

E 2-11 Thermische Reinigung von kontaminierten Böden

Stand: GDA 1997

1 Einleitung

Die Vielzahl unterschiedlicher Altlasten mit sehr stark variierenden Bedingungen hinsichtlich der geologischen Verhältnisse sowie der vorliegenden Schadstoff-, Standort- und Nutzungscharakteristik führte zur Entwicklung unterschiedlicher Verfahren zur Reinigung kontaminierter Böden. Den thermischen Verfahren kommt bei problematischen geologischen Verhältnissen und Schadstoffen eine wichtige Aufgabe der zuverlässigen Reinigungstechnik zu.

Die thermischen ebenso wie die mikrobiologischen Verfahren basieren auf der Tatsache, dass sämtliche organischen Schadstoffe oxidierbar sind und letztendlich im Wesentlichen zu den Produkten CO_2 und H_2O umgesetzt werden können.

Dabei wird hier im Wesentlichen auf die thermische Oxidation der organischen Verbindungen eingegangen. Bild 2-11.1 zeigt das Verfahrens Schema der thermischen Bodenreinigung.

Bei ausreichend hoher Temperatur und genügendem Sauerstoffangebot werden die organischen Schadstoffe mit dem Sauerstoff umgesetzt. Die quantitative Umsetzung wird sowohl durch den Zuwachs an Entropie als auch durch Freisetzung der Bindungsenthalpie erreicht. Die Möglichkeit einer „De novo“- Synthese organischer Schadstoffe während der Abkühlung der Rauchgase zum Zwecke der Energiegewinnung darf jedoch nicht außer acht gelassen werden.

Die bei den thermischen Verfahren zum Einsatz kommende Verfahrenstechnik erlaubt in der Regel die Behandlung praktisch jeder Bodenstruktur. Bedingt durch den gewählten Ofentyp können sich jedoch Einschränkungen ergeben. Die thermische Bodenreinigung erfordert hier ebenso wie andere Verfahren umfangreiche Vorinformationen hinsichtlich Aufbau und Kontaminationsgrad des zu sanierenden Bodenmaterials; u. U. können auch Voruntersuchungen notwendig werden, um einen optimalen Sanierungsverlauf zu gewährleisten bzw. das wirtschaftlichste thermische Verfahren auszuwählen.

In der Bandbreite der behandelbaren Schadstoffe sind generell Einschränkungen beim Vorhandensein von Schwermetallen gegeben. Chlorierte organische Verbindungen, insbesondere bei gleichzeitiger Anwesenheit von Schwermetallen und Aromaten, erfordern erhebliche Anstrengungen hinsichtlich der Abgasreinigung.

Insgesamt ist festzustellen, dass die thermische Bodenreinigung bei besonders hoch kontaminierten Böden und beim Auftreten einiger spezifischer Schadstoffe (z. B. Quecksilber, PCB, Dioxine) eine Lücke schließt, die derzeit durch mikrobiologische oder chemisch-physikalische Sanierungsverfahren nicht auszufüllen ist. Zukünftige Entwicklungen, insbesondere bei mikrobiologischen Verfahren, können hier noch zu Verschiebungen führen.

Die thermische Behandlung stellt generell einen intensiven Eingriff in das System Boden dar. Ob sie anderen Sanierungstechniken vorzuziehen ist, muss unter Einbeziehung ökonomischer und ökologischer Belange für jeden Einzelfall geklärt werden.

