

# Miljøvurdering af termisk assisteret jordrensning (dampoprensning)

John Jensen & Morten Strandberg  
Danmarks Miljøundersøgelser

Hubert de Jonge  
Dansk Jordbrugsforskning

Carsten Suhr Jacobsen & Mikkel Bender  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser

Miljøprojekt **Nr. 1157** 2007  
Teknologiudviklingsprogrammet for  
jord- og grundvandsforurening

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 UNDERSØGELSESPROGRAM OG LOKALITETSBEKRIVELSE	13
3 EFFEKTER PÅ JORDBUNDSDYR OG PLANTESAMFUNDET	17
3.1 INTRODUKTION	17
3.2 JORDBUNDSDYR	18
3.3 PLANTER	20
<b>3.3.1 Udvikling i dækningsgrad</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2 Udviklingen i frøbank</b>	<b>22</b>
3.4 KONKLUSIONER	24
4 DET MIKROBIELLE SAMFUND	25
4.1 INTRODUKTION	25
4.2 NITRIFIKATION	25
4.3 SAMMENSÆTNING AF DET MIKROBIELLE SAMFUND	26
<b>4.3.1 Antal af bakterier og svampe</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2 Profiler af det mikrobielle nedbrydersamfund</b>	<b>29</b>
4.4 KONKLUSION	30
5 JORDFYSISKE UNDERSØGELSER	32
5.1 INTRODUKTION	32
5.2 JORDFYSISKE UNDERSØGELSER	32
5.3 KONKLUSIONER	37
6 KONKLUSIONER	38
7 REFERENCER	41
ANNEX A	42
ANNEX B	44



# Forord

Oprensning af jordforurening med damp er en forholdsvis ny metode, som kun har været anvendt et begrænset antal gange i Danmark /1,2,3/. Da metoden har vist sig at være potentiel lovende og derfor kan forventes at finde større udbredelse i fremtiden, har det været logisk at rejse spørgsmålet om, hvorvidt denne oprensning metode kan tænkes at have utilsigtede sideeffekter af miljømæssig karakter.

Dampinjektion og andre termiske processer kan tænkes at påvirke såvel jordens naturlige økosystemer som jordens struktur. Opvarmning som følge af termisk rensning vil i sig selv kunne påvirke mikroorganismer, dyr og planter kraftigt. Ændringer af jordens struktur eller egenskaber kan have stor indflydelse på strukturen af økosystemerne og ændre vand og lufts bevægelser gennem jordsøjlen.

Indeværende projekt er udført på arealer i Hedehusene, hvor der i perioden 1999-2002 har været udført dampstripping af blandt andet tre tidligere renserigrunde i Høje-Taastrup Kommune. Københavns Amt har været bygherre på projektet med Hedeselskabet Miljø og Energi A/S som bygherrerådgiver og Ove Arkil A/S som hovedentreprenør. Derudover har Miljøstyrelsen delfinansieret en række aktiviteter over Teknologi-programmet, herunder indeværende undersøgelser.

Selve oprensningen var forbundet med en række vanskeligheder af både teknisk og organisatorisk karakter, som på forskellig måde også fik indflydelse på tilrettelæggelsen og udførelsen af indeværende projekt. For en nærmere beskrivelse af dampoprensningen henvises til rapport fra Miljøstyrelsen /1/.

Generelt må det siges, at for de involverede parter i dette projekt, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks JordbrugsForskning og Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, har det været et meget utraditionelt projekt ikke kun p.g.a. områdets placering i et tæt, lavt bebygget boligkvarter, men også det tidsmæssige og praktiske forløb af projektet, som naturligt nok har været underlagt fremdriften i det overordnede oprensningsprojekt. Det har dog kun gjort opgaven mere udfordrende, og de medvirkende vil gerne sige tak for den hjælp de har fået fra bl.a. Miljøstyrelsen (Preben Bruun og Inger Asp-Fuglsang), Hedeselskabet (Rune Schlag), NIRAS (Tom Heron) samt Københavns Amt (Carsten Petersen og Carsten Bagge Jensen), der alle har været behjælpelige med informationer samt overbærende for de problemer, som projektet løb ind i undervejs.



# Sammenfatning og konklusioner

Oprensning af jordforurening med damp er en forholdsvis ny metode, som kun har været anvendt et begrænset antal gange i Danmark. Dette projekt har undersøgt hvorvidt dampinjektion kan tænkes at påvirke såvel jordens naturlige økosystemer som jordens struktur. Indeværende projekt er udført på arealer i Hedehusene, hvor der i perioden 1999-2002 har været udført dampstripping af blandt andet tre tidligere renserigrunde i Høje-Taastrup Kommune.

Til at belyse hovedproblemstillingen blev der igangsat følgende tre delprojekter, alle koordineret af Danmarks Miljøundersøgelser. 1) En undersøgelse af effekterne af termisk assisteret jordrensning på jordbundsdyr og plantesamfund, 2) En undersøgelse af effekterne af termisk assisteret jordrensning på det mikrobielle samfund og 3) En undersøgelse af de fysiske ændringer af jorden herunder dens vandledningsevne som følge af termisk assisteret jordrensning.

Der må formodes at ske væsentlige lokale ændringer i sammensætninger af jordbundsdyr og planter som følge af dampinjektion. Hvor langvarige disse eventuelt kan være, er det, på grund af en reetablering af området midtvejs i dette projekt, ikke muligt at forudsige. Men dampinjektion vil formodentlig ikke resultere i områder uden biologisk liv. Træer og buske med længere rødder må dog forventes at dø, mens græs og en række urter vil kunne overleve endog med øget vækst for nogle af disse.

Der er ikke konstateret ændringer i de fysiske egenskaber, som forventes at medføre betydelige negative ændringer i drænforhold for sekundært grundvand. Der er dog konstateret stigninger i volumenvægt og hydraulisk ledningsevne, som formentligt skyldes en kombination af sætning af jorden og fjernelsen af organisk kulstof ved våd oxidation.

Der blev konstateret store forandringer i de mikrobielle samfund under dampinjektion. Disse forandringer var stabile et halvt år efter dampinjektionens ophør. Fremvækst af en divers varmeresistent mikroflora og dennes stabilitet blev påvist. Således blev to potentielt humane patogene mikroorganismer identificeret i de dampoprensede jorde idet der sås en fremvækst af *Pseudomonas aeruginosa* og *Aspergillus fumigatus*, de to eneste potentielle humane patogener, der specifikt er blevet ledt efter.

I forlængelse af indeværende projekt blev der af GEUS foretaget supplerende undersøgelser af det mikrobielle samfund /4/. Konklusionen fra disse undersøgelser var, at der efterfølgende blev observeret et fald i varmetolerante bakterier. Yderligere blev der påvist et fald i antallet af potentielle patogene bakterier. Svampen *Aspergillus fumigatus* fandtes dog stadig i markant højere niveauer i den varmebehandlede jord.





# Summary and conclusions

Remediation of contaminated soil with vapour is a relatively new method, which has only been used a few times in Denmark. This project investigated whether vapour stripping is likely to affect the biological and the physical properties of soil. The project was conducted on contaminated areas in Hedehusene, Denmark in the period 1999-2002. The results from the remediation project have been reported elsewhere /1/.

To elucidate the problem three sub-projects were initiated. 1) An investigation of the effects of vapour injection on soil fauna and plants, 2) the effects of thermal remediation on the microbial communities and 3) the effect on physical properties of the soil including its hydraulic conductivity.

It is likely that local changes in soil fauna and plant communities will occur as a result of the vapour injection, i.e. the increased temperature and the lower water content of the soil. On the basis of the results from this project it is not possible to draw conclusions on how long these changes will last. Trees and smaller bushes with deeply penetrating roots will most likely die, whereas grass and most other plant species will survive and in some areas probably with increased growth as a result.

The minor changes in soil properties, which were observed in this project, are not likely to cause any significant negative changes in drainage conditions for secondary groundwater resources. An increase in soil density and hydraulic conductivity was observed. This is probably due to a combination of settlement of the soil and removal of organic carbon by wet oxidation.

Large changes in the microbial communities were observed during and after the thermal mediated remediation. Emergence of a diverse heat tolerant micro-flora was documented during the period of remediation. This lasted at least half a year after the termination of the vapour injection. Two potentially human pathogens, i.e. *Pseudomonas aeruginosa* and *Aspergillus fumigatus*, were identified in significantly increased numbers. These were the only species specifically looked for and it cannot be ruled out that other pathogens were present.

After the termination of this project, additional studies were conducted in order to follow the presence of pathogens for up to 18 months after the end of the vapour injection /4/. The conclusion from this project was that the number of heat resistant bacteria decreased just as the number of potential pathogen bacteria. However, the pathogen fungus *Aspergillus fumigatus* was still observed in significantly higher numbers in the thermally treated soil.



# 1 Indledning

Klorerede opløsningsmidler er et stort problem på en lang række forurenede grunde i Danmark. Den vertikale spredning af klorerede opløsningsmidler standses ofte af lavpermeable jordlag, hvor stofferne diffunderer ind i revner og sprækker. Traditionelle oprensningmetoder til brug in situ er ofte utilstrækkelige til en hurtig og effektiv oprensning. En lovende og effektiv in situ oprensningmetode er termisk assisteret oprensning, f.eks. en kombination af dampinjektion og vakuumsug samt oppumpning af vand. Ved brug af denne metode er det således også muligt at bortskaffe disse stoffer fra svært tilgængelige områder f.eks. i dybtliggende jordlag eller jord under bebyggede områder uden at fjerne jorden.

En undersøgelse af den potentielle risiko af forurenede grunde i Københavns Amt viste, at en af de vigtigste kildepladser for Københavns Vand – Solhøj Kildeplads – på længere sigt var truet af forurening fra klorerede opløsningsmidler fra et gammelt industriområde beliggende i området omkring Industrivej og Teglstenen i Hedehusene i Høje-Taastrup Kommune. Af aktiviteter ved Industrivej og Teglstenen, der kan have været kilde til forurening af området, kan nævnes rensierier, smedevirksomheder, limproduktion samt produktion af så forskellige ting som cellulid, sakkarin, hjortetakssalt, radioer og gramofoner samt køleanlæg. På området har således været opbevaringstanke for terpentin, toluen, acetone og olie.

Generelt blev der dog ikke fundet væsentlige forureninger (af klorerede opløsningsmidler) i de øverste par meter af overfladejorden, hvilket i sig selv var en af grundene til, at alternativer til opgravning af jord var nødvendige. Det kan dog ikke udelukkes, at der har været restforureninger af f.eks. tungere oliekomponenter som PAH'er m.m. i det øverste jordlag. Men da området i forbindelse med nybyggeri har været planeret m.m. er det overvejende sandsynligt, at der ikke har været væsentligt stress af de eksisterende økosystemer som følge af forurening. Områdets flora og fauna var dog tydeligt præget af den arealanvendelse som fandt sted, dvs. tætklippet græs sandsynligvis med gødsning og/eller ukrudtsbekæmpelse samt færdsel på arealerne.

## **Projektformål**

Dampinjektion og andre termiske processer må forventes at påvirke jordens naturlige økosystemer. Mulige ændringer af jordens struktur eller egenskaber kan også have indflydelse på økosystemerne samt ændre vand og lufts bevægelser gennem jordsøjlen.

Det vides ikke med sikkerhed i dag i hvilken grad og i hvor lang tid det enkelte økosystem vil være forstyrret. Påvirkningen af jordbundsdyr og planter kendes hverken på kort eller lang sigt, og derfor kan en permanent eller længere påvirkning ikke udelukkes.

Det var projektets overordnede formål at undersøge, om der sker akutte skader af dampassisteret oprensning, som kan forventes at have betydning for arealernes forsatte anvendelse. Den typiske arealanvendelse vil her være parcelhushaver og friarealer i øvrigt. Her tænkes dels på skader på den

eksisterende bevoksning, og dels på ændringer af den del af jordmiljøet, som har betydning for reetableringen af arealet, f.eks. beplantning med græsplæner, buske og træer. Det ligger uden for dette projekts tidsramme at undersøge langvarige effekter af dampbehandling.

Til at belyse hovedproblemstillingen blev der igangsat følgende tre delprojekter, alle koordineret af Danmarks Miljøundersøgelser.

1. En undersøgelse af effekterne af termisk assisteret jordrensning på jordbundsdyr og plantesamfund (Danmarks Miljøundersøgelser).
2. En undersøgelse af effekterne af termisk assisteret jordrensning på det mikrobielle samfund (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse).
3. En undersøgelse af de fysiske ændringer af jorden herunder dens vandledningsevne som følge af termisk assisteret jordrensning (Dansk Jordbrugsforskning).

Efter projektets afslutning blev der igangsat et opfølgende projekt på det mikrobielle område, som blev koordineret af Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og afrapporteret i /4/.

## 2 Undersøgelingsprogram og lokalitetsbeskrivelse

Undersøelsesområdet befinder sig i Hedehusene omkring området mellem Industrivej og Teglstenen. (figur 2.1). På området omkring Teglstenen, hvor indeværende projekt har sit udgangspunkt, har Hedehusene Teglværk ligget siden 1896 og til i dag, hvor virksomheden producerer spændbeton. Tidligere har der, udover teglproduktion, været slemmebassiner, tørreovne, tørrelader, maskinværksted, kalkværk samt sandstensfabrik.

Terrænet på området er relativt fladt. Boringer på lokaliteten viser, at de øverste 14-15 meter består af glaciale aflejringer. Øverst findes 1-2 meter fyld bestående af muld, sand og ler ofte indeholdende tegl- og kalkstykker. Der findes ingen detailundersøgelser af topjords fysiske-kemiske egenskaber, såsom pH, organisk kulstof, CEC m.m.



