

Deponering av avgangsmasser fra gruveindustrien – på land eller i vann?

Therese K. F. Loe, Seksjon Miljøgeologi



Vitenskapelig artikkel

Deponering av avgangsmasser fra gruveindustrien – på land eller i vann?

Therese K. Flaathen Loe^{1,*} og Per Aagaard²¹ Seksjon Miljøgeologi, Multiconsult, postboks 265 Skøyen, 0213 Oslo² Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, postboks 1047 Blindern, 0316 Oslo* Korresponderende forfatter: tfl@multiconsult.no

SAMMENDRAG

Utvinningen av metaller og mineraler fører til produksjon av store mengder gråberg og avgang; slike masser må deponeres på en miljømessig forsvarlig måte. Mobilisering av forurensende stoffer krever både at de frigjøres fra avgangen, og at de transporteres vekk for så å bli eksponert for biota. Det er spesielt kisholdige gråbergdeponier og avgang fra kisholdige gruver som gir de største miljøutfordringene, hvor oksidering av pyritt (FeS_2) gir forsuring og frigivelse av tungmetaller. For å unngå oksidasjon, må avgangen lagres i et reduserende miljø. Alternative lagringssteder med reduserende miljø er i en tett dam på land eller i et dypt fjorddeponi. En negativ konsekvens av en tett dam er at dammen kan være geoteknisk ustabil grunnet høyt poretrykk. Den høye konsentrasjonen av svovel i et dypt fjorddeponi vil hjelpe til med å binde tungmetaller som sulfider. I tillegg er et dypt fjorddeponi geoteknisk stabilt og porevanngjennomstrømningen, dvs. transporten ut av deponiet, vil være minimal. Valget mellom ulike typer deponier må vurderes for hvert enkelt tilfelle. Her kommer både økonomiske, tekniske og miljømessige vurderinger inn. Det synes imidlertid klart, at hvis anoksiske dypere områder finnes i nærliggende fjorder og kystområder, kan deponering i slike steder være å foretrekke ut fra miljøhensyn.



Gruvedrift – Et omdiskutert tema



Forekomsten i Engebøfjellet Sogn og Fjordane representerer en av de største kjente konsentrasjonene av rutil i fast fjell. Nordic Mining ASA vil utvinne forekomsten. Foto: Miljødirektoratet.

Miljødirektoratets anbefaling om gruvedrift i Engebøfjellet

Etter en samlet vurdering av fordeler og ulemper i tråd med forurensningsloven, var Miljødirektoratets anbefaling at det kan gis tillatelse til Nordic Minings planlagte gruvedrift i Engebøfjellet med strenge vilkår.

17.04.2015

KONTAKT

medierådgiver [Reidar](#)

[Evensen](#)

telefon: 991 62 659

Tema

[Gruver og bergverk](#)

Nordic Mining ASA

- Har fått tillatelse til å deponere avgangsmasser fra Engebøfjellet i et dypvannsdeponi i Førdefjorden
- Mineral: Rutil (TiO₂)



Forbruk av metaller i Europa

- Mens opp i mot 30 % av verdensproduksjonen av enkelte metaller blir brukt i europeisk industri, blir bare 3 % prosent produsert fra gruver i EU-landene (*GEO365, 11.06.15*).
- NIMBY (Not In My BackYard) -effekten => Bedre at gruvedriften foregår i Asia og Afrika hvor miljøhensyn ikke blir tatt like alvorlig...