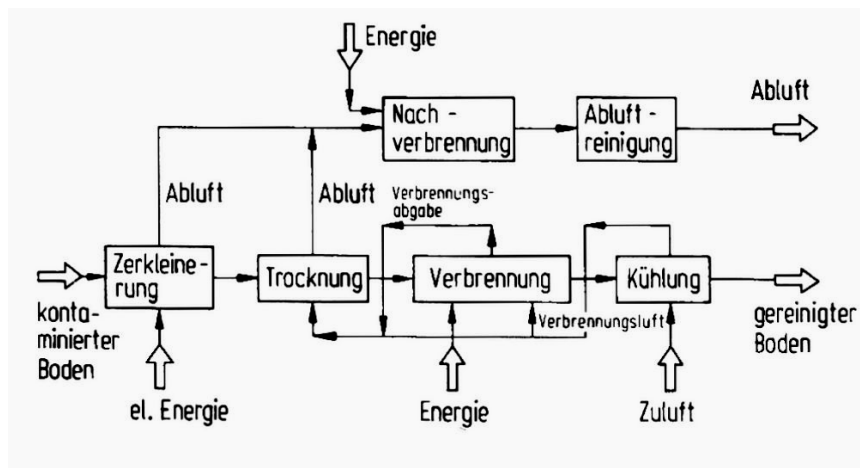


Bild 2-11.1: Verfahrensschema einer thermischen Bodenreinigung

2 Grundsätzliche Verfahrenstechniken der thermischen Sanierungsverfahren

Jede Anlage zur thermischen Bodenbehandlung, unabhängig von den unterschiedlichen Herstellern, muss prinzipiell drei Stufen enthalten.

- Die Bodenvorbereitung: Dazu gehören z. B. das Aussortieren von Grobteilen, Metallteilen u. ä., das Zerkleinern des Bodens und das Abtrennen von nicht zerkleinerbaren Bodenteilen.
- Die thermische Behandlung, bei der der Boden getrocknet, die Schadstoffe ausgetrieben und der Boden anschließend wieder abgekühlt wird.
- Die Abluftbehandlung, die gewährleistet, dass die Schadstoffe umgesetzt oder abgeschieden werden, und die die Einhaltung der Emissions-Grenzwerte garantiert.

Dabei ist zunächst gleichgültig, ob es sich um eine stationäre oder mobile Anlage handelt und ob das Verfahren on site oder off site durchgeführt wird.

2.1 Thermische Behandlung

Kernpunkt einer thermischen Bodenreinigung ist das Austreiben oder Verbrennen des Schadstoffs aus dem Boden. In welchen Temperaturbereichen die Reinigung betrieben wird, ist davon abhängig, welche Schadstoffe zu entfernen sind. Zum Ausdampfen und Entfernen von Mineralöl sind in der Regel geringere Temperaturen erforderlich als zur Verbrennung von beispielsweise PCB.

Prinzipiell bieten sich zur Schadstoffentfernung drei Möglichkeiten an:

Verbrennung

Darunter ist die direkte Erhitzung des Bodens in oxidierender Atmosphäre mit einer offenen Flamme und deren heißen Rauchgasen zu verstehen. Dabei werden sämtliche organischen Schadstoffe im Wesentlichen zu CO_2 und H_2O auf-oxidiert oder verdampft und in der Abgasreinigung oxidiert. Die Abgase werden in der nachgeschalteten Reinigungsanlage gereinigt.

Die Vorteile dieses Verfahrens bestehen vor allem in der einfachen, robusten Technik und in den hohen Temperaturen (über $1000\text{ }^\circ\text{C}$), die erreicht werden können. Dadurch lassen sich alle Arten organischer Verbindungen zersetzen, Schwermetalle z. T. abdestillieren oder keramisch in die Bodenmatrix einbinden. Als Nachteile sind der hohe Energieaufwand, die starke Beeinflussung der Bodenmatrix und die notwendige, kostenintensive Abgasreinigungstechnik zu nennen. Mit dieser Technik ist auch die Reinigung von heterogenen Massen, wie z. B. aus Auffüllungen oder Altablagerungen möglich.

Entgasung (Pyrolyse)

Als zweite Alternative bietet sich die indirekte Erhitzung an, bei der der Boden nicht mit dem Rauchgas in Berührung kommt und die Schadgase also getrennt vom Rauchgas vorliegen. Bei entsprechender Abdichtung des Ofens erfolgt unter Sauerstoffausschluss eine Pyrolyse. Die Schadstoffe werden in einem getrennten Prozessschritt in der nachgeschalteten Abgasreinigung oxidiert. Ein Nachteil des Verfahrens ist die geringere Temperatur ($600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$), die mit der indirekten Erhitzung erreicht wird. Dadurch ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der behandelbaren Schadstoffpalette. Dem stehen als Vorteile die nur indirekte thermische Beeinflussung des Bodens und ein geringerer Energieaufwand gegenüber.

Vergasung

Unter Verwendung von Vergasungsmitteln wie Dampf, Kohlendioxid, Sauerstoff und Luft wird kohlenstoffhaltiges Material bei Temperaturen zwischen 800 und $1.150\text{ }^\circ\text{C}$ in gasförmigen Brennstoff umgesetzt (vergast). Bei Temperaturen $T \leq 300\text{ }^\circ\text{C}$ spricht man vom Ausdampfen bzw. einer Niedertemperatur-Abgas-Verbrennung [1].

