Urnenasche und Boden / Grundwasser

Prof. Dr. Rainer Horn, Dr. Iris Zimmermann und Dr. Heiner Fleige

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

Christian-Albrechts Universität zu Kiel

Fachtagung Urnenasche – Gefahr für Boden und Grundwasser?

ZUK Osnabrück

11.01.2016

Gliederung

- Einleitung
- Eigenschaften von Aschen
- Potenzielle Auswirkungen von Ascheeinträgen auf Bodeneigenschaften
- Offene Fragen im Zusammenhang mit der umweltverträglichen Ausweisung von Friedhofsflächen
- Fazit

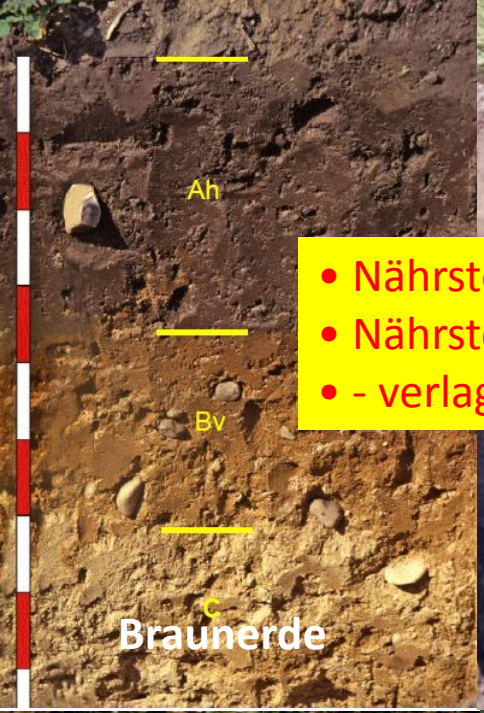
Bodenregionen Deutschlands

Marsch	Löss (schwarz)
Watt	Löss (staunass)
Flussauen	Löss und Tertiär
Moore	Kalksteine
Sand	Mergelsteine
Niederungen	Sandsteine
Terrassen	Basische Gest.
Grundmoränen	Saure Gest.
Decksand	Schiefer
Löss (braun)	Hochgebirge
	Städte / Tagebaue