Bilder: <http://www.savingwater.co.za/tag/acid-mine-drainage/>



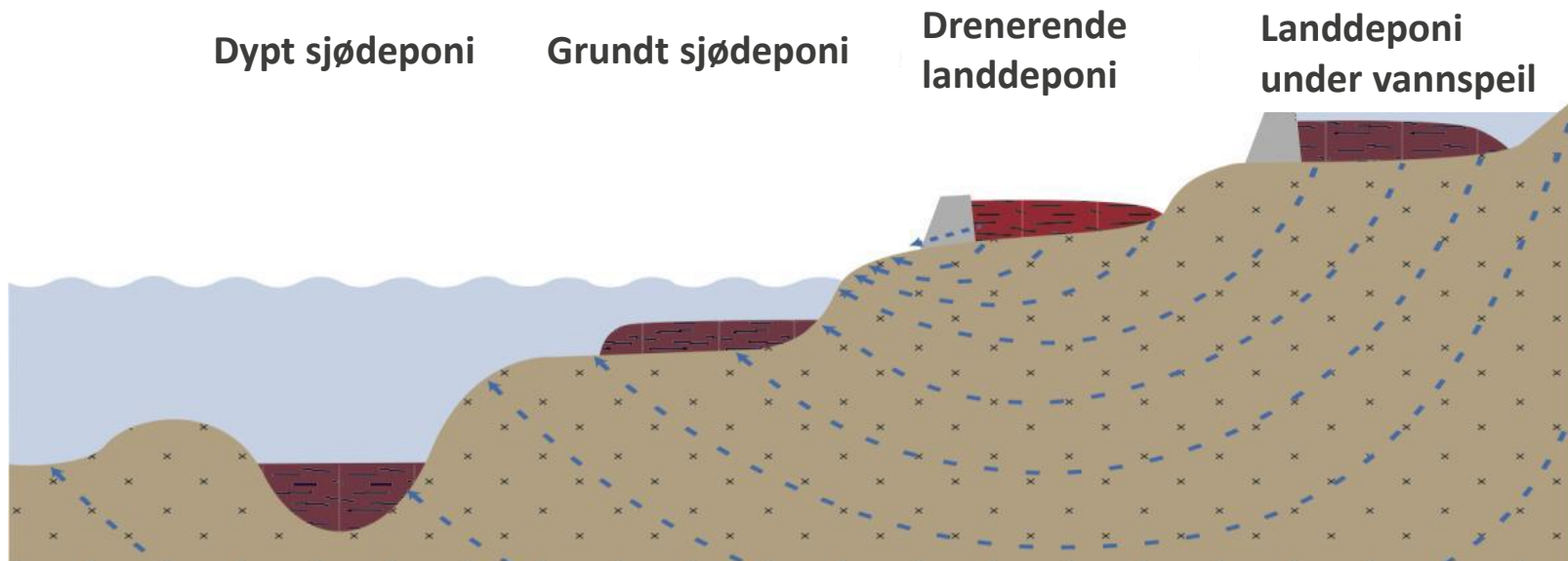
Forurensningspotensialet avhenger av:

- Mineralsammensetning
 - Sulfidmalm – veldig reaktive
 - Oksidmalm – hematitt, magnetitt...
 - Industrimineraler/bergarter – feltspat, grafitt, kvarts, kvartsitt, karbonater, nefelinsyenitt
- Innhold av prosesskjemikalier (organiske forbindelser, ofte giftige)
 - Flotasjonskjemikalier – gjør de ønskede mineralpartiklene hydrofobe (skum på toppen)
 - Flokkuleringskjemikalier – øker sedimentasjonshastigheten av de fine partiklene – følger med avgangen ut.



Todelt

- Geokjemiske prosesser og transportmekanismer som fører til sur avrenning og utlaking av metaller som føres bort fra deponiet.
- Geokjemisk miljø og transportmuligheter i 4 forskjellige deponityper; to på land og to i vann

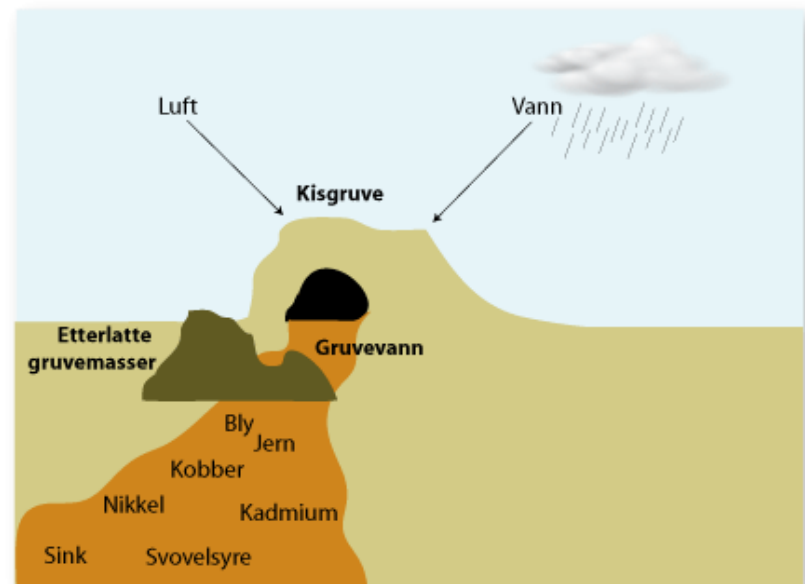


De mest problematiske gruvene er:

- Sulfidmalmer

- Kisgruver: Nikkel, bly, kobber og zink
- Typiske norske gruver
- De fleste ble nedlagt på 70-tallet, men forurensningen fortsetter som avrenning av surt sigevann med høye konsentrasjoner av metaller fra gruveganger, velter og deponier.
- pH varierer fra 3,5-5.
- Lav pH gir høy oppløsningshastighet av mineraler og utslipp av potensielt giftige tungmetaller.
- Det sure sigevannet med tungmetaller forgifter bekker og elver.
- Kobber er akutt giftig for vannlevende organismer.

Utløsning av tungmetaller og svovelsyre fra kisholdig avfall



Kilde: Statens forurensningstilsyn
www.miljostatus.no

Eksempel på sur avrenning i Norge

Elva Folla

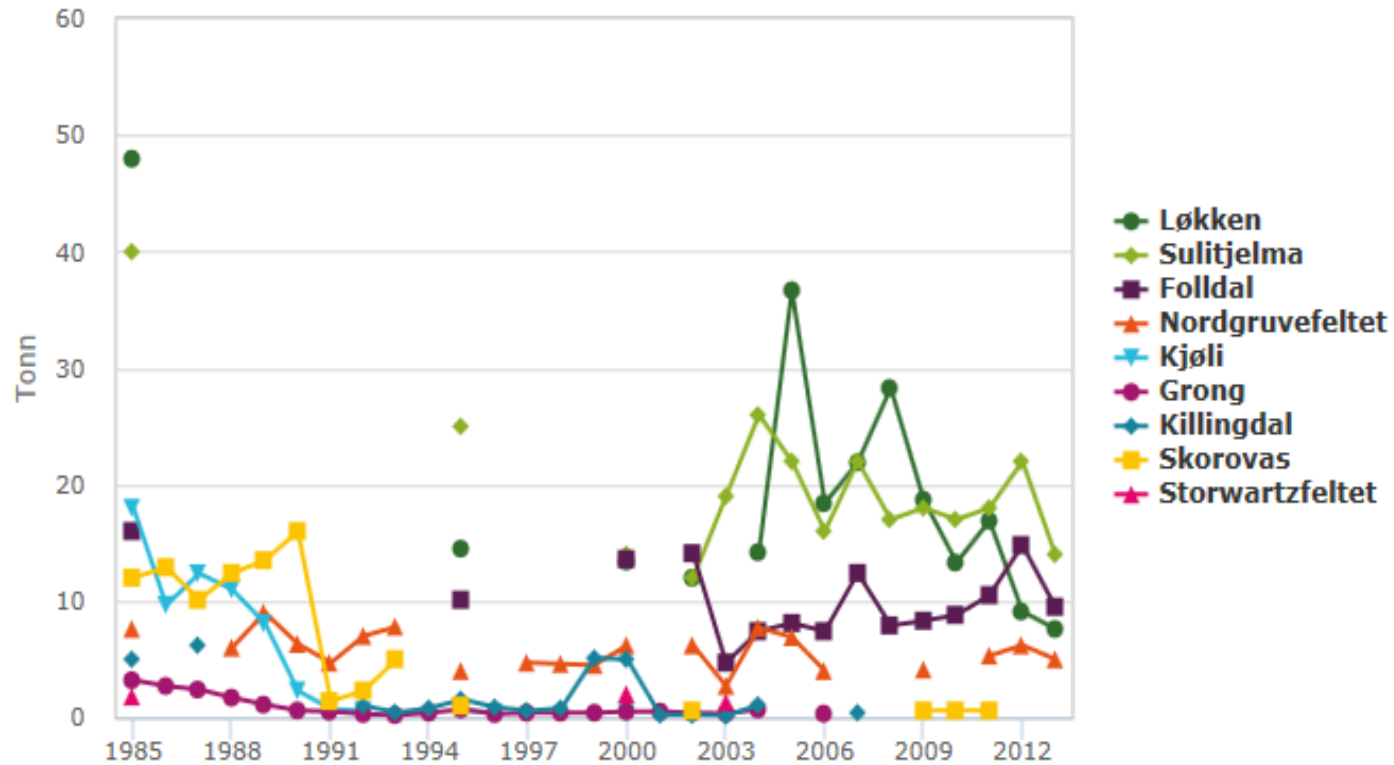
- Avrenning fra Folldal Verk
- Kobberkis
- Fiskedød i elva
- Kjemisk renseanlegg planlegges



Bilde:<http://www.djihaa.com>



Kobberavrenning fra de ni største gruvene

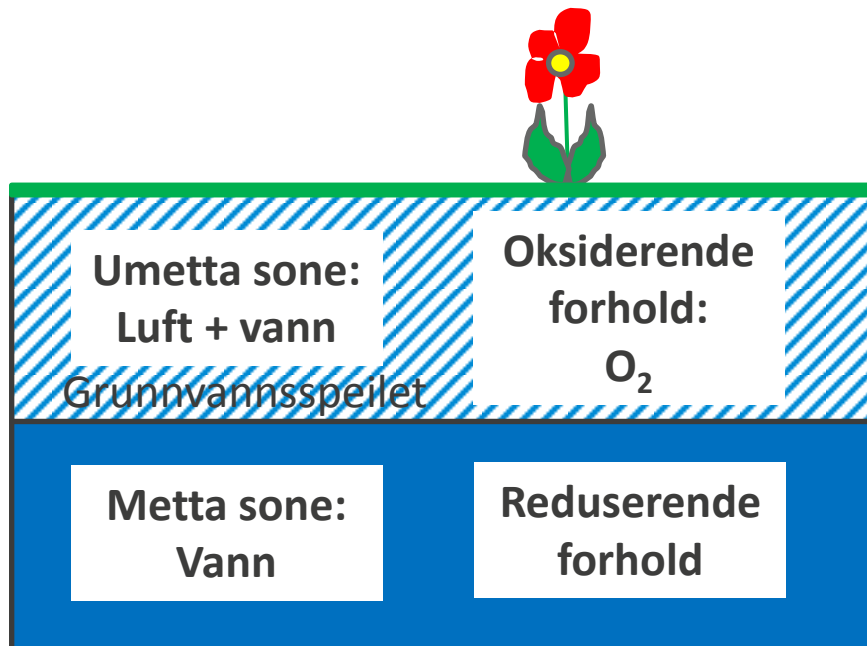


Kilde: Miljødirektoratet Lisens: NLOD

Geokjemisk miljø

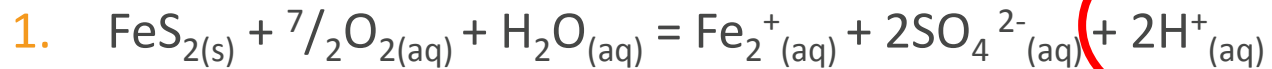
Hva styrer den naturlige konsentrasjonen av tungmetaller i geokjemiske miljøer?

- Reduksjons- og oksidasjonsprosesser

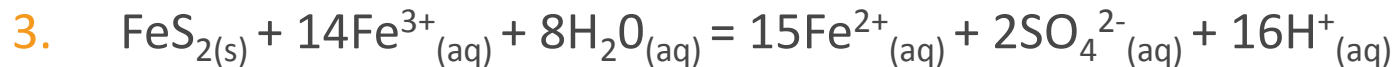
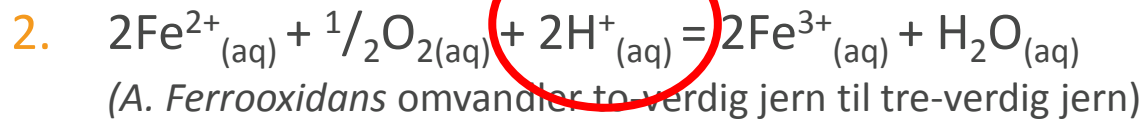


- Ved tilgang til luft vil f.eks. jernsulfid (FeS₂) reagere med oksygen + vann og danne svovelsyre og Fe²⁺.
- Svovelsyre gir sur avrenning og utlaking av metaller.

Oksidering av pyritt er tredelt:



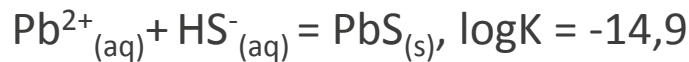
Surt vann



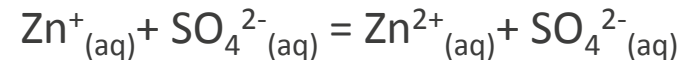
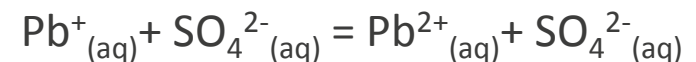
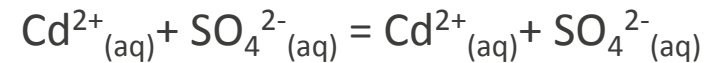
Skjebnen til tungmetaller i svovelholdige systemer

F.ks. Cd, Pb, og Zn

Reduserende forhold
(ikke tilgang på luft):
 H_2S (sulfid)



Oksiderende forhold
(tilgang på luft):
 SO_4^{2-} (sulfat)



«Uløselige» mineraler



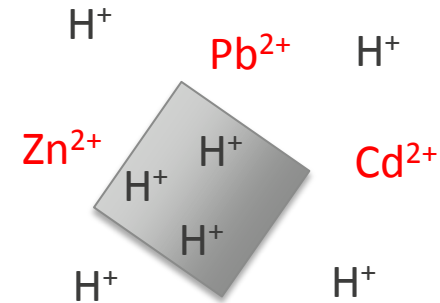
Greenockitt, blyglans og sinkblende

Giftige metaller
fortsatt tilgjengelige
i vannløsning

Effekt av pH på mobiliteten til tungmetaller

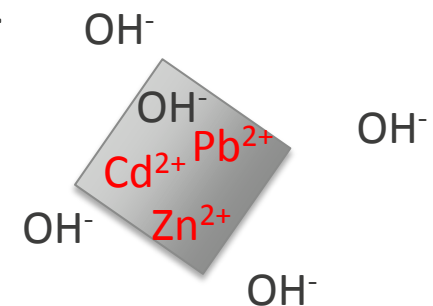
- Lav pH => raskere oppløsning av mineraler
=> liten sorpsjon av metaller på leirpartikler og oksider

➔ **Stor mobilitet av tungmetaller under sure forhold**



- Høy pH => lavere oppløsningshastighet av mineraler
=> økt sorpsjon av metaller på leirpartikler og oksider

➔ **Lav mobilitet av tungmetaller under nøytrale/basiske forhold**



Sjøvann vs. overflatevann

- Sjøvann: Høy alkalinitet – bufret mot en pH rundt 7,9-8,3 => lav mobilitet av tungmetaller.
- Ferskvann: Lav alkalinitet, pH 5,6 i regnvann => relativt høy mobilitet av tungmetaller.

NB!

Cl i sjøvannet vil kompleksbinde mange tungmetaller (ikke være tilgjengelig for utfelling eller sorpsjon). Derfor viktig å se på den samlede effekten av pH og salinitet (saltinnhold).



Transport – hvordan spres tungmetallene?

Transport av metaller i umetta sone (over grunnvannsspeilet)

- Flerfasestrømning: Vann + luft
- God kapasitet for oksidasjon grunnet tilgang på O_2
- Siger vertikalt nedover i grunnen
- Hastigheten avhenger av mengden nedbør og vann/luftforholdet i porerommene



Metta sone

Transporthastigheten til vann i metta sone avhenger av:

- Den hydrauliske gradienten (helningsgraden på grunnvannsspeilet)
- Permeabiliteten og porøsiteten (hvor lett vannet kan strømme gjennom porene)

Transport av ikke-reaktive kjemiske stoffer kontrolleres av :

- Hastigheten til det strømmende grunnvannet
- Spredning under strømming grunnet hindringer i strømningsretningen
- Diffusjon fra et sted med høy konsentrasjon til et sted med lavere konsentrasjon



Fluks av ikke-reaktive stoffer

Fluksen til tungmetallene er bestemt av den reaktive transportlikninga som veldig forenklet ser sånn her ut:

Fluks = Hastigheten til grunnvannet + spredning/fortynning – utfelling/oppløsning

Dersom man ikke har vanngjennomstrømning:

Fluks = Diffusjon – utfelling/oppløsning



Konklusjon så langt:

- For å vurdere ulike typer deponier trenger man å vite om transporten skjer i metta eller umetta sone, og ved vanngjennomstrømning eller diffusjon. I tillegg må man vite hvordan forurensningene frigjøres og bindes.



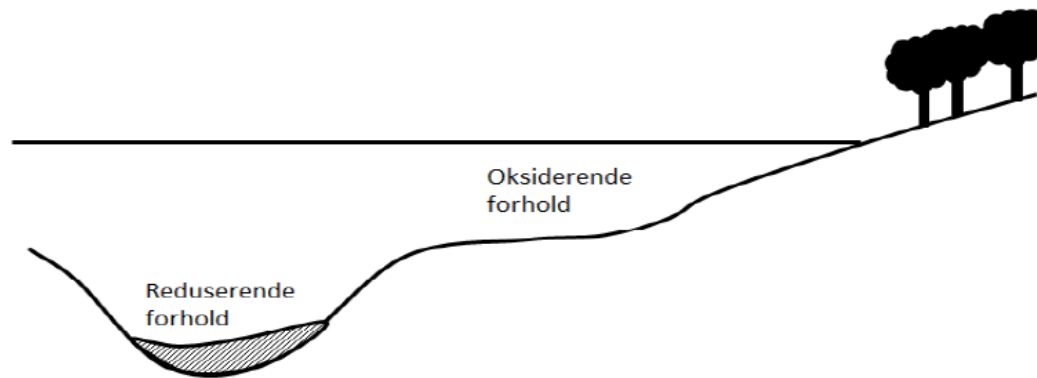
Sjødeponi

- Over 30 års erfaring
- Norge, Canada, USA (Alaska), Grønland, Tyrkia, Indonesia, Filipinene og Papua Ny-Guinea
- Et prinsipp å unngå at avgangen påvirker de øvre vannlagene (0-50 m)
 - Tilsetter sjøvann til avgangen samt hindre at det forekommer luftbobler i avgangsledningen



Dypt sjødeponi

- Dypere enn 100 meter med finkornete sedimenter og med klare terskler er å foretrekke
- Utslippet må skje dypere enn 50 meter for å unngå å skade vannlaget hvor primærproduksjonen skjer, der laksesmolt vandrer samt fiskeoppdretterne har sine mænder.
- Geokjemiske kvaliteter: Reduserende miljø+ sulfid fra sjøvannet = hemmer metallspredning.
- Ubetydelig porevannsgjennomstrømning => kun diffusjonstransport er viktig.
- Felling av metaller som sulfider pga. reduserende overliggende vannmasser skjer i terskelfjorden Framvaren (Millero, 1991).



Grunt sjødeponi

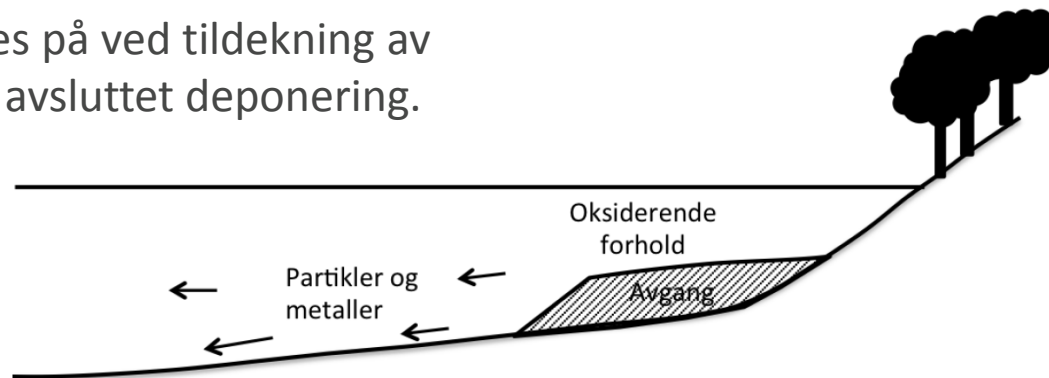
- Bevegelse av partikkelholdig vann kan erodere de lagrede massene, mulig gi spredning av giftstoffer.
- Vanligvis oksiderende forhold i vannmassen samt i de øverste delene av sedimentlagene.

⇒ Oksidering av mineraler og utslipp av tungmetaller og andre forurensninger ut i vannmassene.

- Kan delvis bøtes på ved tildekning av massene etter avsluttet deponering.