Ofentypen

Für die Schadstoffaustreibung kommen je nach Anlagenbauer verschiedene Techniken zum Einsatz:

- direkt beheizte Drehtrommel
- indirekt beheizte Drehtrommel (insbesondere für die Pyrolyse)
- Wirbelschichtverbrennung
- Behandlung im Heißgasstrom (Flugstromverfahren)
- Erhitzung im Bandofen (Sinterband)
- Rostfeuerung.

2.2 Abgasreinigung

Thermische Nachverbrennung

Kernstück der Abgasreinigung sowohl bei der Verbrennung als auch bei der Pyrolyse ist die thermische Nachverbrennung, bei der Abgase auf Temperaturen von 1000 °C bis 1300 °C erhitzt und die Schadstoffe dadurch oxidiert werden. Hierzu ist neben der ausreichend hohen Temperatur auch die erforderliche Verweilzeit bei dieser Temperatur zu beachten. Ferner muss sichergestellt werden, dass genügend Sauerstoff zur Oxidation der Schadstoffe vorhanden ist. Die TA Luft schreibt hier einen Mindestgehalt an Sauerstoff von 6 Vol. % nach der Abgasverbrennung vor.

Werden die genannten Voraussetzungen optimal erfüllt, ist sichergestellt, dass die bei der thermischen Behandlung des Bodens ausgetriebenen organischen Schadstoffe vollständig oxidiert werden. Dies gilt sowohl für die Verbrennung als auch für die Pyrolyse. Kontrolliert werden kann die Qualität der thermischen Nachverbrennung auf einfachem Wege durch die Überwachung des Verbrennungsleitparameters CO. Bei optimaler Verbrennung ist im Abgas praktisch kein CO mehr nachweisbar. Trotzdem können durch die sogenannte „De novo“- Synthese bei der Abkühlung des Rauchgases aus organischen Fragmenten neue, z. T. hochtoxische Schadstoffe gebildet werden. Die Entfernung dieser Stoffe aus dem Abgas erfordert neuartige und sehr aufwendige Reinigungstechniken.

Schadgasabscheidung

Neben den organischen Schadstoffen müssen die beim Oxidieren der Schadstoffe entstehenden sauren Abgasinhaltsstoffe, wie SO₂, HCl, HF und NO_x sowie die staubförmigen Schadstoffe aus dem Abgas zurückgehalten werden. Zur Eliminierung von SO₂, HCl und HF werden in aller Regel Verfahren eingesetzt, bei denen diese gasförmigen Rauchgasinhaltsstoffe mit Alkalien wie NaOH oder Ca(OH)₂ reagieren und Salze bilden. Zur Durchführung dieser Reaktionen kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz:

- trockene Absorption
- konditioniert trockene Absorption
- quasitrockene Absorption

- abwasserfreie Rauchgaswäsche
- abwasserbehaftete Rauchgaswäsche.

Die hierbei anfallenden Reststoffe sind z. T. als Sonderabfall zu deklarieren und entsprechend zu entsorgen.

Entstickung

Die Reduzierung der bei der Verbrennung entstandenen Stickoxide (NO)_x zu Stickstoff (N₂) ist auf unterschiedliche Weise bei unterschiedlichen Temperaturen möglich:

- nichtkatalytische Entstickung bei hohen Temperaturen
- Ammoniakwasser (NH₄OH)
- Harnstofflösung (CH₂ (NH₂)₂)

Auch unterschiedliche Katalysatoren werden eingesetzt, wie z. B. Edelmetalle, Metalloxide, Keramik oder Formaktivkoks.

Adsorption

Insbesondere seit Inkrafttreten der 17. BImSchV mit der Vorgabe sehr geringer Restemissionen wird eine weitere Reduzierung der Schadstoffgehalte im Abgas durch die Adsorption an Herdofenkoks in Erwägung gezogen. Dabei werden saure Abgasinhaltsstoffe, wie SO₂, HCl, HF, organische Schadstoffe, wie PAKs, Benzol u.a., hochgiftige chlororganische Schadstoffe wie Dioxine und Furane, und dampfförmige Schwermetalle wie Quecksilber, auf geringste Restkonzentrationen reduziert. Der mit diesen Schadstoffen beladene Koks muss, ebenso wie die salzförmigen Reaktionsprodukte aus den vorgenannten Reinigungsstufen, sicher entsorgt werden.