Quelle: Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe

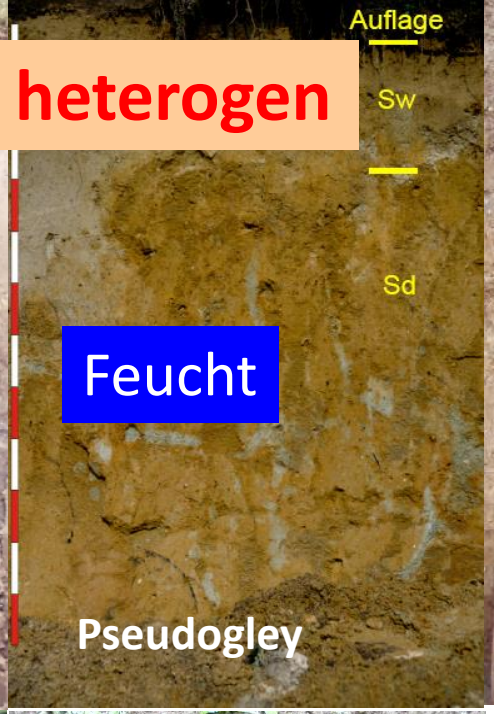
Böden sind heterogen

- Nährstoffspeicherung
- Nährstoffverfügbarkeit
- - verlagerung



Braunerde

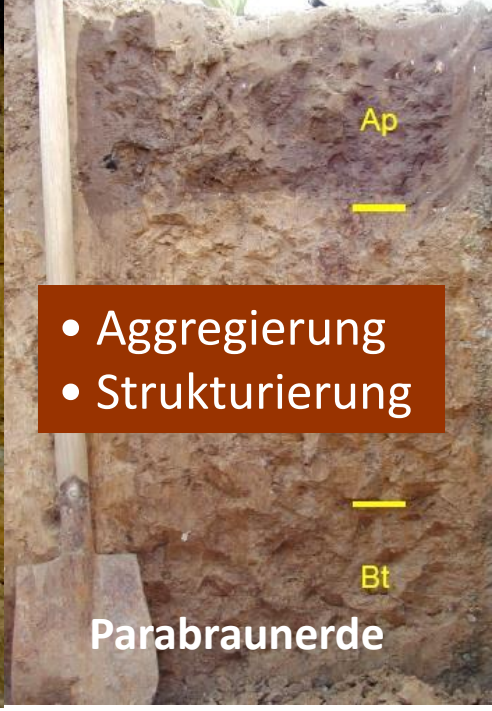
Kalkmarsch



Feucht

Pseudogley

- Aggregierung
- Strukturierung



Parabraunerde

Redoxreaktionen

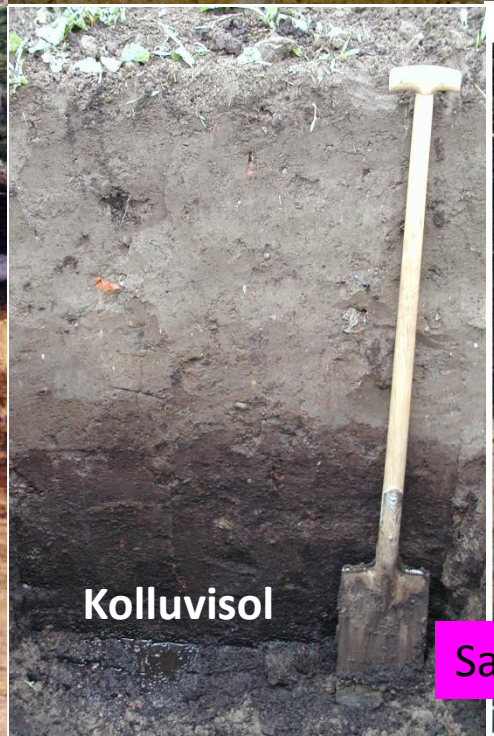
Feucht

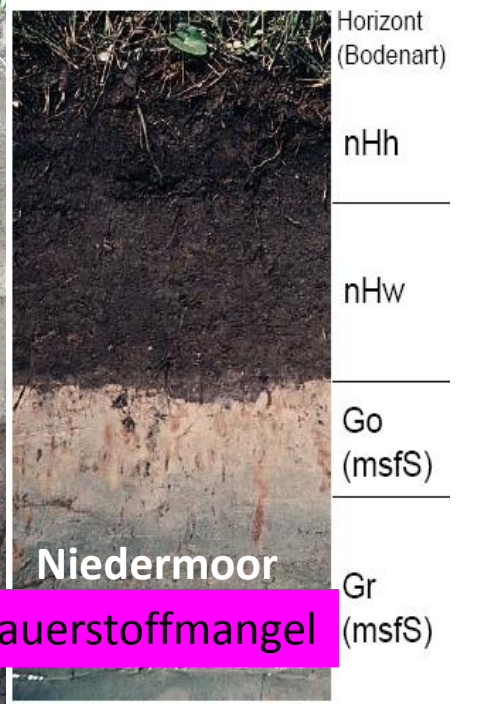
Gley

Sauerstoffmangel

Trocken

Podsol

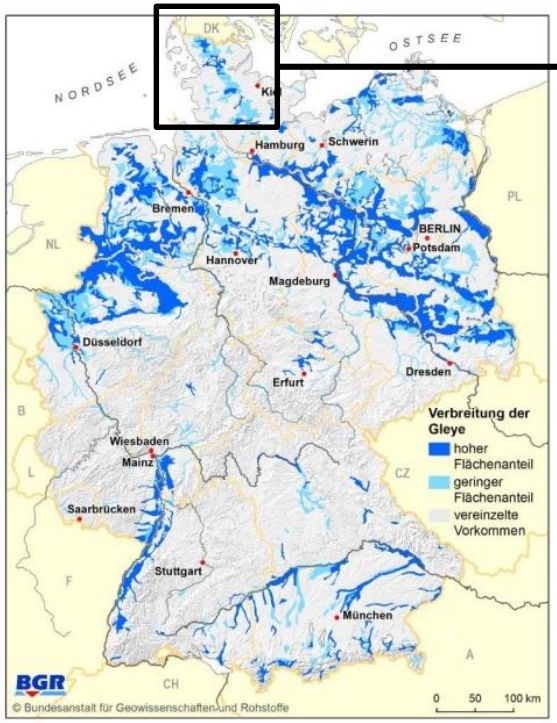

Kolluvisol



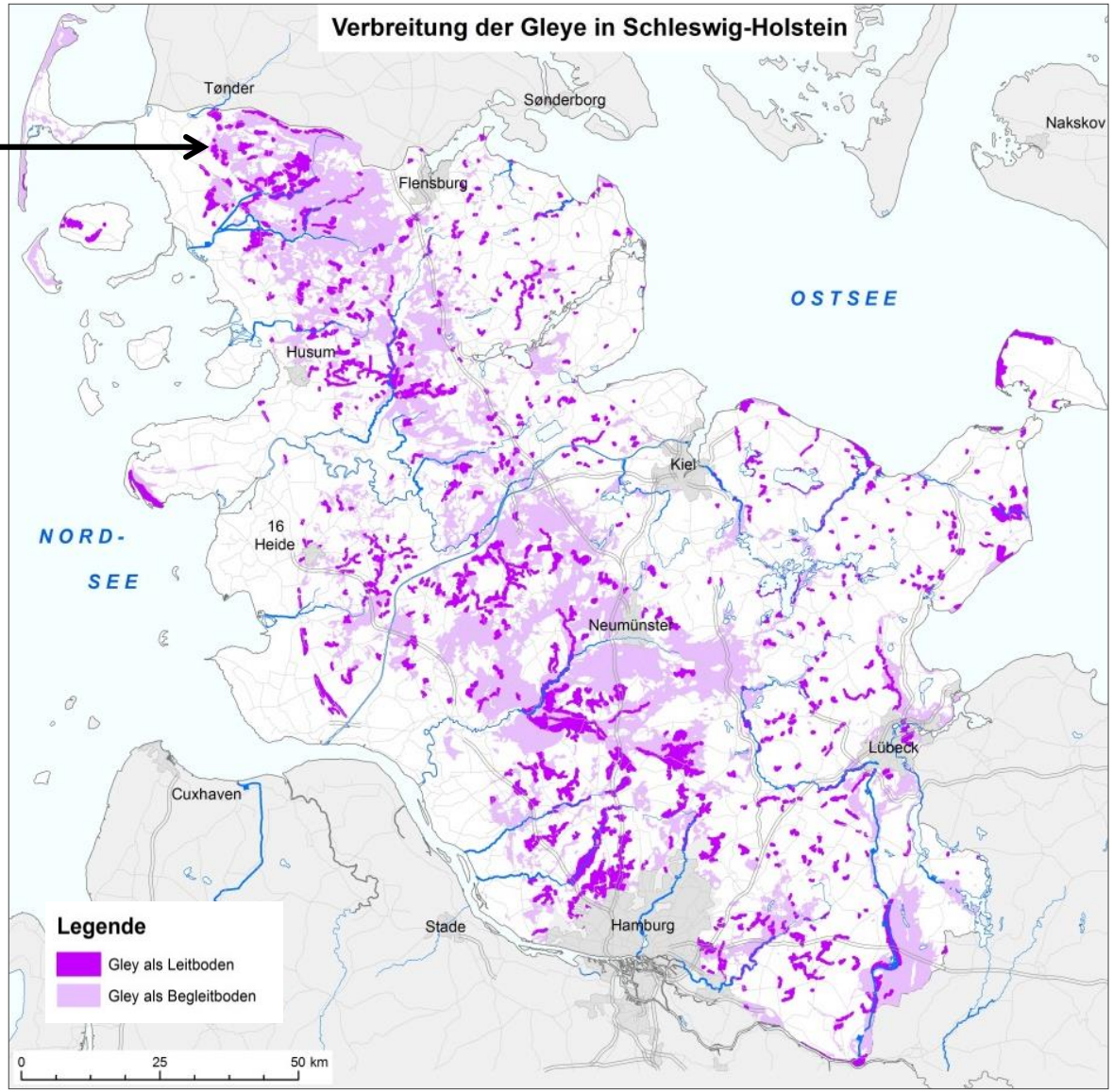
Niedermoor

Sauerstoffmangel

Der Boden des Jahres 2016- Gley



Geest



Entstehung von Böden

Faktoren der Bodenbildung

1. Klima
2. Ausgangsgestein
3. Relief
4. Wasser
5. Fauna/Flora
6. Mensch

Prozesse der Bodenbildung

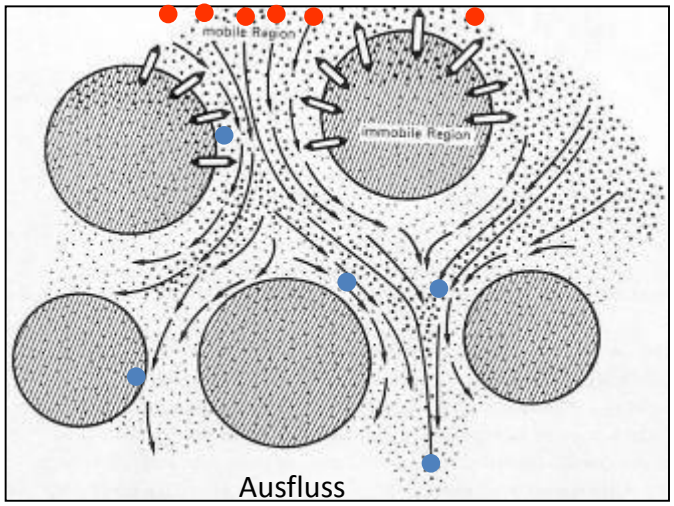
- Bildung von Humusformen
- Torfbildung
- Gefügeentwicklung
- Entkalkung
- Verbraunung / Verlehmung
- Tonverlagerung
- Podsolierung
- Redoxprozesse
- Turbation
- Stoffumlagerung
- Ferralitisierung / Desilifizierung

Filterwirkung von porösen Medien

Filterwirkung hängt ab von:

- Filterstrecke
- Fließgeschwindigkeit
- Porengeometrie
- mobiler/immobiler Porenraum
- Mineralbestand
- Kontaktfläche
- chemisch-physikalische Eigenschaften des transportierten Stoffes

Infiltrationsstrom



Prozesse im Filter:

- physikalische Sorption (Tonmineral, org. Substanz)
- chemische Festlegung (Komplexbildung an Oxiden)
- Biologische Transformation (Denitrifikation NO_3 -> N_2)
- Mechanische Filterung (z.B. organische Kolloide)

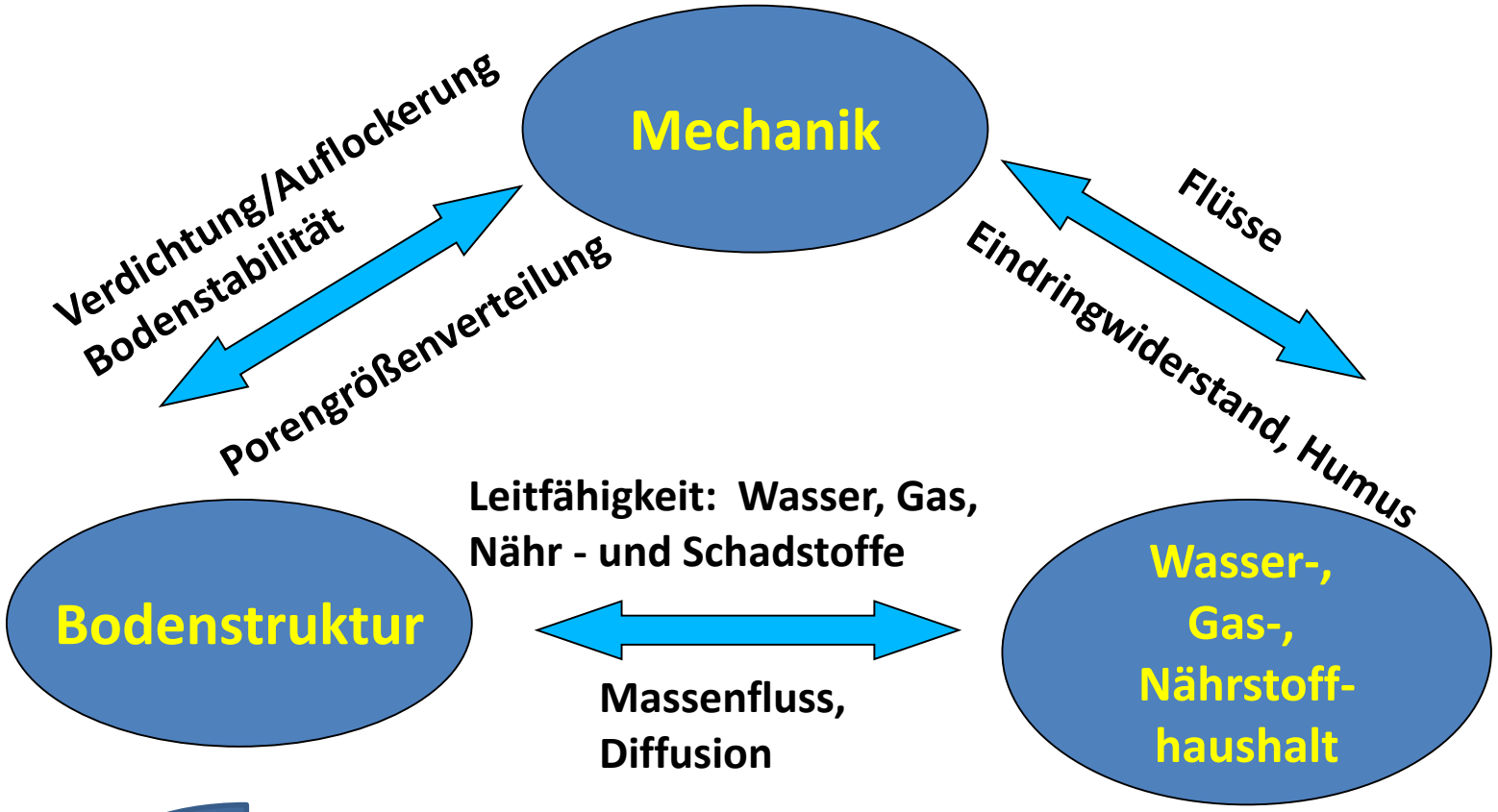
Äußere Faktoren:

- Temperatur
- Wassergehalt
- Porenluft
- Quellen/Senken

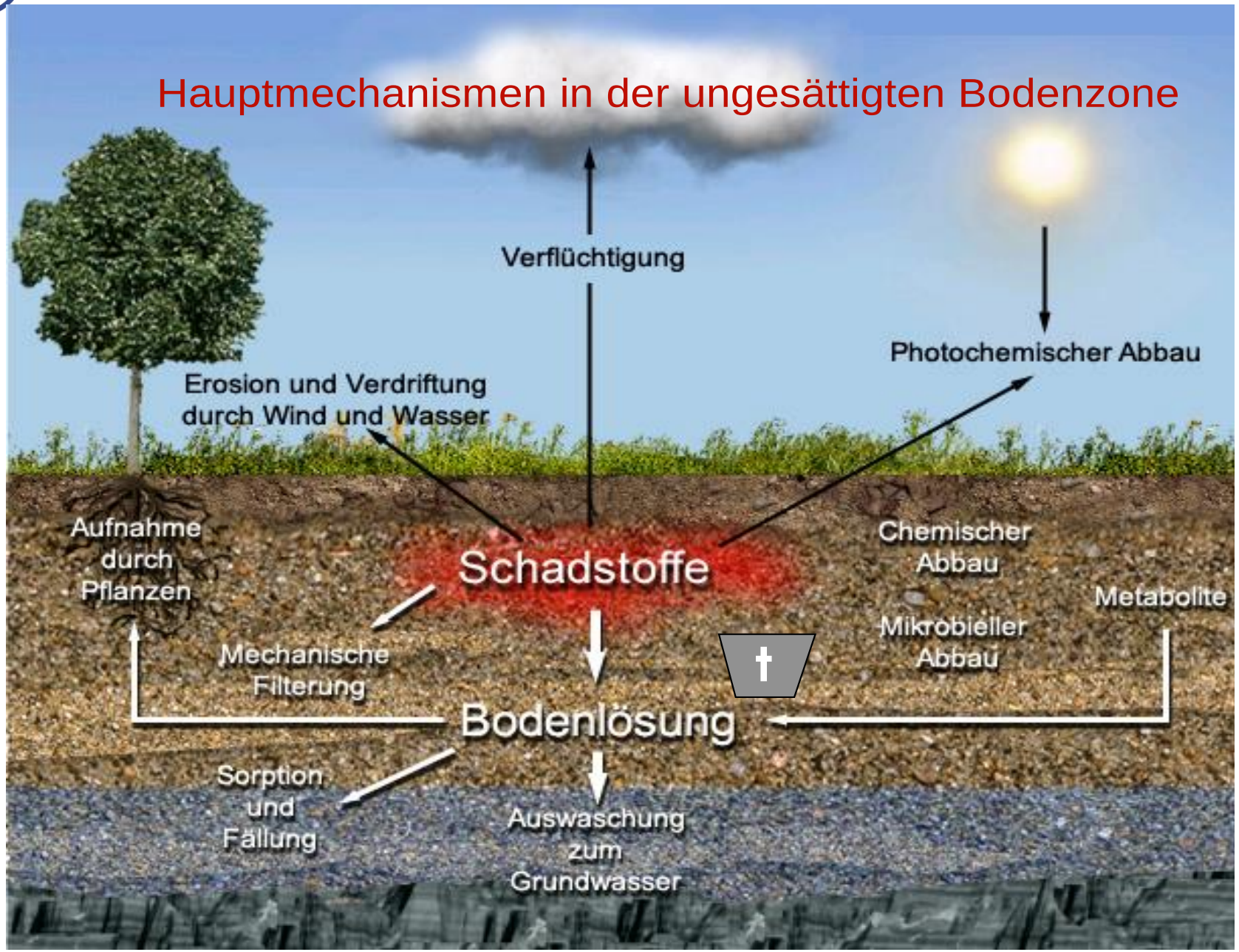
Veränderungen der Filterleistung:

- Schrumpfrissbildung durch Trocknung
- Unvollständiger Kontakt Kornoberfläche/Perkolat
- Bioturbation
- Kontamination des Filters /Sättigung erreicht
- Verstopfung durch Anlagerung

Physikalische und chemische Interaktionen in Böden



Zugänglichkeit und Nutzungspotenzial der Bodenoberflächen variiert je nach Bodenentwicklung, Management und Intensität


Hauptmechanismen in der ungesättigten Bodenzone
Verflüchtigung
Photochemischer Abbau
Erosion und Verdriftung
durch Wind und Wasser
Aufnahme
durch
Pflanzen
Schadstoffe
Chemischer
Abbau
Metabolite
Mikrobieller
Abbau
Mechanische
Filterung
Bodenlösung
Sorption
und
Fällung
Auswaschung
zum
Grundwasser

Anforderungen an Friedhofsböden

„Gute Friedhofsböden“

Filter-/Verwesungsleistung

(Erdgrab)

- ausreichende Luft- und Wasserleitfähigkeit
- gute Filterwirkung unterhalb der Grabsohle
- tiefgründig und grabbar
- grundwasserfern