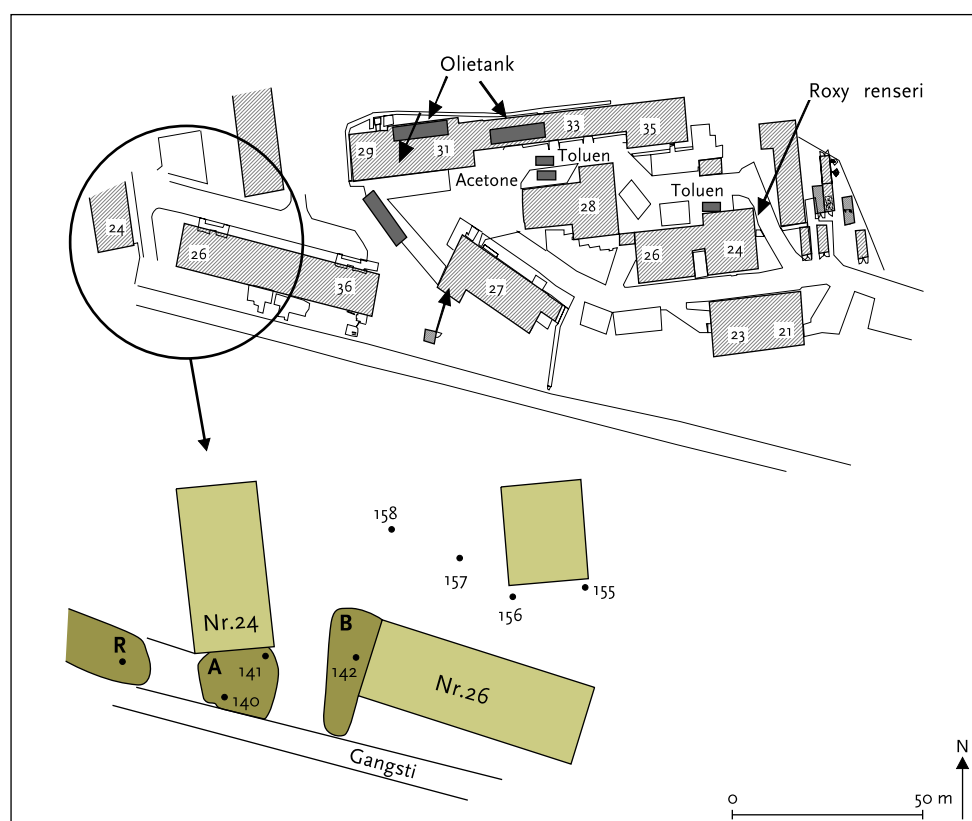
Figur 2.1. Forsøgsområdet i Hedehusene, hvor prøverne til dette projekt er indsamlet.

Under fyltlaget findes smeltevandsaflejringer ned til omkring 5-8 meter under terræn. Dette består primært af sand iblandet silt og ler. Andelen af silt og ler øges gradvist nedefter. Under smelteaflejringerne træffes glaciale aflejringer i form af moræneler. Betydelig lokal variation på op til tre meter kan dog findes på området.

Den nuværende bebyggelse på Teglstenen er fra 1990. Bebyggelsen består af rækkehusene. Projektområdet dækker primært adressen Teglstenen 26-36 (figur 2.1). Overfladebelægningen i området er primært SF-sten og asfalt. Omkring husene er der dog enkelte mindre græsplæner samt - indtil 2001 - et smalt fortovs-lignende bælte af græs/ukrudt langs hækken på den anden side af den kommunale gangsti, som går gennem området.

De fleste biologiske prøver er indsamlet i to områder mellem nr. 24 og 26 (område A og B) samt tilhørende referenceområde længere ud mod Reerslevvej. Område A dækker området mellem og omkring (10 meters radius) dampinjektions-boringerne nr. 140 og 141 (se figur 2.2). Område B dækker området omkring dampinjektionsboring nr. 142. Området, hvor der er indsamlet intakte dybdeprøver til jordfysiske undersøgelser, dækker et større område, idet der er taget prøver ved flg. dampinjektions-boringer nr. 140, 154, 157, 158 og 159 (figur 2.2). I den nærmere beskrivelse af de forskellige undersøgelser er der henvist til "boringsnumre" eller "forsøgsområder" for at specificere beliggenhederne.

En nærmere beskrivelse af området, de tekniske undersøgelser, projektforsøb med mere kan findes i en tidligere udgivet rapport fra Miljøstyrelsen /1/.



Figur 2.2 – Detaillkort med borer. A,B = forsøgsområder. R= referenceområde.

### Temperaturudvikling under projektforsøb

Der er ikke foretaget systematiske og løbende temperaturmålinger i det øverste (biologiske) jordlag, hvor hoveddelen af indeværende undersøgelser har været foretaget (0-10 cm). Det overordnede oprensningsprojekt /1/ målte temperaturen i en lang række installationer, men oftest først fra 1 meters dybde.

Overfladetemperaturer i undersøgelsesområdet blev dog målt i forbindelse med de biologiske prøveudtagninger, det vil sige på tre datoer. Der var kun temperaturforskelle mellem områderne ved den prøveudtagning, som blev taget under dampinjektionen (tabel 2.1). Her lå temperaturen i de øverste 10 cm i marts måned på mellem 25° og 33°C mod referenceområdets 5°C. I 50

cm's dybde var forskellen endnu større. Dette gav sig også udslag i et langt lavere vandindhold i jorden (tabel 2.1)

Tabel 2.1. Temperatur og vandindhold i overflade- og underjorden under dampinjektion (15 marts 2002).

Prøve	Overjord		Underjord
	Temperatur	Vandindhold (%)	Temperatur
140	29°C	4,0 ± 3,7	52°C
141	25°C	4,0 ± 3,7	42°C
142	33°C	3,0 ± 1,8	53°C
Reference	5°C	11,8 ± 2,3	7°C

### Projektforløb

Danmarks Miljøundersøgelser igangsatte i efteråret 1999 de første biologiske undersøgelser for at have en baggrundsviden om de biologiske systemer inden den planlagte dampinjektion i starten af 2000. Forskellige tekniske vanskeligheder ved dampprojektet udsatte dog den planlagte dampinjektion til slutningen af 2001. Grundet den store tidsforsinkelse blev det vurderet, at det var vigtigt, at indsamlingen af biologiske prøver blev gentaget, således at den var tættere på påbegyndelsen af dampningen. Den første prøveindsamling fra 1999 er derfor ikke medtaget i denne rapport, da den tidsmæssige forsinkelse samt visse fysiske ændringer, som f.eks. omlægning af hæk og rabat i området, begrænser anvendelsen af disse data.

Derudover skete der undervejs og umiddelbart efter afslutning af dampinjektionen en anlægsmæssig reetablering af området, som stærkt nedsatte muligheden for at vurdere de langsigtede muligheder for en "naturlig" reetablering af områdets økosystemer.

Nedenfor er anført væsentlige datoer i indeværende projektforløb:

1999	Ultimo November	Indsamling af første prøvesæt (regnorme, leddyr, plantefrø samt mikrobielle studier)
2000	November	Indsamling af første sæt af intakte jordbundskerner til jordfysiske analyser
2001	September	Indsamling af "før" prøvesæt (leddyr, planter samt mikrobielle studier)
2001	December	Dampinjektion påbegyndes i området
2002	Marts	Indsamling af "under" prøvesæt (leddyr, planter samt mikrobielle studier)
2002	Marts	Dampinjektionen stoppes i området
2002	Juni	Plantedække fotograferes
2002	Juni	Område I reetableres af bygherrerne
2002	September	Indsamling af "efter" prøvesæt (regnorme, leddyr, plantefrø samt mikrobielle studier)
2002	November	Anden indsamling af intakte jordbundskerner til jordfysiske analyser



Figur 2.3. Billede fra område A med injektionsboring nr. 140 (firkantet dæksel).



# 3 Effekter på jordbundsdyr og plantesamfundet

## 3.1 Introduktion

En lang række jordbundsdyr såsom regnorme og små leddyr (mikroarthropoder) er vigtige organismer i opretholdelsen af de basale jordfunktioner. Mikroarthropoder, som f.eks. springhaler, er med til at findele det organiske materiale, således at det bliver tilgængeligt for den videre omsætning i jorden. Aktiviteten af regnorme hjælper med til at sikre en god lufttilførsel og vandafstrømning i jorden. Aktiviteten, væksten og reproduktionen af disse dyr påvirkes af jordens temperatur. Jordens temperatur og vandindhold er ofte negativt korreleret, og en varm og tør jord har større negative effekter på f.eks. regnorme end en kold og vandmættet jord. Det samme gør sig gældende for planter vækst og spiring. Regnormes optimale væksttemperatur ligger på vores breddegrader typisk på 12-20°C. De kan dog tilpasse sig højere temperaturer og i kortere perioder overleve temperaturer op til 40°C.

I dette projekt blev hovedvægten af arbejdet lagt på at undersøge effekterne af dampinjektion på mikroarthropoder. Mikroarthropoder blev indsamlet ved hjælp af specialbygget jordbor med hvis hjælp der i et plastik-rør opsamles en jordkerne på fem centimers højde og en diameter på 5,8 cm. Disse prøver blev dagen efter indsamling sat i et automatisk uddrivnings-apparat, som ved gradvist oppe fra at hæve jordtemperaturen fra 20 til 60 grader får dyrene til at bevæge sig ned gennem jordsøjlen for herved til sidst at falde ned i en opsamlingsbeholder med konserveringsvædske. Herefter kan dyrene tælles og artsbestemmes under mikroskop.

Regnorme blev også indsamlet ved den første indsamling, men da oprensingsprojektets forsinkelse nødvendiggjorde nye "før" indsamlinger og da dele af det tidligere indsamlingsområde blev ændret, blev det af praktiske og økonomiske årsager besluttet at nedprioritere regnorme.

Planterne er ligeledes tilpasset de lokale forhold. Således vil man forvente at en temperaturforøgelse vil påvirke sammensætningen af arter. Nogle arter vil miste deres repræsentation på lokaliteten både i frøbank og som del af vegetationsdækket. F.eks. kan man forvente, at arter med lange rødder, som når ned i varmere lag, vil blive påvirket i en grad der gør, at arter med mere overfladiske rødder bliver dominerende. Andre arter vil overleve i frøbanken, da frø generelt er bedre rustet end planter til at overleve perioder med ekstreme forhold. Den fremtidige flora på stedet vil være afhængig af de tilstedeværende arters overlevelsessevne og nye arters indvandring fra naboområder. Det er uvist, hvad dette på længere sigt vil betyde for udviklingen af den lokale flora, både hvad angår biodiversitet, vegetationsdække og over- og underjordisk biomasse.

## 3.2 Jordbundsdyr

### Før dampinjektion

Data viser, at der var stor variation mellem de enkelte prøveudtagningssteder. Således blev der sammenlagt fundet langt flere individer på lokaliteterne ved boring 140 og 141, som er lokaliseret tæt ved hinanden (område A), end ved boring 139 og 142 (område B) og i referenceområdet, som befinder sig mellem 15 og 25 meter fra boring 140. Variationen er dog ikke lige stor for alle arter. Således skyldes forskellen primært meget store fund af springhalen *Isotoma tigrina* og gruppen af fedtmider (prostigmater) ved boring 140 og 141 samt relative store fund af rovmider (mesostigmater) ved boring 141. Alt i alt kan det konstateres, at der før dampinjektionen var et relativt rigt og varieret liv af jordbundsdyr ikke ualmindeligt for denne biotop (græsplæne).

En oversigt over antallet af jordbundsdyr er angivet i figur 3.1-3.4, mens en mere detaljeret oplysning om artsammensætningen i de enkelte prøver kan findes i Annex A. Der blev samlet i området fundet 28 springhalearter før dampinjektionen, dvs. i september 2001. Den største artsrigdom (26) og de fleste individer blev fundet i område A (tabel 3.1). I området valgt til referenceområde blev fundet færre arter (20) og et mindre antal dyr pr. prøve. Det samme var gældende for område B. Det område, som var valgt til referenceområde svarede - på trods af dets nære beliggenhed (25-30 meter) indenfor samme græsplæne - derfor tilsyneladende ikke til de kommende dampområder. Enkelte prøver fra andre områder længere fra undersøgelsesområdet (50-75 meter længere oppe af græsplænen og et nærliggende "fortov") tydede dog på endnu større forskelle, hvorfor det pågældende område (af nød) blev bibeholdt som referenceområde.

### Under dampinjektion

Det samlede antal af springhalearter i undersøgelsesområdet var i marts 2002 faldet til 26. Antallet af springhalearter var dog faldet i alle områder inklusiv referenceområdet. Det er dog ikke muligt direkte at sammenligne prøver fra to forskellige årstider med hinanden. Der vil typisk være færre dyr i vinterperioden sammenlignet med sensommeren eller efteråret. Det gennemsnitlige antal dyr i hver prøve faldt dog betydeligt mere i de områder, som havde modtaget dampbehandling. Især var faldet markant i område A, hvor antallet af springhaler og mider faldt fra at være henholdsvis 2 og 2,5 gange større end i referenceområdet til i tiden umiddelbart efter damp at udgøre henholdsvis en fjerdedel og halvdelen af referenceområdet (figur 3.1-3.2). Effekterne i område B var tilsyneladende mindre, om end antallet af springhaler - men ikke mider - også var reduceret her. Forholdet mellem antallet af mider og springhaler er gengivet i figur 3.3-3.4. Det er ikke til at sige, hvorfor effekterne i område B tilsyneladende er mindre end i område A. Det skyldes næppe lavere temperaturer eftersom målinger af jordens temperatur og vandindhold i slutfasen af dampinjektionen (marts) ikke tyder på noget sådant (tabel 2.1).

