Proctordichte und optimaler Wassergehalt

Für die Durchführung der Proctorversuche nach DIN 18127 wurden die trockenen Ausgangsbaustoffe mit Secursol gemischt und mit Leitungswasser unter Zugabe des flüssigen Polymers auf die Zielwassergehalte eingestellt. Aus den ermittelten Proctorkurven ließen sich die, in der Tabelle 3 wiedergegebene Kennwerte ermitteln.



Proben	Proctor w_{opt} [%]	Proctor ρ_{pr} [t/m³]
Oberzella, OL, Probe-Nr. 42: 0/8 mm, 2/8 Secursol + Nanoalps	11,9	1,942
Oberzella, UL, Probe 43 0/2 mm Secursol + Nanoalps	14,0	1,859
Wildeck, OL, Probe Nr. 44, 0/8 mm, Secursol + Nanoalps	9,1	2,085
Wildeck, UL, Probe Nr. 45, 0/1, 0/2, 0/8 mm, Secursol + Nanoalps	11,6	1,927

*Mittelwert aus den Ausgangswerten

Tabelle 3: Ergebnisse Proctorversuche an Mischungen mit Secursol und Nanoalps

Die Proctorkurven sind dem Bericht in der Anlage 6 beigelegt.

3.1.6 Kornverteilungen

Für diese Untersuchung erfolgte im Lieferwerk Oberzella eine Probenahme (Absiebung 0/4 mm und Grundmaterial aus der Abbauböschung). Das aus den anstehenden tertiären Ablagerungen der Sandgrube entnommene Material wurde erneut auf seine Kornzusammensetzung hin untersucht. Im Labor wurden vom Grundmaterial die Fraktionen 0/2 mm und 0/8 mm abgesiebt. An den im Lieferwerk entnommenen Materialien und den Laborproben wurden die Kornverteilungen bestimmt.

In der Anlage 3 sind die Kornverteilungskurven wiedergegeben. Die folgenden Abbildungen zeigen die Kornverteilungskurven der Ausgangsbaustoffe und die virtuellen Kornverteilungskurven zu den untersuchten Gemischen Oberzella und Wildeck für die obere und untere Lage (Mischungsverhältnisse gemäß den Tabellen 1 und 2).

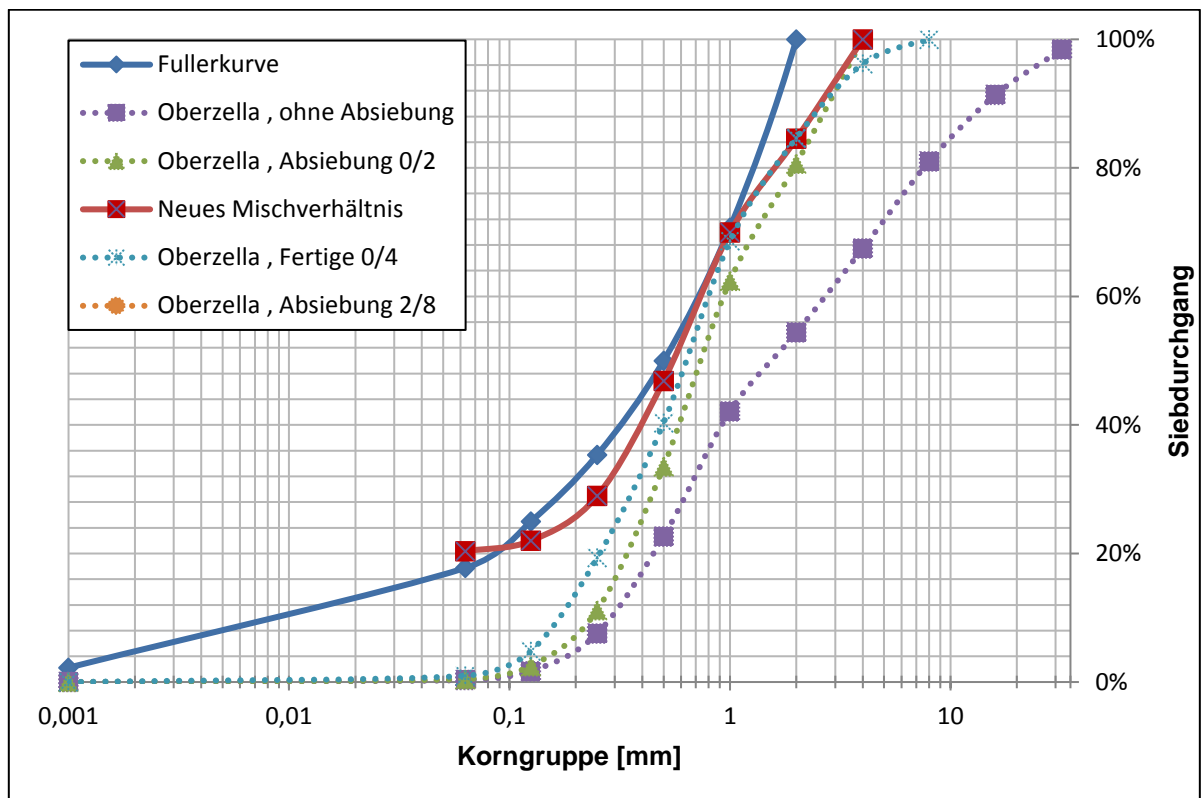
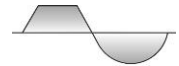


Abbildung 1: Anpassung Kornverteilungskurven Oberzella untere Lage.

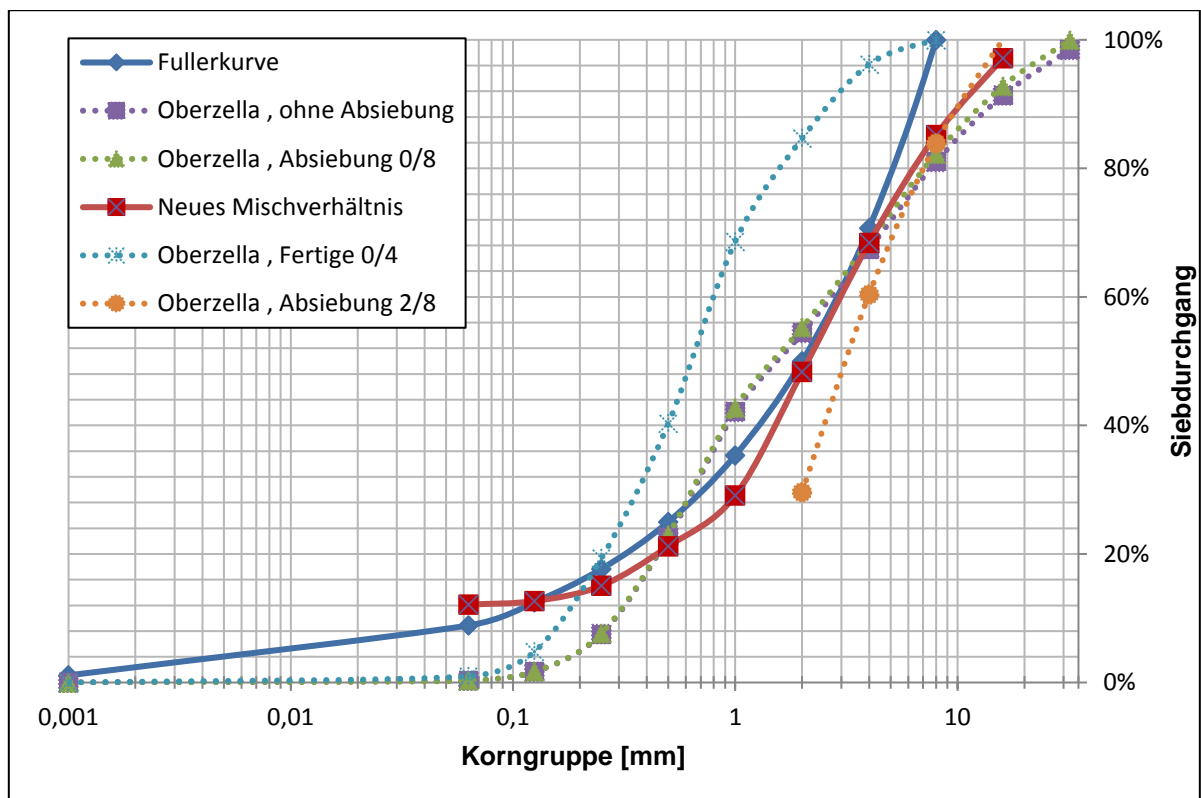


Abbildung 2: Anpassung Kornverteilungskurven Oberzella obere Lage.