laufendes DBU Projekt:
CaO - Melioration

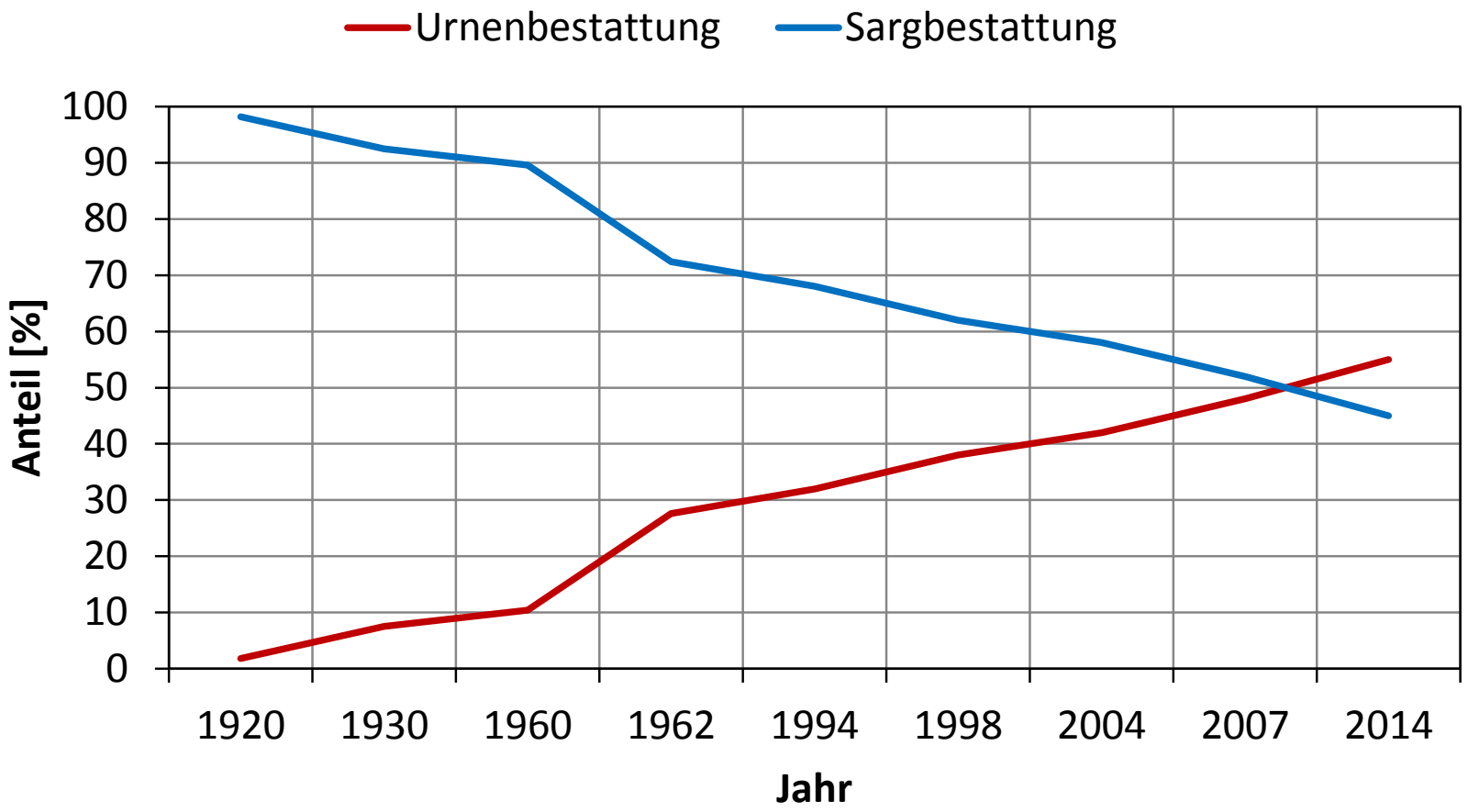
„Gute Friedhofsböden“

Filterleistung

(Urnengrab)

Handlungs-Empfehlung ?

Entwicklung der Bestattungsarten



Daten: http://wiki.aeternitas.de/index.php?title=Feuerbestattung

Die Feuerbestattung

Emission

„belastete Böden“ ?

Urnenasche
(insb. Totenasche und Holzasche/Sarg)

Urnenasche = Schadstoffe?

Abbau ?

Schad-Stoffe ?

Verlagerung / Grundwasser

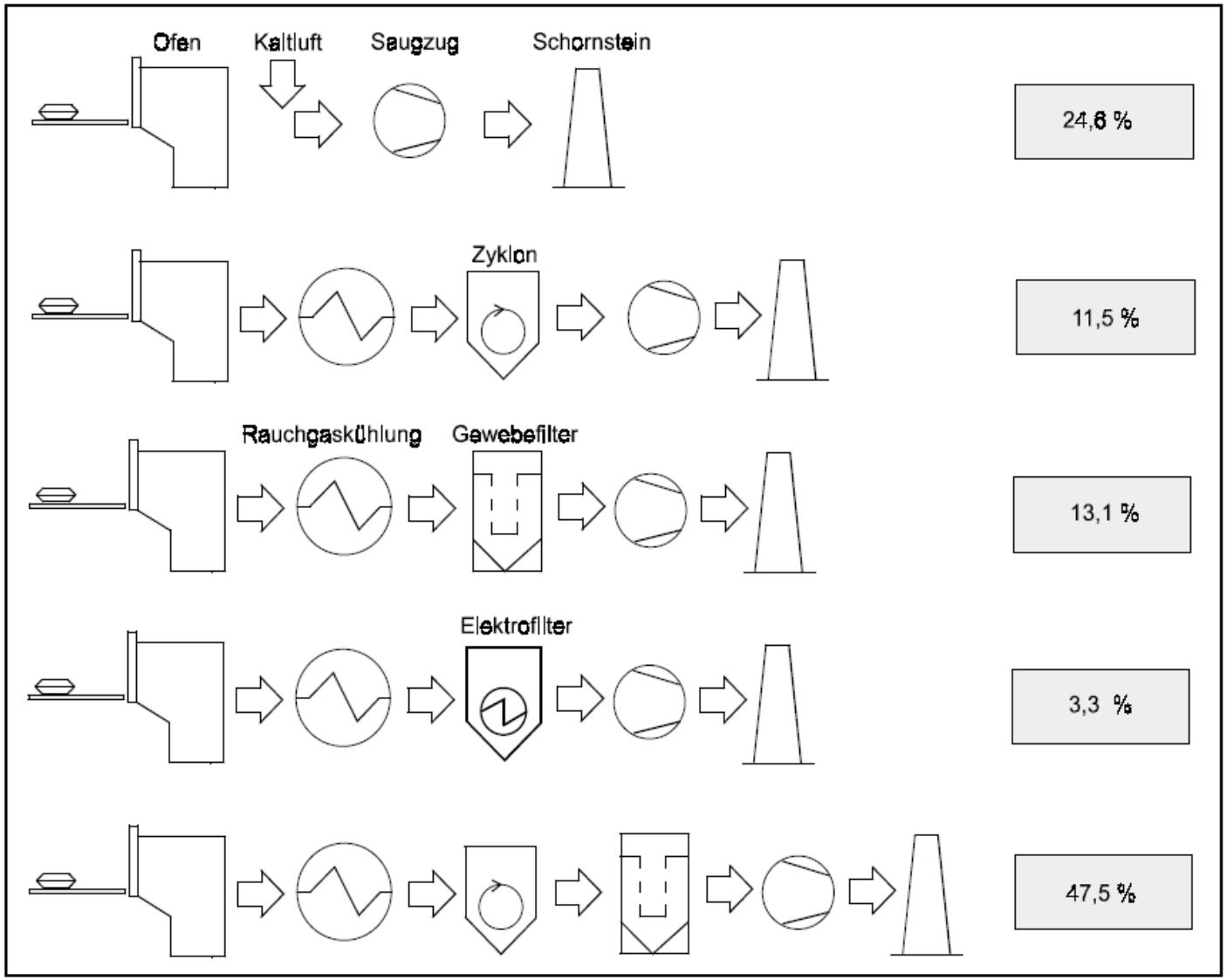
Urnengräber

Bodeneigen-schaften:
-Bodentyp
-pH
-Filter
-Grundwasser
-etc.

„Nekrosol“

Stoffbelastungen aus Krematorien

- Differenzierung zwischen *Urnenasche* und *Emission*
- Abnahme der Emissionen durch verbesserte Rauchgasfilterung seit 2000 (27.BImSchV)
  - Reinigung über Staubabscheider und Filtermedien
  - **Altlasten im Umkreis alter Krematorien** ?
- Problem Ascherückführung?!
  - Rückführung der Flugaschen (*Filterstaub*) aus den Staubabscheidern in die Urne → **Zunahme der Schadstoffgehalte**



Altflächen-problematik

Neuerer Stand

Aus: Sircar, 2002, Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Bild 4.9 *Krematoriumsbetriebe ohne bzw. mit einfacher RGT: Verfahrenskombinationen und ihre Verbreitung (Stand: 12/98 [37,45])*

Gesetzliche Vorgaben

- Ab 1992: Vorgaben zu Begrenzung von Emissionen aus Einäscherungsanlagen (VDI-Richtlinie 3891).
- 1993: Notwendigkeit einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung für Errichtung und Betrieb von Einäscherungsanlagen.
- 1997: Bundesweit einheitliche Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung (27.BImSchV).
- 2000: Ende der Übergangsregelung für die Umsetzung der 27.BImSchV für Altanlagen

Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung vom 19. März 1997 (BGBl. I S. 545), die zuletzt durch Artikel 10 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist

§ 4 Emissionsgrenzwerte: Anlagen dürfen nur so errichtet und betrieben werden, dass

1. die Emissionen von Kohlenmonoxid einen Stundenmittelwert von 50 mg/ m³Abgas,
2. die Emissionen von **Gesamtstaub** und organischen Stoffen, gebildet als Stundenmittelwert (und in Übereinstimmung mit dem im Anhang 1 festgelegten Verfahren), die folgenden Emissionsgrenzwerte
   a. Gesamtstaub 10 mg/m³,
   b. organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff, 20 mg/m³ und
3. die Emissionen von (den im Anhang 2 genannten) Dioxinen und Furanen, angegeben als Summenwert und gebildet als Mittelwert über die jeweilige Probenahmezeit, jeweils in Übereinstimmung mit dem im Anhang 2 festgelegten Verfahren, den Emissionsgrenzwert von 0,1 ng/m³ nicht überschreiten.