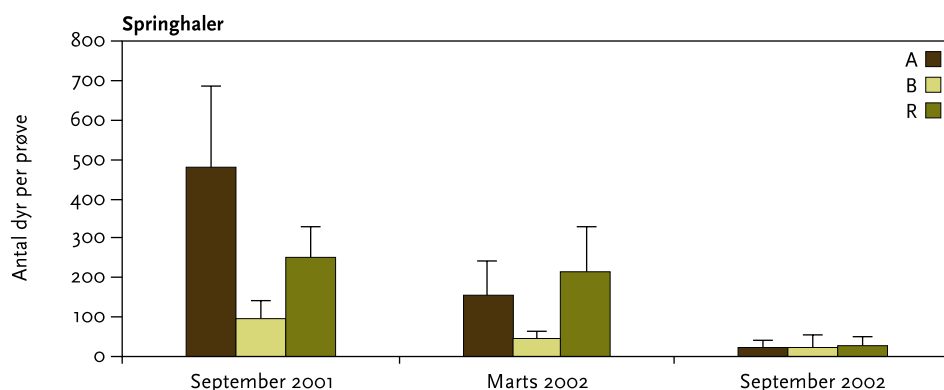
Selv om den manglende lighed mellem dampområderne og referenceområdet samt de til dels modsvarende tendenser fra de to områder besværliggør sikre konklusioner, er der klare indikationer af at dampinjektion og den deraf stigende temperatur i overfladejorden har en betydelig negativ effekt på jordbundsdyrene, idet antallet af dyr i de damppåvirkede områder relativt set falder betydeligt mere end i referenceområdet. Det kan derudover ikke udelukkes at effekterne kunne have været endnu større såfremt dampinjektionen havde foregået i sommerhalvåret, hvor de fleste jordbundsdyr i forvejen er betydeligt stressede af tørke.

Tabel 3.1. Det gennemsnitlige antal samt standardafvigelsen af jordbundsdyr i hver prøve taget fra tre områder i Hedehusene på tre tidspunkter: Før, under og efter dampinjektion.

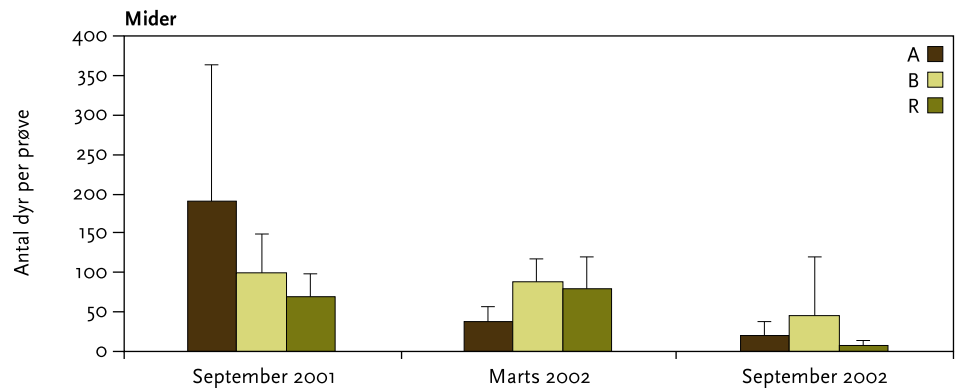
	Før	Under	Efter
	September 2001	Marts 2002	September 2002
Område A	672 ± 250 (N=14)	275 ± 173 (N=17)	45 ± 27 (N=15)
Område B	197 ± 83 (N=15)	158 ± 58 (N=9)	36 ± 25 (N=10)
Reference	319 ± 103 (N=29)	322 ± 119 (N=10)	113 ± 154 (N=10)

### Efter dampinjektion

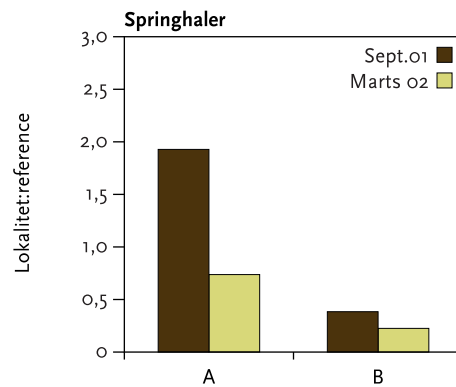
Intentionen var oprindeligt også at undersøge om eventuelle effekter af dampinjektionen var længerevarende. Dette blev endog meget kompliceret, eftersom undersøgelsesområdet blev reetableret i løbet af sommeren 2002. Dette betød, at området blev fræsset op og ny overfladejord tilført. Samtidig blev der sået nyt græs på området, da det oprindelige græs i nogen grad var beskadiget som følge af syreudslip fra dampboringerne. Syren var tilført for at opløse kalkudfældninger i boringerne. Området, der blev reetableret, omfattede også dele af det oprindelige referenceområde. Dette er formodentlig forklaringen på, at der i september 2002 ses et fald i antallet af jordbundsdyr i hele området, inklusiv referenceområdet. Hvor der i referenceområdet blev fundet 319 (± 103) dyr pr. prøve i september 2001 var antallet året efter i september 2002 nede på 113 (± 154) dyr per prøve. Enkelte data 30 meter længere væk fra et ikke reetableret område tyder ikke på tilsvarende fald. Her blev der i to prøver fundet henholdsvis 150 og 529 dyr pr. prøve. Der kan derfor ikke entydigt konkluderes noget om dampinjektionens langtidsvirkning på baggrund af data fra september 2002. Det ser derimod ud til, at der som følge af reetablering var sket et kraftigt fald i antallet af jordbundsdyr. Disse må dog på sigt forventes at nå almindelige forekomster.



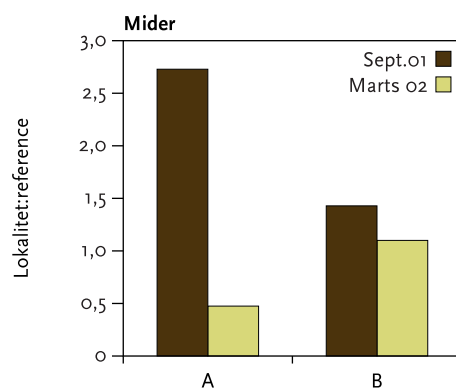
Figur 3.1 Gennemsnitlige antal springhaler samt standardafvigelser i de tre indsamlingsområder på tre tidspunkter, før (sep. 01), under (marts 02) og efter (sept. 02) dampinjektion.



Figur 3.2. Gennemsnitlige antal mider samt standardafvigelse i de tre indsamlingsområder på tre tidspunkter, før (sep. 01), under (marts 02) og efter (sept. 02) dampinjektion.



Figur 3.3. Den relative forskel mellem antal let af springhaler på forsøgsområde A og B i forhold til reference området før (sept. 01) og under (marts 02) dampinjektion.



Figur 3.4. Den relative forskel mellem antal let af mider på forsøgsområde A og B i forhold til reference området før (sept. 01) og under (marts 02) dampinjektion.

### 3.3 Planter

Planter består af en underjordisk del (rødderne) og en overjordisk del (assimilations- og støttevæv). Hvor den overjordiske del står for

kulhydratforsyningen, står den underjordiske del for forsyningen af vand, mineraler og næringsstoffer. Det overjordiske miljø er kendetegnet ved at være ustabil med stor variation i temperatur og fysisk påvirkning. Det underjordiske miljø er derimod ganske få cm under overfladen meget stabilt med en jævn årstidsrytme og lille variation i temperatur og vandindhold. Planterne har altså evolutionært set vænnet sig til, at der er stabile forhold under jorden. Man må derfor forvente, at drastiske ændringer af jordbundens temperatur og vandindhold, som ved dampstripping, vil medføre en markant påvirkning af plantesamfundene. For at undersøge om dette var tilfældet, blev der indsamlet prøver til analyse af vegetation og frøbanks sammensætning før dampning og efter dampning. Forskellige forhold omkring projektførelsen (se introduktionsafsnit) gjorde, at nogle indsamlinger måtte opgives eller kasseres. Det drejer sig f.eks. om analyser af plantesamfund på fortovsarealer i 1999, ligesom planteanalyser også måtte opgives i september 2002 på grund af den reetablering, der var sket i området.

Det resulterende materiale består af:

- Vegetationsanalyser fra de samme to græsplæner (område B samt referenceområdet) i september 2001 vha. point intercept metoden og fotoregistrering af vegetationen i juni 2002. Registrering vha. point intercept metoden i september 2002 var ikke relevant da området var blevet reetableret på dette tidspunkt. Derfor er resultaterne af fotoregistreringen og point intercept metoden begge omsat til dækningsgrad, således at en sammenligning er mulig
- Frøbankprøver indsamlet fra to græsplæner i december 1999 og i september 2002. Disse vil kunne bruges til at beskrive de samlede ændringer i frøbank som følge af dampremediering og reetablering af græsplæne.

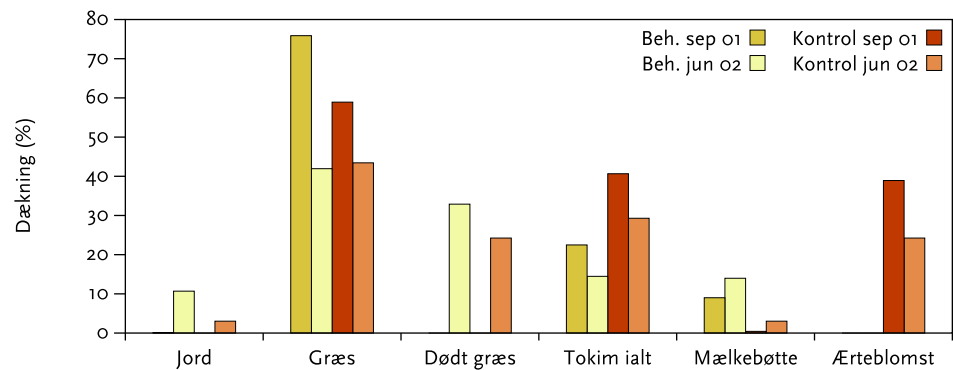
Derudover forsøgte vi at måle "Leaf Area Index" (LAI) i permanente plots, men vegetationen var for kort til, at dette kunne lade sig gøre.

### 3.3.1 Udvikling i dækningsgrad

Plantesamfundene blev indledningsvis analyseret kvalitativt for artssammensætning og hyppighedsbedømmelse. Der blev ligeledes foretaget en kvantitativ bedømmelse af arternes biomasse, dækning og frekvens i permanente plots. Dækning, biomasse og indvandring blev registreret efter non-destruktive metoder dvs. point intercept metoden /12/.

Dækningsgraden af planterne i det behandlede område (område B) var før opvarmningens start ca. 76% enkimbladede (græsser) og 23% tokimbladede (figur 3.5). Efter opvarmningen var plantedækket faldet til 90%, bestående af 75% græs (33% bestod af dødt græs) og 15% tokimbladede. Artsantallet af tokimbladede reduceredes fra ca. 16 arter til 3 – 4 arter med mælkebøtte som den klart dominerende. I kontrollen var mængden af levende og dødt græs forøget fra september 2001 til juni 2002 (Figur 3.5). Når dødt græs udelades, var der dog tale om et fald. Dækningen af levende græs i referenceområdet var i september 2001 59%, mens den for levende og dødt græs var på henholdsvis 43% og 24% i juni 2002. For de tokimbladede var der i referenceområdet tale om et fald i dækning fra 40 til 30% fra september 2001 til juni 2002. I juni 2002 sås ikke den samme dominans af mælkebøtte i referenceområdet som i område B, tværtimod var sammensætningen af de tokimbladede relativt

uforandret med dominans af forskellige ærteblomstrede såsom *Trifolium* og *Medicago*.



Figur 3.5. Jord og de forskellige planter/plantegrupperes dækningsgrad i procent målt i september 2001 før opvarmningen startede (sept. 2001) og efter opvarmningens slutning i juni 2002.

Antallet af tokimbladede arter gik ned i såvel det dampede område som i referenceområdet. Nedgangen i det dampede område kan udmærket være forårsaget af opvarmningen af jordens dybe lag, hvor mange tokimbladede har deres rødder. Dette bekræftes også af, at de træer der var i de opvarmede områder, stort set alle gik ud (fig. 3.6). Nogen tydelig konklusion kan der dog ikke drages, da der blandt andet er en unøjagtighed ved at omsætte fotos af vegetation til dækningsgrad af arter, idet det er vanskeligt at se og identificere alle arter på billederne. Den forøgede mængde af dødt græs sås både i det behandlede felt og i kontrolfeltet og skyldes formentlig delvis klimatisk betinget udtørring, som så har fået noget større effekt i det opvarmede område. Selvom der var lidt mere dødt græs og en større tilbagegang for det levende græs i det behandlede felt, er der dog ikke grund til at tro jordopvarmningen på længere sigt vil kunne føre til en reduktion af græsdækket. Tværtimod må man formode, at det bliver de tokimbladede, der vil få svært ved at retablere den biodiversitet, der var tilstede før opvarmningen. Dog er det sådan, at de opvarmede områder i dette tilfælde optræder i mosaik med områder, der ikke er blevet opvarmet. Derfor vil der være steder, hvor størstedelen af områdets biodiversitet har kunnet overleve, og hvorfra arterne vil kunne sprede sig til de opvarmede områder, hvis muligheden opstår i form af egnede forhold.

### 3.3.2 Udviklingen i frøbank

På hver lokalitet (område B samt referenceområdet) blev der indsamlet fem jordprøver til analyse af frøpuljens størrelse (tabel 3.2). Disse indsamles repræsentativt for lokaliteten. Efter indsamling blev jorden behandlet med henblik på at undersøge spiringspotentialet. Endelig blev jordprøverne spredt ud og sat til spiring i væksthuse under optimale betingelser. Når frøene var spiret blev de optalt og artsbestemt.

I det behandlede felt var der et fald i frøbankens diversitet af tokimbladede fra 11 arter i november 1999 til 7 arter i september 2002. Dette stemmer godt overens med, at der også er blevet færre overjordiske tokimbladede i samme periode. Diversiteten af de enkimbladede steg fra 5 til 7 arter. Andre årsager end dampremediering kan dog også forklare (nogle af) de observerede

forskelle. Det behandlede område blev efter dampremedieringen fræset og sæet til med en græsblanding. Fræsningen kan udmærket forklare, at antallet af tokimbladede arter i frøbanken er faldet, da opblanding med frøfattig dybtliggende jord netop vil have som effekt, at artsantallet falder. Tilførslen af græsblandingen er samtidig den oplagte forklaring både på den øgede frekvens og forekomst af enkimbladede arter i frøbanken. Da det ikke er muligt at afgøre, hvor stor del af ændringen der skyldes opvarmningen og hvor stor en del der skyldes reetableringen, er der ikke udført mere nøjagtige analyser af materialet.