Tabelle 2-11.1: Verfahren zur thermischen Behandlung kontaminierter Böden nach [1]

Verfahren	Verfahrenskennzeichen	Angaben zum Durchsatz	Anbieter
Entgasung	Drehrohr mit indirekter Beheizung, 400 °C bis 650 °C	7 t/h (mobil)	Deutsche Babcock AG
	Schweltrommel mit indirekter Beheizung, 400 °C bis 800 °C	30.000 t/s	Kraftwerk Union Umwelttechnik
	Drehrohr mit indirekter Beheizung, 400 °C bis 750 °C	6 t/h	Niro NOELL GmbH
	Spülgasdestillation in reduzierender Gasatmosphäre in Schacht- oder Drehrohrofen, 300 °C bis 800 °C (je nach Schadstoff)	ohne Angaben	EFEU GmbH
Vergasung	Drehrohr mit indirekter Beheizung	35 t/h bis 50 t/h	Ruhrkohle Umwelttechnik GmbH/ Ecotechnik B. V.
	Hochtemperatur- Vergasung, >1.000°C bis 1.200°C	1,5 t/h	Voest- Alpine AG
Verbrennung	Ausdampfung im Drehrohrofen, Beheizung durch Leitung und Strahlung, bei > 600 °C	1,5 t/h bis 5 t/h (mobil) 10 t/h bis 30 t/h	DEUTAG/von Roll
	Thermische Verbrennung bei 1.100 °C im Drehrohrofen	0,2 t/h bis 0,4 t/h (geplant 5 t/h), (mobil)	ZüblinAG
	Verbrennung im Drehrohr mit direkter Beheizung, 300 °C bis 800 °C	25 t/h bis 30 t/h	Comprimo B. V./ ATM Amman IMA GmbH
	2-Phasen- Verbrennung mit indirekter Beheizung, 550 °C bis 900 °C	15 t/h	NBM Smit Ovens
	Verbrennung im Drehrohr mit indirekter Beheizung bei 980 °C	keine Angaben (mobil)	EPA
	Verbrennung im Infrarot-Durchlaufofen, 900°C bis 1.200°C	50 kg/h (geplant 10 t/h)	Dekonta
	Verbrennung im Wirbelschichtofen, 800 °C bis 900 °C	2 t/h	Boskalis Esdex
	Verbrennung im Wirbelschichtofen, 800 °C bis 1.200 °C	12 t/h (mobil)	Fluidized/Combustion/GAT

3 Großtechnischer Einsatz der thermischen Bodenreinigung

Nach dem langjährigen Einsatz von Versuchsanlagen in Deutschland und der erfolgreichen Sanierung einzelner Altlasten kann die thermische Reinigung nunmehr als Stand der Technik angesehen werden, auch wenn die Umstellung auf den Normalbetrieb noch einige Schwierigkeiten in sich birgt.

In der Tabelle 2-11.1 sind die derzeit gängigsten Verfahren zur thermischen Behandlung kontaminierter Böden nach [1] zusammengestellt.

4 Voruntersuchungen für eine thermische Bodenreinigung

Neben den üblichen Untersuchungen der vorhandenen Bodenverhältnisse sowie der Schadstoffcharakteristik ist für eine thermische Bodenreinigung von wesentlichem Interesse:

- Bodenstruktur
- Wassergehalt
- gesamter Organikgehalt
- Glühverlust
- Brennwert/Heizwert.

Bei Auffüllungen und insbesondere bei Altablagerungen ist die Zusammensetzung des Materials von ausschlaggebender Bedeutung für die Prüfung der Anwendbarkeit der vorgenannten Techniken.

Für die Abstimmung der notwendigen Verfahrensparameter wird, insbesondere bei hohen Kontaminationen, die Durchführung von Vorversuchen empfohlen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind bei einem eventuell erforderlichen Genehmigungsverfahren für on site- Sanierungen sehr hilfreich. Dessen ungeachtet kann aufgrund der umfangreichen Erfahrungen in aller Regel auf der Grundlage von Erkundungsergebnissen die erwartete Restkonzentration abgeschätzt werden.

Literatur zu E 2-11:

- [1] BODENSANIERUNGSVERFAHREN, Vogel-Verlag 1993.