



KOMPOST

Vejledning til og resultater af kvalitetsbedømmelse af kompost

Dette dokument er udarbejdet med støtte fra Fonden for Økologisk Landbrug, Promilleafgiftsfonden for Landbrug og Erhvervsudviklingsordningen under Den Europæiske Fond for Udvikling af Landdistrikterne og Miljø- og Fødevareministeriet.

**Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne:
Danmark og Europa investerer i landdistrikterne**



Miljø- og Fødevareministeriet
Landbrugsstyrelsen



Den Europæiske Landbrugsfond
for Udvikling af Landdistrikterne

Promilleafgiftsfonden for landbrug
Fonden for **økologisk landbrug**

Indhold

Indledning.....	4
Humuskvalitet.....	4
Huminstoffer – hvad er det?	4
Organisk kulstof (C _{org})	6
Andre muligheder for kvalitetsbedømmelse af kompost	7
Infrarød spektroskopi (FTIR).....	7
Chromatografi	7
Mikroskopi.....	7
Sensorisk og visuel vurdering	7
Komposttyper og indsamling.....	8
Komposttyper	8
Indsamling og prøveudtagning.....	8
Laboratorieanalyse af kompostkvalitet og indhold af huminstoffer.....	9
Tørring af kompostprøver før laboratorieanalyser	9
Fraktionering af prøven med 1 mm sigte	10
FTIR-analyse af kompost.....	12
Konklusion FTIR-spektroskopi	16
Chromatografi	17
Chroma-tests til bedømmelse af kompostkvalitet	17
Udtagning af prøven.....	17
Hvordan laves en chroma-test?.....	17
Tolkning af jord- og kompost - chromatogrammer.....	17
Alment indtryk.....	17
Opdeling af chromatogrammet i zoner	18
Bedømmelse af længden på de radiale striber	20
Bedømmelse af chroma-tests på 5 typer kompost	21
Oversigt over resultater.....	22
Kommentarer til prøve 255.1, Komposteret have-/parkaffald fra Reno Syd.....	23
Kommentarer til prøve 255.2, Komposteret pileflis Ny Vraa	24
Kommentarer til prøve 255.3, Komposteret pileflis Ny Vraa	25
Kommentarer til prøve 255.4, CMC-Kompost af komposteret halm og grøntsagsaffald, Krogerup	26
Kommentarer til prøve 255.5, MC-kompost af træflis og dybstrøelse	27

Konklusion	27
Mikroskopisk analyse af kompost og jord	28
Hvorfor biologisk jordanalyse?	28
Generelle vurderingskriterier	28
Hvad er forholdet mellem svampe og bakterier i jord?	28
Hvorfor er mangfoldigheden mere vigtig end specifikke indikatororganismer?	29
Hvilke tiltag kan man gøre for at forbedre jordens økologiske sundhed?	29
Sensorisk bedømmelse	29
Opsamling.....	31
Kilder.....	31

Indledning

Af *Martin Beck, selvstændig konsulent*

Kompost findes i mange varianter og mange kvaliteter. En god kompost har et højt indhold af stabil humus, en stabil frigivelse af plantenæringsstoffer og understøtter herved plantesundheden.

Målet med kompostering og regenerative dyrkningsmetoder er at stabilisere det organiske stof, dvs. den rå husdyrgødning eller det uomsatte plantemateriale, inden det tilføres jorden. Praksis viser, at tilførsel af blot organisk stof i form af husdyrgødning eller nedmuldning af en efterafgrøde til jorden, kun kortvarigt forøger jordens indhold af organisk kulstof. Kulstof er hovedbestanddelen i humus. Af hensyn til opbygning af frugtbar jord og af hensyn til langsigtet kulstofbinding i jorden, og dermed at kunne skabe et væsentligt bidrag til klimaudviklingen, er det således relevant at se på, hvilken form det organiske stof tilføres og/eller forefindes i jorden.

Ved at sørge for, at det organiske stof undergår en mikrobiel, huminstofdannende proces, bliver kulstofforbindelserne omdannet til mere eller mindre stabile langkædede organiske kulstofforbindelser (huminstoffer), som har jordforbedrende virkning og ikke i samme grad er udsat for yderligere nedbrydning/mineralisering som rå organisk stof.

Med de forskellige komposterings- og fermenteringsmetoder, som der arbejdes med i projektet *Kompost - en central del af indfasning af alternativer til konventionel husdyrgødning*, er der således behov for et værktøj til kvalitets-management i form af analysemetoder til vurdering af humus-/huminstofkvaliteten.

Humuskvalitet

Klassisk bestemmes humuskvaliteten ud fra dens kemiske sammensætning, med C_{org}/N_{org} -forholdet som vigtigste parameter. Med stigende grad af humificering af planteresterne falder C/N-forholdet som følge af nedbrydning af C og evt. binding af N.

En mere nuanceret kemisk beskrivelse af humus er således at analysere for indholdet af huminstoffer. Jo flere langkædede, ikke-vandopløselige huminstoffer, der er indeholdt i humus eller i komposten, jo bedre og mere varig effekt vil komposten have.

Huminstoffer er en gruppe af mørkt farvede, højmolekylære, amorfe, stabile organiske forbindelser, som opstår under komposteringsprocessen. Jo bedre betingelser for den bakterielle humificering vi får skabt i komposten, jo bedre kvalitet, dvs. sammensætning af huminstoffer, vil komposten have.

Huminstofanalyser er dog svære at gennemføre, idet de kemisk er svære at isolere på grund af deres mange egenskaber (vandopløselige/ikke-vandopløselige, syre-opløselige/ikke-syreopløselige osv.).

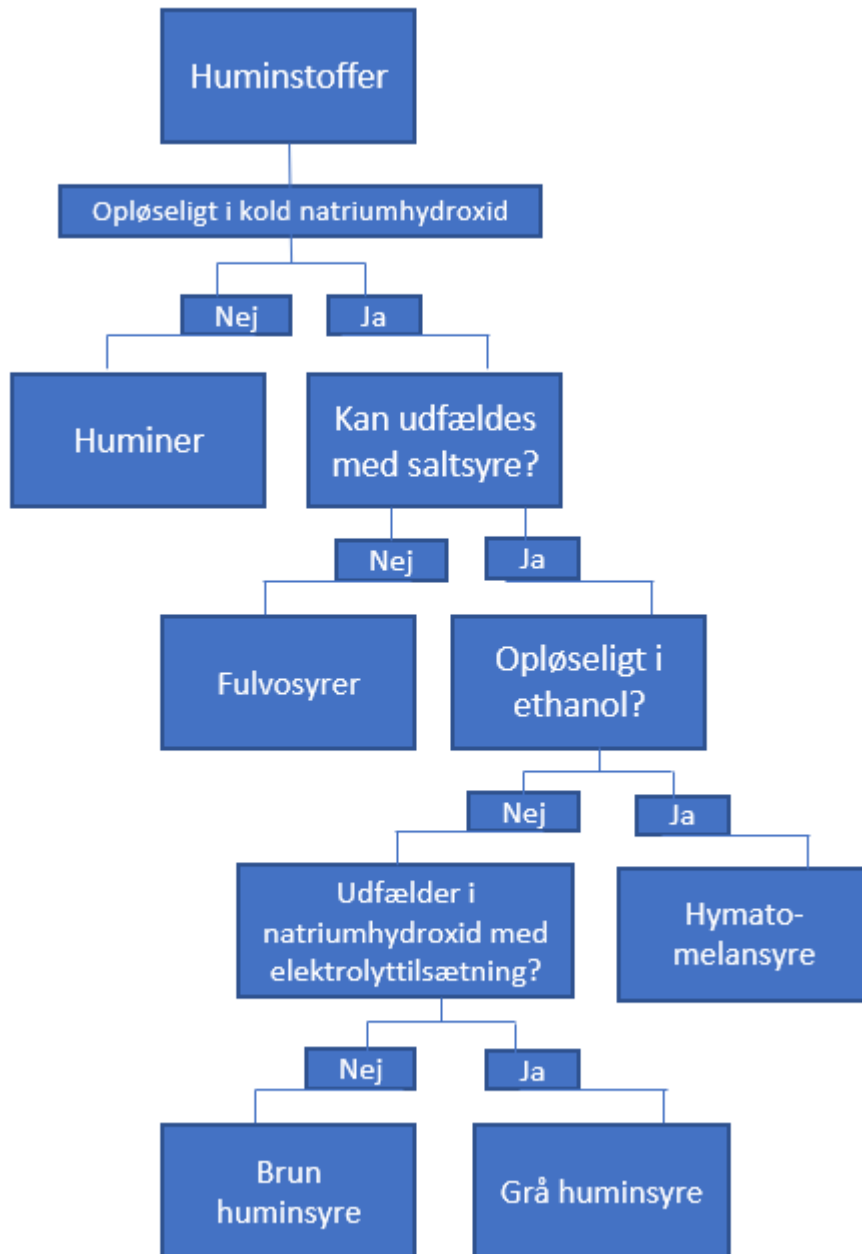
Huminstoffer – hvad er det?

Huminstoffer er højmolekylære stoffer, som findes i bl.a. jord og kompost. Deres kemiske egenskaber er ikke entydige, og der er tale om forholdsvis store molekylære strukturer. De dannes ud fra nedbrydning, ombygning og opbygning af dødt materiale fra levende organismer.

Selv om den kemiske sammensætning og egenskaberne er svære at analysere, kan der dog genkendes en grundstruktur. Huminstofferne består af kerner, broer og reaktive side-grupper. Kernerne er ofte kulstofringe (benzol, indol, naphtalin, pyridin, chinolin m.fl.). Som broer fungerer typisk ilt, kvælstof, kulstof eller simple kulhydrater. Blandt sidegrupperne er det især carboxyl, carbonyl, methoxy og hydroxy-grupper, altså stof-grupper med bestemte kemiske bindingsegenskaber.

Man skelner imellem:

- Huminer: uopløselige stoffer
- Fulvosyrer: kan opløses i syrer og baser
- Huminsyrer: kan opløses i baser og kan binde f.eks. tungmetaller



Figur 1: Kemisk klassificering af huminstoffer (mod. e. Ziechmann, 1996).

Med hensyn til huminstoffernes kemiske struktur, kan de kun beskrives empirisk, da de fra sted til sted, fra årstid til årstid og med skiftende ydre betingelser har skiftende egenskaber. På grund af deres højmolekylære og kemiske karakter, er huminstofferne normalt tungt nedbrydelige, men kan dog ødelægges ved uheldige dyrkningsmetoder.

Huminstoffer har vitaliserende effekt på plantevækst. Årsagerne hertil forklares med følgende:

- Huminstoffer har en høj kation-bytningskapacitet (CEC), dvs. en stor evne til at binde plantenæringsstoffer og andre positivt ladede ioner.
- Huminstoffer har kemiske grupper, som kan binde anioner, dvs. negativt ladede stoffer.
- Huminstoffer kan være buffer for både reduktions- (antioxidant) og oxidationsprocesser, og er dermed en habitatstabiliserende faktor for mikrobiologien i jorden (og for planten).
- Huminstoffer har hormonlignende virkning, idet de virker regulerende på levende processer.
- Huminstoffer understøtter også optagelsen af især mikronæringsstoffer som jern, kobber, bor, molybdæn m.fl.
- Huminstoffer kan binde og dermed uskadeliggøre tungmetaller og aluminium, hvorved jorden afgiftes for plantetoxiske stoffer.
- Huminstoffer kan kemisk binde vand i form af hydrogenatomer og frigøre brint (hydrogen) og ilt igen under tørke.
- Huminstoffer danner lettilgængelige næringsalte (formiater).
- Huminstoffer løsner underjorden uden teknik.