Tabel 3.2. Gennemsnitlig frekvens af arterne i frøbanken i det forurenede område før og efter dampbehandling og i kontrolområde på tilsvarende tidspunkter.

	B (Nov. 1999)		B (Sept. 2002)		Ref (Nov. 1999)		Ref (Juni 2002)	
	gns.	std	gns.	Std	gns.	std	gns.	std
<i>Artemisia vulgaris</i>							0,2	0,4
<i>Bellis perennis</i>							0,6	0,5
<i>Betula</i>							0,2	0,4
<i>Brassica campestris</i>					0,2	0,4		
<i>Capsella bursa patoris</i>	0,4	0,9						
<i>Cerastium fontanum</i>	0,2	0,4						
<i>Chelidonium majus</i>			0,4	0,5				
<i>Chenopodium album</i>	1	1,7	0,2	0,4				
<i>Epilobium montanum</i>			0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5
<i>Euphorbia</i>							0,4	0,5
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	0,2	0,4			0,2	0,4		
<i>Papaver dubium</i>	0,2	0,4						
<i>Plantago major</i>	2,4	4,8						
<i>Polygonum aviculare</i>	0,2	0,4						
<i>Prunella vulgaris</i>							0,2	0,4
<i>Ranunculus sp.</i>	0,2	0,4	0,4	0,5				
<i>Rumex</i>							0,4	0,5
<i>Sagina procumbens</i>					0,2	0,4	0,8	1,1
<i>Sisymbrium officinale</i>	0,6	1,3						
<i>Stellaria media</i>			0,2	0,4	0,2	0,4	1,0	1,4
<i>Taraxacum</i>	0,2	0,4						
<i>Trifolium pratense</i>					0,4	0,9		
<i>Trifolium repens</i>							0,4	0,5
<i>Tripleurospermum inodorum</i>					0,4	0,5	0,2	0,4
<i>Urtica dioica</i>			2	1,4				
<i>Veronica persica</i>					0,2	0,4	0,2	0,4
<i>Veronica sp.</i>	0,8	1,8	0,2	0,4	0,2	0,4	2	1,6
<i>Festuca</i>	1,2	1,6	22,6	9,0	0,8	1,1		
<i>Lolium perenne</i>			0,2	0,4				
<i>Poa annua</i>	1,8	2,9			0,8	1,3		
<i>Poa pratensis</i>	0,6	0,9	3,6	7,2			0,2	0,4
<i>Blød hejre</i>	0,8	1,1	0,2	0,4				
<i>Elytrigia repens</i>			0,2	0,4			0,2	0,4
<i>Dactylis glomerata</i>			0,2	0,4				
Tokimbladede	6,4	5,1	3,6	2,1	2,2	1,6	7,0	3,5
Enkimbladede	4,4	3,5	27	14,0	1,6	2,1	0,4	0,9



### 3.4 Konklusioner

Dampoprensningen var dræbende for flertallet af træer og buske på de mest opvarmede områder (figur 3.6 og 3.7). Det er sandsynligt, at behandlingen har ført til en nedgang på op til 75% i antallet af tokimbladede arter på de mest opvarmede områder.

På grund af områdets mosaikagtige struktur med buske, plæner og hække mellem hinanden både på de opvarmede og de ikke opvarmede arealer, virker det sandsynligt, at hele områdets floristiske biodiversitet er forholdsvis intakt. Med tiden vil arterne derfor kunne sprede sig til de områder de er forsvundet fra på grund af opvarmningen, hvis de i øvrigt får lov til det.



Fig. 3.6. Billede af hæk fra området. Afgrænsningen af effekterne ved dampinjektionen ses ved at den del af hækken som er nærmest injektionboringerne (til venstre) er død, mens hækken længere væk overlever.



Fig. 3.7. Billede fra område B hvor der ses døde birketræer som følge af dampinjektion.



## 4 Det mikrobielle samfund

### 4.1 Introduktion

Længere tids opvarmning af jord kan potentielt ændre væsentligt på sammensætningen af det mikrobielle samfund i jorden. Det er således kendt, at sporer fra varmeresistente sporedannende bakterier kan spire ved varmepåvirkning /5/, samt at mange typer af svampe, der findes i jord, generelt kan tolerere og gro ved høje temperaturer /6/. Der er derfor god grund til at undersøge om dampremediering har en økotoksikologisk effekt på de mikrobiologiske samfund, dels kortvarigt og dels på længere sigt. Specielt kan længere tids opvarmning af jord potentielt selekttere for humant patogene bakterier og svampe, og dermed kan denne remedieringsform udgøre en sundhedsrisiko for mennesker, der færdes i området.

En enkelt undersøgelse af Richardson m.fl. /7/ har vist at den mikrobielle aktivitet under dampbehandling var under detektionsgrænsen, men efter dampbehandlingen var den på samme niveau som før dampbehandling. Yderligere fandt Richardson m.fl. at specifikke mesophile fremmedstofnedbrydende bakterier samt både archeabakterier og eubakterier overlevede dampbehandlingen. Denne undersøgelse fokuserede dog ikke på ændringer i sammensætningen af bakteriesamfundene eller på eventuelle effekter på andre mikroorganismer.

Der eksisterer således ingen af os kendte undersøgelser, der fokuserer på ændringer i sammensætningen af de mikrobiologiske samfund ved remediering af forurenede jord med dampinjektion. Målet for denne undersøgelse var derfor at undersøge udviklingen af de mikrobielle samfund i de øverste jordlag under og efter remediering med damp.

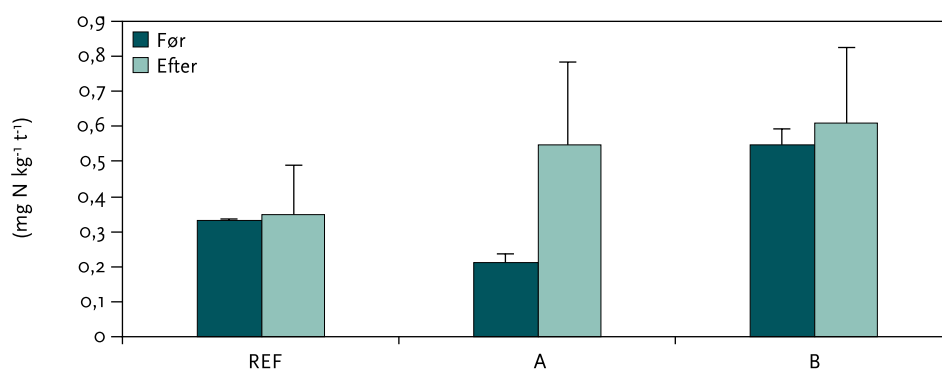
### 4.2 Nitrifikation

For at vurdere konsekvenserne på det mikrobielle samfund kan funktionelle mikrobielle tests, hvor mineraliseringen af f.eks. kvælstof eller kulstof følges, være anvendelige. Ofte er de dog meget ufølsomme, da selv meget store ændringer i bakteriesamfundet i nogle tilfælde ikke registreres ved generelle funktionsmålinger som f.eks. jordrespiration ( $\text{CO}_2$  produktion) eller omsætning af forskellige kulstofkilder. Omvendt er specialiserede funktioner i mange tilfælde ikke repræsentative for samfundet. Oxidationen af ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) via nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) til nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) er et vigtigt led i kvælstoffets kredsløb, og de involverede bakterier er autotrofe (de får energi fra omsætningen af hhv.  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_2^-$ ) og repræsenterer dermed et andet udsnit af den mikrobielle biomasse end de grupper, som udgør "nedbrydersamfundet". Den potentielle  $\text{NH}_4^+$ -oxidation antages at være proportional med antallet af bakterier, som kan udføre denne proces, og er derfor generelt anerkendt som en god indikator for uacceptable effekter på det mikrobielle samfund. I denne undersøgelse måles der – gennem en tidsserie – samlet for produktionen af nitrit og nitrat ved at reducere nitrat over en kobber/cadmium søjle. Ammonium oxidationsraten bestemmes herefter ved at

koble den producerede nitrit med et farvestof (N-(1-naftyl)ethylendiamin dihydroklorid), der måles spektrofotometrisk ved 520 nm på et Lachat-apparat. Hver jordprøve blev indsamlet som to "poolet" prøver af nærtliggende nedstik (10 cm dybe) med et smalt jordbor. Alt i alt ca. 100 gram jord, som blev sigtet gennem 4 mm inden analyser.

Den potentielle ammonium oxidationsrate blev undersøgt i efteråret (september) 2001 og i det tidlige forår (marts) 2002. Målingerne fra 2001 viser relativ lav variation mellem replikater, men relativ stor variation mellem de enkelte områder (Figur 4.1), om end de ligger inden for en radius af under 25 meter. Sammenholdt med den mikroskala, hvor bakterier opererer er denne afstand dog betragtelig. Omsætningsraten af kvælstof i disse prøver fra græsplæner er sammenlignelige med de rater, vi tidligere har fundet i landbrugsjorder ( $0,2-0,5 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ).

I vinteren 2002 steg variationen mellem prøverne betydeligt i alle områder inklusive referenceområdet. Hvor ammonium oxidationen stort set var uændret i referenceområdet – på trods af de forskellige årstider for indsamling – var den steget betydeligt i område A. Der er derfor ikke noget som tyder på, at dampinjektion vil have nogen langvarig og negativ indflydelse på jorden mikrobielle omsætning af ammonium, snarere at dampinjektion kan stimulere visse mikrobielle processer i jorden specielt i f.eks. vinterperioder, hvor der normalt vil være lav generel mikrobiel aktivitet.



Figur 4.1. Den potentielle ammonium oxidation på tre forsøgsområder før (sept. 01) og efter (marts 02) dampinjektion.

#### 4.3 Sammensætning af det mikrobielle samfund

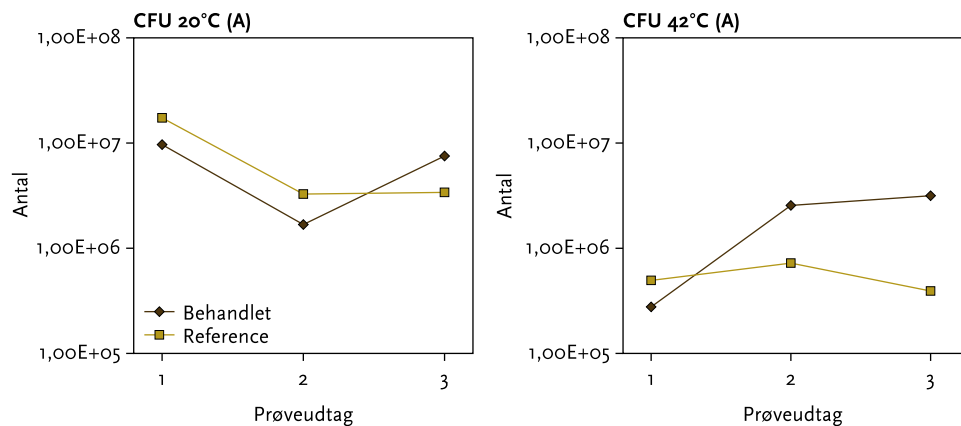
Ændringer i de mikrobielle samfund som følge af dampinjektion er blevet undersøgt før (prøveudtag 1; 11-09-2001), under (prøveudtag 2; 15-03-2002), samt efter (prøveudtag 3; 19-09-2002) dampbehandlingen. Prøverne blev udtaget fra samme lokaliteter som jordfaunaprøverne, det vil sige område A, B samt referenceområdet 15-20 meter væk fra dampboring 140 og 141. Fire prøver af overfladejord samt fire prøver med jord fra ca. 50 cm dybde af ca. 100 gram/stk. blev udtaget ved hver prøvetagning.

Jordprøver blev udtaget med jordbor og jorden blev efterfølgende sigtet gennem en 4 mm sigte og homogeniseret i en stor plasticpose på stedet. Sigten blev rensset grundigt mellem hver sigtning. Jordprøverne blev herefter delt og bragt til GEUS i København samt sendt med posten til DJF i Foulum. Jorden på GEUS er opbevaret i køleskab ved 4 grader indtil næste dag, hvor analyserne påbegyndtes.

### 4.3.1 Antal af bakterier og svampe

#### Koloniformende enheder (CFU), bakterier

Fra hver prøve blev udtaget 1,5 gram jord, der blev udrystet grundigt i 0,01M phosphate-buffer. Efter 20 minutters sedimentation blev 1/10 fortyndingsrækker lavet og antallet af koloniformende enheder blev undersøgt ved at udplade 50 µl fra 2 relevante fortyndinger på 1/10 TSA agarplader. 1/10 TSA er et generelt medie, som vi har erfaring med, er det bedste medie til bredt at isolere bakterier fra jordprøver på. Pladerne blev inkuberet dels ved 20°C, som er en normal inkubationstemperatur ved isolering af bakterier fra jord, og dels ved 42°C for at isolere varmeresistente stammer. Pladerne blev talt efter 24 og 48 timers inkubation.



Figur 4.2. Bakterielle CFU for overjorden i område A ved inkubationstemperaturerne 20°C og 42°C. Prøveindsamlingen forløb før (1), under (2) og efter (3) dampinjektion.