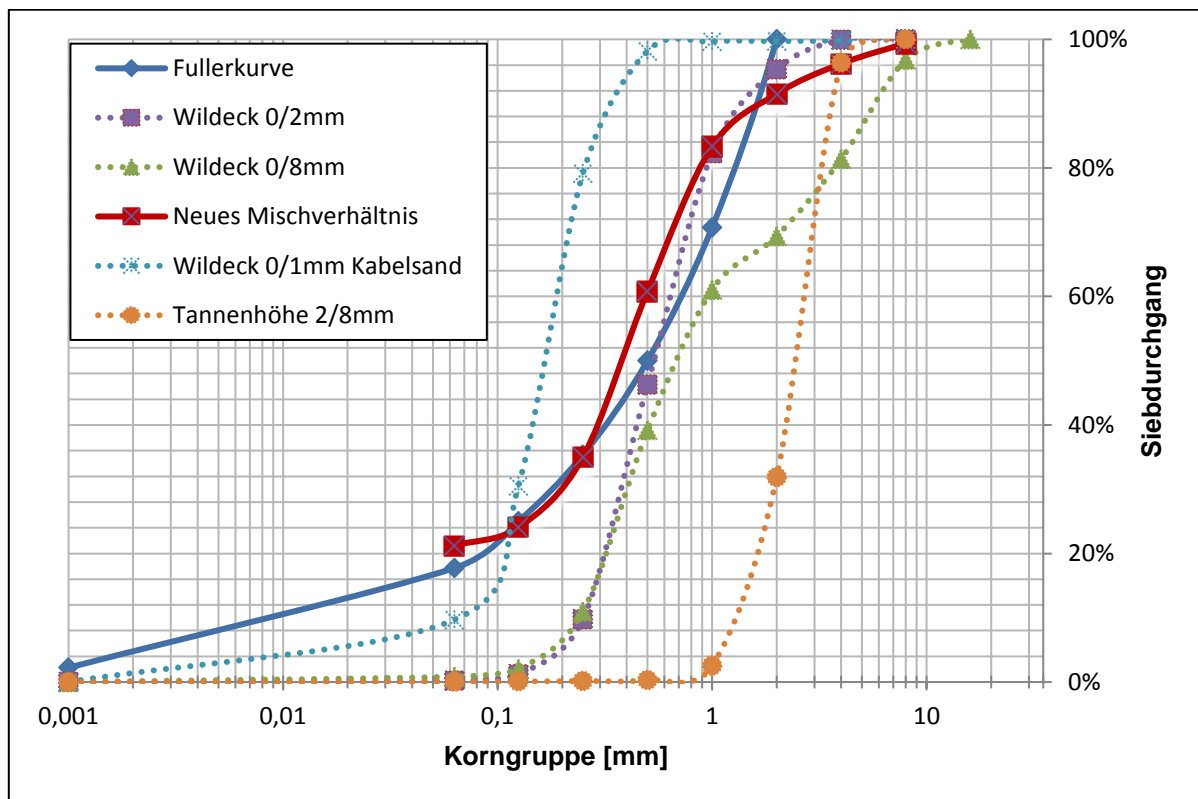
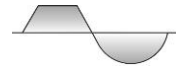


Abbildung 3: Anpassung Kornverteilungskurven Wildeck untere Lage.

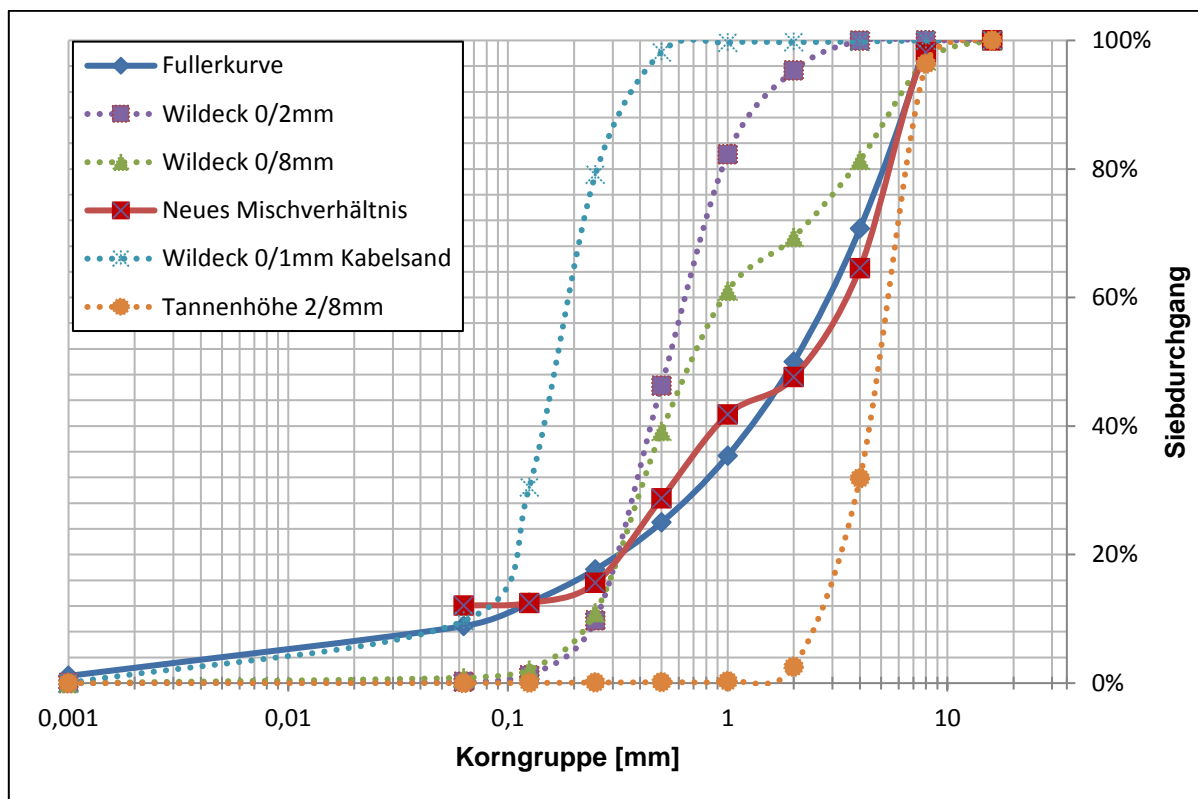


Abbildung 4: Anpassung Kornverteilungskurven Wildeck obere Lage.



3.1.7 Durchlässigkeit

Die Bestimmung der Durchlässigkeit wurde nach DIN 18130 in der Triaxialzelle durchgeführt. Die Proben wurden mit Haldenwasser durchströmt. Die Proben wurden zunächst einen Tag mit Außendruck von 0,5 bar konsolidiert (unter Zutritt von Haldenwasser im Einlauf) und anschließend in der Triaxialzelle mit einem hydraulischen Gefälle $i = 30$ durchströmt, bis sich ein konstanter Auslauf einstellte. In der folgenden Tabelle sind die Durchlässigkeitsbeiwerte der untersuchten Proben dargestellt.

Probe-Nr.	Probenbezeichnung	Laufende-Nr.	k_f -Wert
	Zugabe von 12% Secursol		[m/s]
42	Pr.1 Oberzella obere Lage	1	9,90E-11
42	Pr. 6 Oberzella obere Lage, (Auslauf)	2	1,90E-10
43	Pr. 2 Oberzella untere Lage, (Einlauf)	4	7,90E-11
44	Pr. 4 Wildeck obere Lage	5	5,40E-10

Tabelle zu Abbildung 5-6: k_f Endwerte

3.1.8 Scherversuche

Von den Gemischen Wildeck obere und untere Lage Probenbezeichnungen:

- Nr. 3/2016 0/2 mm Sand + Secursol + Polymer Gemisch und
- Nr. 4/2016 0/8 mm Kies-Sand + Secursol + Polymer Gemisch

wurden in 2016 Proben für die Scherfestigkeitsuntersuchungen hergestellt. Die Einbaudichte orientierte sich an den ermittelten Proctordichten. Die Ergebnisse der Scherversuche sind in der nachfolgenden Tabelle 4 dargestellt, die grafische Darstellung der Versuche ist der Kurzfassung in der Anlage 8 beigelegt.

Probenbezeichnung	Einbau- wasser- gehalt [%]	Trocken- dichte [g/cm³]	Reibungs-win- kel φ' [°]	Kohäsion c' [kN/m²]
UL Wildeck Probe Secursol + Nanoalps, 0/2 mm	9,0	.1,88	31,6	17,2
OL Wildeck Probe Secursol + Nanoalps, 0/8 mm	8,0	1,89	36,2	17,8

Tabelle 4: Einbauwerte und Ergebnisse der Scherversuche an Proben mit Secursol, Nanoalps



Die Anforderung an den Reibungswinkel von $\varphi \geq 35^\circ$ für die obere und $\varphi \geq 30^\circ$ für die untere Lage wurde von den Mischungen mit dem Material aus Wildeck in Verbindung mit den Hilfsstoffen Secursol und Nanoalps eingehalten.

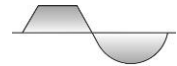
4. k_f-Werte Langzeitversuche

4.1 Langzeitversuche ab 2015

Von den Gemischen wurden durch die SIG-HESSSEN Probenkörper im Proctortopf erstellt, um die Durchlässigkeit der Komponenten der mineralischen Dichtung zu überprüfen. Die Proben sind seit Mai 2015 in Triaxialzellen eingebaut, werden mit Haldenwasser beaufschlagt und über eine Ein- und Auslaufkontrolle beobachtet. Die Versuche werden weitergeführt. In der Tabelle Nr. 5 sind die Auswertungen mit Stand Mai 2019 zusammengestellt. Die Versuchsdiagramme sind in der Anlage 9 wiedergegeben.

Probe-Nr.	Proben-bezeichnung	Lage/ Bemerkungen	Trocken- dichte ρ_d [t/m ³]	Verdich- tungs- grad D_{pr} [%]	Kf-Wert
49 (1)	Wildeck untere Lage	50% 0/2 mm, 20% 0/8 mm, 10% 0/1 mm, 20% Secursol, Nanoalps	2,008	100	5,4 E-11
50 (1)	Wildeck obere Lage	36% 0/2 mm, 52 % 2/8 mm, 12% Secursol, Nanoalps	2,070	100	8,7E-11

Tabelle 5: Ergebnistabelle Durchlässigkeitsbestimmung Langzeitversuche



Die grafische Auswertung der Durchlässigkeitsversuche zeigt, dass nach einer ca. 30 tägigen Phase mit abfallenden Werten ein stabiler Verlauf erfolgt, Schwankungen sind im geringen Rahmen durch Luft-, oder leichte Stützdruckschwankungen bedingt (Anlage 7). Die geforderten Durchlässigkeiten von $k_f \leq 5E-10$ m/s für die untere Lage und das Gesamtsystem sowie $k_f \leq 1E-09$ m/s für die obere Lage wurden dabei eingehalten. Im Vergleich mit den Untersuchungen, die in dieser Kurzfassung in Kapitel 2.1 dokumentiert sind, liegen die Werte auch noch nach bis jetzt über vier Jahre in vergleichbarer Größenordnung, eine Verschlechterung lässt sich nicht feststellen. Einige Probenkörper mussten in diesem Zeitraum wegen den defekten Triaxialzellen oder wegen externer Faktoren (Stromausfall usw.) ausgebaut und neu gestartet werden. Daher erscheinen an den Durchlässigkeitsdiagrammen die Schwankungen der Kurven die sich nach wenigen Tagen stabilisieren.

4.2 Langzeitversuche ab 2018

Die Durchlässigkeitsversuche wurden an den aktuellen Mischungen durchgeführt. Im Zuge der Baubegleitung wurden Proben im BA A1 der Haldenerweiterung Hattorf entnommen und Probenkörper für die Langzeitversuche mit Haldenwasser erstellt. In 2018 wurden insgesamt zwei Probenkörper (Fertigmischung: Oberzella/Fambach/Immelborn) für die Langzeitversuche mit Haldenwasser eingebaut. In 2019 wurden acht Probenkörper eingebaut. In der Tabelle 6 sind die Auswertungen (Stand: April 2019) zusammengestellt. Die Versuchsdiagramme sind in der Anlage 10 wiedergegeben.



Probe-Nr.	Proben-bezeichnung	Lage/ Bemerkungen	Trocken- dichte ρ_d [t/m ³]	Verdich- tungsgrad D_{pr} [%]	Kf- Wert
102	Oberzella/Fambach/ Immelborn	obere Lage 6% 0/1 mm, 26% 0/2 mm, 12% 0/8 mm, 44% 2/8 mm, 12% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,059	98,1	6,03E-11
106	Oberzella/Fambach/ Immelborn	untere Lage 19% 0/1 mm, 40% 0/2 mm, 21% 0/8 mm, 20% Secursol, 0,5% NanoAlps	1,970	97,2	1,3E-10
165	Oberzella/Fambach/ Immelborn	obere Lage 6% 0/1 mm, 26% 0/2 mm, 12%, 0/8 mm, 44% 2/8 mm, 12,5% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,076	101,9	9,0E-11



Probe Nr.	Proben-bez.	Lage / Bemerkung	Trocken-dichte	Verdicht-ungsgrad	kf - Wert [m/s]
167	Oberzella/Fambach/ Immelborn	untere Lage 19% 0/1 mm, 40% 0/2 mm, 21% 0/8 mm, 20% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,084	105,6	7,8E-11
179	Oberzella/Fambach/ Immelborn	obere Lage 6% 0/1 mm, 26% 0/2 mm, 12%, 0/8 mm, 44% 2/8 mm, 12,5% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,112	100,0	1,3E-10
183	Oberzella/Fambach/ Immelborn	untere Lage 19% 0/1 mm, 40% 0/2 mm, 21% 0/8 mm, 20% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,030	102,6	3,8E-11
191	Oberzella/Fambach/ Immelborn	obere Lage 6% 0/1 mm, 26% 0/2 mm, 12%, 0/8 mm, 44% 2/8 mm, 12,5% Secursol, 0,5% NanoAlps	2,084	100,62	1,5E-10
193	Oberzella/Fambach/ Immelborn	untere Lage 19% 0/1 mm, 40% 0/2 mm, 21% 0/8 mm, 20% Secursol, 0,5% nanoAlps	2,076	105,16	7,2E-11

Tabelle 6: Ergebnistabelle Durchlässigkeitsbestimmung Langzeitversuche ab 2018



5. Bewertung der Ergebnisse

Innerhalb der Eignungsuntersuchung wurden die Dichtungsmischungen mit Hilfsstoffen (Tonmehl + Polymer Nanoalps) untersucht. Bei diesen Versuchen wurde zur Verbesserung der Einbau- und Dichtungseigenschaften mit einem Tonmehl- und Polymerzuschlag gearbeitet (Produkt Nanoalps®). Des Weiteren wurden die Mischungen der Sande und Kiese durch Annäherung an die Fullerkurve optimiert um eine weitere Verbesserung hinsichtlich der Verdichtbarkeit und Durchlässigkeit zu erzielen. Die Ausgangsstoffe aus den Standorten Oberzella und Wildeck wurden auf ihre Leitfähigkeit und pH Wert untersucht. Die Ergebnisse erfüllen die Anforderung an das chemische Verhalten in Anlehnung der Vorgaben der LAGA-Ad-hoc-AG „Deponietechnik“. Die Bestimmung des Kalkgehaltes hat nachgewiesen, dass die Ausgangsstoffe den geforderten Wert von ≤ 15 Masse-% deutlich unterschreitet.

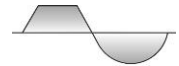
Innerhalb dieser Versuche wurden die Kornverteilung, die Proctordichte, die Durchlässigkeit und die Scherfestigkeit der Dichtungsgemische zur oberen und unteren Lage überprüft.

Die Ergebnisse der Versuche belegen, dass unter Zugabe des polymeren Zuschlages die Anforderungen hinsichtlich der erforderlichen Durchlässigkeit und der Reibungswinkel sicher erreicht werden.

Die geforderte Durchlässigkeit des Gesamtsystems von $k_f \leq 5,0E^{-10}$ m/s wird auch in den derzeit laufenden Langzeitversuchen unterschritten (Versuchsdauer über 300 Tage).

Zusätzlich zu den Bestimmungen der Durchlässigkeit an den Proben der unteren und oberen Lage wurden Probekörper mit dem Gesamtaufbau erstellt. Die geforderte Durchlässigkeit des Gesamtsystems von $k_f \leq 5E^{-10}$ m/s wurde unterschritten.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Mischungen mit regional verfügbaren Baustoffen und den Zuschlagstoffen Nanoalps + Secursol 3301 generell geeignet sind. Die Durchlässigkeiten entsprechen den Qualitätsanforderungen, die zunächst im RBP und SBP und jetzt im aktuellen QMP für den Standort Hattorf der K+S KALI GmbH definiert sind (untere Lage $k_f \leq 5E^{-10}$ m/s; obere Lage: $k_f \leq 1E^{-9}$ m/s).



Wie die Langzeitversuche der Proben mit den Zuschlagstoffen Secursol 3301 und Nanoalps belegen, sind die Werte bereits über einen längeren Zeitraum (ca. fünf Jahre, bzw. zwei Jahre) stabil, eine Verschlechterung der Werte wurde nicht beobachtet.

Immenhausen, 03. Juni 2019

Projektleiter
Dipl. Geol. H. Specht

Prof. Steffen, Hütteroth & Schröder GmbH
SIG-HESSSEN INGENIEURE