



Energieeffizienz bei der Altlastensanierung – Ein Rechenbeispiel



1. Einleitung

Bodensanierung = Energieverbrauch, z. B: Bagger- und LKW-Joule, elektrischer Betrieb Seitenkanalverdichter etc.

THERIS Verfahren (Thermische in-situ Sanierung):

Untergrunderwärmung durch el. betriebene Heizelemente = Mobilisierung leichtflüchtiger Schadstoffe

Energieverbrauch zur Untergrunderwärmung und Erzeugung Unterdruck

Frage:

- Kann das THERIS-Verfahren die Dauer der Absaugung maßgeblich reduzieren
- Ist das Verfahren „energieeffizienter“ als die „kalte Absaugung“



2. Der Fall Berninger

- Lederwarenfabrik Berninger/Idstein – Produktion von 1937-85. Lederentfettung mit Trichlorethen + Tetrachlorethen
- Grundwasserverunreinigung mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW).
- Seit 1985 ist Berninger in Liquidation.
- Umwelttechnische Untersuchungen nach 1985: hohe Belastungen mit LCKW in Grundwasser und Bodenluft.
- Altlastenfeststellung 6.5.1991.
- Ab 1989 Sanierung von Bodenluft und Grundwasser.
- 11.08.1992 Übertragung auf die HIM-ASG.
- Fortführung der Bodenluftsanierung bis April 2001.
- LCKW-Belastungsherd verbleibt in rd. 1-6 m Tiefe wegen des bindigen Bodens (quartärer Lößlehm).
- Grundwassersanierung bis Juni 2004 weitergeführt, dann Grundwassermonitoring mehrerer Brunnen (um 100 µg/l LCKW im zentralen Brunnen III).



2. Der Fall Berninger

2010 wurde der THERIS-Pilotversuch im LCKW-Belastungsherd von Fa. RECONSIT GmbH (Fellbach) durchgeführt.

Voruntersuchungen erfolgte durch das Ingenieurbüro HPC Harres Pickel Consult AG (Kriftel).