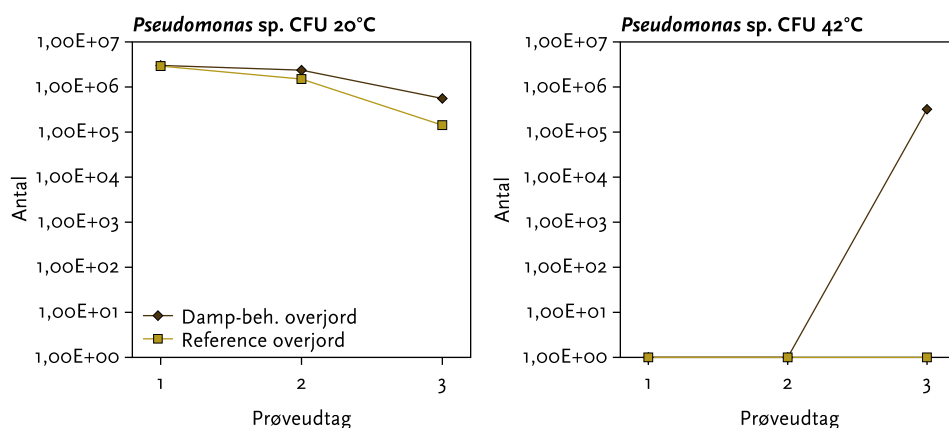
Antallet af CFU ved 20°C inkubationstemperatur (fig. 4.2) er faldende i både dampområdet som i referencejord fra september 2001 til marts 2002. Herefter stiger CFU-tallene i den behandlede jord, mens tallet i referencejorden forbliver konstant. Ved 42°C inkubationstemperatur er CFU-tallet i referencejorden relativt konstant, mens tallet i den behandlede jord er stigende. Lignende mønster ses i underjorden (data er ikke medtaget).

#### Koloniformende enheder af slægten *Pseudomonas*:

Fortyndingsrækker blev udpladet på Goulds S1 agarplader. Goulds S1 er et medie, der er udviklet til at være specifikt for bakterier af slægten *Pseudomonas* sp. /11. Plader blev inkuberet ved 20°C, som er en temperatur, hvor de fleste kendte *Pseudomonas* sp kan vokse, og ved 42°C, hvor kun *Pseudomonas aeruginosa*, som er et kendt opportunistisk humant patogen, kan vokse.

Isolater på Goulds S1 ved 42°C karakteriseres fænotypisk med API 20 NE bakterie identifikationssystemet. Antallet af *Pseudomonas* sp. CFU ved 20°C inkubationstemperatur er svagt faldende i både behandlet og referencejord. Ved 42°C inkubationstemperatur er CFU-tallet i referencejorden konstant (ingen kolonier) mens tallet i den behandlede jord er under detektionsgrænsen før behandlingen med en kraftig stigning efter behandlingen (figur 4.3).

Ved prøvetagning under dampbehandlingen (marts 2002) fandt vi (formodentlig på grund af nedbrydning af vores fungicid i pladerne fra denne runde) kraftig vækst af svampelignende kolonier på Goulds-pladerne fra den dampbehandlede jord. Disse var tydeligt ikke tilhørende slægten *Pseudomonas* sp. og er derfor ikke afbilledet på graferne. Dette svampelignende isolat er senere identificeret som *Aspergillus fumigatus* (se nedenfor).



Figur 4.3. Antal koloniformende enheder (CFU) fra dampbehandlet overjord (gennemsnit fra område A og B og reference-overjord ved inkubation ved 20°C og 42°C på *Pseudomonas* sp. specifikt medie Goulds S1. Prøveindsamlingen foretoges før (1), under (2) og efter (3) dampinjektion. Bemærk at antal *Pseudomonas* sp CFU 42°C ved prøvetagning 2 er bestemt (formodentlig fejlagtigt) lavt pga. overgroning af pladerne med svampen *Aspergillus fumigatus*.

### Forholdet mellem antal CFU ved 42°C og antal CFU ved 20°C på Goulds S1 medie

I september 2001 før dampinjektionen voksede der ingen *Pseudomonas* sp. ved 42°C fra referencejorden eller de andre forsøgsområder. Ved prøvetagning i marts 2002 blev prøverne ødelagt af uventet svampevækst og ved prøvetagning 3 var forholdet mellem *Pseudomonas* sp. i stand til at gro ved 42°C og 20°C helt oppe på 60%.

Vi observerede to koloni-morfologityper hos kolonier isoleret ved 42°C. En type (ca. 5 %) fluorescerede under UV-lys mens den anden (ca. 95%) ikke var fluorescerende. Disse to isolater blev testet på API 20 NE og blev begge (på trods af små forskelle i nedbrydningsprofiler) identificeret (den ene med 99% sikkerhed og den anden med "størst sandsynlighed") som værende stammer af *Pseudomonas aeruginosa*.

### Koloniformende enheder (CFU), svampe

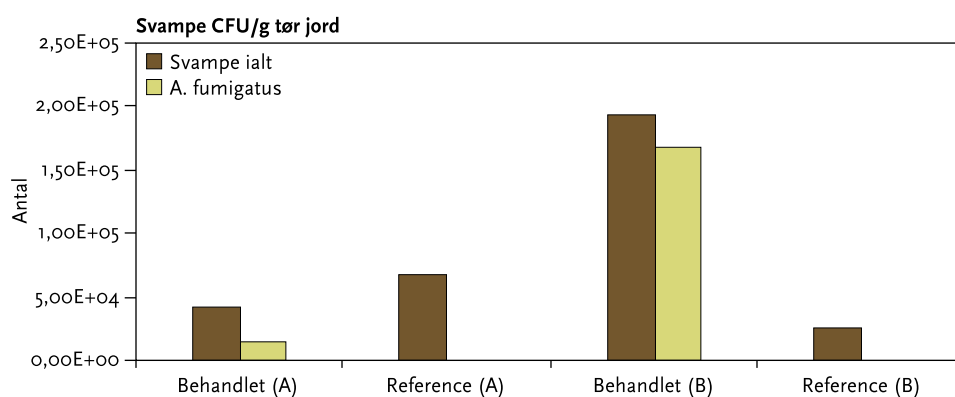
Ved prøvetagning i marts 2002 skete der som beskrevet ovenfor fund af svampen *Aspergillus fumigatus*. Antallet af isolerede *Aspergillus fumigatus* på Goulds S1 var 16600 CFU/g tør jord (overjord), og 19200 CFU/g tør jord (underjord), hvorimod der ingen vækst var at finde i referencejorden. Derfor blev prøverne fra september 2002 analyseret for indholdet af svampe generelt og *A. fumigatus* specifikt på V8-medie ved 25°C, CFD-tallet angiver i praksis

antallet af sporer (hvilestadier) af svampene. Disse analyser blev foretaget af Susanne Elmholt fra Dansk Jordbrugsforskning (DJF).

Der blev fundet betydelige mængder af *A. fumigatus* i de dampbehandlede jorde ved prøvetagning ½ år efter ophør af dampbehandlingen (tabel 4.1, fig. 4.4). *A. fumigatus* er ikke normal i danske jorde, og det er således første gang, at denne svamp er isoleret af Susanne Elmholt. Indholdet af svampe generelt i prøverne er forholdsvis lavt. Til sammenligning er indholdet af svampe i landbrugsjord på mellem 50.000 og 250.000 CFU/g tør jord (pers. kom. Susanne Elmholt, DJF).

Tabel 4.1. Indhold af svampe CFU/g tør jord i prøver udtaget efter dampbehandlingen (sept. 2002).

Overjord			Underjord		
Prøveområde	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Andre svampe	Prøveområde	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Andre svampe
140	2,75E+04	2,42E+04	140	4,57E+05	5,67E+04
141	1,38E+04	1,73E+04	141	2,78E+04	8,39E+03
142	3,42E+03	4,04E+04	142	1,96E+04	1,36E+04
Reference	0,00E+00	6,72E+04	Reference	0,00E+00	2,53E+04



Figur 4.4: Antal CFU/g tør jord i overjord (A), samt underjord (B). Lyse søjler angiver antal let af svampe i alt mens mørke søjler angiver antal let af *A. fumigatus*.

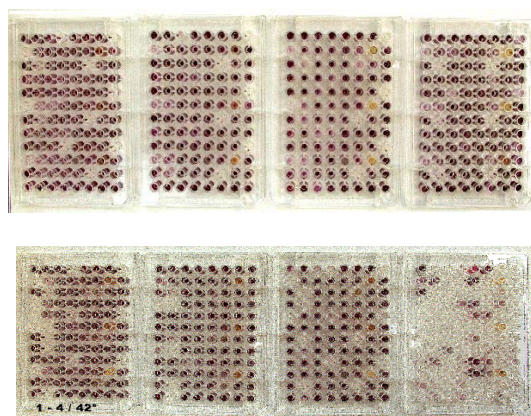
### 4.3.2 Profiler af det mikrobielle nedbrydersamfund

#### Biolog

Biolog EcoPlates måler den fænotypiske diversitet af de mikrobielle samfund som helhed og giver et såkaldt "community-level physiological profiling" af den analyserede prøve. Hver plade består af 3 replikater af 32 brønde indeholdende et af 31 forskellige kulstofkilder samt en brønd med vand som referenceprøve. Ved respiration på den pågældende kulstofkilde reduceres et tetrazolium farvestof og en lilla farve udvikles. Farveintensiteten aflæses spektrofotometrisk. Pladerne giver dermed et metabolsk "fingeraftryk" af nedbrydningsevnen i de undersøgte mikrobielle samfund og dermed et "fingeraftryk" af det mikrobielle samfunds sammensætning. Brugen af netop Biolog EcoPlates har vist sig at være et særdeles godt værktøj til at detektere både spatiale og temporale ændringer i mikrobielle samfund /8/.

Alle prøver analyseredes på Biolog-pladerne ved dels 20°C og 42°C. Boringerne blev inokuleret med 100µl fra 10<sup>-2</sup> fortyndingen fra ovenstående fortyndingsrække for at opnå et CFU-antal i nærheden af 10<sup>5</sup> celler/boring. For at pladerne ikke skulle tørre ud, blev disse pakket ind i plastposer sammen med en fugtig klud under inkuberingen. Brøndende blev aflæst hver dag fra startinokulering til dag 4 samt en aflæsning efter 7 dages inkubering.

Samfundsprofiler på Biolog EcoPlates viste stor nedbrydningskapacitet ved 20°C og næsten ingen nedbrydningskapacitet ved 42°C fra alle prøver udtaget før dampbehandlingen (ingen forskel mellem område A/B og referenceområdet). Fra prøverne taget under dampbehandlingen viste samfundsprofilerne en rimelig nedbrydningskapacitet ved 20°C i alle prøver (behandlede + reference) mens profilerne viste en stor nedbrydningskapacitet ved 42°C i alle dampbehandlede prøver og ingen nedbrydning i referenceprøven. Dette billede gentog sig ved prøvetagning 3 ca. ½ år efter behandlingen (fig. 4.5).



Figur 4.5 Biolog EcoPlates inokuleret med suspension fra dampbehandlet overjord indsamlet september 2002. Øverst fire plader er inkuberet ved 20°C de fire nederste ved 42°C. Rækkefølgen af plader er fra venstre 140, 141, 142 samt referencejord.

#### 4.4 Konklusion

Der er ingen tvivl om at oprensning med dampopvarmning af jorden ændrer væsentligt på de mikrobiologiske samfund i jorden. Resultater fra Hedehusene tyder på, at dampbehandlingen stimulerer samfundet som helhed, måske via frigørelse af tidligere utilgængelige kulstofkilder, hvilket resulterer i et større antal levedygtige bakterier samt forøget aktivitet i den dampbehandlede jord i forhold til referencejorden.

Det er desuden tydeligt, at dampbehandlingen rykker det mikrobielle samfunds generelle temperatur-tolerance væsentligt opad. Samfundsprofilen af nedbrydningsevnen på Biolog EcoPlates pladerne viser således med al tydelighed, at dampbehandlingen har ændret ved det mikrobielle samfund og at denne ændring stadig er gældende ½ år efter behandlingens afslutning. Fundet af en divers og persisterende varmeresistent bakterieflora i de dampbehandlede prøver er bekymrende dels ud fra et økotoxikologisk og dels ud fra et humant toksikologisk perspektiv.

Antallet af *Pseudomonas* sp. går generelt ned i både behandlet og referencejords dampbehandlingen resulterer i en fremkomst af varmeresistente *Pseudomonas aeruginosa*-stammer efter behandlingens afslutning. Denne bakterie er et opportunistisk humant patogen der ofte ses som årsag til urinvejs og respiratoriske infektioner. Yderligere er *P. aeruginosa* fra naturens side resistent overfor en række antibiotika og kan derfor være vanskelig at behandle /9/. Foruden denne bakterie isoleredes store mængder af svampen *Aspergillus fumigatus* fra damp-behandlede prøver. *A. fumigatus* producerer store mængder af små og let spredelige sporer med patogene og allergene effekter. Yderligere er flere *A. fumigatus* stammer i stand til at producere store mængder af mycotoxiner /10/.

Efter afslutningen af indeværende projekt blev der af GEUS foretaget supplerende undersøgelser af det mikrobielle samfund /4/. Konklusionen fra disse undersøgelser var, at der i 2003 blev observeret et fald i den funktionelle diversitet af varmetolerante bakterier. Yderligere blev der påvist et fald i antallet af potentielle patogene bakterier. Svampen *Aspergillus fumigatus* fandtes dog stadig i markant højere niveauer i den varmebehandlede jord.

# 5 Jordfysiske undersøgelser

## 5.1 Introduktion

Prøveudtagning af intakte borekerner til jordfysiske undersøgelser er foretaget i november 2000, før dampoprensningen i området var startet, og i november 2002, efter temperaturen i området var sænket nok til at en ny prøveudtagning kunne gennemføres. Prøveudtagningerne er udført af firma Per Aarsleff A/S, som har brugt akrylrør af 70 cm højde og en indvendig diameter af 78 mm. Borejournaler er præsenteret i Annex B. Borekernerne er udtaget omkring dampboringerne 140, 154, 157, 158 og 159 (fig. 2.2). En del borekerner gik tabt undervejs, især når der fandtes sten inde i borekernen. I 2000 er der i alt udtaget 19 intakte borekerner. Der blev i alt kun udtaget 15 intakte borekerner i 2002, da en del prøver blev tabt, ved at nogle sandede prøver løb ud af røret. Dette skyldes et højere sekundært grundvandsspejl på det tidspunkt, hvor prøverne blev udtaget. Derfor er der i boring 157 og 158 ingen prøver fra de dybere sandlag.

Fra de 19 borekerner i 2000 er der udskåret i alt 53 ringe med en højde på ca. 63 mm, tre ringe per borekerne. De 53 ringe blev vejlet og sat på sandboksene, som var i kapillær kontakt med en hængende vandsøjle. Ringene blev bragt i ligevægt i mindst 72 timer med et vandpotentiale på -10, -20, -40, -70, og -100 cm. Derefter er luftpermeabilitet målt ved -100 cm vandpotentiale. Prøverne blev bagefter mættet op igen, hvorefter den mættede vandledningsevne (Ksat) blev bestemt.

Fra de 15 borekerner fra 2002 blev der udskåret i alt 45 ringe med en højde på ca. 63 mm, som blev behandlet på samme måde som ovenfor beskrevet.

## 5.2 Jordfysiske undersøgelser

### **Geologi**

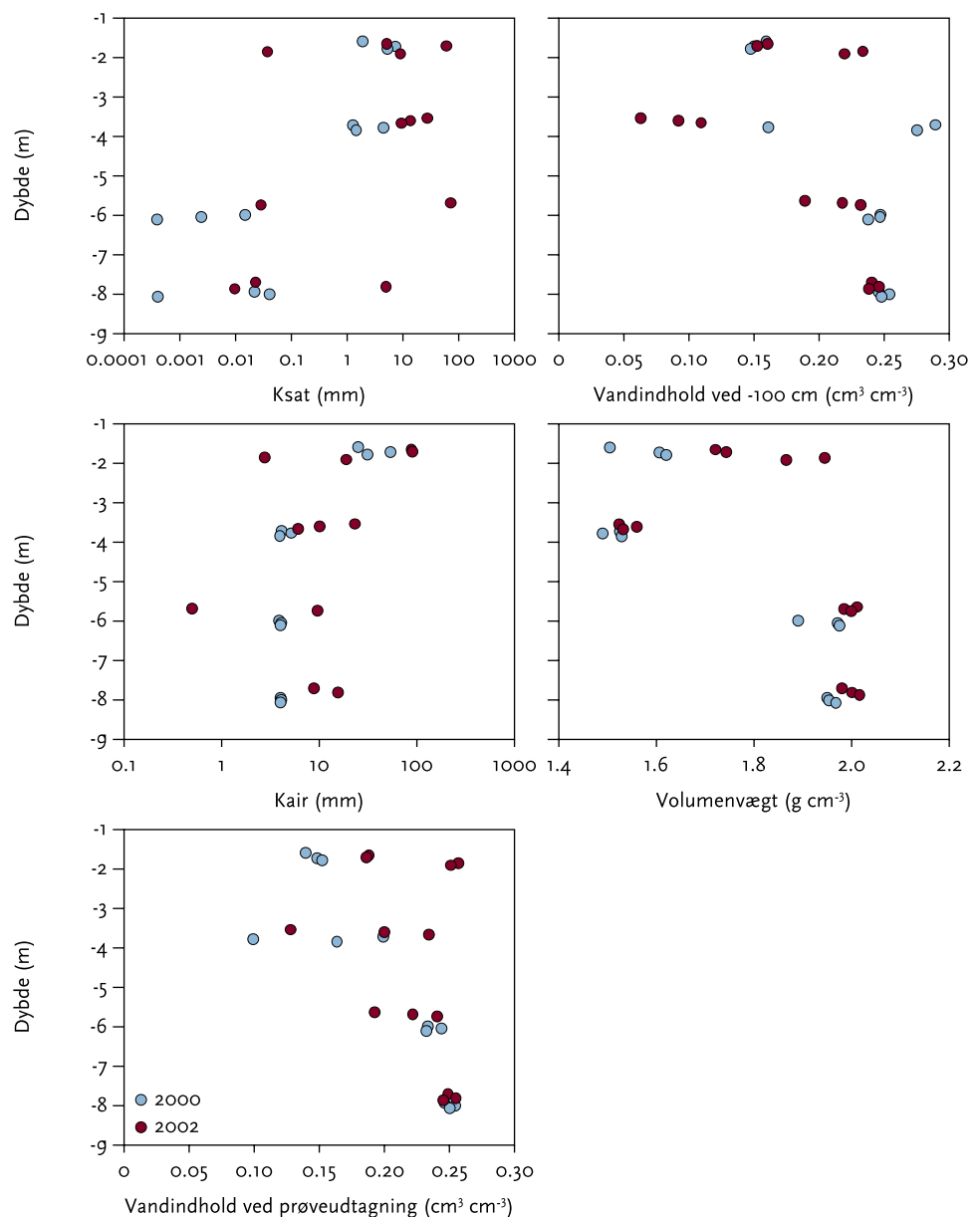
Tidligere boringer i forbindelse med selve oprensningsprojektet har vist, at de øverste 14-15 meter består af glaciale aflejringer. Borejournaler (Annex B) viser øverst et lag fyldt på ca. 1,5-2,5 m. Derunder er der i alle boringer, undtagen nr. 140, fundet gulbrun moræneler omkring 2 m dybde. Derunder findes smeltevandsaflejringer mellem 4 og 8 m dybde, bestående af lysegule sandaflejringer blandet med silt og ler. I boring 140, 157 og 158 fandtes også gråt reduceret moræneler i 6 og 8 m dybde. En sammenligning mellem 2000 og 2002 viser, at overgangen mellem de forskellige lag ikke findes på samme dybde, selv om prøverne blev udtaget på mindre end 2 m afstand fra hinanden. For eksempel findes der moræneler i boring 157 i 2000 på en dybde af 6,30 til >8,20 m, mens det i 2002 fandtes i en dybde af 5,40 til 7,80 m. Dette afspejler en stor rummelig variation i lokalitetens geologi.



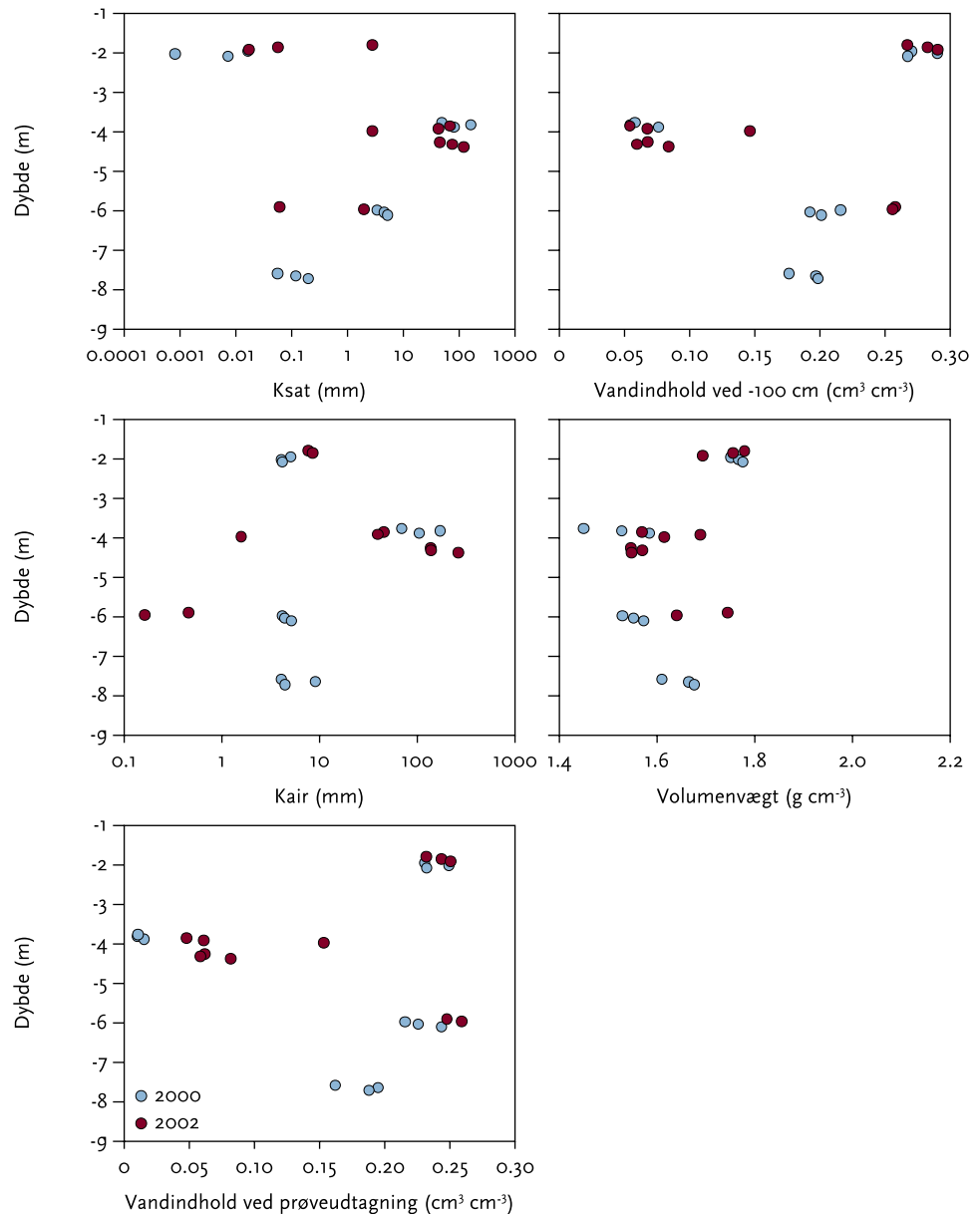
## Dybdeprofiler

I figur 5.1 er der vist de vigtigste fysiske parametre, som er blevet målt for boring 140 og 154. De to profiler repræsenterer de to yderpunkter mht. temperatur gennem perioden med dampoprensning. Boring 140 er blevet udsat for de højeste temperaturer, mens 154 lå i periferien af dampbehandlingerne, og derfor ikke har været udsat for så høje temperaturer.

Figur 5.1 og 5.2 viser, at den heterogene opbygning af profilen gør det vanskeligt at sammenligne fysiske parametre for hver profil/dybde kombination. Figuren viser tydeligt den ekstreme variabilitet af prøverne indenfor den samme borekerne. Variabiliteten af de fysiske egenskaber hænger sammen med en teksturobygning bestående af silt og leraflejringer. Især vandledningsevne og luftpermeabilitet fra prøver fra den samme borekerne kan variere over flere størrelsesordner, selvom den makroskopiske teksturvurdering kan være ens. Det er derfor ikke muligt at udtale sig om ændringer efter dampning på en bestemt profil/dybde kombination.



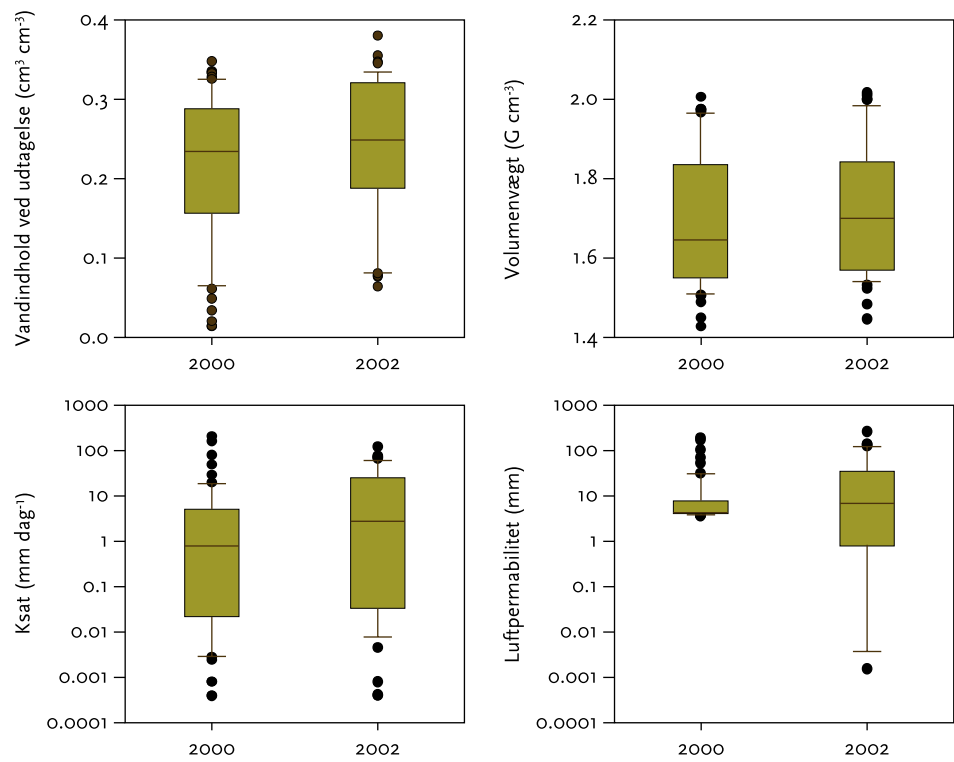
Figur 5.1. Profiler med målte jordfysiske egenskaber fra boring 140.