→ Angaben zu mineralischen (Schad-)Stoffen fehlen

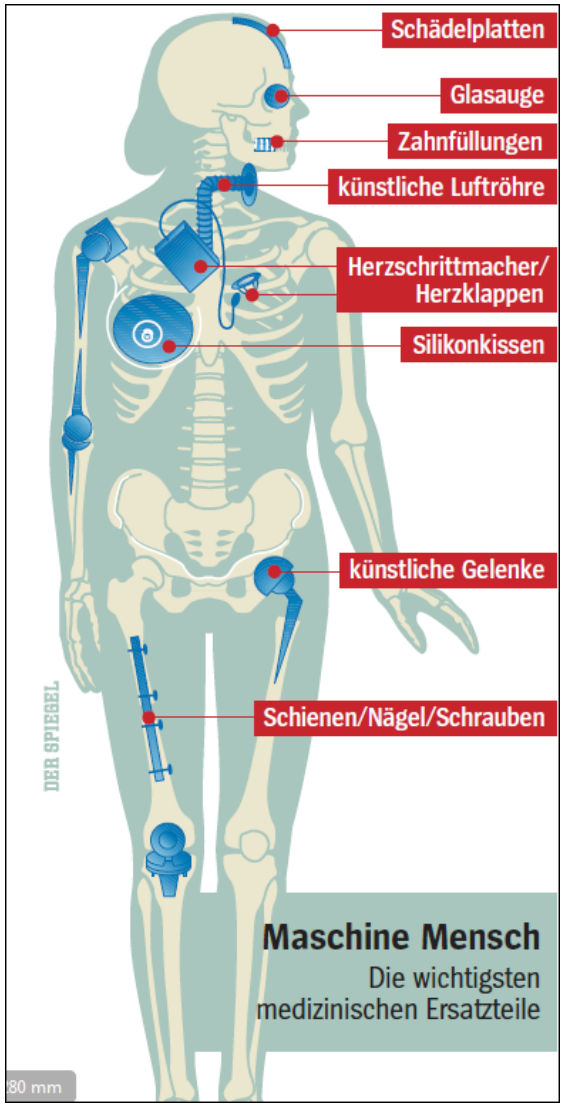
Urnenasche

Was ist in der Asche?

- Totenasche
- Sargbestandteile (ca.10 %)

- insb. mineralische (Schad-)Stoffe
- geringe Anteile organischer (Schad-)Stoffe

Prothesen, Herzschrittmacher („Müll“-Trennung nach Verbrennung)



DER SPIEGEL 5/1997

Ascheaufkommen in einem Jahr

- ca. 54,5 % Feuerbestattungen in Deutschland
- 868.373 Sterbefälle im Jahr 2014
- Entspricht ca. 473.263 Feuerbestattungen
- ca. 3 kg Asche pro Leichnam
- Bei 473.263 Feuerbestattungen entspricht das 1.419.789 kg Asche
- bei 30 cm = ca. 4500 t/ha Boden
- dh. 10 cm/ha würde mit Asche/a bedeckt = 150 LKW Ladungen

Eigenschaften von Asche

- Alkalischer pH-Wert (ca. pH 12 !)
- Textur: (Fein-)Sand
- Überwiegend mineralische Bestandteile
- Schwermetalle
- Oxide von Erdalkali- und Alkalielementen (M_nO)
  - Hydrolyse bei Kontakt mit Wasser (Boden)

    $M_2O + H_2O \rightarrow 2M^+ + 2OH^-$
  - Entstehung von Carbonaten bei Reaktion mit CO_2 z.B. aus dem Abbau von organischer Substanz (Boden)

    $2M_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2M_2CO_3 + O_2$
- Sehr geringe organische Anteile

Korngrößenfraktionen Kremationsasche (Rostasche)

Maschenweite in µm	Einordnung Boden	Mittelwerte %
>125	Feinsand (200 – 63 µm)	58,58
90		14,44
63		15,17
< 63	Schluff und Ton	11,87

- Die Körnung der Asche entspricht einem (Fein-)Sand (Anteil der Partikel <63 µm kleiner 15 %)

Abgeleitete Kennwerte Feinsand:

- Gesättigte Wasserleitfähigkeit: 400…200 cm/d
- Gesamtporenvolumen: 41…43 Vol.-%
- Luftkapazität (Poren > 50 µm, schnelle Drainage): 23…34 Vol.-%
- Haftwasseranteil: 10…14 Vol.-%

Regelungen für die Ausbringung von Asche als Düngemittel

- nur Feuerraumasche aus der Monoverbrennung von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen darf als Zusatz (max. 30%) zu Kohlensaurem Kalk ausgebracht werden (DüMV 2012)
- keine Verwendung von Zyklonflugasche oder Feinstflugasche (aus der Abgasreinigung)
  - Hier besonders hohe Schwermetallgehalte durch Kondensation von gasförmigen Verbindungen
- Ausbringung nur wenn die Besorgnis einer Grundwasser-verunreinigungen durch definierte Rahmenbedingungen (z.B. Einhaltung von Mengenbeschränkungen, keine punktuelle Konzentration) ausgeräumt werden kann

Verschiedene Aschen: Schwermetallgehalte und pH-Werte

Quelle	Urnenasche			Holzasche		Hausmüllasche
Bereich	**Rostasche**	Spanne	**Filterstaub**	**Grobasche**	**Feinasche[1]**	**Rost-und Kesselasche**
Schwermetall	**mg/kg TS**	mg/kg TS	**mg/kg TS**	**mg/kg TS**	**mg/kg TS**	**mg/kg**
Blei	35	< 10…160	3.000	13,6	1053	109
Cadmium	< 20		100	1,2	80,7	102
Chrom	435	< 40…4.000	200	326	231	93
Kupfer	156	32…330	<1.000	165	389	-
Nickel	163	23…900	-	-	-	111
Zink	810	< 500…2.300	16.000	-	-	-
pH-Wert	12,3	10…13,6		12,7	12,7	-

1: *Feinasche darf laut Düngemittelverordnung nicht ausgebracht werden.*
<: *nur qualitativ bestimmt*

Schwermetalle: Klärschlammverordnung und Bodenschutzverordnung

Quelle	Urnenasche (Rostasche)		Klärschlammverordnung	Bundesbodenschutzverordnung	
Bereich	**Mittlerer Gehalt**	Spanne	**Max. zulässige Gehalte in Klärschlamm für Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen1)**	**BBodSchV Vorsorgewerte für Böden**	**Prüfwerte Park und Freizeit-anlagen**
Schwermetall	**mg/kg TS**	mg/kg TS	**mg/kg Schlamm Trockenmasse**	**mg/kg Feinboden**	**mg/kg Feinboden**
Blei	35	<10…160	900	40…100	1.000
Cadmium	<20		10	0,4…2	50
Chrom	435	<40…**4.000**	900	30…100	1.000
Kupfer	156	32…330	800	20…60	
Nickel	163	23…**900**	200	15…70	350
Zink	810	<500…2.300	2.500	60…200	

1) Ausbringung nur erlaubt, wenn der Boden zuvor untersucht wurde und die Vorsorgewerte nach BBodSchV nicht überschritten werden. Maximal 5 t Trockenmasse pro ha innerhalb von 3 Jahren.

Schwermetalle im Boden

- Vorkommen
  - Als freie Kationen
  - In anorganischen und organischen Komplexen, sowie Chelaten
  - An Huminstoffen und Tonminerale adsorbiert
  - In Mineralen
- Mobilität und Reaktivität abhängig von:
  - Adsorptions- und Desorptionsprozessen
  - Präzipitations- und Lösungsreaktionen
  - Komplexierung
  - Redoxreaktionen
- Wechselwirkungen und Reaktionen vor allem im Grenzbereich zwischen Oberflächen und Bodenlösung
- Schwermetalle in gelöster oder komplexierter Form können ausgewaschen oder von Organismen aufgenommen werden

Verhalten ausgewählter Schwermetalle im Boden: Chrom

- Chrom (VI)
  - Toxisch und kanzerogen, im Boden sehr mobil
  - Mobile Spezies in Abwesenheit von Komplexbildnern: H_2CrO_4, $HCrO_4^-$, CrO_4^{2-} und $Cr_2O_7^{2-}$
  - Im Boden ist die Reduktion des Chrom (VI) zu kaum toxischen und nahezu immobilem Chrom (III) wahrscheinlich (E_0 = +1,33 V)
  - Reduktion durch organische Säuren oder Mikroorganismen
  - unter anaeroben Bedingungen Reduktion durch Eisen(II) oder Sulfid

Verhalten ausgewählter Schwermetalle im Boden: Chrom

- Chrom(VI) liegt im Boden als Säure oder Anion vor
- Adsorption vor allem bei niedrigen pH-Werten
  - Spezifisch, durch innersphärische Komplexe
- Adsorption an Fe(III)- und Al(III)-Oxiden, sowie an organischer Substanz und Tonmineralen
- Schwächere Adsorption und höhere Mobilität im schwach sauren bis alkalischen pH-Bereich
  - Adsorption zunehmend unspezifisch, elektrostatisch, Bildung von außersphärischen Komplexen
  - Konkurrenz mit Phosphaten um Bindungsplätze
- Chrom(III) ist kationisch und liegt bei pH-Werten >3,8 überwiegend als Hydroxid oder an Tonmineralen adsorbiert vor
  - Schwerlöslich, wenig mobil