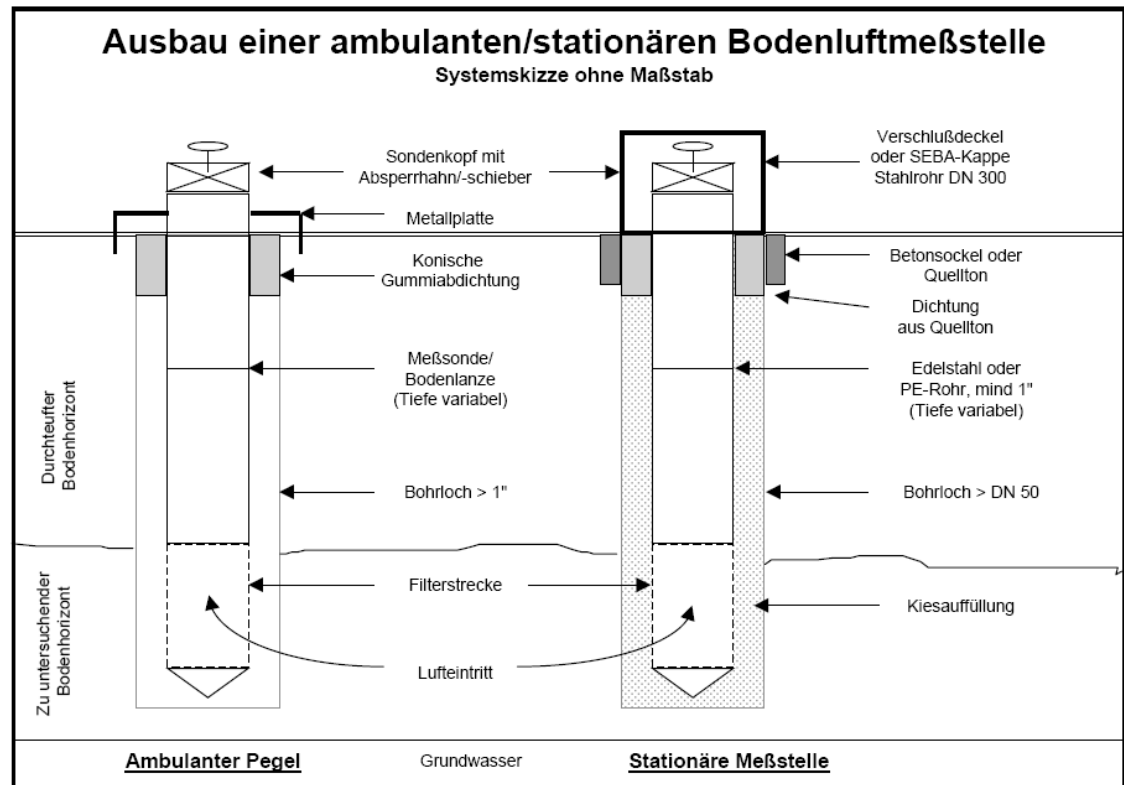
3. Prinzip der Bodenluftabsaugung

Zur Bodenluftabsaugung werden perforierte Rohre, Dränagerohre o.ä. in den Untergrund eingebracht und an Seitenkanalverdichter/Vakuumpumpen angeschlossen.

Seitenkanalverdichter sind ähnlich den Kreiselpumpen aufgebaut und erzeugen einen Unterdruck.

Durch den Unterdruck werden flüchtige Schadstoffe wie LCKW, BTEX-Aromaten und niedrigsiedende Aliphaten mobilisiert. Diese werden nachgeliefert, solange leichtflüchtige Stoffe im Boden vorliegen.

Auch Wasserdampf wird mobilisiert.