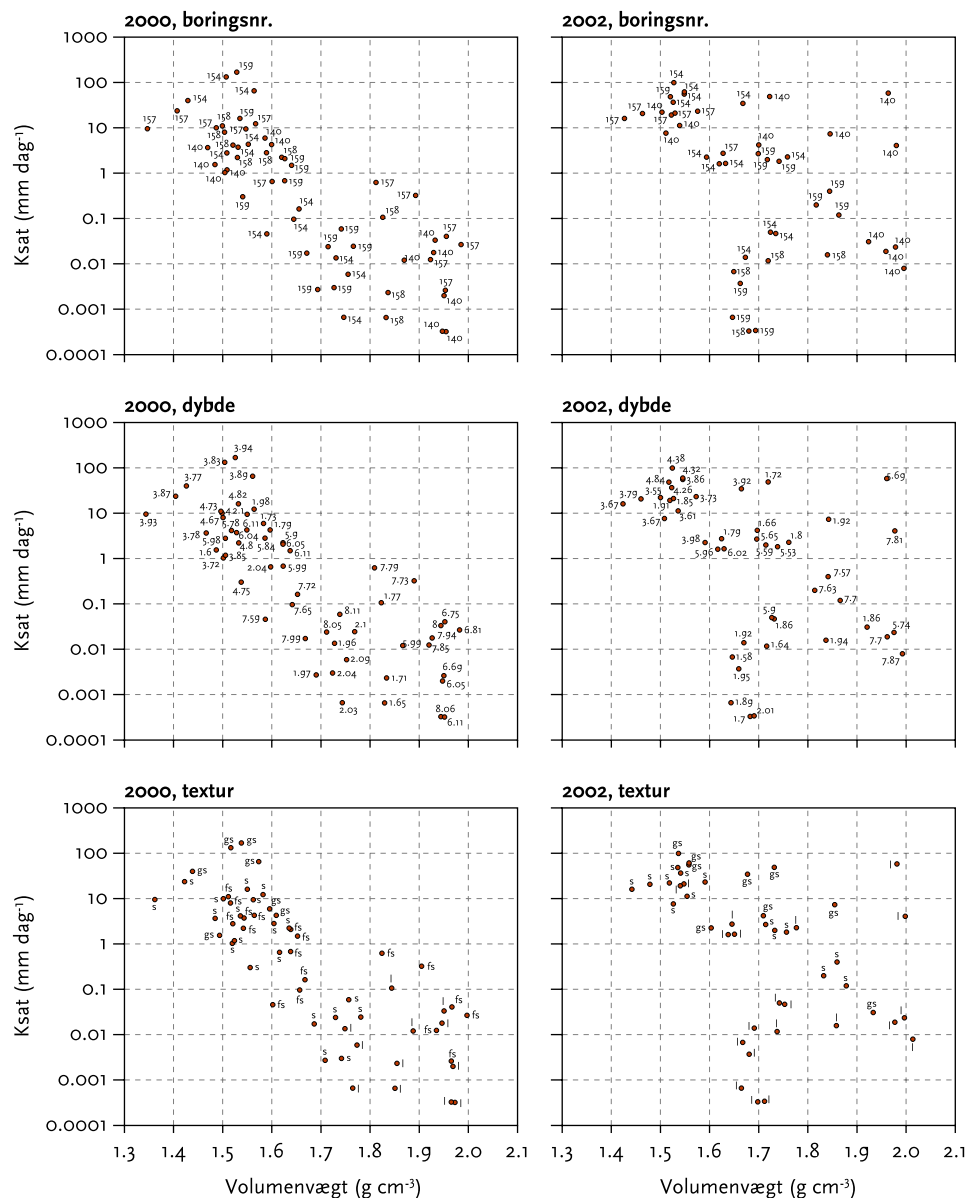
Figur 5.2. Profiler med målte jordfysiske egenskaber fra boring 154.

### Statistisk samling af jordfysiske parametre før/efter dampbehandling

Figur 5.3 viser alle målte fysiske parametre fra 2000 og 2002, i form af median værdi, 2% og 95% percentiler samt "outliers" fra datasættet. I forbindelse med højere sekundær grundvandstand i 2002 er det ikke overraskende, at vandindholdet ved prøveudtagningen i 2002 var lidt højere end i 2000 (Figur 5.3). Til gengæld er det overraskende, at medianen for både den mættede hydrauliske ledningsevne (Ksat) og volumenvægten er lidt højere i 2002 end i 2000 (diskuteres nedenunder). Figur 5.3 viser også, at den statistiske fordeling af luftpermeabilitet er meget forskellige for hhv. 2000 og 2002. Det formodes, at målingerne fra 2000 var fejlbehæftede, og at den nedre "afskæringsværdi" skyldes falsk luft, som er trængt ind mellem jord og rør. Derfor er det ikke muligt at sammenligne luftpermeabilitetsmålingerne.



Figur 5.3. Statistiske fordeling af vandindhold ved prøveudtagning, volumenvægt, mættede hydrauliske ledningsevne og luftpermeabilitet. Alle data fra 2000 og 2002 er inkluderet i figuren.



Figur 5.4. Relationer mellem volumenvægt og mættet hydraulisk ledningsevne i 2000 og 2002. Symboler repræsenterer boringsnummer (øverst), prøvedybde (i midten) og tekstur (nederst, l=ler, fs=fin sand, s=sand, gs=grov sand).

### Jordstruktur relationer

Det bedste indtryk af dampbehandlingens effekt på jordstrukturen fås af relationen mellem volumenvægt og hydraulisk ledningsevne. Denne relation er vist i Figur 5.4 og afspejler sammenhængen mellem jordstruktur og porekontinuitet. Der ses en negativ signifikant korrelation i 2000 med  $R^2 = 0.65$ , som afspejler den forventede lavere  $\log(K_{sat})$  ved stigende massefylde. Denne statistiske sammenhæng er dog helt forsvundet i 2002 ( $R^2=0.15$ ). Figur 5.4 viser en generel forskydning af de fleste punkter opad og til højre i figuren, dvs. at prøverne efter dampbehandling generelt har en højere volumenvægt og ledningsevne. Dette er tydeligst for prøverne fra boring 140, som har været udsat for de højeste temperaturer. En begrænset mængde af gule morænelerprøver fra boring 158 og 159 følger ikke denne generelle stigning og har den modsatte tendens. Hermed er den statistiske sammenhæng forsvundet.

### 5.3 Konklusioner

Resultaterne fra de intakte borekerner har vist, at dampbehandling kun i ringe grad har påvirket de gennemsnitlige jordfysiske egenskaber.

Vandretentionsegenskaber blev næppe påvirket af dampbehandling. Der blev til gengæld målt en ringe stigning af både volumenvægt og hydraulisk ledningsevne, hvilket er bemærkelsesværdigt, idet en stigning af volumenvægten normalt vil medføre en sænkning af porøsitet og dermed også en sænkning af vandledningsevne. Muligvis kan stigningen i både volumenvægt og vandledningsevne forklares ved, at betydelige mængder af kulstof er fjernet med den opsuget luft /1/. Dette skyldes formentligt fjernelse af organisk humus i profilen ved våd oxidation. Organisk stof selv i små mængder har stor betydning for både jordstruktur og hydraulisk ledningsevne.

Resultaterne viser, at effekten er mest udbredt ved boring 140. Dette stemmer godt overens med at denne boring har været udsat for de højeste temperaturer sammenlignet med de andre undersøgte boringer i området.

## 6 Konklusioner

På trods af en række mangler og tekniske problemer, der har vanskeliggjort klare og entydige konklusioner, har projektet alligevel set en række ændringer, der samlet set kan føre til følgende overordnede konklusioner.

- Der må formodes at ske væsentlige lokale ændringer i sammensætninger af jordbundsdyr og planter som følge af dampinjektion.
- Hvor langvarige disse eventuelt kan være, er det, på grund af en reetablering af området i dette projekt, ikke muligt at forudsige.
- Under alle omstændigheder vil de ændringer, som kan forventes, formodentlig ikke resultere i, at området under damppåvirkning vil forekomme uden biologisk liv. Træer og buske med længere rødder må forventes at dø, mens græs og en række urter vil kunne overleve endog med øget vækst for nogle af disse.
- Der er ikke konstateret ændringer i de fysiske egenskaber, som forventes at medføre betydelige negative ændringer i drænforhold for sekundært grundvand.
- Der er konstateret stigninger i volumenvægt og hydraulisk ledningsevne, som formentlig skyldes en kombination af sætning af jorden og fjernelsen af organisk kulstof ved våd oxidation.
- Der blev konstateret store forandringer i de mikrobielle samfund under dampinjektion.
- Disse forandringer var stabile et halvt år efter dampinjektionens ophør.
- Fremvækst af en divers varmeresistent mikroflora og dennes stabilitet blev påvist.
- To potentielt humant patogene mikroorganismer blev identificeret i de dampoprensede jorde.

Der må påregnes visse synlige effekter i området som følge af dampoprensning. For eksempel vil mange træer og buske visne og dø. Det kan derfor anbefales i god tid inden påførslen af damp at bekendtgøre dette for eventuelt berørte beboere. Andre miljøeffekter vil være mindre synlige og vil sandsynligvis kunne "repareres" ved en reetablering af området. I tilfælde af at kommende områder har en beliggenhed på følsomme naturarealer eller er af en størrelse eller beskaffenhed som fordyrer reetablering må der påregnes længerevarende skader. Det kan i sådanne tilfælde anbefales at følge den naturlige reetablering.

Fremvæksten i de dampbehandlede jorde af en divers og persistent varmeresistent bakterieflora samt fundet af de to eneste potentielle humane patogener, der specifikt er blevet ledt efter, *Pseudomonas aeruginosa* og *Aspergillus fumigatus*, vækker en vis bekymring. *P. aeruginosa* og *A. fumigatus* repræsenterer en potentiel human sundhedsrisiko ved de undersøgte jorde fra arealerne ved Hedehusene.

Efter afslutningen af indeværende projekt blev der af GEUS foretaget supplerende undersøgelser af det mikrobielle samfund /4/. Konklusionen fra disse undersøgelser var, at der efterfølgende blev observeret et fald i varmetolerante bakterier. Yderligere blev der påvist et fald i antallet af

potentielle patogene bakterier. Svampen *Aspergillus fumigatus* fandtes dog stadig i markant højere niveauer i den varme-behandlede jord.

Det kan oplyses, at Københavns Amt og Embedslægeinstitutionen efterfølgende orienterede beboerne i en ældrebebyggelse i undersøgelsesområdet om fundet af mikroorganismene. Det fremgik af orienteringen, at det var Embedslægeinstitutionens skøn, at en eventuel risiko var lille, men at en orientering var relevant, da denne viden bør indgå i tilfælde af længerevarende infektioner i lunger eller slim-hinder.

Københavns Amt har besluttet at fortsætte den mikrobielle monitorering.





## 7 Referencer

- /1/. Miljøstyrelsen. 2004. Dampoprensning af klorerede opløsningsmidler på tidligere industrigrund i Hedehusene. Larsen, Thomas H.; Schlag, Rune; Andersen, Kresten L.; Madsen, Marianne. Miljøprojekt nr. 877.
- /2/. Miljøstyrelsen. 2003. Dampoprensning under en bygning. Heron, Betina Haugaard; Heron, Tom. Miljøprojekt nr. 749.
- /3/. Miljøstyrelsen 1998. Termisk assisterede oprensninger. Heron, Gorm; Heron, Tom; Larsen, Thomas Hennesberg; Christensen, Thomas Højlund. Miljøprojekt nr. 409.
- /4/. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. 2004. Resultater af mikrobiologiske undersøgelser af damp-behandlede arealer ved Hedehusene. Rapport fra prøvetagning 2003. Mikkel Bender, Susanne Elmholt, Anne Mette Madsen, Carsten Suhr Jacobsen. GEUS rapport nr. 2004/43.
- /5/. Curran H.R., F.R. Evans, 1945. Heat activation inducing germination in the spores of thermotolerant and thermophilic aerobic bacteria. *J Bacteriol.* 46: 335-346.
- /6/. Jesenska Z, E. Pieckova, D Bernat, 1993. Heat resistance of fungi from soil. *Int J Food Microbiol* 19:187-92.
- /7/. Richardson R.E., C.A. James, V.K. Bhupathiraju and L. Alvarez-Cohen, 2002. Microbial activity in soils following steam treatment. *Biodegradation* 13: 285-295.
- /8/. Garland J.L. 1997. Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology* 24: 289-300
- /9/. Quinn J.P., 1998. Clinical problems posed by multiresistant nonfermenting gram-negative pathogens. *Clin Infect Dis* 27 Suppl 1: 117-24.
- /10/. Latge J.P., 2001. The pathobiology of *Aspergillus fumigatus*. *Trends Microbiol* 9:382-9.
- /11/. Johnsen K, Nielsen P., 1999. Diversity of *Pseudomonas* strains isolated with King's B and Gould's S1 agar determined by repetitive extragenic palindromic-polymerase chain reaction, 16S rDNA sequencing and Fourier transform infrared spectroscopy characterisation. *FEMS Microbiol Lett* 173(1):155-62.
- /12/. Jonasson, S. (1988). "Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass." *OIKOS* 52: 101-106.



## ANNEX A

Tabel A1. Antal Iet af de fundne springhalearter samt grupper af mider i de tre forsøgsområder i september 2001, det vil sige før dampinjektion.