Verhalten ausgewählter Schwermetalle im Boden: Blei

- Blei ist im Boden grundsätzlich wenig mobil
  - Starke Bindung an organische Substanz sowie an Mn- und Fe-Oxide
  - Bindung in schwerlöslichen Bleiphosphaten möglich, z.B. Chloropyromorphit ($Pb_5(PO_4)_3Cl$)
- Kaum toxische Wirkung auf Pflanzen und Bodenorganismen, da es wenig mobil ist
- Zunehmende Mobilität bei pH < 4

Verhalten ausgewählter Schwermetalle im Boden: Cadmium

- Bindung an organische Substanz, Ton und Oxide schwächer als bei z.B. Cu, Pb, Hg
- Bei hohen pH-Werten und hoher Cd-Konzentration Bindung in Octavit ($CdCO_3$) möglich
- Unter reduzierenden Bedingungen Bindung in Greenocktit (CdS) möglich
- Zunehmende Mobilität bei pH < 6

Verhalten ausgewählter Schwermetalle im Boden: Kupfer und Zink

- Kupfer und Zink liegen überwiegend als Kationen vor (Cu^{2+} und Zn^{2+})
  - Fixierung und Anreicherung in organischer Substanz und Tonmineralen
- Toxische Wirkung des Cu^{2+} in Böden und Gewässern
  - Bakterien, Algen, Fische
- Bindung von Kupfer unter stark reduzierenden Bedingungen als Delafossit ($CuFe_2O_4$)
- Bindung von Zink in Franklinit ($ZnFe_2O_4$) möglich
- Zunehmende Mobilität bei pH < 4,5 (Cu) bzw. pH < 5,5 (Zn)

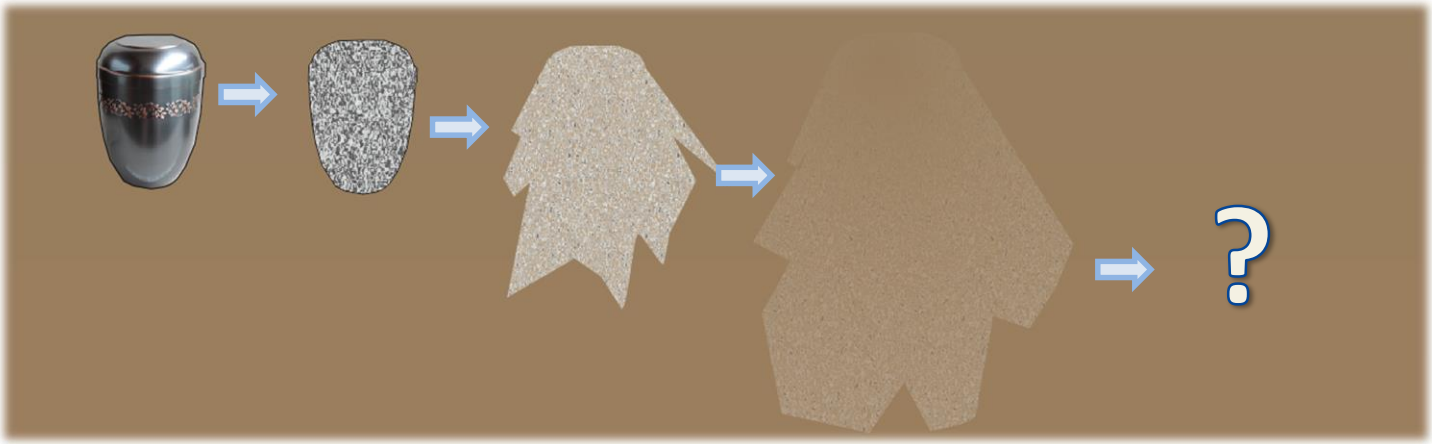
Bestattung nach Kremation

- Urnengrab: Asche in Aschekapsel + Schmuckurne
  - Bestattung in ca. 80 cm Tiefe
  - Kontakt mit dem Boden erst nach Zersetzung der Umhüllung (Zersetzung: abhängig von Material (Tonurne, Stahlurne, „Bio-Urne“, etc.) und Bodentyp)

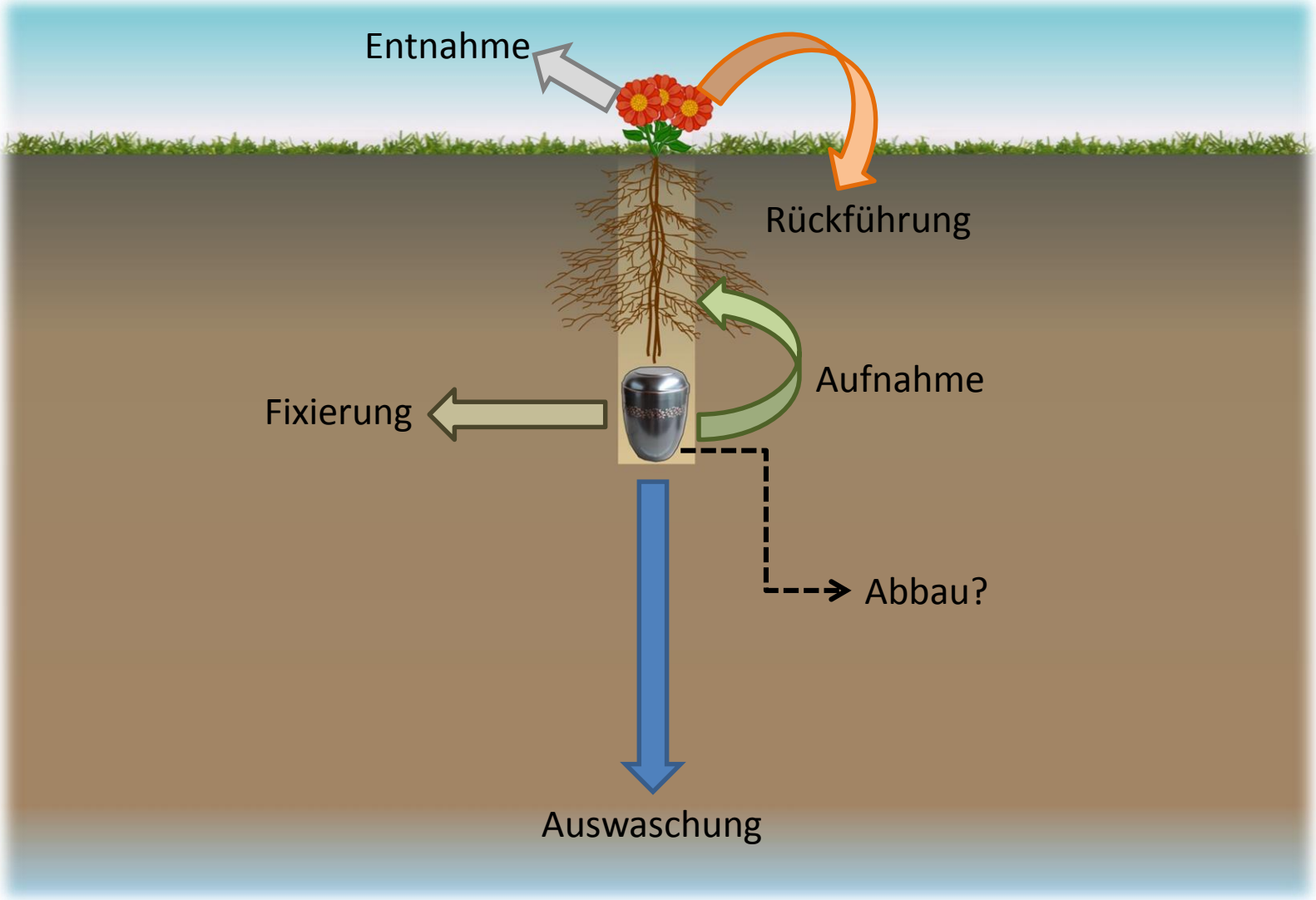
- Aschestreuwiesen
  - Direkter Kontakt der Asche mit Atmosphäre (Staubentwicklung), Vegetation und belebtem Oberboden
  - Einwaschung in den Boden durch Niederschlagsereignisse
- Seebestattungen

Übergang der Asche in den Boden

- Zersetzbarkeit von Aschekapsel und Schmuckurne ?
- Vermischung der freiwerdenden Asche mit der Bodenmatrix ?
- Transport in der Bodenlösung ?
- Einflussbereich ?



Verbleib der Aschebestandteile?



Abbau?