Tabel 1. Specifik overflade og kationbyttekapacitet på huminstoffer sammenlignet med lerminerale (Ziechmann, 1996).

Bestanddel	Specifik overflade (m ² /g)	CEC (Kation-bytnings-kapacitet, mmol _c /kg)
Huminstoffer	800 - 1000	50.000 – 75.000
Biochar	300 - 2000	
Tre-lags-lermineral (f.eks. montmorillonit)	600 - 800	200 - 2000
Al, Fe og Mn-oxider	50 - 200	10 – 50
To-lags-lermineral (f.eks. illit)	> 50	< 150

Organisk kulstof (C_{org})

Kulstof forekommer i jorden på organisk (rester af planter og dyr) og uorganisk form, i form af carbonat, dvs. kalk/kridt. Totalindholdet af kulstof i jorden (C_{tot}) bestemmes typisk ved det såkaldte glødetab, dvs. forbrænding af jorden i en digel ved 400-600 °C.

Indholdet af carbonat-kulstof (C_{carbonat} eller C_{uorg}) bestemmes kemisk, og organisk kulstof (C_{org}) bestemmes således indirekte ud fra formlen:

$$C_{tot} = C_{org} + C_{uorg}$$

”Humus”-indholdet i jorden måles således ikke direkte, men indirekte i form af ”organisk kulstof”. I det organiske stof indgår såvel omdannet humus som ikke omsat organisk materiale, som f.eks. halmrester m.m. Metoden giver dog ikke noget mål for hvilken form kulstoffet er på, om det stadig er lignin eller i hvilken grad det er blevet omdannet til huminstoffer.

Omregningen fra organisk C til humus foretages ved formlen:

$$\text{Humusindhold} = C_{\text{org}} \times 1,72$$

Faktoren 1,72 forudsætter, at humus indeholder 58 % C, dvs. metoden forudsætter, at der er tale om stabilt C/varig humus. Her er der således en yderligere usikkerhed, idet denne faktor kan variere alt efter jordtype, dyrkningspraksis, komposteringsmetode m.m. Derfor angiver laboratorier ofte blot C_{org} i stedet for humus. I det følgende gennemgås andre metoder til kvalitetsbedømmelse af kompost.

Andre muligheder for kvalitetsbedømmelse af kompost

Infrarød spektroskopi (FTIR)

Ved hjælp af infrarød spektroskopi (IR) også kaldet FTIR pga. Fourier-Transformations princippet, kan man vise indholdet af alle de kemiske strukturer i komposten, som er med til at angive kvaliteten af komposten. FTIR-spektre viser ændringer i kemisk sammensætning, der kommer af omsætning under komposteringsprocessen, og viser stigning i f.eks. carbonat og andre komponenter, som produkt af mineralisering af noget af det organiske materiale. Den naturlige komposteringsproces danner huminstoffer som produkt, når andre let nedbrydelige grupper omdannes, og de forandringer kan bestemmes med FTIR som mål for modningsgraden af komposten.

Chromatografi

En chroma-analyse er en billeddannede metode til kvalitativ bedømmelse af kompost og jord og kan være et hjælpsomt supplement til en kemisk og evt. biologisk og fysisk undersøgelse. Der laves et chromatogram, ud fra hvilken, der kan drages mange informationer, som kan sammenholdes med den kemiske analyse.

Et chromatogram giver udtryk for jordens helhedstilstand, i særdeleshed kan den biologiske aktivitet bedømmes. Således kan jordens evne til at danne humus og jordbiologiens livsbetingelser aflæses.

Mikroskopi

Aktiviteten af et robust samfund af jordorganismer bidrager til bedre jordstruktur, god vandretention, afdræning, næringscyklus og evne til at holde på næringsstoffer, erosionsmodstand, modstandsdygtighed mod skadedyr og sygdomsproblemer og bedre vækstbetingelser for planter.

Evaluering af jord og kompost på mikroskopisk niveau giver således værdifuld indsigt i sundhed og modstandsdygtighed af det mikrobielle økosystem, som kan være en støtte i forbindelse med management af kompostering, jordbearbejdning og gødningsstrategi.

Sensorisk og visuel vurdering

Ved hjælp af sensorisk og visuel vurdering kan man, ved hjælp af noget erfaring, vurdere mange aspekter af kompostens kvalitet.

I projektet "Kompost – en central del af udfasning af konventionel husdyrgødning" er der indsamlet en række prøver af kompost med henblik på at afprøve dels den infrarøde spektroskopi som kvalitetsparameter for kompost, dels at undersøge om resultatet af spektroskopien kan sammenholdes med resultater af chromatets.

Komposttyper og indsamling

Af Janne Aalborg Nielsen, Økologisk Landsforening

Komposttyper

Kompostprøver er indsamlet november 2018 fra en række økologiske landbrug og komposteringsanlæg for have-/parkaffald. Tabel 2 viser en oversigt over de indsamlede prøver af kompost.

Tabel 2: Oversigt over indsamlede prøver af kompost

Prøve ID	Indsamlingssted	Note om komposten
J1	Feltengård i/s	Komposteret 6-9 måneder
J2	Birthe Holt	Biodynamisk kompost
J3	RenoSyd	Ej komposteret
J4	RenoSyd	Komposteret 4,5 måned
J5	Ny Vraa	Kompostbunke fra april 2017
J6	Ny Vraa	Pileflisbunke fra marts 2018
J7	Ny Vraa	Pileflis og gammel pilekompost, bunke fra marts 2018
J8	Ny Vraa	Pileflis og kvæggylle, bunke fra marts 2018
J9	Ny Vraa	Pileflis, hestemøg og kvæggylle, bunke fra marts 2018
J10	Ny Vraa	Pileflis med blade, bunke fra september 2018
J11	Ny Vraa	Pileflis med græs, bunke fra september 2018
J12a	Ny Vraa	Med blade. Ny Vraa's egen bunke fra september 2018, vendt kompost
J12b	Ny Vraa	Med græs. Ny Vraa's egen bunke fra september 2018, vendt kompost
J13	Ny Vraa	Sørens prøve af første stak (4.april 2017) - er udtaget 18/9-2017
J14	Ny Vraa	Sørens prøve af første stak (4. april 2017) - er udtaget 16/3-2018
J15	Rørdal, Aalborg	Ny - fra i år
J16	Rørdal, Aalborg	Gammel - ca. 3 år, måske mere
M1	Frede Larsen	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse
M2	Bjarne Schaldemose	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse
M3	Markhaven	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse
M4	KOMTEK	Landbrugskompost
M5	KOMTEK	Borgerkompost
M6	KOMTEK	Råt Have-Park affald
M7	Tvedemose	Champost
M8	Michael Meyer	Pilekompost med husdyrgødning
M9	Aarstiderne	CMC-kompost med meget grøntsagsaffald og græs

Indsamling og prøveudtagning

Prøverne er indsamlet medio november 2018 efter følgende fremgangsmåde:

Kompostbunker er ikke homogene. Derfor er der udtaget et stort antal delprøver, minimum 20 delprøver.

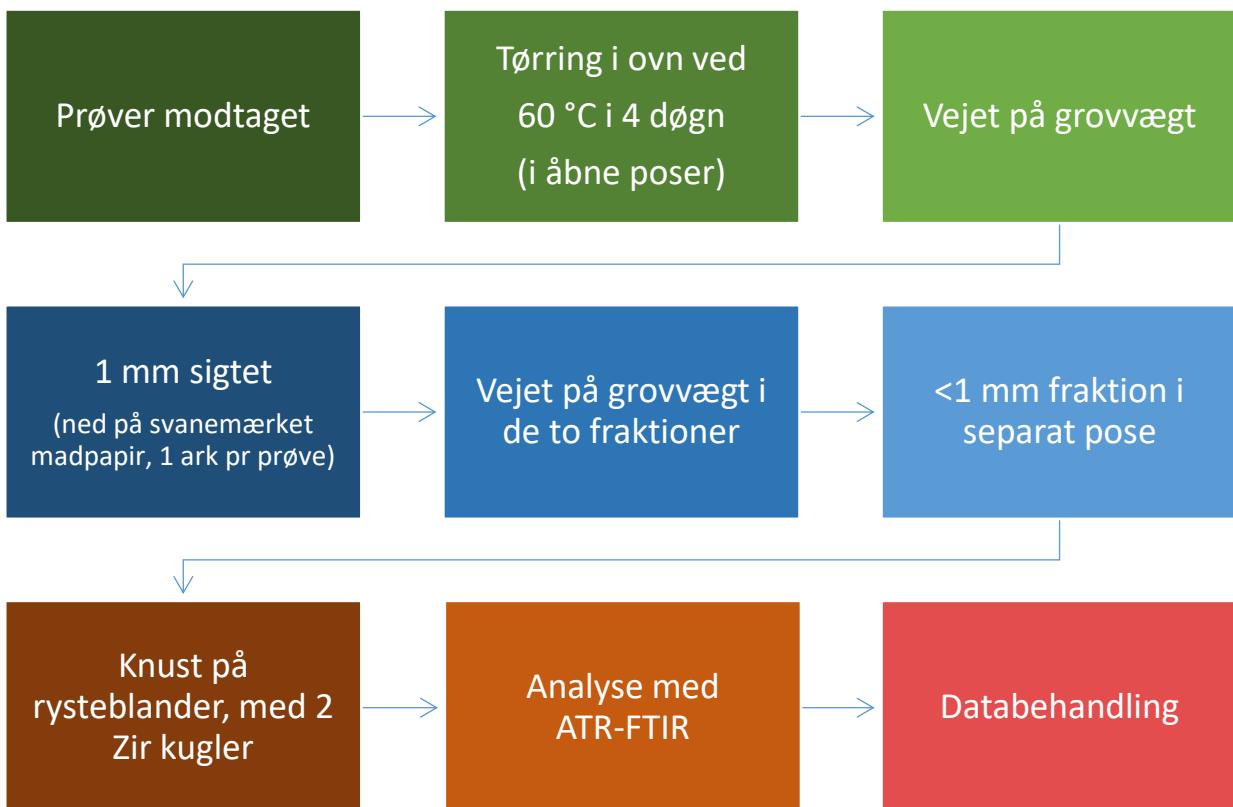
- Der udtages 20 håndfulde fra forskellige steder i kompostbunken. Der udtages håndfulde "inde fra bunken". Så vidt muligt udtages prøven uden, at man ser direkte på, hvad man udtager. De 20 håndfulde blandes grundigt i en stor plastbalje.

- Herefter udtages 10 håndfulde fra prøven i baljen. Så vidt muligt udtages prøven uden, at man ser direkte på hvad man udtager. De 10 håndfulde blandes grundigt i en spand.
- Herefter udtages 5 håndfulde fra spanden. De 5 håndfulde blandes grundigt i en mindre spand.
- Herefter udtages 2 håndfulde fra den mindre spand.
- Prøverne tørret i ovn med udluftning eller varmeskab ved 50 °C til de er helt tørre, mikrobielvækst undgås og ingen kondensdannelse. Afhængigt af prøven varierer det fra 2 til 48 timer.

Laboratorieanalyse af kompostkvalitet og indhold af huminstoffer

Af Bjarne W. Strobel, Lektor Københavns Universitet, Institut for Plante-og Miljøvidenskab

Kompostprøverne bliver registreret med nummer, navn og kort beskrivelse af, hvilken type kompost og hvilke materialer, der indgår i komposten. Oversigt over arbejdsgangen efter prøvernes ankomst til laboratorium ses i Figur 2, og de enkelte trin forklares mere detaljeret i det følgende.



Figur 2. Workflow for kompostprøver fra modtagelse i laboratorium til analyseresultatet er behandlet.

Tørring af kompostprøver før laboratorieanalyse

Prøverne modtages afkølet i plastposer så de bedst muligt bevarer egenskaberne uændret fra prøvetagningstidspunktet, og derefter følger alle prøver samme procedure for prøveforberedelse og analyse.

Først skal prøverne tørres for at gøres lagerstabile og for at undgå kondensdannelse og udvikling af mug og andre biologiske ændringer. Tørring foregår som en simple opvarmning i ovn eller varmeskab ved 60 °C i åbentstående poser. Dette trin kan også gøres udbredt på papir, men det er vigtigt at undgå tab af de fineste partikler i komposten ved overførsel mellem underlag og den efterfølgende proces med sigtning. Tørring kan måske optimeres mere ved yderligere afprøvning, men det er vigtigt, at det sker kort tid efter udtagning af prøven, så der ikke kommer en periode med rumtemperatur, mens der stadig er fugtighed nok i materialet til mikrobiel aktivitet.

Prøverne var forskellige, og det tog 4 døgn i varmeskab for at få alle prøverne helt tørre, så der blev dannet kondens på posens inderside, når den blev opbevaret ved rumtemperatur. Kondensvand på posens inderside vil give mugudvikling, og det vil ændre på måleresultater. Dertil er mugdannelse med skimmelsvampe arbejdsmiljømæssigt usundt.

Fraktionering af prøven med 1 mm sigte

De tørrede kompostprøver fraktioneres med en 1 mm sigte, så der bliver en fraktion af alt det materiale, der er mindre end 1 mm i diameter og en fraktion af store partikler over 1 mm. Begge fraktioner vejes på grovvægt i gram med 1 decimal (dvs $\pm 0,1$ g) uden at tabe materiale. I figur 3 ses den fine og den grove fraktion af en god kompost. Den fine fraktion anvendes til de kemiske analyser. Huminstoffer er meget fine små partikler, og de findes alle i denne fraktion. Den grove fraktion er vigtig for kompostens kvalitet på en række måder, men indgår ikke i den kemiske karakterisering. Ved tørringsprocessen løsnes en del af de fine partikler fra overfladen af de større fragmenter, og ved sigtningen kommer de dermed til at indgå i den fine fraktion, hvilket er ønskeligt.



Figur 3 Kompost opdelt i to fraktioner ved sigtning med 1 mm sigte. Til venstre <1 mm, og til højre >1 mm).

Den fine fraktion, eller "1 mm fraktion", skal analyseres for kemiske egenskaber med infrarød spektroskopi (IR), også kaldet FTIR, pga. Fourier-Transformation princippet for transformation af instrumentsignal til et IR-spektrum. FTIR-spektroskopi viser indholdet af alle de kemiske strukturer i komposten, og de er med til at angive kvaliteten af komposten. FTIR-spektre viser ændringer i kemisk sammensætning, der kommer af omsætning under komposteringsprocessen, og viser stigning i f.eks. carbonat og andre komponenter, som produkt af mineraliseringen af noget af det organiske materiale. Den naturlige komposteringsproces danner huminstoffer som produkt, når andre let nedbrydelige grupper omdannes, og de forandringer kan bestemmes med FTIR som mål for modningsgraden af komposten.

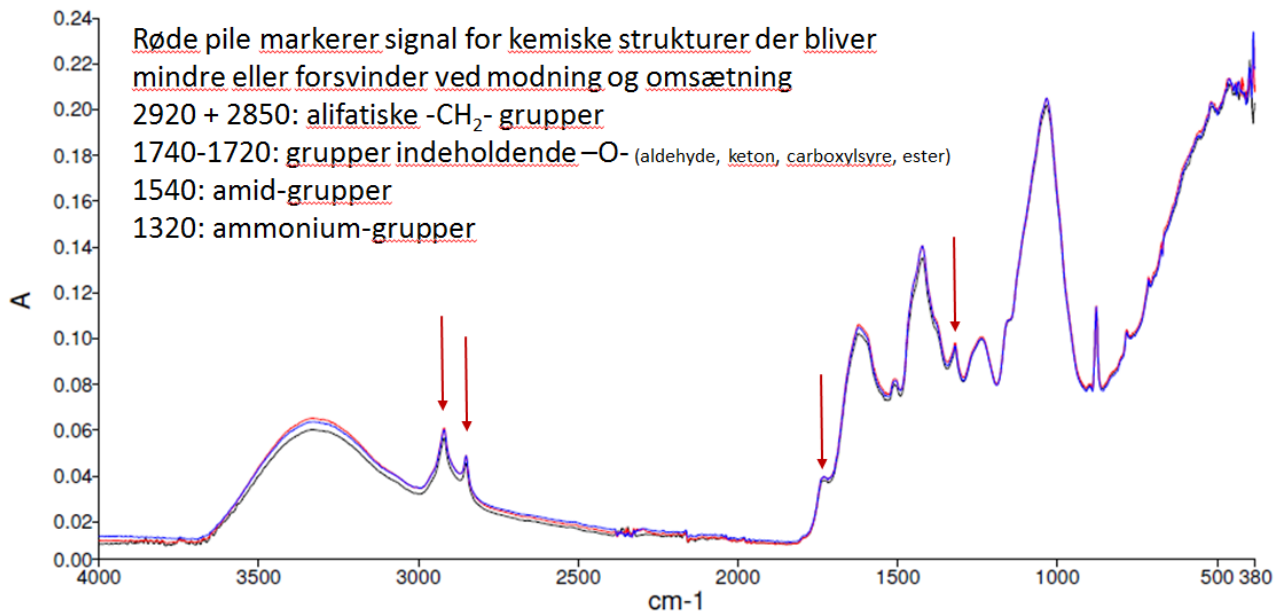
Prøveforberedelsen skal sikre at alle partikler i finfraktionen har samme sandsynlighed for at blive målt, og det kræver en homogenisering og findeling af <1 mm materialet til et fint pulver. Man kunne også vælge at pulverisere både den fine og den grove fraktion, men indholdet af huminstoffer ligger i den fine fraktion, og en opblanding med relativt uomsat materiale i den grove fraktion vil give et mindre klart signal og større usikkerhed på bestemmelsen.

Findeling til pulver foregår med en rysteblander med zirconium kugler, som pulveriserer alt materialet. Det pulveriserede materiale er meget homogent, og dermed er det muligt at udtage en lille prøvemængde til

FTIR, som er repræsentativ for hele <1 mm fraktionens indholdsstoffer. Alle de kemiske strukturer i komposten er upåvirkede af findelingen, og det gælder både det organiske materiale og uorganiske mineralkorn fra f.eks. jord, som er i komposten.

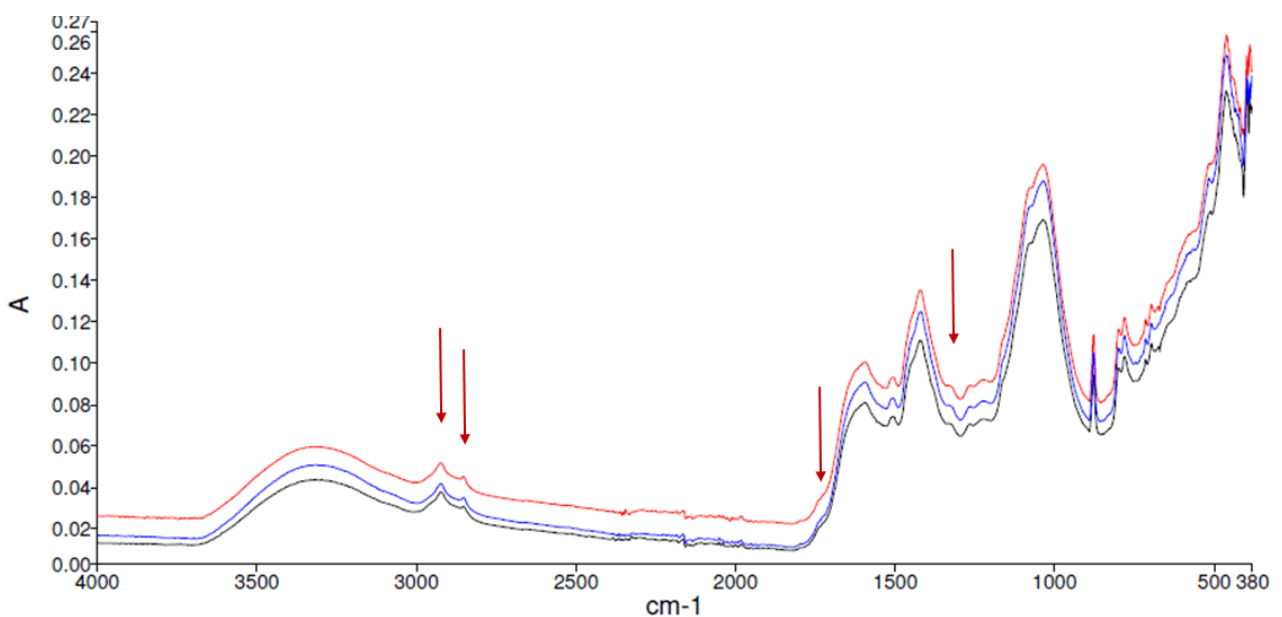
FTIR-analyse af kompost

Et FTIR-spektrum med bølglængder $4000-380\text{ cm}^{-1}$ af en kompost kan ses i Figur 3. Spektrene viser alle bølglængder målt, men der skal fokuseres på områder, som forandrer sig, når kompost udvikler sig og modnes, og områder, som viser huminstofindhold.



Figur 4. FTIR-spektrum af en ung kompost af pileflis (prøve J6 i tabel 2) målt for hele bølglængdeområdet $4000-380\text{ cm}^{-1}$.

I figur 4 viser signalerne markeret med de røde pile kemiske strukturer, som reduceres når komposteringsprocessen forløber, og som forventes at blive mindre med modningsgraden.

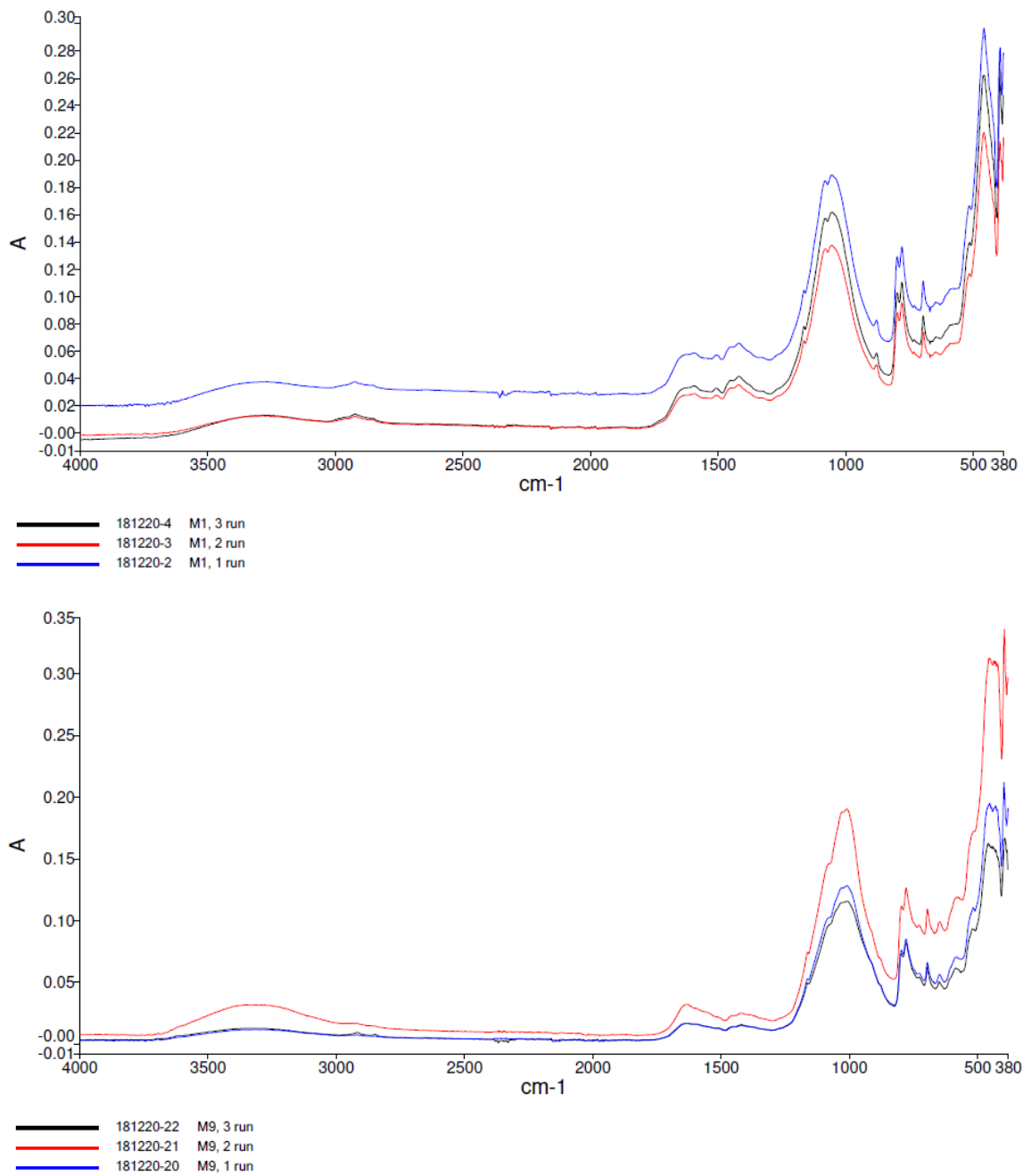


Figur 5 FTIR-spektrum af en modnet kompostprøve af pileflis (prøve J5 i tabel 2) målt for hele bølglængdeområdet 4000-380 cm^{-1} .

I Figur 5 ses et tilsvarende spektrum for en modnet kompost og signalerne ved de fire markerede bånd er reduceret en del, men kan stadig lige anes som små forhøjninger på linjen.

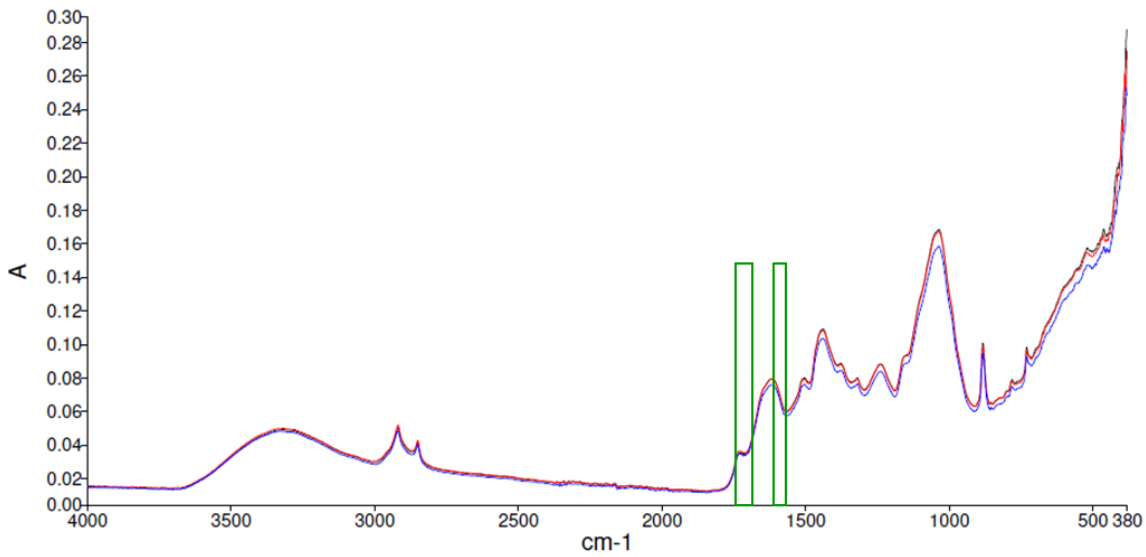
Andre bånd viser indholdet af carbonat (CO_3^{2-}), som dannes når det organiske stof mineraliseres til CO_3^{2-} og H_2O og f.eks. den brede top omkring 1430 og den skarpe top ved 875 cm^{-1} toppen øges i takt med nedbrydningen. Den store dobbelttop med spids ved 1032 cm^{-1} kommer fra indhold af lerminerale i prøven. Lerminerale kan stamme fra jord, støv eller tilsætning af kaolin til foder eller direkte i komposten.

Et par eksempler på en god kompost bedømt i praksis på udseende, luft, og struktur er vist i Figur 5.

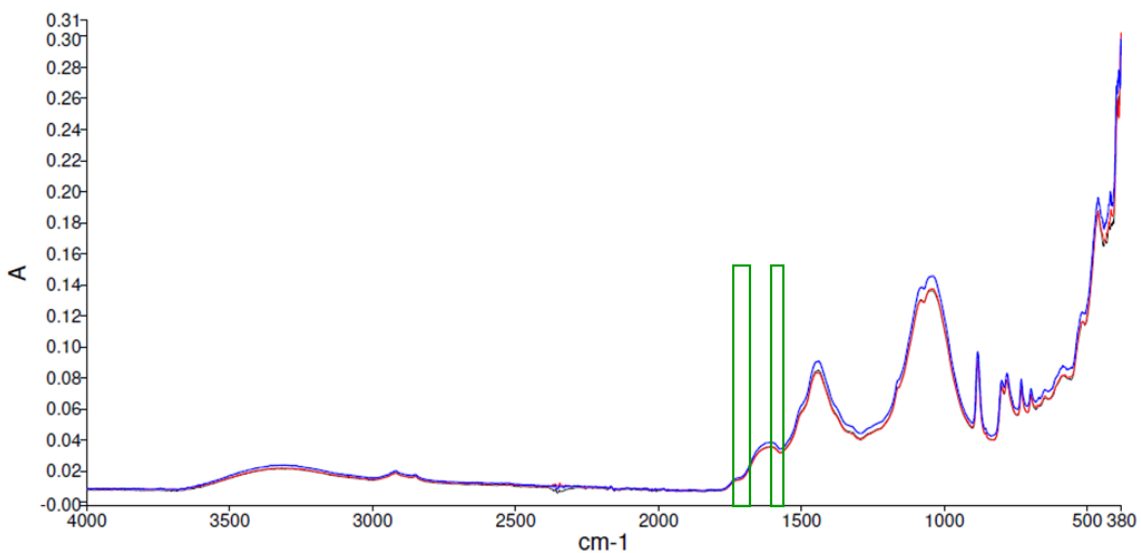


Figur 6. Et par eksempler på en god kompost bedømt i praksis på udseende, luft, og struktur. M1 er en MC-kompost og M9 en CMC-kompost.

Indhold af huminstoffer i kompost er væsentligt for kvaliteten og et semikvantitativt mål for indholdet fås ved at se på signalerne i to bånd: 1745-1685 og 1610-1567 cm^{-1} .



181217-22 J12a, 3 run
 181217-21 J12a, 2 run
 181217-20 J12a, 1 run



181220-40 J12b, 3 run
 181220-39 J12b, 2 run
 181220-38 J12b, 1 run

Figur 7. Kompost af frisk pileflis med blade (øverst) og kompost af lagret pileflis tilsat græs (nederst). De to grønne bokse viser båndet 1745-1685 og 1610-1567 cm^{-1} , som indikerer indholdet af huminstoffer i kompostprøven.

To kompostprøver er sammenlignet i Figur 7. Med grønne bokse er markeret bølgelængder 1745-1685 og 1610-1567 cm^{-1} , som stammer fra kemiske strukturer, der er dominerende i huminstoffer. Komposten med blade viser et højere indhold af huminstoffer sammenlignet med komposten med græs.

Jo stærkere signal i disse bånd (1745-1685 og 1610-1567 cm^{-1}), des mere indhold af humussyre eller humussyrelignende bestanddele, men metoden kræver en kalibrering med et antal prøver med kendt indhold af humussyre. Umiddelbart kan man sammenligne prøver og afgøre, om der er mere eller mindre i

en kompost i forhold til en anden kompost, og når man har et stort antal kompostprøver analyseret, giver det større sikkerhed for estimatet.

I dette projekt er der udvalgt et par kompostprøver, som er vurderet som god kompost bedømt i praksis ud fra udseende, lugt og struktur, m.m., og det kan give en basis for at vurdere andre komposttyper i forhold til disse som reference. Et større antal komposttyper, som kan indgå som reference på god kompost, og gerne referencer, der viser ung kompost og moden kompost fremstillet af forskellige materialer, vil styrke metoden.

Et stort studium i Wien (Meissl et al., 2007) analyserede 360 gode kompostprøver indsamlet i Østrig og et par andre europæiske lande, og biblioteket af FTIR-spektre fra disse kompostanalyser blev sammenlignet med kemiske analyser af indholdet af huminstof. Korrelationen mellem de kemiske analyser og meget hurtigere FTIR-analyser giver mulighed for kvantificering af huminstofindholdet for en større vifte af komposttyper og grader af modenhed.

En udviklingsmulighed er standard addition af ren humussyre til kendte komposttyper, og at bestemme ændringen i spektrene ved et antal stigende tilsætninger af humussyre som eneste forandring. Herved fås en lineær sammenhæng mellem tilsat kendt humussyre og FTIR-signal, og man kan beregne startindholdet af humussyre for et antal kendte kompostprøver. Disse vil så kunne anvendes som kalibrering for metoden ved fremtidige analyser af kompost for kvalitet og indhold af humussyre.

Konklusion FTIR-spektroskopi

Den hurtige metode med FTIR-spektroskopi viser tydelige forskelle mellem kompost af forskellig sammensætning og alder. Metodens styrke øges med antallet af kompostprøver, som er analyseret og samlet i et bibliotek af FTIR-spektre for kompost. Et sådan bibliotek over kendte komposttyper kan kvalificeres ved enten kendskab til god kompost i praksis på baggrund af udseende, lugt og struktur, og derigennem få et kendskab til, hvordan IR-spektre ser ud for et udvalg af kompost fremstillet af forskellige materialer. Huminstofindholdet kan semi-kvantificeres med FTIR ud fra kendt god kompost, men metoden skal kalibreres med kompost med et kendt indhold af humussyre, eller ved standard addition med humussyre.

Chromatografi

Af Martin Beck, selvstændig konsulent

Chroma-tests til bedømmelse af kompostkvalitet

En chroma-analyse er en billeddannede metode til kvalitativ bedømmelse af kompost og jord og kan være et hjælpsomt supplement til en kemisk og evt. biologisk og fysisk undersøgelse. Der laves et chromatogram, ud fra hvilken der kan drages mange informationer.

Et chromatogram giver udtryk for jordens helhedstilstand, i særdeleshed kan den biologiske aktivitet bedømmes. Således kan jordens evne til at danne humus og jordbiologiens livsbetingelser aflæses.

Metoden er udviklet i 1959 af Ehrenfried Pfeiffer (Pfeiffer, 1959) som en metode til kvalitativ bestemmelse af biologiske værdier. Metoden kan også bruges til f.eks. at bedømme fødevarers ernæringsmæssige kvaliteter.

Udtagning af prøven

Kompostprøver kan i princippet udtages hele året, hvorimod chromatogrammer af jord giver mest mening i vækstsæsonen, mens der er biologisk aktivitet i jorden. I landbrugs- og havejord er sidst i april frem til slutningen af juli det bedste tidspunkt for udtagning. Der kan hertil bruges et jordspyd eller spade.

Udtagning af en repræsentativ og homogen prøve af kompost kan være en udfordring. Vigtig er, at man ikke kun tager fra de yderste lag af komposten, men også fra midten. Ved udtagning af jordprøver stikkes i 20 cm dybde i pløjet jord. I pløjefrit dyrket jord og i varige græsmarker tages jorden fra 5-15 cm dybde.

Hvordan laves en chroma-test?

Jordprøven lufttørres, dette kan gøres i en ovn ved 50 grader i ca. 8 timer. Småsten over 2 mm og større planterester fjernes, og prøven homogeniseres i en morter. Der afvejes 5 g. af denne prøve i en 250 ml Erlenmeyer-kolbe, og der tilsættes 50 ml af en 1% natriumhydroxid (NaOH) opløsning. Prøven rystes, og får lov at hvile. Der rystes igen efter en time, hvorefter prøven igen hviler. Dette gentages efter 1 time, og herefter hviler prøven i 4-5 timer.

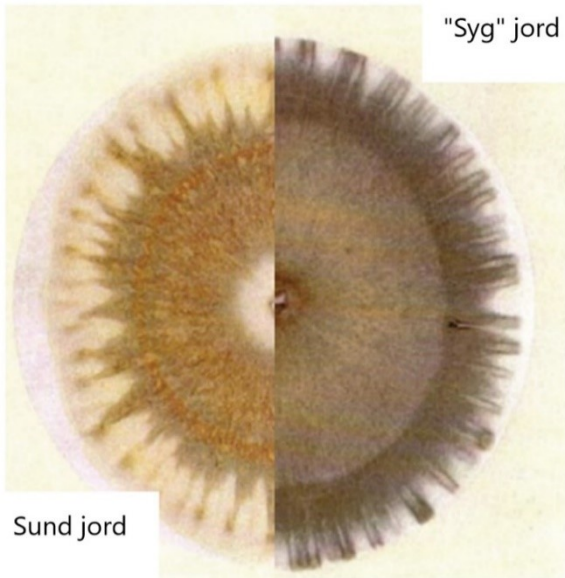
I mellemtiden forberedes et stykke rundt filterpapir, hvor der fra midten og i en radius på 4 cm vædes med 0,5 % sølvnitrat (AgNO_3). Filterpapiret tørres, og er nu færdigt forberedt til selve prøven. Der laves en væge af et stykke filterpapir, og der suges fra jordopløsningen op på det forberedte filterpapir, hvor jordopløsningen får lov til at udbrede sig i en radius på ca. 6 cm på filterpapiret. Chromatogrammet tørrer nu i mørke, og efter ca. et døgn er farverne færdigdannede, og chromatogrammet klar til at blive tolket.

For hver prøve laves 2 chromatogrammer på to forskellige typer af filterpapir, såkaldte Whatman filtre type 1 og 4. 1'eren viser referencen (den aktuelle tilstand), og udfra 4'eren kan man aflæse tendensen (fortrinsvis nedbrydende eller opbyggende biologisk aktivitet).

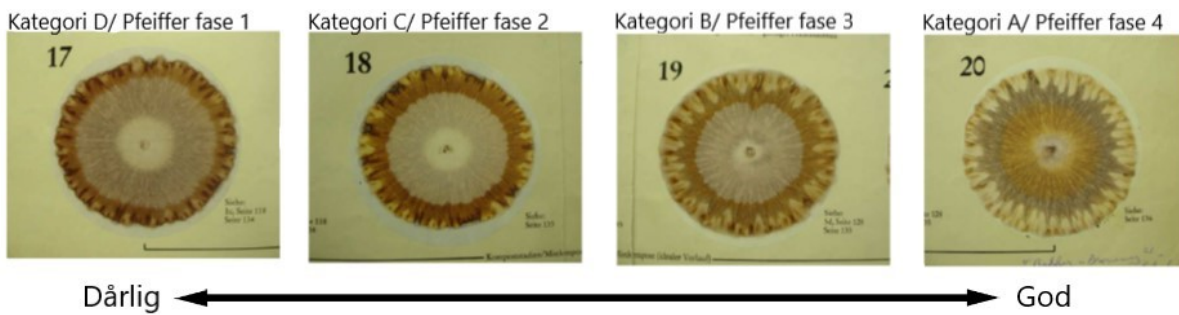
Tolkning af jord- og kompost - chromatogrammer

Alment indtryk

Det almene indtryk af chromatogrammet giver første udsagn omkring jordens dyrkningskvalitet. Viser chromatogrammet et meget struktureret, nuanceret, interessant billede, så er det tegn på en god kulturjord/god kvalitet kompost. Er chromatogrammet derimod ringe struktureret og "kedeligt", er der tale om en jord/kompost med dårlige dyrkningssegenskaber.



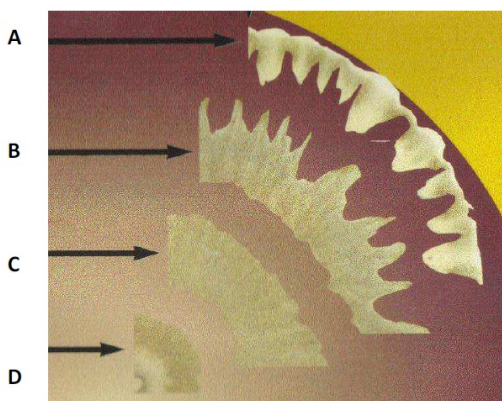
Figur 8: Eksempel på chromatogram af "sund" jord versus en "syg" jord. Kilde: www.landmanagement.net



Figur 9: Det almene indtryk kategoriseres i A, B, C eller D, hvor A er God og D er Dårlig (mod. e. Pfeiffer, 1959)

Opdeling af chromatogrammet i zoner

Et chromatogram er opdelt i 4 zoner, hvor hver zone giver udsagn omkring et specifikt kvalitetsaspekt.

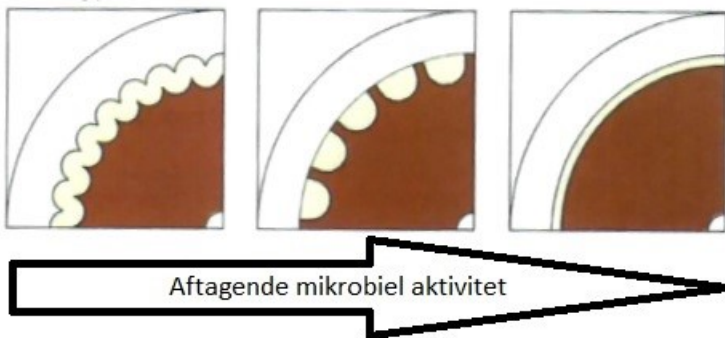


Figur 10: Chromatogrammet opdeles i 4 zoner fra A til D, hvor A er den yderste og D den inderste zone (kilde: www.Soiltech.nl)

A: Den ydre zone: Denne zone indikerer i hvilken tilstand humus'en befinder sig. Den definerer kvaliteten af det organiske materiale i prøven. Farven i chromatogrammet siger noget om andelen af organisk og

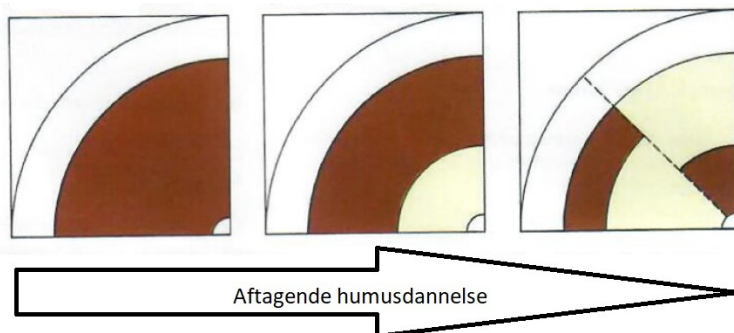
uorganisk materiale i prøven. En brun farve betyder tilstedeværelse af meget organisk materiale, dvs. delvist nedbrudte planterester og humus. Grå og violette farver tyder på, at der ikke er meget organisk materiale, men derimod en større andel uorganiske stoffer.

B: Mellemzonen: Denne zone af chromatogrammet giver udsagn om den mikrobielle aktivitet, dvs. i hvorvidt der sker en stofomsætning i jorden. Er det ydre område uklart/tåget og med spidse takker, er den mikrobielle aktivitet høj. Er takkerne kantede og strækker disse sig helt ud til randen, er den mikrobielle aktivitet ringe. Hvis der slet ikke er nogle takker, er der slet ingen mikrobiologi til stede.



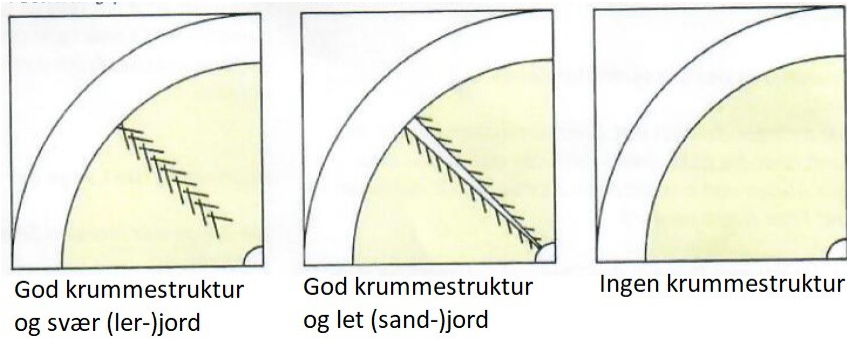
Figur 11: Tilstedeværelsen og udformningen af takkerne i zone B (mellemzonen) siger noget om mikrobiologiens trivsel.

Fordelingen af den brune farve i chromatogrammet giver udsagn om humusopbygningen. Er den brune farve fordelt helt fra centrum til yderområdet, er humusdannelsen god. Strækker den brune farve sig ikke helt fra yderområdet og ind til midten, halter humusdannelsen. Er den brune farve kun i yderområdet tyder det på planterester, som er ringe omsat og humusdannelsen er dårlig. Er der kun brunfarvning midt i chromatogrammet, er det også et dårligt tegn, idet humusbestanddelene er meget nedbrudte.



Figur 12: Farvefordelingen i chromatogrammet udtrykker, hvor godt humusdannelsen fungerer

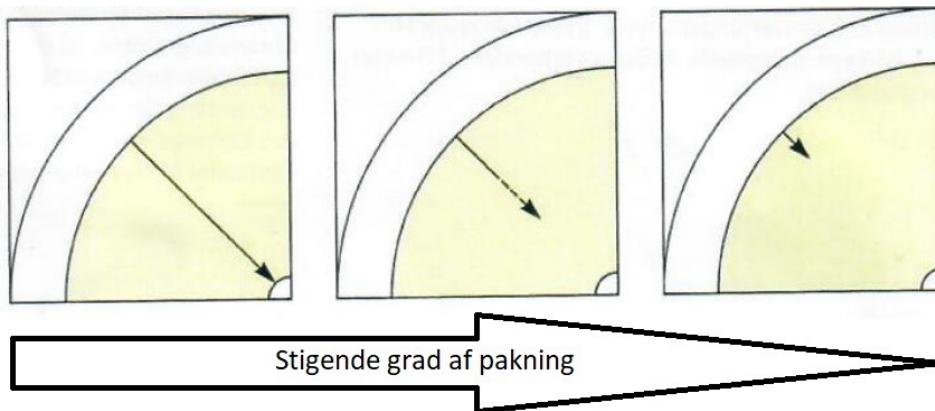
C: Inderzonen: Denne zone siger noget om prøvens krummestruktur og vandholdende evne. Ud fra de radiale striber kan man drage information om, hvor god en krummestruktur og bonitet jorden har. Er der radiale striber tilstede og ligner disse juletræer, tyder det på en god jordstruktur og en svær (ler-)jord. Ligner de radiale striber et flækket juletræ, tyder det på god krummestruktur og en let (sand-)jord. Er der ingen radiale striber mangler jorden (krumme-)struktur.



Figur 13: Tilstedeværelsen og udformningen af de radiale striber i chromatogrammet er et udtryk for jordens krummestruktur og vandholdende evne

Bedømmelse af længden på de radiale striber

Længden af de radiale striber siger noget om, hvorvidt der er pakningsskader i jorden. Når de radiale striber helt fra det ydre område ind til midten, er jorden god og løs. Når striberne fra det ydre område ikke ind til midten, er der pakningsskader på jorden. Er der ingen radiale striber eller er de meget korte, er jorden stærkt pakket.



Figur 14: Længden af de radiale striber siger noget om i hvorvidt der er pakningsskader i jorden

D: den indre zone: Farven i den indre zone af chromatogrammet er et generelt udtryk for graden af jordfrugtbarhed. Hvis farven er brun eller zonen er meget lille i radius, viser det, at iltniveauet ikke er korrekt. Hvis den indre zone er klar hvid og med stor radius, er det et tegn på gode jordbundsegenskaber.

Bedømmelse af chroma-tests på 5 typer kompost

I projektet blev der udvalgt 5 kompostprøver af hvilke der blev lavet en chroma-test hos Soiltech i Holland. Her en oversigt over indsendte prøver:

Prøve ID fra tabel 1	Prøvenavn	Prøve nummerering Soiltech	Kompost type
J4	Reno Syd	255.1	Komposteret Have-Park-affald
J8	Ny Vraa	255.2	Pileflis og kvæggylle, bunke fra marts 2018
J10	Ny Vraa	255.3	Pileflis høstet med blade, bunke fra september 2018
M9	Krogerup	255.4	CMC-kompost af halm og grøntsagsaffald
M1	Bigaard	255.5	MC-kompost af fint hugget træflis og dybstrøelse Kvæg

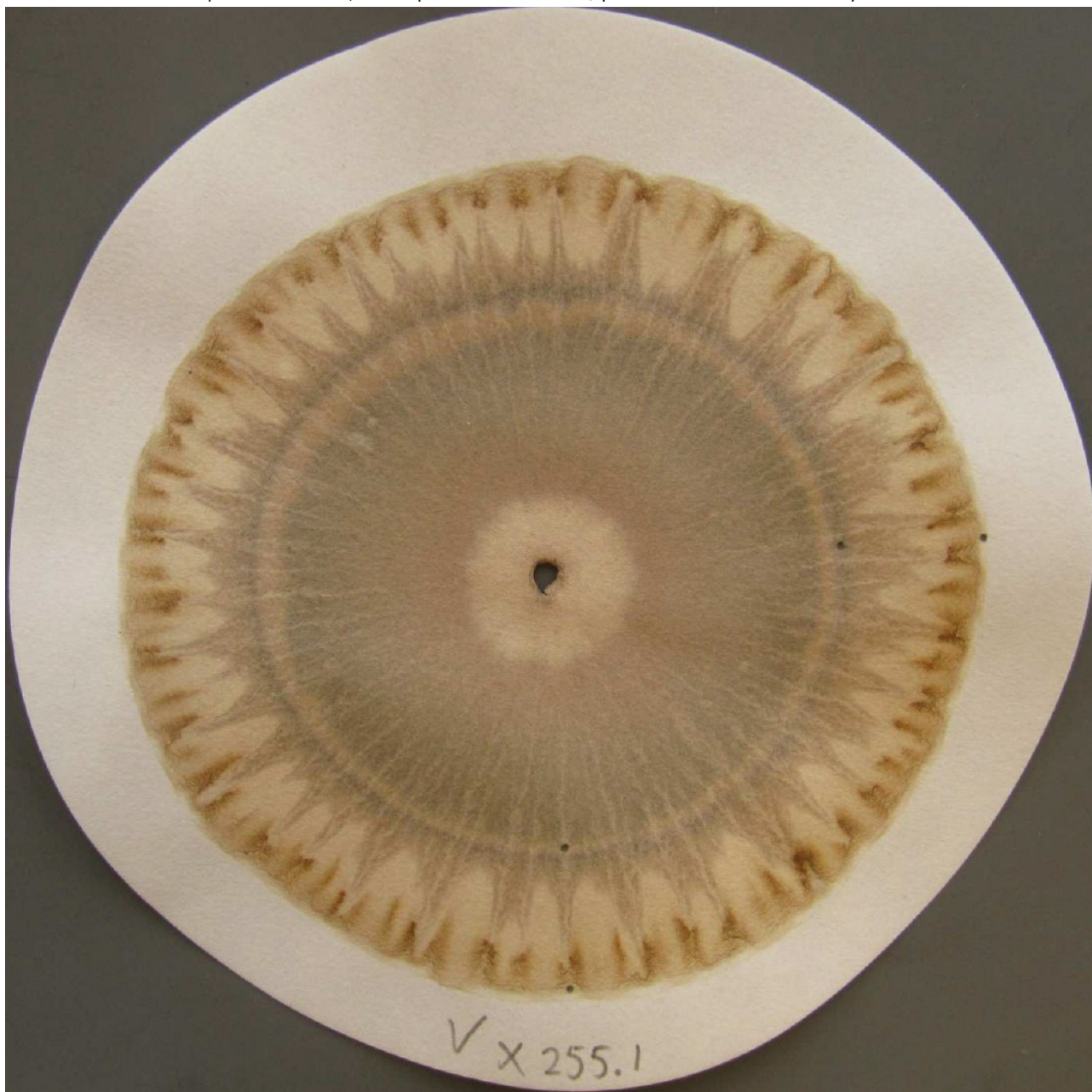
Oversigt over resultater

Hvert chromatogram af kompostprøverne er blevet bedømt på 10 parametre på en skala fra 1 til 10. I nedenstående tabel er resultaterne sammenfattet.

Tabel 3: Bedømmelse af kompostkvalitet ud fra chromatests. På parameter 1 er højeste pointtal 4. På alle andre parametre kan der opnås 10 point. Højeste mulige pointtal er således 94.

Bedømmelse af kompostkvalitet ud fra chromatests					
Parameter	Point				
	255.1 Reno syd	255.2 Ny Vraa J8	255.3 Ny Vraa J10	255.4 Krogerup	255.5 Biggaard
1. Generel kategorisering i A, B, C, eller D ud fra det almene indtryk (A = 4 point, D = 1 point)	4	4	3	4	3
2. Farven på den centrale zone	8	6	5	8	7
3. Størrelsen på den centrale zone	8	8	9	9	4
4. Bedømmelse af jordstruktur og vandholdningsevne ud fra de radiale linjer	8	8	7	6	8
5. Bedømmelse af den mikrobielle aktivitet ud fra "takkerne" i mellem-zonen	8	7	6	6	6
6. Vurdering af i hvorvidt et organiske stof er omsat/omdannet til humus (Den ydre zone)	5	6	5	6	4
7. Bedømmelse af humuskvaliteten ud fra tilstedeværelsen af "humus-pletter" i den ydre zone	4	5	3	4	2
8. Bedømmelse af humuskvaliteten ud fra farven i den ydre zone	7	7	6	7	4
9. Størrelsesforholdet mellem de enkelte zoner	7	7	6	6	5
10. Overgangen mellem zonerne	7	6	6	6	6
Sum point	66	64	56	62	49

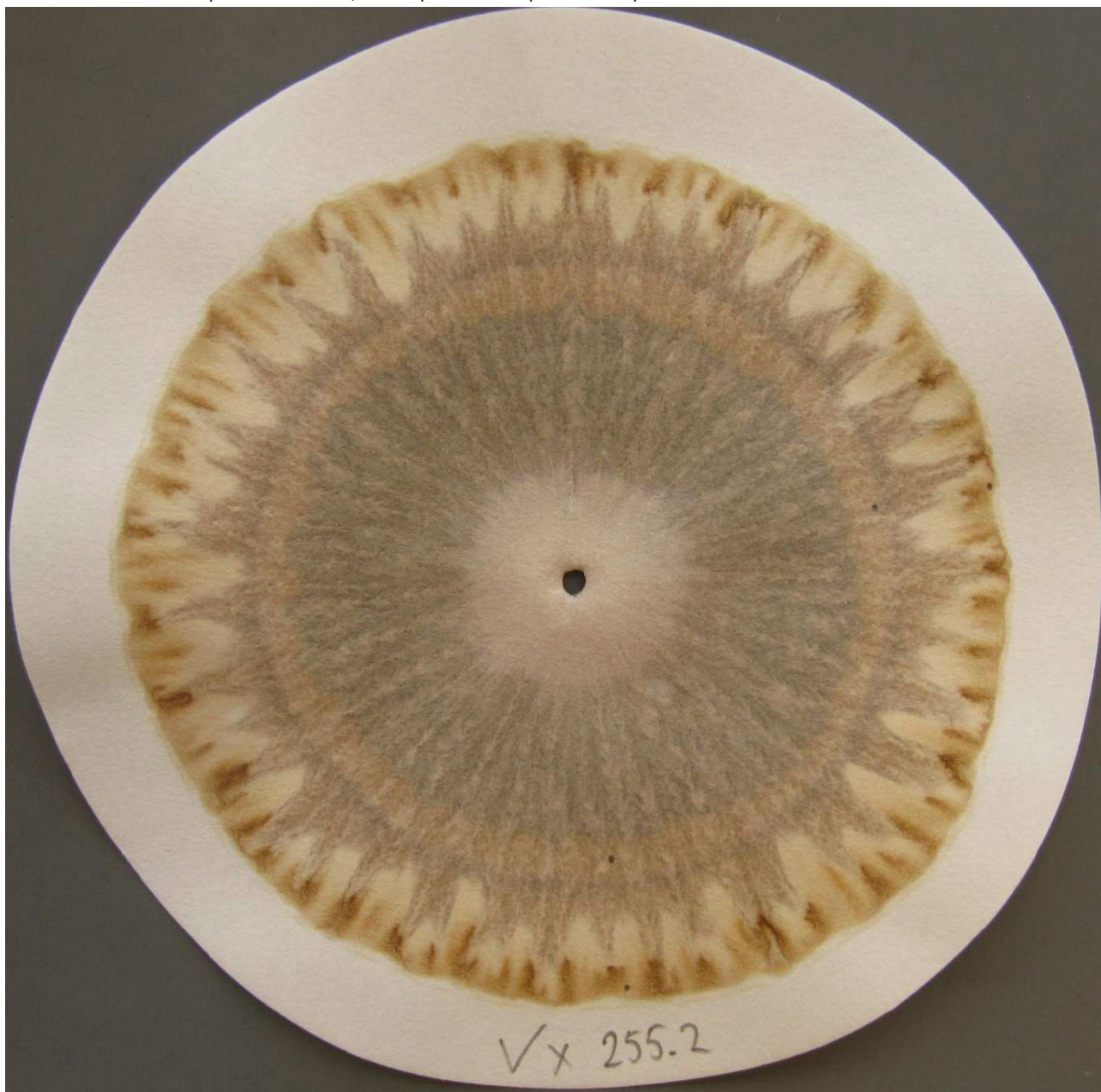
Kommentarer til prøve 255.1, Komposteret have-/parkaffald fra Reno Syd



Figur 15: Chromatogram 255.1 af komposteret have-/parkaffald fra Reno Syd

Chromatogrammet udviser et meget harmonisk helhedsbillede. Den får dermed højeste pointtal for helhedsindtryk, hvilket er 4. Den scorer generelt højt (7-8) på alle parametre med undtagelse af humuskvalitet. På parameter 6 og 7 opnås kun hhv. 5 og 4 point, dvs. det organiske materiale er stadig ikke helt omsat og ikke i tilstrækkelig grad omdannet til stabil humus. Dette vil muligvis kunne opnås ved blot at lade det ligge noget længere.

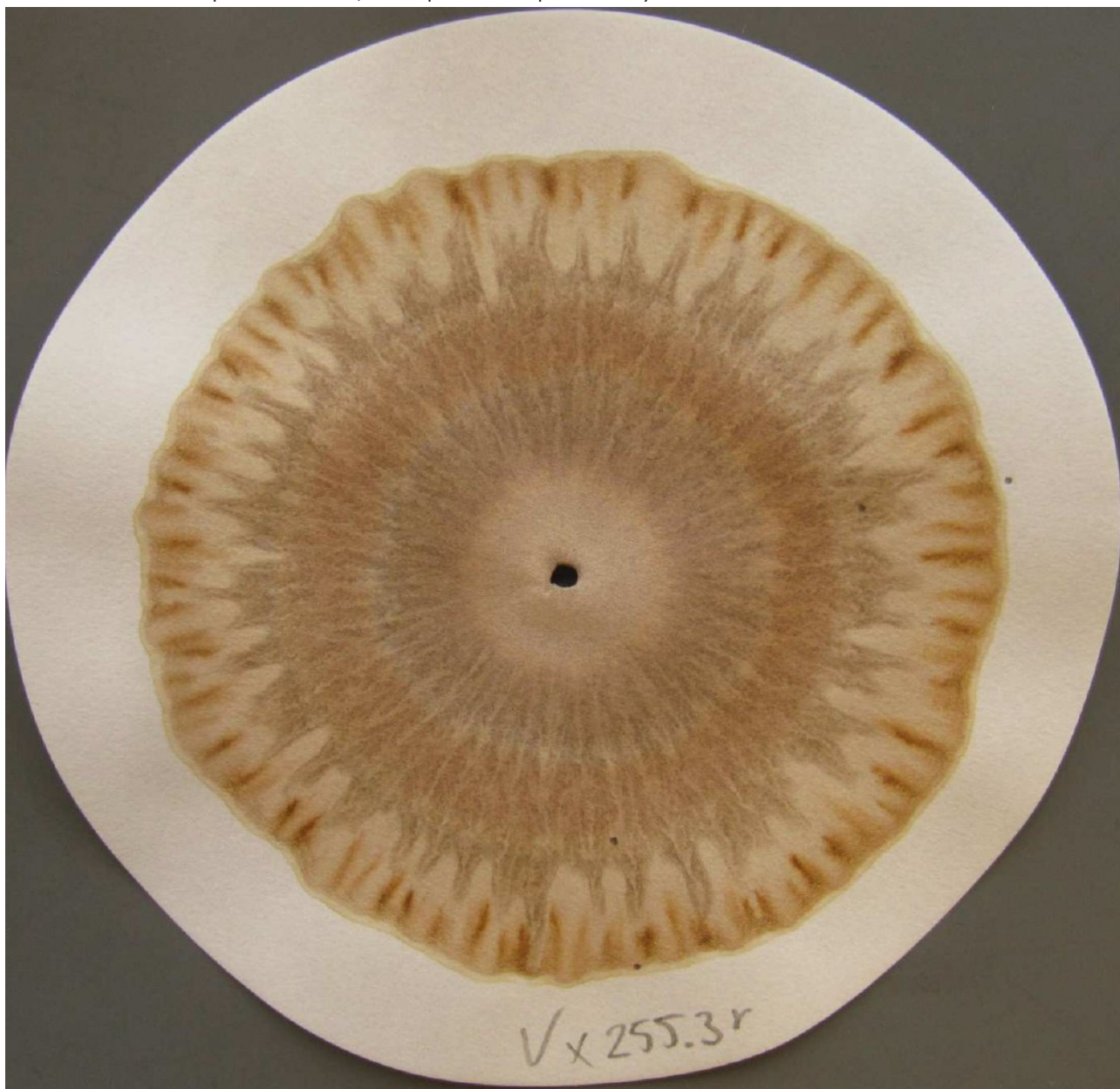
Kommentarer til prøve 255.2, Komposteret pileflis Ny Vraa



Figur 16: Chromatogram 255.2 af Komposteret pileflis Ny Vraa

Chromatogrammet udviser et meget harmonisk helhedsbillede. Også denne får dermed højeste pointtal for helhedsindtryk, hvilket er 4. Den scorer generelt højt (7-8) på mange parametre. Kompostprøverne med træflis scorer lavere på farven i midterzonen, dvs. struktur og vandholdende evne. På parameter 6 og 7 (humuskvalitet) opnås kun hhv. 6 og 5 point, hvilket dog er lidt mere end i prøve 255.1 af have-/parkaffald.

Kommentarer til prøve 255.3, Komposteret pileflis Ny Vraa



Figur 17: Chromatogram 255.2 af Komposteret pileflis Ny Vraa

Chromatogrammet får kun 3 point (af 4 mulige) for helhedsbillede. Den er dog også den yngste (kun 3 måneder gammel) af alle komposttyper i analyserækken. Den scorer højest af alle på parameter 3 (størrelse på den centrale zone), hvilket man kan tolke som en mikrobiel aktivitet i gang, men ikke færdig. På parameter 6 og 7 (humuskvalitet) opnås kun hhv. 5 og 3 point, hvilket må formodes at hænge sammen med, at komposten ikke er færdigkomposteret.

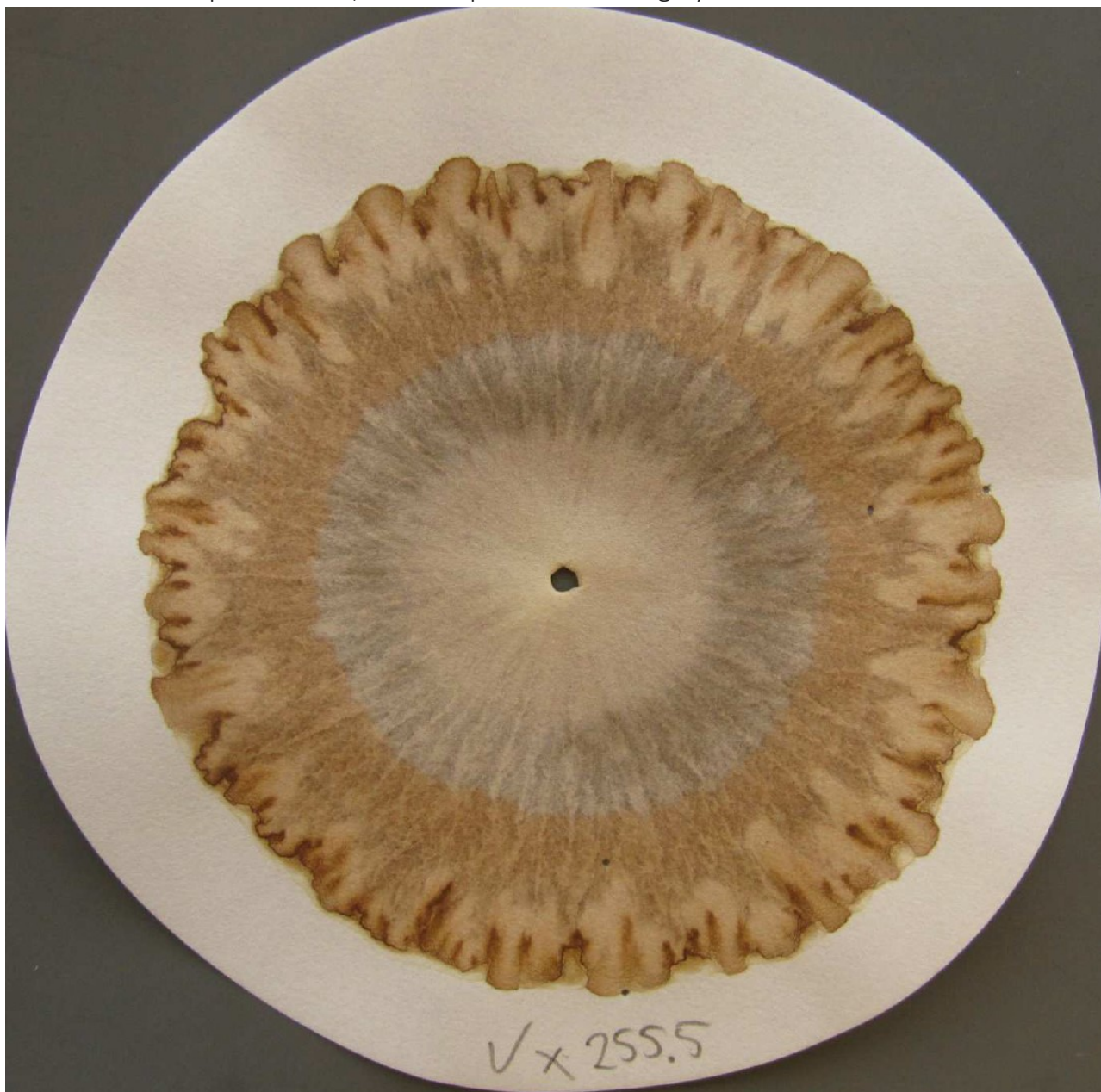
Kommentarer til prøve 255.4, CMC-Kompost af komposteret halm og grøntsagsaffald, Krogerup



Figur 18: Chromatogram 255.4, CMC-Kompost af komposteret halm og grøntsagsaffald, Krogerup

Et meget harmonisk chromatogram, derfor også 4 point (af 4 mulige) for helhedsbillede. Høj biologisk aktivitet, men komposten er muligvis ikke moden nok, idet humuskvaliteten (parameter 6 og 7) ligger lavere end forventet.

Kommentarer til prøve 255.5, MC-kompost af træflis og dybstrøelse



Figur 19: Chromatogram 255.5, MC-kompost af træflis og dybstrøelse

Helhedsindtrykket af dette chromatogram opnår kun 3 point. Den scorer lavest af alle prøver på parameter 3, dvs. størrelsen på den centrale zone. Den scorer lavt, fordi zonen er for stor. En stor central zone betyder, at transformationen af organisk stof ikke er afsluttet. Også på humusparametrene scorer denne lavest. Da komposten er ca. 9 måneder gammel, og den er fremstillet efter MC-metoden kunne man have forventet mere her.

Konklusion

En chroma-test af en kompostprøve er en helt ny måde at anskue kompostkvalitet på. Det er mikrobiologien i jorden eller komposten, som frembringer kvaliteten, hvorfor chroma-test kan være et værdifuldt supplement til traditionelle analyser.

Kompostens vigtigste opgave er dens jordforbedrende virkning, mere end dens næringsstofmæssige betydning. Den giver jorden struktur, evne til at holde på vand og næringsstoffer, skaber habitat for jordlivet og meget mere. Humuskvaliteten er således en vigtig faktor for, hvor godt komposten bidrager til en sådan jordforbedring.

Nærværende analyser viser, at der er mulighed for forbedring og optimering af metoderne. Generelt kræver kompost, som indeholder træholdigt materiale, mere end et år for at være moden nok. Dette vil sikkert yderligere kunne optimeres ved at optimere C/N-forholdene i materialerne. Mere N i materialet i form af husdyrgødning kan være en oplagt mulighed.

Der kunne være interessant at uddybe disse i yderligere komposteringsforsøg og opfølgende chroma-test.

Mikroskopisk analyse af kompost og jord

Den jord-levende mikrobiologi findes fortrinsvis i den tynde hinde af vand, der omgiver jordpartikler. For at kunne observere den naturligt forekommende mikrobielle population, opløses jordprøven i vand, hvorefter prøven får lov til at "hvile" i to dage. Derved "vækkes" også organismer, som kan ligge i dvale.

En dråbe af prøven observeres derefter i et lysmikroskop ved 400x forstørrelse. Der kigges på en strimmel ned midt eller i det mest repræsentative område af prøven og organismene tælles. Dette gentages tre gange pr. prøve for at opnå større nøjagtighed og et repræsentativt udsnit af jorden.

Det primære fokus i en biologiske analyse er at estimere organismernes antal og mangfoldighed, hvilket giver et billede af det økologiske helbred. Også jordens fysiske udseende, herunder aggregering kan vurderes. Der er fysiske jord-egenskaber, som kan betragtes som positive indikatorer for sund mikrobiel aktivitet. Det er karakteristika som lavere densitet i kombination med god aggregering (klumping) af jorden og et generelt lyst, "rent" udseende i mikroskopet.

Hvorfor biologisk jordanalyse?

Aktiviteten af et robust samfund af jordorganismer bidrager til bedre jordstruktur, god vandretention, afdræning, næringscyklus og evne til at holde på næringsstoffer, erosionsmodstand, modstandsdygtighed mod skadedyr og sygdomsproblemer og bedre vækstbetingelser for planter.

Evaluerings af jord og kompost på mikroskopisk niveau giver således en værdifuld indsigt i sundhed og modstandsdygtighed af det mikrobielle økosystem, som således kan være en støtte i forbindelse med management af kompostering, jordbearbejdning og gødningsstrategi.

Generelle vurderingskriterier

I sund jord er økosystemet meget komplekst, og alle "trofiske niveauer" er repræsenteret. I de fleste landbrugsjorde er dog ofte kun de lavere trofiske niveauer repræsenteret. Der er tendens til at se bakterier og svampe (producenter og nedbrydere) i det første trofiske niveau og flagellater i det andet.

I et mere komplekst jord-økosystem, vil man også kunne se ciliater, hjuldyr og andre organismer på højere trofiske niveauer. Tilstedeværelsen af højere rovdyr i et økosystem antyder, at fødekæden fungerer korrekt, da der skal være tilstrækkelig mad og levesteder til at støtte dem.

Hvad er forholdet mellem svampe og bakterier i jord?

Forholdet mellem svampe og bakterier er tegn på, hvilket niveau jord-økosystemet befinder sig på i de økologiske successionstrin. Økosystemer i et tidligt successivt stadium (fx områder med hyppig stress og

forstyrrelser, som f.eks. landbrugsjord) har tendens til at støtte pionérarter med kort levetidscyklus og som koloniserer, vokser og reproducerer sig hurtigt som bakterier (og i større omfang ukrudt).

Økosystemer i et senere successivt stadium som skove, støtter mere arter, som har en længere livscyklus, dvs. har brug for mere tid til at kolonisere sig, og er mere følsomme for forstyrrelser.

God landbrugsjord og god kompost har tilnærmelsesvis en ligevægt mellem bakterier og svampe, snarere end ekstrem dominans af den ene eller den anden. Dårlig dyrkningsjord med lavt humusindhold er typisk bakterie-domineret.

Hvorfor er mangfoldigheden mere vigtig end specifikke indikatororganismer?

Vi lærer mere og mere om betydningen af biodiversitet, og at dette gælder for jord som for skovene, oceanerne og alle andre økosystemer. Hvert medlem af et økosystem har en særlig rolle eller niche, og udfører specifikke funktioner, som bidrager til systemets sundhed og modstandsdygtighed som en helhed. I jord betyder en artsrig, robust og kompleks "Soil-Food-Web" (jordens føde-net), en varieret og stabil næringsstofcyklus, bedre fysiske jordforhold som struktur, afdræning og vandholdende evne og bedre modstandsdygtighed overfor sygdomme, skadedyr og forurening (pesticider).

Hvilke tiltag kan man gøre for at forbedre jordens økologiske sundhed?

En reduktion af landbrugets påvirkning på jordøkosystemet kan opnås ved at:

- reducere frekvensen og intensitet af jordbearbejdning,
- bruge dækafgrøder og alsidige sædskifter
- bruge kompost, kompost-te og andre produkter, der fremmer sund mikrobiel aktivitet og støtter jordens økosystem.

Sensorisk bedømmelse

Den mest håndgribelige af alle metoder til at bedømme kompostkvalitet, er en sensorisk bedømmelse.

Hertil gør man brug af alle sanserne. Her nogle retningslinjer:

- Temperatur: Allerede ved udtagning kan man få et indtryk af, om materialet er færdigkomposteret, eller om der stadig er mikrobiel aktivitet. Hvis der er temperaturer over 35 grader inde i stakken, kan man gå ud fra, at der stadig er huminstofdannende processer i gang.
- Farve: jo mørkere farve komposten har, des flere huminstoffer indeholder den. En mørkebrun eller tilnærmelsesvis sort farve er tegn på mange og langkædede humusstoffer.
- Fugtighed og konsistens: Er komposten behagelig at røre ved, og får man ikke beskidte hænder, er det tegn på en moden kompost. Er den klistret, bliver hænderne beskidte og kommer der evt. vand ud mellem fingrene når man klemmer til, er det tegn på at komposten ikke har indbundet vand nok, og dermed ikke er færdig.
- Lugt: Lugten er nok den allerbedste måde at bedømme kompost på. Lugtesansen er et meget fintfølelse organ, og vi kan dermed hurtigt bedømme, om noget lugter godt eller skidt. Allerede når vi nærmer os komposten, kan vi ved lugten få et allerførste præj om, hvor god eller langt komposten er. Lugter det godt, evt. sødligt, jordagtigt eller lidt af svampe - er det fint. Også hvis den næsten er lugtløs er det et godt tegn, dvs. næringsstofferne er godt indbundet. Lugter det dårligt, er det tegn på nedbrydende processer og frie næringsstoffer, som endnu ikke er indbundet. Lugter det ligefrem råddent er det tegn på at der er forrådnelses-processer og ikke opbyggende komposterende processer, evt. pga. forkert C/N-forhold.



God mørk, homogen kompost, med god duft og som man ikke får beskidte hænder af at røre ved (Foto: Martin Beck)

Et andet kvalitetskendetegn er, hvis man kan observere et sort perkolat, dvs. et sort, nærmest tjæreagtigt udflåd fra komposten. Dette perkolat er nærmest rene huminstoffer, og således et kvalitetskendetegn ligesom vinsten eller ost med krystaller.



Perkolat – et kvalitetstegn. Huminstoffer i sin reneste form (Foto: Martin Beck)

Svampevekst i og ovenpå en moden kompost er tegn på, at det mikrobiologiske økosystem er ved at være komplet og dermed komposten moden. Når de små røde kompostorm etablerer sig, er det også tegn på at komposten befinder sig i sidste del af modningsfasen. I sjældne tilfælde kan man observere et lag hvor der udfældes gullige krystaller. Dette er en svovludfældning som dannes under stærk reductive processer i komposten. En sådan kompost er af speciel god næringsstofmæssig værdi.

Opsamling

En vigtig parameter til vurdering af kompost- og jordkvalitet er en huminstofanalyse, hvor det måles, hvor meget C/lignin, der er blevet omdannet til huminstoffer, og også gerne en huminstof-profil, dvs. hvor stor en andel af huminstofferne er fulvosyrer (kortkædet og vandopløselig), og hvor mange er af de mere langkædede, ikke-vandopløselige, typer. Jo mere langkædet, jo bedre næringsstofbindende og jordforbedrende egenskaber har komposten, og jo mere stabil er humusen.

Konkluderende udgøres kompostkvalitet af følgende faktorer:

1. *Humuskvalitet*: Hvilken mængde og form kulstoffet forefindes på - dermed dens langvarende jordforbedrende egenskaber
2. *Biologisk kvalitet*: Hvilken og hvor mangfoldig mikrobiologien er sammensat
3. *Fysisk kvalitet*: Kompostens strukturgivende egenskaber, herunder også vandholdende evne og næringsstofholdende egenskaber
4. *Gødningsmæssig kvalitet*: Hvor mange næringsstoffer komposten indeholder, og på hvilken form disse foreligger (ammonium eller nitrat). Herunder også svovl og især mikronæringsstoffer.

De ovennævnte metoder til at vurdere kompostkvalitet har alle en berettigelse i at beskrive disse faktorer. Med infrarød spektrofotometri har vi et lovende værktøj til at vurdere huminsyre-profilen i komposten. Med et stigende antal prøver, og dermed referencer, vil man kunne drage endnu mere viden derfra. Den biologiske kvalitet kan vurderes ved en mikroskopisk undersøgelse og den fysiske kvalitet ved en sensorisk vurdering. Med en klassisk kemisk analyse af næringsstofindholdet kan vi få et mål for den gødningsmæssige virkning. Chromatesten er et godt supplement til at danne sig et helhedsbillede, velvidende at denne billeddannende metode har en helt anden tilgang. Det kræver nogen erfaring at kunne læse disse chromatogrammer og få det fulde udbytte heraf.

Kilder

K. Meissl, E. Smidt, J. Tintner & E. Binner. 2007. Editor: Peter Lechner. Humus – A Quality criterion for composts. Infrared spectroscopy (FTIR). A new evaluation tool and its application in practice. Institute of Waste Management (ABF-BOKU). Department of Water, Atmosphere and Environment. BOKU- University and Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.

W. Ziechmann 1996. Huminstoffe und ihre Wirkungen (Spektrum Umwelt), Verlag: Spektrum Akademischer Verlag, ISBN: 3860257218