Område (N)	Springhaler (gns ± std)							
	<i>Isotoma tigrina</i>	<i>Isotoma anglicana</i>	<i>Isotomurus palustris</i>	<i>Ceratophysella a denticulata</i>	<i>Ceratophysella succinea</i>	<i>Hypogastru a sp.</i>	<i>Lepidocyrtus lanunginosus</i>	<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>
R (14)	21 ± 14	46 ± 24	19 ± 12	0	0	0	0,1 ± 0,3	33 ± 14
A (24)	314 ± 189	24 ± 15	1,4 ± 2,8	3,2 ± 9,9	0	0	0,03 ± 0,19	6,2 ± 6,4
B (15)	8,1 ± 7,4	19 ± 17	0,20 ± 0,56	0,07 ± 0,26	0	0	0	0
	<i>Sminthurinus elegans</i>	<i>Protaphorura sp.</i>	<i>Sminthurus viridis</i>	<i>Smint. Sp.</i>	<i>Mesaphorura sp.</i>	<i>Isotoma notabilis</i>	<i>Entomobrya sp.</i>	<i>Friesea mirabilis</i>
R (14)	1,7 ± 1,3	1,3 ± 1,7	0	13 ± 14	9,5 ± 9,3	68 ± 55	0,14 ± 0,36	0
A (24)	4,7 ± 4,8	1,0 ± 4,8	0,07 ± 0,26	12 ± 8,2	30 ± 26	35 ± 38	0,8 ± 2,4	0
B (15)	3,5 ± 2,7	0	0,40 ± 0,63	5,0 ± 2,9	7,6 ± 7,6	18,1 ± 15,5	0,40 ± 0,83	0
	<i>Folsomia fimetaria</i>	<i>Pseudosinella alba</i>	<i>Brachystomella parvula</i>	<i>Anurida pygmaea</i>	<i>isotomiella minor</i>	<i>Heteromurus nitidus</i>	<i>Stenaphorura quadrispina</i>	<i>Neelus minimus</i>
R (14)	0	0,71 ± 1,3	9,9 ± 5,4	0,29 ± 0,83	0	0	0	0,64 ± 1,1
A (24)	0,2 ± 0,9	4,8 ± 7,2	6,1 ± 4,9	0,55 ± 1,1	0,10 ± 0,41	0,41 ± 1,4	0	0,31 ± 0,76
B (15)	0	7,5 ± 8,5	3,9 ± 3,9	0	0	0,67 ± 0,90	0,67 ± 0,26	3,1 ± 2,3
	<i>Sminthurinus aureus</i>	<i>Folsomia spinosa</i>	<i>Cryptopygus thermophilus</i>	<i>Willemia sp.</i>	<i>Orchesella cincta</i>	<i>Orchesella villosa</i>	<i>Isotomodes productus</i>	<i>Isotomodes armata</i>
R (14)	0,07 ± 0,27	0	0	0,07 ± 0,27	0	0	18,4 ± 11,9	0
A (24)	0,34 ± 0,61	0	0	0,21 ± 0,56	0	0	12 ± 11	0,03 ± 0,19
B (15)	0,07 ± 0,26	0	0	0	0	0	5,3 ± 4,8	0
	<i>Isotomodes bistosus</i>	<i>Folsomia quadrioculata</i>	<i>Sp1</i>	<i>Sp.2</i>	<i>Sp.3</i>	<i>Sp.4</i>		
R (14)	0	0	4,9 ± 17,9	0	0	1,6 ± 2,3		
A (24)	0	0	22 ± 55	0	0	0		
B (15)	0	0	1,4 ± 2,6	0	0	0		

Tabel A1 fortsat

	Mider (gns ± std)			
	Cryptostigmater	Prostigmater	Astigmater	Mesostigmater
R (14)	1,4 ± 1,7	45 ± 20	0,36 ± 0,84	23 ± 9,6
A (24)	6,0 ± 5,7	128 ± 169	8,7 ± 7,4	48 ± 23
B (15)	0,27 ± 0,60	67 ± 40	4,0 ± 14	30 ± 15

Tabel A2. Antal let af de fundne springhalerarter samt grupper af mider i de tre forsøgsområder i marts 2001, det vil sige i slutfasen af dampinjektionen.

Område (N)	Springhaler (gns ± std)							
	<i>Isotoma tigrina</i>	<i>Isotoma anglicana</i>	<i>Isotomurus palustris</i>	<i>Ceratophysella denticulata</i>	<i>Ceratophysella succinea</i>	<i>Hypogastrua sp.</i>	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>
R (10)	43 ± 35	12 ± 6,9	27 ± 13	0,20 ± 0,42	0	0	0	12 ± 14
A (17)	95 ± 103	8,2 ± 14	9,4 ± 8,6	1,2 ± 2,9	0	0	0,06 ± 0,24	2,5 ± 3,7
B (9)	0	8,1 ± 7,8	4,4 ± 6,4	0	0	0	0	10 ± 8,1
Område (N)	<i>Sminthurinus elegans</i>	<i>Protaphorura sp.</i>	<i>Sminthurus viridis</i>	<i>Smint. Sp.</i>	<i>Mesaphorura sp.</i>	<i>Isotoma notabilis</i>	<i>Entomobrya sp.</i>	<i>Friesea mirabilis</i>
	R (10)	2,9 ± 2,8	3,1 ± 5,8	0	38 ± 25	27 ± 21	51 ± 31	0
A (17)	1,5 ± 2,1	0,06 ± 0,24	0,29 ± 0,77	1,7 ± 2,4	7,2 ± 10	72 ± 52	0,12 ± ,33	0
B (9)	4,9 ± 4,9	0	0	4,0 ± 1,4	4,3 ± 2,6	14 ± 23	0,67 ± 1,1	0
Område (N)	<i>Folsomia fimetaria</i>	<i>Pseudosinella alba</i>	<i>Brachystomella parvula</i>	<i>Anurida pygmaea</i>	<i>isotomiella minor</i>	<i>Heteromurus nitidus</i>	<i>Stenaphorura quadrispina</i>	<i>Neelus minimus</i>
	R (10)	0	2,0 ± 3,1	4,6 ± 3,5	1,4 ± 1,2	2,8 ± 8,5	0	0
A (17)	0	2,2 ± 4,0	2,6 ± 2,5	0,12 ± 0,33	1,1 ± 3,5	0,06 ± 0,24	0	0,35 ± 0,79
B (9)	0	2,8 ± 2,2	0,56 ± 1,0	0,11 ± 0,33	0	0	0,67 ± 1,1	6,3 ± 4,9
Område (N)	<i>Sminthurinus aureus</i>	<i>Folsomia spinosa</i>	<i>Cryptopygus thermophilus</i>	<i>Willemia sp.</i>	<i>Orchesella cincta</i>	<i>Orchesella villosa</i>	<i>Isotomodes productus</i>	<i>Isotomodes armata</i>
	R (10)	0	0	0	2,1 ± 3,8	0	0	0
A (17)	0,18 ± 0,53	0	0	0	0	0	0	4,1 ± 4,7
B (9)	0	0	0	0	0,11 ± 0,33	0	0	0,11 ± 0,33
Område (N)	<i>Isotomodes bistosus</i>	<i>Folsomia quadrioculata</i>	Sp1	Sp.2	Sp.3	Sp.4		
	R (10)	0	0	2,1 ± 4,7	0	0	0	
A (17)	0	0	11 ± 37	0,24 ± 0,75	0,24 ± 0,75	0		
B (9)	0	0	0,56 ± 1,3	0	0	0		

Tabel A2 fortsat

Område (N)	Mider (gns ± std)			
	Cryptostigmater	Prostigmater	Astigmater	Mesostigmater
R (10)	11 ± 6,4	48 ± 24	2,7 ± 4,0	26 ± 13
A (17)	1,9 ± 2,0	21 ± 15	0,18 ± 0,53	29 ± 22
B (9)	9,4 ± 7,6	38 ± 26	6,9 ± 9,2	42 ± 12

## ANNEX B

Tabel B1. Jordartsbeskrivelse, Borejournal Per Aarsleff A/S.

År/dato	Boring nr.	Dybde (m)	Jordartsbeskrivelse
29/11-2000	140	0-1.20	Muld/stabiltt grus
		1.20-5.10	Sand lysgult
		5.10-8.20	Moræneler gråt
12/11-2002	140	0-2.60	Blandet muld/stabilt grus
		2.60-4.50	Sand lysgult
		4.50-4.80	Sand/silt
		4.80-8.20	Moræneler gråt
28/11-2000	154	0-0.4	Muld/stabilt grus
		0.4-1.30	Stabilt grus
		1.30-2.30	Moræneler gulbrun
		2.30-8.20	Sand lysgult
11/11-2002	154	0-1.30	Lerfyld
		1.30-2.50	Sand lysgul
		2.50-5.50	Sand/fin siltet gråt
		5.50-8.20	Ler/sand/silt gråt
27/11-2000	157	0-0.80	Stabilt grus
		80-1.10	Muld
		1.10-2.75	Moræneler gulbrunt
		2.75-6.30	Sand lysgult
		6.30-8.20	Moræneler gråt
11/11-2002	157	0-1.20	Muld/lerfyld
		1.20-5.40	Sand m. lerstriber
		5.40-7.80	Moræneler med kalk gråt
		7.80-8.20	Morænesand gråt
27/11-2000	158	0-0.70	Stabilt grus
		0.70-1.10	Muld
		1.10-2.15	Moræneler gulbrunt
		2.15-5.60	Sand lyst
		5.60-7.10	Sand/silt
12/11-2002	158	7.10-8.20	Moræneler gråt med sten
		0-1.40	Muld/sand fyld
		1.50-2.30	Ler/sand
		2.30-3.80	Sand gul
28/11-2000	159	3.80-8.20	Sand/silt gråt
		0-0.80	Grus/fyld
		0.80-1.40	Muld
		1.40-3.20	Moræneler gulbrunt
		3.20-6.20	Sand lysgult
12/11-2002	159	6.20-8.20	Sand/silt
		0-1.40	Muld/lerblandet
		1.40-2.70	Sand/leret brun
		2.70-4.70	Sand lys gul
		4.70-8.20	Fin sand/silt gråt

Tabel B2. Intakte borekerner udtaget november 2000.

Intakte borekerner 2000				
Bore nr	Dybde, m	Dybde ring/m	Tekstur	
140	1.50-2.20	1.60-1.66	Grov sand m. sten	
		1.73-1.79	Grov sand m. sten	
		1.79-1.85	Grov sand m. sten	
	3.50-4.20	3.72-3.78	Sand	
		3.78-3.85	Sand	
		3.85-3.91	Sand	
	5.50-6.20	6.11-6.17	Ler+sand m. kalk	
		6.05-6.11	Ler+sand m. kalk	
		5.99-6.05	Ler+sand m. kalk	
	7.50-8.20	8.06-8.13	Ler (grå) + sand m. sten	
		8.00-8.06	Ler (grå) + sand m. sten	
7.94-8.00		Ler (grå) + sand m. sten		
154	1.50-2.20	2.09-2.15	Ler med lidt fin sand	
		2.03-2.09	Ler med lidt fin sand	
		1.96-2.03	Ler med lidt fin sand	
	3.50-4.20	3.77-3.83	Grov sand	
		3.83-3.89	Grov sand	
		3.89-3.95	Grov sand	
	5.50-6.20	6.11-6.17	Fin sand	
		6.04-6.11	Fin sand	
		5.98-6.04	Fin sand	
	7.50-8.20	7.59-7.65	Fin sand	
		7.65-7.72	Fin sand	
7.72-7.78		Fin sand		
157	1.50-2.20	2.10-2.16	Sand og grus	
		2.04-2.10	Sand og grus	
		1.98-2.04	Sand og grus	
	3.50-4.20	4.00-4.06	Sand	
		3.93-4.00	Sand	
		3.87-3.93	Sand	
	6.20-6.90	6.81-6.87	Grå, ler/ fin sand m. kalk	
		6.75-6.81	Grå, ler/ fin sand m. kalk	
		6.69-6.75	Grå, ler/fin sand m. kalk	
	7.50-8.20	7.73-7.79	Fin sand	
		7.79-7.85	Fin sand	
7.85-7.91		Fin sand		
158	1.50-2.20	1.65-1.71	Ler m. sten	
		1.71-1.77	Ler m. sten	
		1.77-1.83	Ler m. sten	
	4.20-4.90	4.80-4.86	Fin sand	
		4.73-4.80	Fin sand	
		4.67-4.73	Fin sand	
	5.50-6.20	5.78-5.84	Sand	
		5.84-5.90	Sand	
		5.90-5.96	Sand	
	159	1.50-2.20	2.10-2.16	Sand med lidt ler + sten
			2.04- 2.10	Sand med lidt ler + sten
1.97-2.04			Sand med lidt ler + sten	
4.20-4.90		4.82-4.88	Sand	

	4.75-4.82	Sand
	3.94-4.00	groft sand
5.50-6.20	6.11-6.17	Fin sand
	6.05-6.11	Fin sand
	5.99-6.05	Fin sand
7.50-8.20	8.11-8.18	Sand med sten
	8.05-8.11	Sand med sten
	7.99-8.05	Sand med sten

Tabel B3. Intakte borekerner udtaget november 2002.

Intakte borekerner 2002			
Bore nr.	Dybde rør/m	Dybde ring/m	Textur
140	1.5-2.1	1.66-1.72	topjord sand+grus
		1.72-1.78	topjord sand+grus
		1.86-1.92	topjord sand+grus
		1.92-1.98	topjord sand+grus
	3.5-4.1	3.55-3.61	sand
		3.61-3.67	sand
		3.67-3.73	sand
	5.5-6.0	5.64-5.69	ler+sand+kalk
		5.69-5.74	ler+sand+kalk
		5.74-5.79	ler+sand+kalk
	7.5-8.1	7.70-7.76	ler+sand
		7.81-7.87	ler+sand
		7.87-7.93	ler+sand
154	1.5-2.2	1.80-1.86	ler+sand+kalk
		1.86-1.92	ler+sand+kalk
		1.92-1.98	ler
	3.5-4.2	3.86-3.92	grovsand
		3.92-3.98	grovsand
		3.98-4.04	sand+grovsand
	4.2-4.9	4.26-4.32	sand+grovsand
		4.32-4.38	grovsand
		4.38-4.44	grus+grovsand
	5.5-6.2	5.90-5.96	ler+sand
		5.96-6.02	ler+sand
6.02-6.08		ler+sand	
157	1.5-2.2	1.79-1.85	ler+sand
		1.85-1.91	ler+sand
		1.91-1.97	ler+sand
	3.5-4.2	3.67-3.73	sand
		3.73-3.79	sand
		3.79-3.85	sand
158	1.5-2.0	1.58-1.64	ler
		1.64-1.70	ler
		1.70-1.76	ler+sand
		1.94-2.00	ler+sand
159	1.50-2.20	1.89-1.95	ler
		1.95-2.01	ler
		2.01-2.07	ler
	4.2-4.9	4.84-4.90	sand+grovsand
	5.5-6.2	5.53-5.59	sand
		5.59-5.65	sand
		5.65-5.71	sand
	7,5-8.0	7.57-7.63	sand+lidt ler
		7.63-7.70	sand+lidt ler
		7.70-7.76	sand+lidt ler