- Eventuell noch vorhandene organische Bestandteile können abgebaut werden
  - Sehr geringer Anteil, anorganische Bestandteile überwiegen
- Schwermetalle können nicht abgebaut werden
  - Anreicherung im Boden (Fixierung)
  - Auswaschung

Fixierung Einflussfaktoren

- Kontakt zwischen Bodenlösung und Festphase
  - Wasserretention, Porosität
  - Aufenthaltsdauer des Sickerwassers
- Zusammensetzung der Festphase
  - Humusgehalt
  - Tongehalt
  - Gehalt an Metalloxiden und –hydroxiden
- pH-Wert
- Redoxpotenzial
- Gesamtkonzentration des Schwermetalls

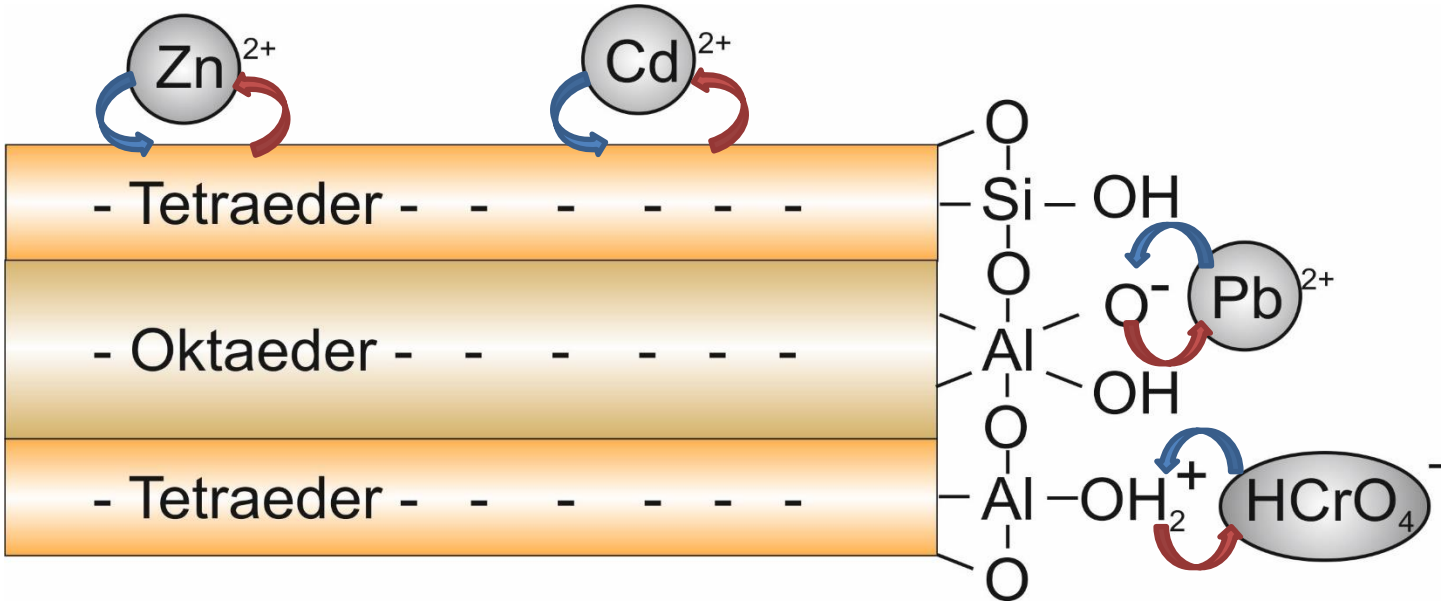
Fixierung Einflussfaktoren

- Wasserretention, Aufenthaltsdauer des Sickerwassers
  - Fällung, Lösung, Desorption und Adsorption finden vor allem an der Grenze zwischen fester und flüssiger Phase statt.
  - Starke Wasserbindung und geringe Wasserleitfähigkeiten verlängern den Aktionszeitraum für Fixierungsprozesse
  - Abstand zum Grundwasser bestimmt Filterstrecke

Fixierung Einflussfaktoren

Tonminerale

- Sorption von Schwermetallen relativ schwach und reversibel da überwiegend unspezifisch durch elektrostatische Kräfte
- Konkurrenz mit und ggf. Verdrängung von Nährkationen am Austauscher



Fixierung Einflussfaktoren

organische Substanz (Huminstoffe)

- Hohe spezifische Oberfläche → hohe Sorptionskapazität
- pH-abhängige Oberflächenladung
- KAK zwischen 60 und 300 $cmol_c/kg$
- Sorption von Kationen und Anionen
- Bindung durch Komplexierung mit Huminsäuren

	Sorptionskapazität ($mmol^2\ kg^{-1}\ l^{-1}$)		
	Cu	Cd	Zn
Mineralphase	10,7	2,5	3,5
Organische Bodensubstanz			
Schwarzbrache 10,0 mg g^{-1} C	65,2	21,4	25,4
Grünland 26,0 mg C g^{-1}	87,5	33,0	37,7

- Bindungsstärke durch metallorganische Komplexe: Zn < Co < Ni << Pb ≤ Cu
- Komplexierte Metalle können jedoch auch wasserlöslich und somit mobil sein

Aus: Blume et al (2010)

Fixierung Einflussfaktoren

Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxide und -hydroxide

- Starke spezifische Sorption
- Hohe spezifische Oberfläche → hohe Sorptionskapazität
- pH-abhängige Oberflächenladung, Sorption von Kationen und Anionen
- Bevorzugte Sorption von Hydroxokomplexen der Metalle ($Me(OH)^+$) nach Deprotonierung von OH-Gruppen an den Oxidoberflächen
- Spezifische Adsorption an Metalloxidoberflächen wird durch Neigung der Metalle zur Bildung von Hydroxokomplexen bestimmt: $Cd<Ni<Zn<<Cu\leq Pb$

Fixierung Einflussfaktoren

pH-Wert und Redoxpotenzial

- Zunehmende Mobilisierung von Schwermetallen mit sinkendem pH-Wert
  - Bei hohen pH-Werten überwiegend Bildung von schwerlöslichen Oxiden (z.B. Al, Fe und Mn) und starke spezifische Sorption an die Festphase durch zunehmende Bildung von Hydroxo-Metall-Komplexen
  - Mobilität kann durch Bildung von wasserlöslichen metallorganischen Komplexen auch bei neutraler bis alkalischer Bodenreaktion erhöht sein (z.B. Cu, Pb)
- Remobilisierung von sorbierten Schwermetallen durch reduktiven Zerfall von Eisen- und Manganoxiden
- Größere Mobilität der reduzierten Spezies (z.B. Fe, Mn) oder der oxidierten Spezies (z.B. Cr) möglich

Auswaschung Einflussfaktoren

- Zusammensetzung der Bodenmatrix → Fixierung, Filter und Puffervermögen
- Sickerwasseraufkommen, Wasserbilanz, Klima
- Wasserleitfähigkeit, Fließgeschwindigkeit
  - Porensystem
  - Abstand zum Grundwasser
- Kremationsasche kann Chlor, Sulfat, Nitrit, Nitrat, Blei, Zink, Cadmium und Chrom in wasserlöslicher Form enthalten

Wasserlösliche Bestandteile von Filterstäuben aus einem Krematorium

Wasserlösliche Bestandteile (S4 Verfahren) Filterstaub		**Grenzwert Trinkwasser**	**Prüfwert nach BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser**
Bestandteil	Gehalt (mg/l)	Gehalt (mg/l)	Gehalt (mg/l)
Cl	19.100	250	-
SO_4	11.400	250	-
NO_2	3	0,5	-
NO_3	30	50	-
Pb	0,05	0,01	0,025
Zn	0,2	-	0,05
Cd	0,28	0,003	0,005
Cr(VI)	0,52	0,05	0,008

Wasserlöslicher Anteil: 55 Masse-% der TS

pH-Wert: 9,06

Leitfähigkeit (EC): 58.500 µS/cm

Die Filterstäube müssen in einer Untertage-Deponie eingelagert werden, da sie gefährliche bzw. toxische Bestandteile (Cr(VI), Pb, Zn) enthalten.