Må sjekkes:

- Geoteknisk stabilitet ved skråninger
- Strømningsforhold i vannmassene
- Utstrømning av grunnvann gjennom deponiet

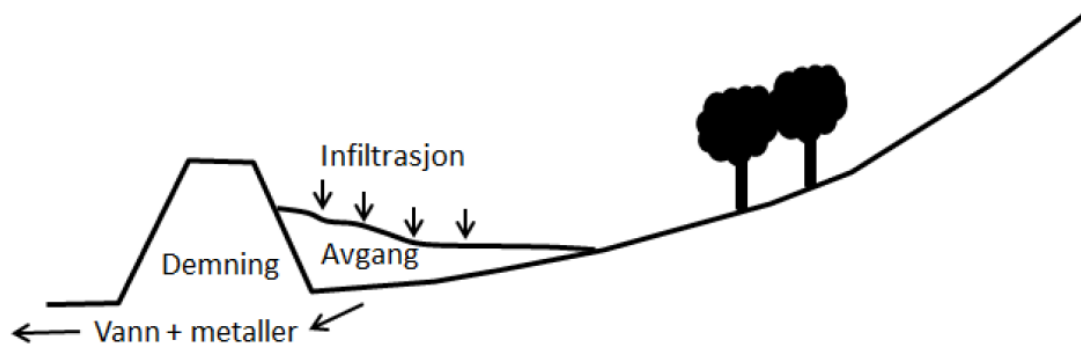


Landdeponi over vannspeil

- Oksiderende og sure forhold ved selvdrenerende (permeabel) demning.
- Konstant utlekking av metaller og surt sigevann.
- Drenerte dammer vil tørke ut og bli utsatt for vinderosjon.



Titania's landdeponi (2004)

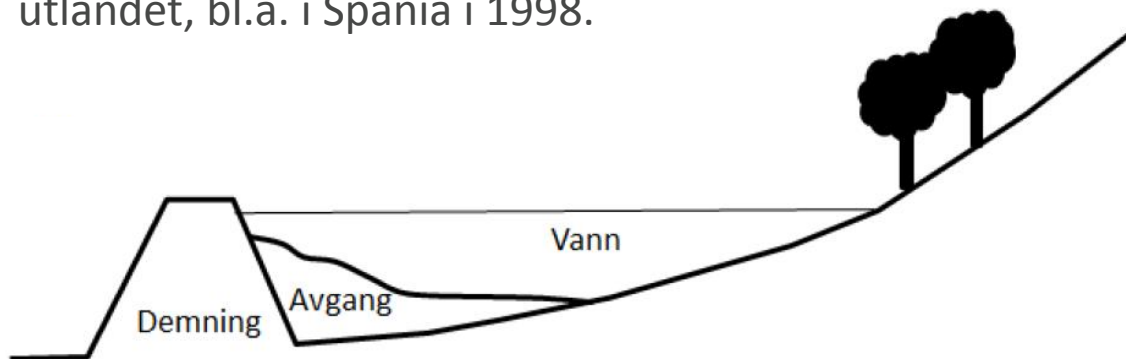


Landdeponi under vannspeil

- Massene vil være vannmettede, noe som gir liten gjennomstrømning av O_2 -rikt vann.
- Jo mindre oksidasjon, jo mindre utlekking av metaller
- Stabiliteten til demningen og damfot kan bli redusert pga. oppbygging av porevannstrykk.
- Dambrudd har skjedd flere ganger i utlandet, bl.a. i Spania i 1998.



Dambrudd: Aznalcóllar, Spania 1998.
www.elpais.com



Oppsummering

Sjødeponi		Landeponi	
Dypt deponi	Grundt deponi	Over vannspeil	Under vannspeil
Minimal gjennomstrømning	Minimal gjennomstrømning	Stor gjennomstrømning	Mulig gjennomstrømning
Kjemisk stabil	Relativt kjemisk stabil	Stor reaktivitet	Relativt kjemisk stabil
Minimal fluks	Relativ liten fluks	Stor fluks	Mindre fluks
Ingen erosjon	Utsatt for erosjon	Utsatt for vinderosjon	Mindre erosjon
Geoteknisk stabil	Mindre geoteknisk stabil	Stabil drenerbar dam	Mindre geoteknisk stabil demning



Konklusjon

- Teoretisk sett er et dypt sjødeponi med klare terskler å foretrekke som deponisted
- Men valg av deponisted og type må vurderes for hvert enkelt tilfelle.
- Både økonomiske, tekniske og miljømessige vurderinger må ligge til grunn.