4. THERIS Pilotversuch



Der Versuchsaufbau im Hof der Fa. Berninger – Foto: privat



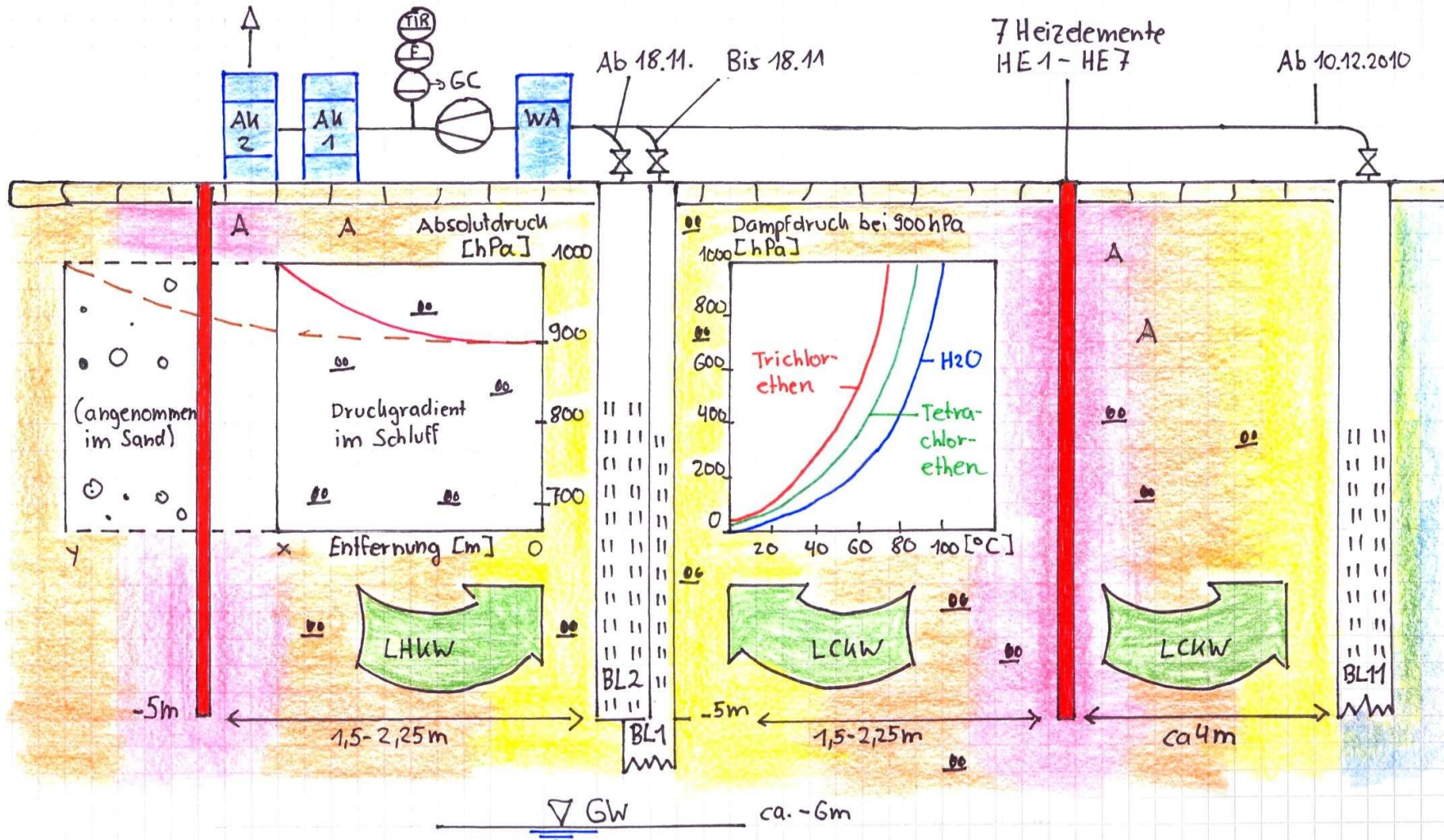
4.1 THERIS Pilotversuch - Grundlagen

Die Reichweiten der Bodenluftabsaugung in bindigen, schluffigen Böden sind sehr gering, so im Fall Berninger. Eine „kalte Bodenluftabsaugung“ hat oft geringe Aussichten auf Erfolg. Der Druckgradient steigt mit zunehmender Entfernung zum Bodenluftpegel sehr stark an. Das THERIS-Verfahren bietet die Möglichkeit, mittels elektrisch betriebener, einzeln regelbarer Wärmequellen, den Untergrund auf über 80 °C zu erwärmen.

Beim THERIS-Verfahren wird das thermodynamische Gleichgewicht zwischen flüssigem Schadstoff und Dampfphase durch Einwirkung von Wärme und Unterdruck (ca. 900 hPa abs.) zugunsten der Dampfphase verschoben. Durch die Erwärmung steigt der Partialdruck der LCKW exponential an. Der Austrag der Schadstoffe wird beschleunigt. Das Phasengleichgewicht zwischen Wasser und LCKW verschiebt sich zudem zu Gunsten der LCKW).

Kurzum: Wegen der Wärme und durch den Unterdruck wird der Austrag von LCKW auch in bindigen Böden erheblich verbessert.

4.1 THERIS Pilotversuch - Grundlagen



Schnitt durch den Untergrund der THERIS-Pilotanlage



4.2 THERIS Pilotversuch - Versuchsdurchführung

7 Heizelemente (5 m), im Abstand von rd. 2 m um Pegel BL 1 gruppiert.
Ca. 4 m westlich befindet sich BL 11.

Der Versuch umfasste 5 Phasen:

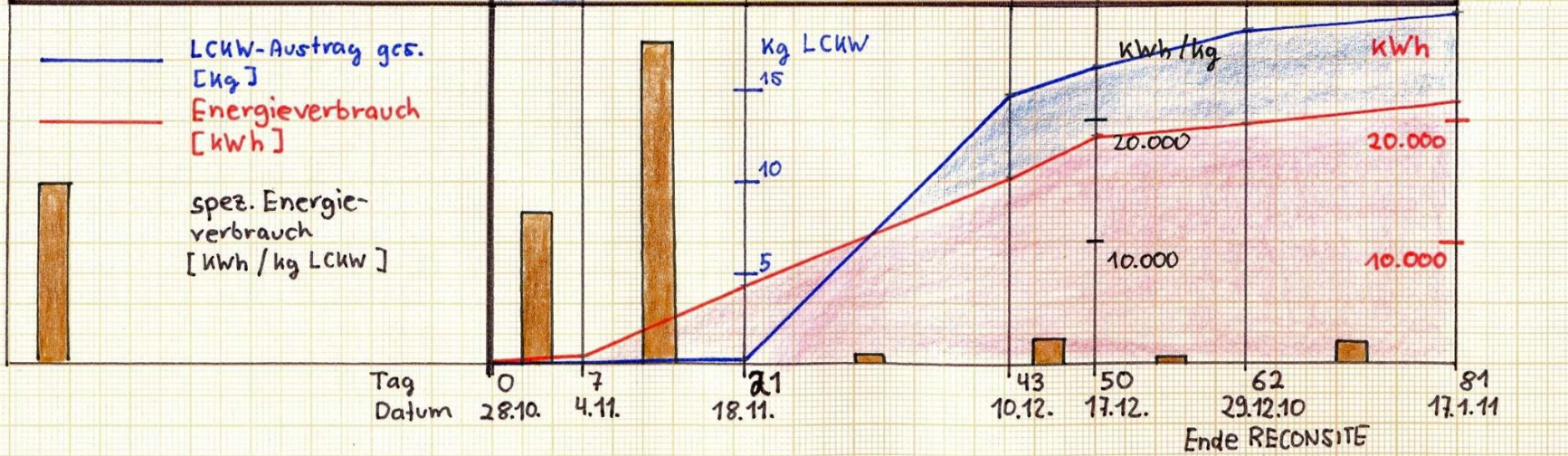
Phase	Zeitraum	Maßnahmen
0	28.10. – 4.11.2010 (7 d)	„kalte Bodenluftabsaugung“ an BL 1
1	4.11. -18.11. (14 d)	Absaugung BL 1. Langsame Erwärmung des Bodens
2 a	18.11. – 10.12. (22 d)	BL 1 wegen pneumatischen Kurzschlusses aufgegeben, Pegel BL 2 gebohrt und angeschlossen
2 b	10.12. – 17.12. (7 d)	BL 11 in die Absaugung mit einbezogen
3	17.12.10 – 17.1.2011 (31 d)	Heizelemente abgeschaltet; es folgte die „nachlaufende warme Bodenluftabsaugung“, Nutzung Restwärme im Boden



4.3 THERIS Pilotversuch - Ergebnisse

Phase	0 KALTE BLA	1 THERIS	2a THERIS	2b THERIS	3 (1) Warme BLA	3 (2) Warme BLA
Pegel	BL1	BL1	BL2	BL2 + BL11	BL2 + BL11	BL2 + BL11
Energieverbrauch ges. kWh	689	6517	15310	18673*	19763*	21489
Energieverbr. / Phase kWh	689	5828	8793	3363*	1090*	1726*
Heizenergie kWh	/	4561	6765	2728	/	/
Pumpen / Instrumente... kWh	689	1267	2028	635*	1090*	1726*
Bodentemperatur °C	10-15	60-90		80-105	55-75	
Ø LCKW-konz. BL mg/m³	6,39	12,2	696	218	150	48,7
LCKW-Austrag/Phase kg	0,055	0,22	14,3	1,62	2,07	0,98 (19,2 ges.)
spez. Energieverbrauch kWh/kg	12527	26491	615 (1114)	2076	527	1761

* interpoliert





4.4 THERIS Pilotversuch - Schlussfolgerungen

Phase	Spezifischer Energieverbr. kWh/kg LCKW	Ursachen
0	12.500	Nur Pumpen/Messinstr. in Betrieb. Hoher SE wegen bindigen Bodens, setzt kaum LCKW frei, pneumatischer Kurzschluss
1	26.500	Sehr hoher SE wegen Aufheizprozess und pneumatischer Kurzschluss in BL 1
2 a	615	Sehr niedriger SE, Energie-Optimum erreicht, Ø LCKW-Konz bei 700 mg/m ³
2 b	2.076	Verschlechterung SE, liegt auch am Sanierungserfolg: 2a Ende = 170 mg/m ³ (BL2) , 2b Beginn = 450 mg/m ³ (BL 2+11), 2b Ende ≈100 mg/m ³ LCKW
3 (1)	527	Niedrigster SE - Wegfall der Heizelemente – gespeicherte Restwärme mobilisiert weiterhin LCKW
3 (2)	1.761	Zunehmende Abkühlung – Großteil der LCKW vermutlich beseitigt



4.4 THERIS Pilotversuch - Schlussfolgerungen

Wegen der enormen Schadstoffausträge mit fast 700 mg/m^3 LCKW in Phase 2a gegenüber $6,39 \text{ mg/m}^3$ in Phase 0 kann davon ausgegangen werden, dass **das THERIS-Verfahren die Sanierungsdauer erheblich verkürzt.**

Auch fallen die Konzentrationen in dieser Phase innerhalb von 21 Tagen von eingangs über 1.000 mg/m^3 auf rd. 170 mg/m^3 mit einem Zwischenpeak von über 2.000 mg/m^3 LCKW. Also wird durch die Wärme ein erhebliches Schadstoffquantum mobilisiert.

Mit Blick auf die optimale Phase 2a mit einem spezifischen Energieverbrauch von 615 kWh/kg , **kann man das THERIS Verfahren gegenüber der kalten BLA als energieeffizient bezeichnen.**



4.4 THERIS Pilotversuch - Schlussfolgerungen

Zur Frage der Energieeffizienz von BLA:

„Bis zu einem spezifischen Energieverbrauch von etwa 1.000 kWh/kg LCKW kann eine Bodenluftsanierung als effizient bezeichnet werden. Oberhalb eines spezifischen Energieverbrauches von 1.000 kWh/kg LCKW sollte das Konzept überprüft werden, ab einem spezifischen Energiebedarf von etwa 2.000 kWh/kg LCKW ist der (Weiter-)Betrieb einer die Bodenluftsanierungsmaßnahme mit einem so hohen Energieaufwand verbunden, dass je nach Einzelfall der Betrieb nicht mehr als empfehlenswert angesehen werden kann.“

(Quelle: LUA-NRW (2001) – Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Bd. 13 - Arbeitshilfe Bodenluftsanierung [...])



5. Modellrechnung Bodenaushub

- Stromverbrauch THERIS-Pilotversuch = rd. **21.500 kWh Strom**. Nach UBA Nutzungsgrad deutsche Stromerzeugung 41,7 % (UBA 2007).
- Für 2010 wird Nutzungsgrad von 43 % angenommen.
- Verbrauch Primärenergie: $21.500 \text{ kWh} / 0,43 = \mathbf{50.000 \text{ kWh} \approx 5.000 \text{ l Diesel}}$.
- Kipplaster: rd. **40 l Diesel / 100 km** \approx mit 5.000 l **etwa 12.500 km**
- Nächste Deponie 25 km entfernt, mit Rückfahrt = **50 km**.
- LKW könnte 250 Fahren zurücklegen.
- Vorwegnahme Hälfte des Kraftstoffverbrauchs, da Bagger vor Ort Diesel verbraucht und auf der Deponie das mit LCKW verunreinigte Erdreich entgast, umgelagert und eingebaut, und unbelastetes Erdreich mitgenommen werden muss
- Somit kann der LKW **125 Fahren à 25 t = 3.125 t** abfahren.
- Boden hat eine Dichte von rd. **1,8 g/cm³**.
- $3.125 \text{ t} / 1.800 \text{ kg/m}^3 \approx \mathbf{1.700 \text{ m}^3 \text{ Boden}}$



5. Modellrechnung Bodenaushub

Es sind also **1.700 m³ Boden**, die im konkreten Beispiel mit der verbrauchten Primärenergiemenge des THERIS-Versuches abgefahren werden könnten.

Pilotierungsbereich des THERIS-Versuches umfasst 20 m² Fläche x 5 m Tiefe = **100 m³**. Der Wirkungsbereich erfasst aber auch den 4 m entfernten BL 11, sodass bei einem Wirkradius zw. 5-6 m der Wirkungsbereich mit **500 m³** abgeschätzt werden kann.

Somit wäre der Bodenaushub **3 - 4 x energieeffizienter** als der THERIS-Pilotversuch.

Allerdings ist das THERIS-Verfahren für Projekte gedacht, bei denen ein Bodenaushub aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich ist. Dies trifft auch für das Gelände Berninger zu.



6. Optimierungsvorschlag: Abschaltbare Stromverbraucher

Im Elektrischen Stromnetz unterscheidet man zwischen Schwachlast-, Normallast- und Spitzenlastzeiten.

Die Netzeinspeisung wird auch aufgrund der Zunahme regenerativer Energiequellen ungleichmäßiger (Solarstrom fließt nur bei Sonne, Wind flaut über Nacht ab).

Energieversorgungsunternehmen (EVU) haben Interesse daran, große Strommengen zu Schwachlastzeiten abzustößen, weil sie dann weniger Kraftwerke herunter fahren müssen. Dies macht sich auch in Form eines günstigeren Preises bemerkbar. Für Großverbraucher (z.B. Betreiber von Wärmepumpen) gelten spezielle Tarife, oft 20 % unter dem Normaltarif des Grundversorgers.

EVU behält sich vor, zu bestimmten Spitzenlastzeiten den Strom zur Versorgung der Großverbraucher per Rundsteuerempfänger abzuschalten. Voraussetzung: separater Zähler und Rundsteuerempfänger voraus. Die Dauer der Abschaltzeiten ist in den Verträgen geregelt, i.d.R. nicht über 2 Stunden, max. 3 mal am Tag.



6. Optimierungsvorschlag: Abschaltbare Stromverbraucher

Auch der preisgünstige Nachtstrom stellt eine denkbare Alternative dar (20:00 – 8:00 Uhr + WE, 0,02 €/kWh günstiger).

Dieses Versorgungsmodell wäre auch für Bodenluftabsaugungen, kombiniert mit den THERIS Verfahren, überlegenswert.

Kurzfristige Abschaltung führt zu keinen Wärmeverlusten im Untergrund. Aufgrund der wärmespeichernden Eigenschaften des Bodens verbleibt die Wärmeenergie im Sanierungsbereich (wie in Phase 3(1)).

Der intermittierende Absaugbetrieb, der hier zwangsläufig generiert würde, ist ein probates Mittel, die Sanierungs-Effizienz zu erhöhen.

Es muss sich nicht einmal die Sanierungsdauer verlängern.



7. Zusammenfassung

Die LCKW-Schäden der insolventen Lederfabrik Berninger sind weitgehend saniert. Ein LCKW-Nest verbleibt im schluffigen Boden des bebauten Bereiches. Kalte Bodenluftabsaugung hat wenige Chancen.

Die Erwärmung des Bodens könnte den Austrag von LCKW deutlich erhöhen. Der THERIS-Pilotversuch sollte am LCKW-Nest die Machbarkeit des Verfahrens am Standort ermitteln. Der Boden wurde mit 7 Heizelementen für 43 Tage auf über 80 °C erwärmt und Bodenluft abgesaugt.

19 kg LCKW wurden beseitigt, 21.500 kWh Strom verbraucht.

Optimalen Phase: spezifischer Stromverbrauch bei 615 kWh/(kg LCKW).

Das THERIS-Verfahren ist als energieeffizient zu bezeichnen, verkürzt die Sanierungsdauer erheblich.

Geeignet für Standorte mit bindigen Böden, an denen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ein Bodenaushub nicht praktikabel ist.

Bei energieintensiven Sanierungen evtl. nur Strom zu Schwachlastzeiten beziehen => Kostenreduktion + optimaleren Stromnetzauslastung in einer Zeit, in der regenerative Energien am Kommen sind.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Der Versuchsaufbau im Hof der Fa. Berninger – Foto: privat