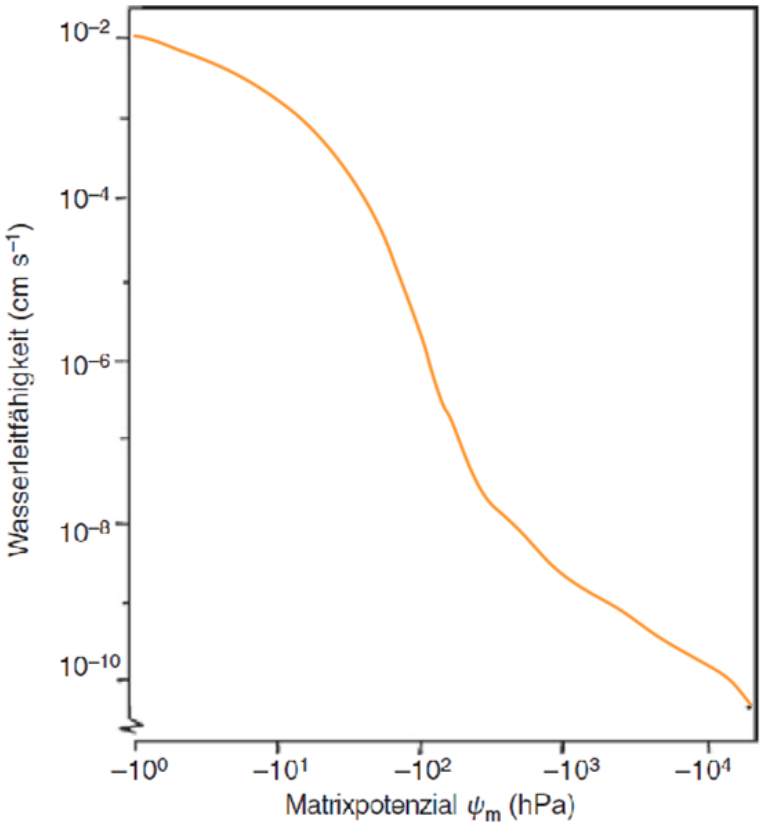
… Rostasche (?)

Transportwege für Sickerwasser

- Präferentieller Fluss in kontinuierlichen Grobporen
- Abreißen des Wasserfilms in grobkörnigen Substraten

Saugspannung in hPa	< 60	60 bis < 300	300 bis < 15 000	≥ 15 000
pF-Wert	< 1,8	1,8 bis < 2,5	2,5 bis < 4,2	≥ 4,2
Porenäquivalent in µm	> 50	50 bis > 10	10 bis > 0,2	≤ 0,2
Porenbezeichnung	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Bodenwasser	schnell bewegliches Sickerwasser	langsam bewegliches Sickerwasser	pflanzen-verfügbares Haftwasser	nicht pflanzen-verfügbares Haftwasser
Kennwerte	Luftkapazität	nutzbare Feldkapazität		Totwasser
		Feldkapazität		
	Gesamtporenvolumen			

Ad-hoc-AG Boden (2005)



Aufnahme und Rückführung von Schwermetallen

- Fe, Zn, Mn, Cu und Co sind Mikronährstoffe
  - wirken bei zu hoher Aufnahme dennoch toxisch
- Störungen des Pflanzenwachstums bei Aufnahme
  - Veränderung der Zellmembranpermeabilität
  - Konkurrenz um Bindungsplätze und Verdrängung von essentiellen Kationen und Gruppen wie Phosphat und Nitrat
  - Störung von Enzymsystemen durch „falsche“ Komplexsysteme mit den Schwermetallen
- Quecksilber, Kupfer, Nickel, Blei, Cobalt und Cadmium sind für höhere Pflanzen und Mikroorganismen am stärksten giftig
  - Abhängig von der Konzentration (Cu und Co sind auch Mikronährstoffe)
  - Artspezifische Toleranzen vorhanden
  - Schutzmechanismen z.B. selektive Aufnahme oder Immobilisierung in bestimmten Zellen
- Von der Vegetation aufgenommene Schwermetalle werden in der Regel über die Streu wieder in den Boden zurückgeführt

Potenzielle Auswirkungen von Ascheeinträgen auf Bodeneigenschaften

- Anhebung des pH-Wertes
  - In sauren Böden positiv
- Veränderung der Benetzbarkeit von Oberflächen?
- Auswirkungen auf mikrobielle Aktivität
  - Z. B. Kupfer, Cadmium, Nickel und Zink sind für Rhizobia-Arten toxisch
  - Verschiebung der Artenzusammensetzung
  - Insgesamt verlangsamte Freisetzung von Nährstoffen aus dem Abbau von organischer Substanz

Auswirkungen von Schwermetalleinträgen in den Boden

Tab. 10.2-8 Wirkungsschwellen verschiedener Schwermetalle auf Bodentiere

Metall	Art	Parameter	Gehalt im Boden [mg kg^{-1}]	Hemmung/Reduktion [%]
Arsen	*Lumbricus terrestris* *Eisenia fetida*	Mortalität Reproduktion	117 70	50 30
Blei	*Lumbricus rubellus* *Caenorhabditis elegans*	Mortalität Mortalität	3000 1305	50 4
Cadmium	*Aporrectodea caliginosa* *Folsomia candida*	Reproduktion Reproduktion	1,86 12	10 10
Chrom	*Octochaetus pattoni* *Eisenia fetida*	Reproduktion Reproduktion	2 100	40 52
Kupfer	*Eisenia fetida* *Aporrectodea caliginosa*	Reproduktion Wachstum	16,8 69,8	10 10
Nickel	*Eisenia fetida* Nematoden	Reproduktion Populations-dichte	85 100	10 18
Queck-silber	*Octochaetus pattoni* *Esienia fetida*	Reproduktion Mortalität	0,5 13	35 26
Zink	*Eisenia fetida* *Folsomia candida*	Reproduktion Reproduktion	136 185	50 50

Aus: Blume et al.: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 16. Aufl. © Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2010

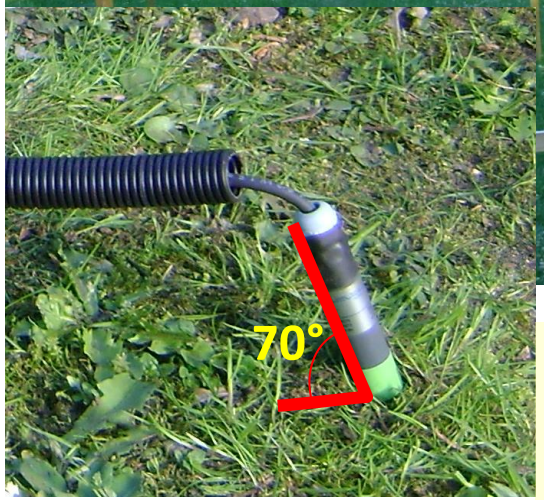
Offene Fragen im Zusammenhang mit der umweltverträglichen Ausweisung von Friedhofsflächen

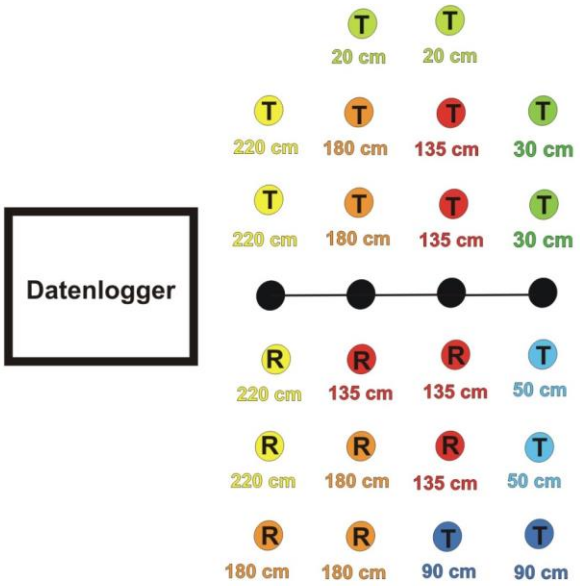
1) Wie verhält sich die Asche langfristig im Boden? Sowohl eine dauerhafte (± punktuelle) Anreicherung als auch eine starke Verlagerung in die Umwelt wären als problematisch anzusehen.
2) Welches Ausmaß haben die in der Urnenasche vorhandenen Schwermetallkonzentrationen und – zusammensetzungen sowie die organischen Bestandteile.
3) Welche Mobilitätsprozesse sind in natürlichen Friedhofsflächen (Wälder mit z.B. sauren Böden, alte Wiesenbereiche oder Ackerflächen) zu erwarten in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen.
4) Welche Folgemaßnahmen sind bei der langfristigen Verwendung von Streuwiesen vorzusehen (hierbei steht nicht der humanmedizinische Aspekt im Vordergrund sondern der Luft- und Wasserpfad).
5) Welche Partikelverteilung garantiert am besten die langfristige Immobilisierung der Schadstoffe in der Asche.

Ausblick

- Gefahrenabschätzung Kontamination mit Schwermetallen
- Filtereigenschaften „Nekrosol“ gegenüber Schadstoffen / Schwermetalle (Bindungsstärke, pH-Grenzwerte)
- Messung /Modellierung Transportprozesse (Tensiometrie, Hydrus)
- Handlungsempfehlung

Monitoring auf Friedhöfen





20 cm, 30 cm, 50 cm, 90 cm → Deckschicht

135 cm → Sargbereich

180 cm, 220 cm → Grabsohle/Filterschicht

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit