

Vejledning og resultater fra kvalitetsbedømmelse af kompost



Indhold

Indledning.....	3
Humuskvalitet.....	3
Huminstoffer – hvad er det?	3
Organisk kulstof (C _{org})	5
Andre muligheder for kvalitetsbedømmelse af kompost	6
Infrarød spektroskopi (FTIR).....	6
Chromatografi	6
Mikroskopi.....	6
Sensorisk og visuel vurdering	6
Komposttyper og indsamling.....	8
Kompost typer	8
Indsamling og prøveudtagning	8
Laboratorieanalyse af kompostkvalitet og indhold af huminstoffer.....	10
Tørring af kompostprøver før laboratorieanalyser	10
Fraktionering af prøven med 1 mm sigte	11
FTIR analyse af kompost.....	12
Konklusion FTIR spektroskopi.....	16
Mikroskopisk analyse af kompost og jord.....	17
Sensorisk bedømmelse.....	24
Opsamling.....	25
Kilder.....	26

Denne vejledning er udarbejdet i projektet ”Optimer anvendelsen af kompost” med støtte fra Promilleafgiftsfonden.

Vejledningen bygger på den tidligere vejledning ”Vejledning til og resultater af kvalitetsbedømmelse af kompost” udgivet i projektet ”Kompost – en central del af indfasning af alternativer til konventionel husdyrgødning”.

Promilleafgiftsfonden for landbrug

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.).

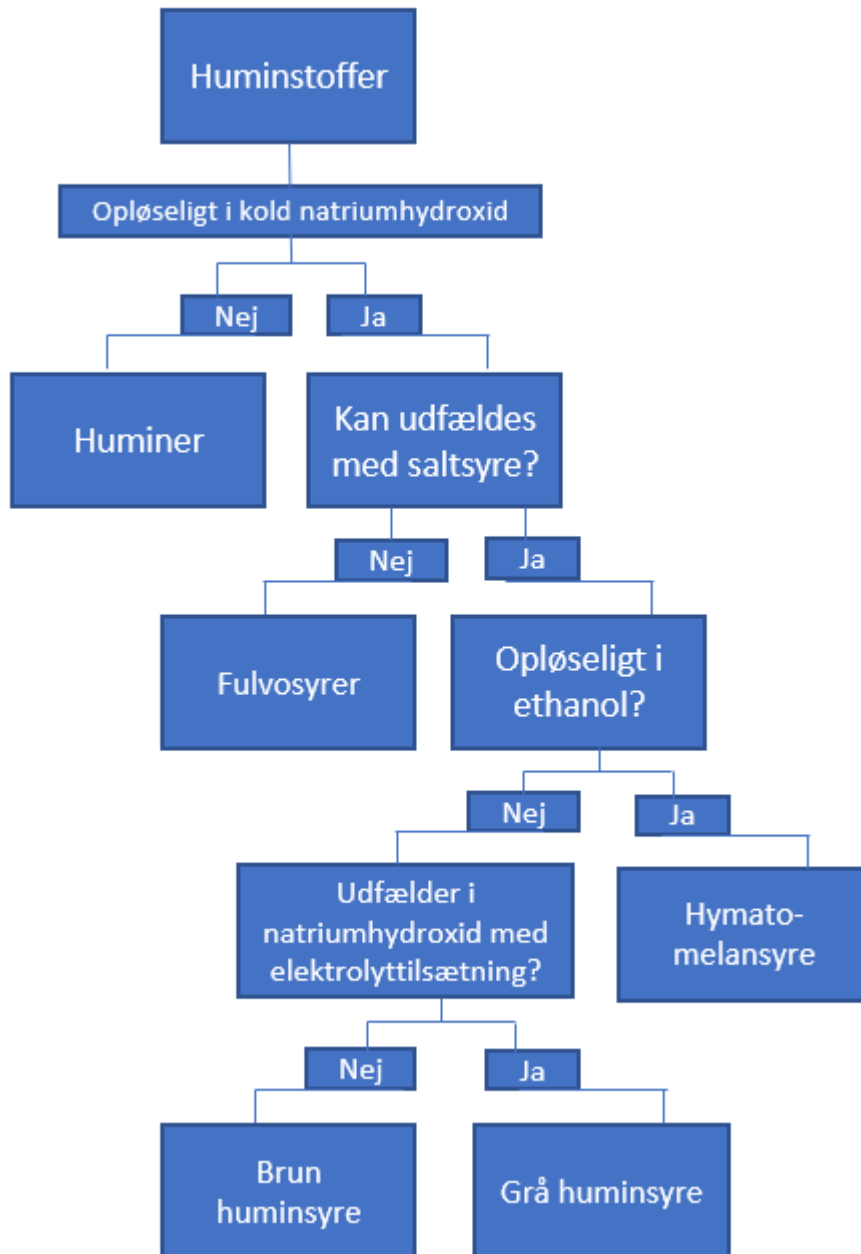
Huminstoffer – hvad er det?

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 svært nedbrydelige, men kan dog ødelægges ved u hensigtsmæssige 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 også 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 f.eks. jern, kobber, bor, molybdæn m.fl.
- Huminstoffer kan binde og dermed uskadeliggøre tungmetaller og også 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 på 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, og de er med til at give 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.

Chromatografi

En chroma-analyse er en billedannede 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 vand retention, 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.

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 i 2018 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.

I projektet "Optimer anvendelsen af kompost" (2019-2020) er der i 2019 igen indsamlet en række prøver af kompost med henblik på at afprøve den infrarøde spektroskopi som kvalitetsparameter for kompost yderligere. Seks prøver er også sendt til mikroskopering. Kompostprøverne er indsamlet fra nogle udvalgte

steder, steder der også blev indsamlet fra i 2018. Så vidt muligt er det den samme kompost, nu bare et år ældre, der er indsamlet. FTIR-metoden er anvendt igen.

I tabellen nedenfor ses hvilke prøver der er udtaget og analyseret i 2018 og i 2019. I 2019 er der ikke udført Chromatests.

Komposttyper og indsamling

Af Janne Aalborg Nielsen, Økologisk Landsforening

Kompost typer

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 i 2018 og 2019

Prøve ID	Indsamlingssted	Note om komposten 2018	2019 FTIR	2019 Mikroskopi
J1	Feltengård i/s	komposteret 1/2 - 3/4 år		
J2	Birthe Holt	Biodynamisk kompost		
J3	RenoSyd	ej komposteret		
J4	RenoSyd	komposteret 4 1/2 mnd		
J5	Ny Vraa	kompostbunke fra april 2017	X	
J6	Ny Vraa	Pileflisbunke fra marts 2018	X	
J7	Ny Vraa	Pileflis og gammel pilekompost, bunke fra marts 2018		
J8	Ny Vraa	Pileflis og kvæggylle, bunke fra marts 2018	X	
J9	Ny Vraa	Pileflis, hestemøg og kvæggylle, bunke fra marts 2018	X	X
J10	Ny Vraa	Pileflis med blade, bunke fra september 2018	X	X
J11	Ny Vraa	Pileflis med græs, bunke fra september 2018	X	
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	X	
J16	Rørdal, Aalborg	gl. ca. 3 år, måske mere	X	X
M1	Frede Larsen	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse	X	X
M2	Bjarne Schaldemose	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse	X	X
M3	Markhaven	MC-Kompost med finhugget flis og dybstrøelse		X
M4	KOMTEK	Landbrugskompost		
M5	KOMTEK	Borgerkompost		
M6	KOMTEK	Råt Have-Park affald		
M7	Tvedemose	Champost		
M8	Michael Meyer	Pilekompost med husdyrgødning	X*	
M9	Aarstiderne	CMC-kompost med meget grøntsagsaffald og græs		
		Leonardit, afprøvet som referance	X	
		BHF 10, afprøvet som referance	X	

*Denne kompost (M8) er ikke fra den samme bunke som der blev taget prøve fra i 2019

Indsamling og prøveudtagning

Prøverne er indsamlet medio november 2018 efter følgende fremgangsmåde:

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

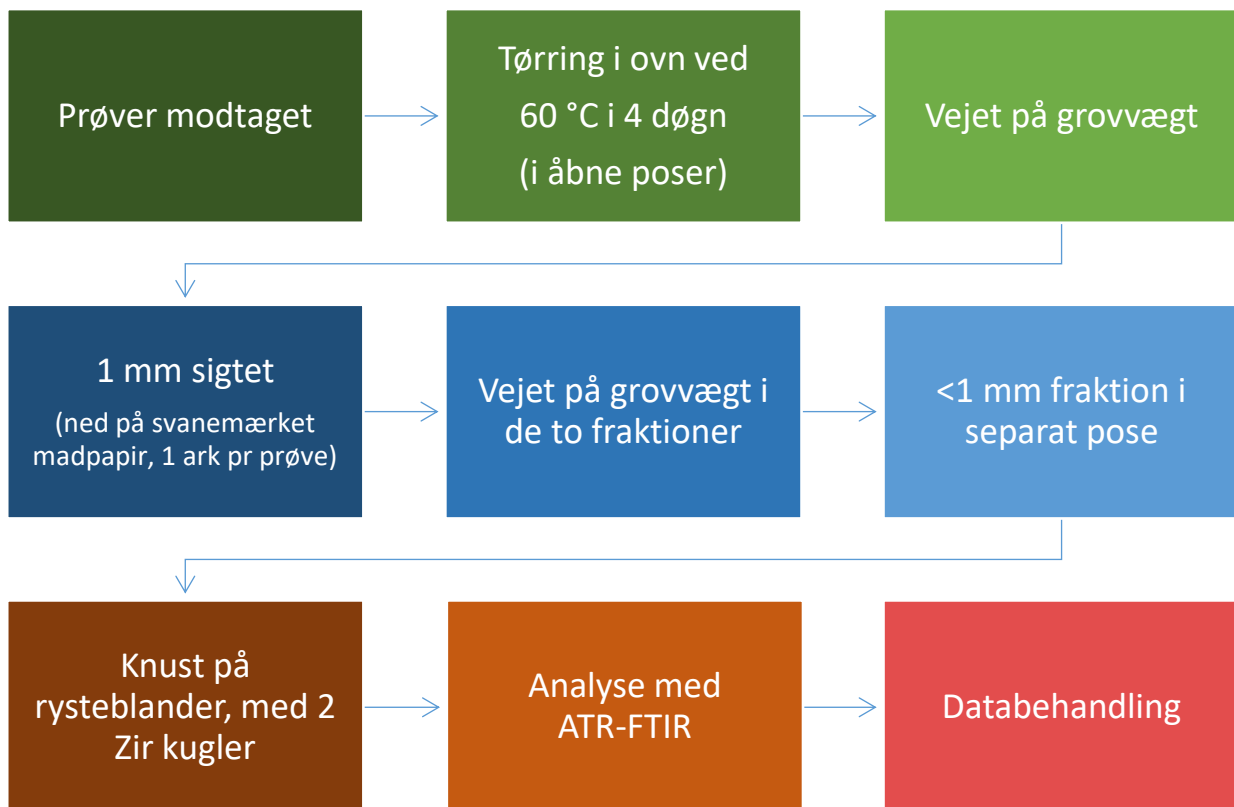
- Der udtages 20 håndfulde fra forskellige steder i kompostbunken. Der udtages håndfulde ”inde fra i bunken”. Så vidt muligt udtages prøven uden, at man ser direkte på hvad man udtager. De 20 håndfulde blandes grundigt i en stor plastbalje.
- Herefter udtages 10 håndfulde fra prøven i baljen. Så vidt 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 og mikrobielvækst undgås og ingen kondens dannelse, afhængigt af prøven varierer det fra 2 til 48 timer.

I 2019 er prøverne i store træk indsamlet efter samme fremgangsmåde. Dog er der nogle steder slækket lidt på neddelingen, men stadig sikret en repræsentativ prøve. I 2019 foregik al tørring af prøver i laboratoriet.

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 bliver forklaret 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 at yderligere afprøvning, men det er vigtigt at det sker kort tid efter udtagning af prøven, så der ikke kommer en periode med rumtemperatur, mens prøver 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 ikke dannes kondens på posens inderside, når den stilles ved rumtemperatur. Kondensvand på posens inderside vil give mugudvikling, og det vil ændre meget på måleresultater. Dertil er mugdannelse med skimmelsvampe meget usundt arbejdsmiljømæssigt.

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 grovvegt 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, og 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 som 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

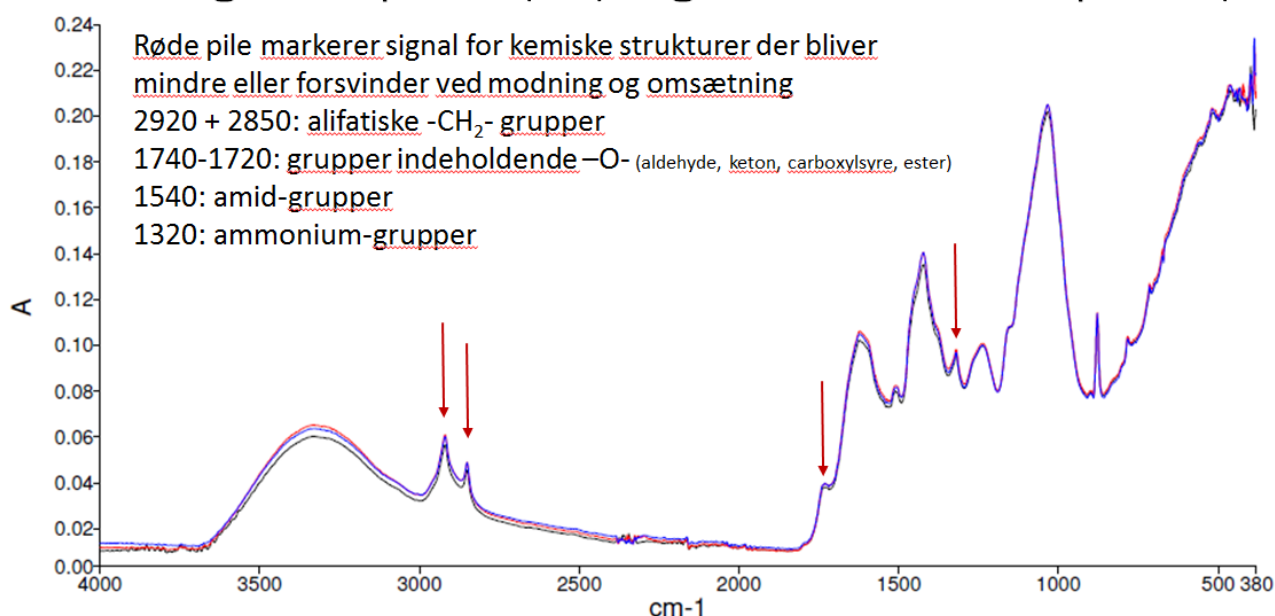
at angive kvaliteten af komposten. FTIR spektre viser ændringer i kemisk sammensætning der kommer af omsætning under komposteringsprocessen, og viser stigning i f.eks. carbonat og andre komponenter, som produkt af mineraliseringen af noget af det organiske materiale. Den naturlige komposteringsproces 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 upåvirket af findelingen, og det gælder både det organiske materiale og uorganiske mineral korn fra f.eks. jord som er i komposten.

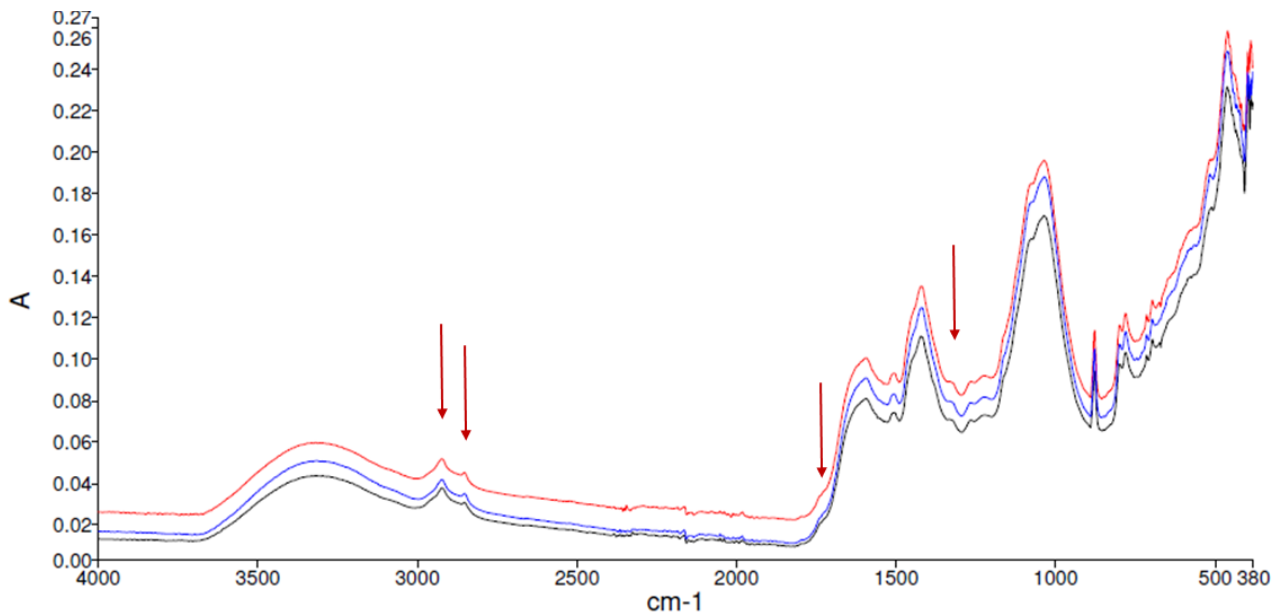
FTIR analyse af kompost

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 huminstofindholdet.



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.

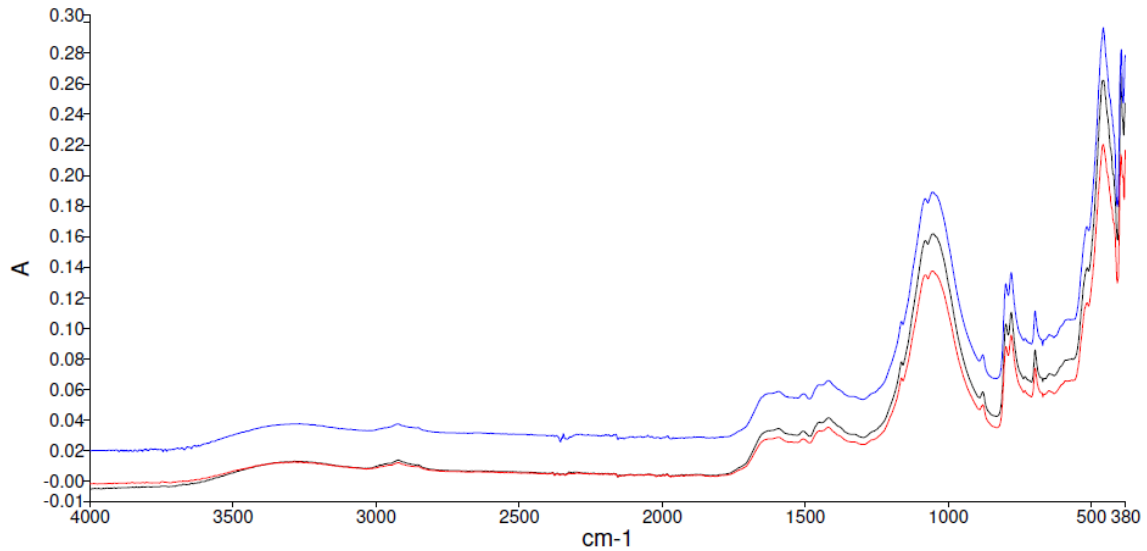


Figur 5 FTIR spektrum af en modnet kompostprøve af pileflis (prøve J5 i tabel 2) målt for hele bølglængdeområdet 4000-380 cm^{-1} .

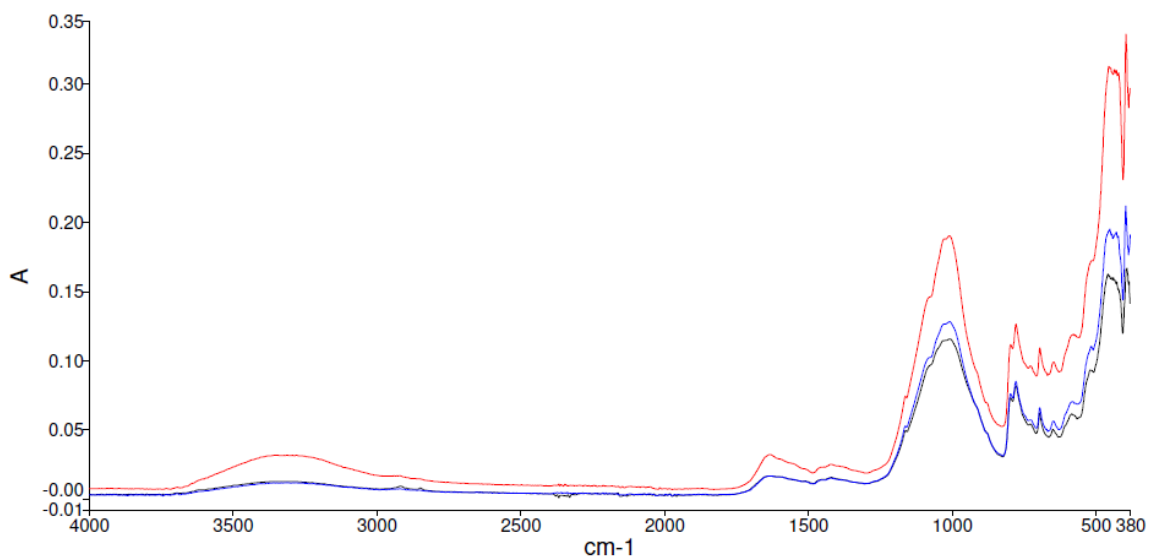
I Figur 5 ses et tilsvarende spektrum for en modnet kompost og signalerne ved de fire markerede bånd er reduceret en del, men kan stadig lige anes som små forhøjninger på linjen.

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 lermineraller i prøven. Lermineraller 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.



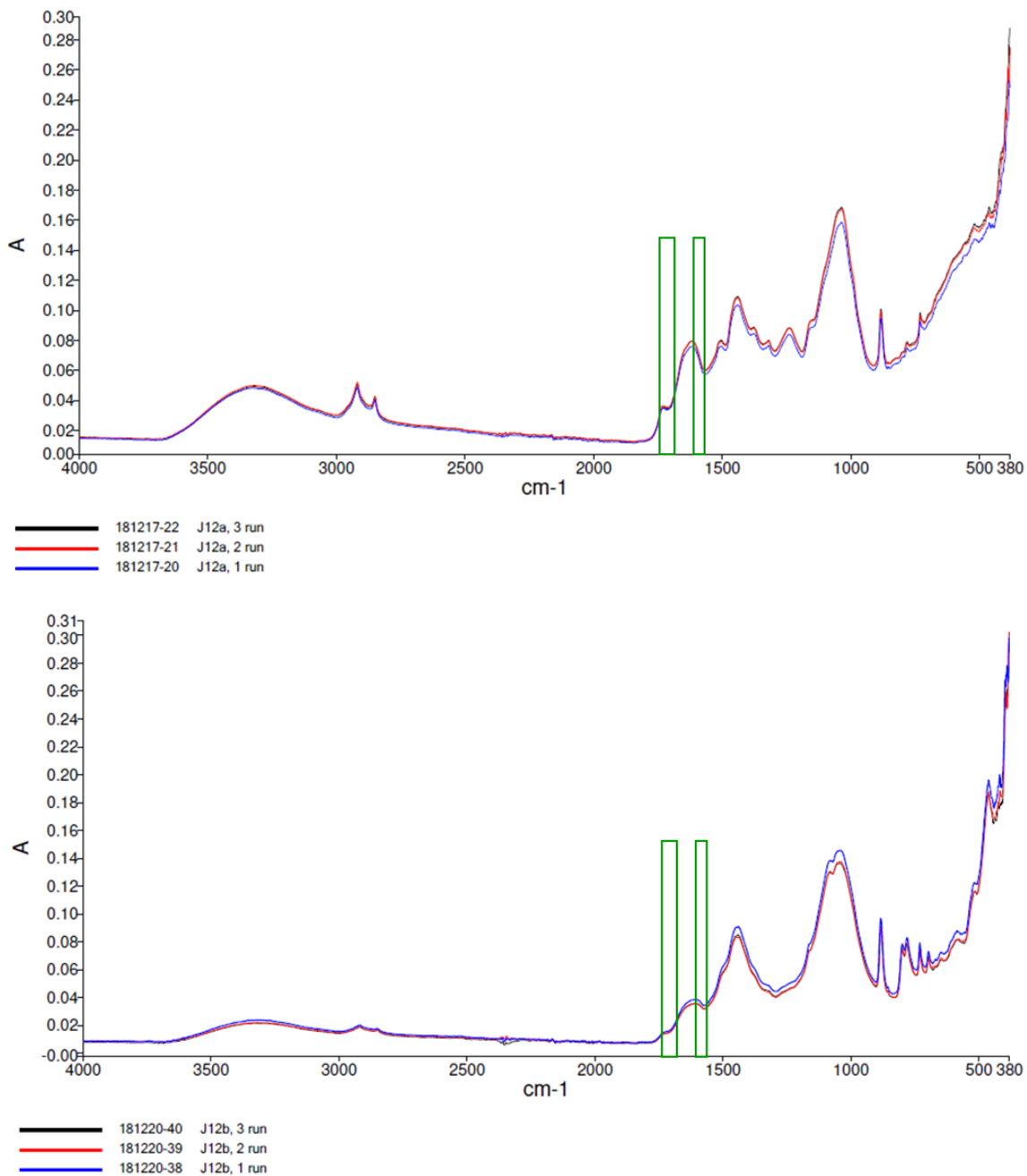
— 181220-4 M1, 3 run
— 181220-3 M1, 2 run
— 181220-2 M1, 1 run



— 181220-22 M9, 3 run
— 181220-21 M9, 2 run
— 181220-20 M9, 1 run

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} .



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 kompost prøver er sammenlignet i Figur 7, og det er markeret med grønne boksede 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 kompost prøver analyseret giver det mere 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. Den korrelation 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 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 start indholdet 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 sådant 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.

Mikroskopisk analyse af kompost og jord

Følgende er Mikroliv's egen beskrivelse af metoden oversat til dansk af Janne Aalborg Nielsen med tilladelse fra Mikroliv.

Om denne mikroskopi-analyse

Mikrober i jorden holder til i det tynde lag vand der omgiver jordpartiklerne. For at observere naturlige mikrobielle populationer så nøjagtigt vi kan blandes jordprøver med vand og står herefter og "hviler" i to dage. Dette gør, at man også kan få organismer, der muligvis er gået ind i en sovende tilstand, til at vise sig. En dråbe af prøven observeres derefter ved anvendelse af et lysmikroskop ved 400X forstørrelse. Vi ser på en kontinuerlig stribe ned gennem midten eller det mest repræsentative område i objektglasset, og tæller alle organismer i dette område. Dette gentages i alt tre gange pr prøve for at opnå større nøjagtighed og repræsentation af jorden. Det primære fokus i vores biologiske analyser er at estimere forekomsten og mangfoldigheden af organismer i jorden, hvilket giver et billede af den økologiske (eng: ecological) sundhed. Vi tager også noter og skriver kommentarer om jordens fysiske udseende inklusive aggregering. Der er nogle fysiske egenskaber ved jorden, som vi betragter som positive tegn og indikatorer for sund mikrobiel aktivitet, såsom lavere massefylde i kombination med god aggregering af jorden og generelt lyst, "rent" udseende i mikroskopet.

Hvorfor biologisk jordanalyse

Aktiviteten i en robust gruppe af jordorganismer bidrager til en bedre jordstruktur, god vandtilbageholdelse og afdræning, god næringsstofcyklus og tilbageholdelse, modstandsdygtighed for erosion, skadedyr og sygdomme, og bedre vækstbetingelser for afgrøderne. Evaluering af jord på mikroskopi-niveau giver værdifuld indsigt i sundhed og modstandsdygtighed i dit jordøkosystem, som kan hjælpe dig med et godt beslutningsgrundlag og forbedre din managementstrategi for jorden.

Hvad kigger vi efter

I den mest ideelle jord vil organismer fra alle listede grupper blive fundet, og der vil være en vis mangfoldighed indenfor grupperne (f.eks. ikke kun en type flagellat). De fleste landbrugsjorder som vi ser, har tendens til at få en samlet score på mikroskopi i området 1-3. Hvis din jordprøve har fået en score indenfor dette interval, betragtes den som normal eller gennemsnitlig. En score højere end 3 betyder, at den biologiske aktivitet i jorden er højere end sædvanlig (som normalt er godt), og lavere end 1 er meget dårlig vurdering/rating.

Generelle vurderingskriterier

I en sund jord er økosystemet meget komplekst, og alle "trofiske" niveauer er repræsenteret. I økologi (eng: ecology) er et trofisk niveau en organismes position på fødekæden. Der er primære producenter, såsom planter (eller bakterier), primære forbrugere så som mus (eller flagellater) og sekundære forbrugere, der spiser primære forbrugere, såsom ræve (eller ciliater). Dette er et forenklet syn på økologi/ecology, da mange grupper tager føde indenfor flere forskellige trofiske niveauer, og linjerne skaber mere et "web" end "en kæde", men det er nok til at give os et billede af jordens økologiske helbred. I de fleste af de jordarter, vi ser, er kun lavere trofiske niveauer

repræsenteret. Vi ser oftest bakterier og svampe (producenter og nedbrydere) i det første trofiske niveau og flagellater i det andet. I mere komplekse jordøkosystemer ser vi også et par ciliater, hjuldyr (rotifer) og andre organismer i højere trofiske niveauer. Tilstedeværelsen af højere niveau rovdyr i et økosystem antyder, at fødekæden fungerer korrekt, da der så må være mad og levesteder til dem.

Diversitet

Dette aspekt af vores analyse udvikles stadig, da det er udfordrende at præsentere status på et økosystem i simple tal på en meningsfuld måde. Af praktiske grunde er det ikke muligt at identificere de arter der er tilstede i hver prøve, så vi ser på brede grupperinger og forskelle i morfologiske eller adfærdsmæssige egenskaber hos individuelle organismer for at estimere diversiteten. Ideelt set vil vi gerne se en moderat overflod, relativt jævnt fordelt på grupper og høj diversitet indenfor og imellem grupper. Scoringen for protozoer tager højde for at disse kan forekomme i rigelige mængder, samt for diversitet og fordelingen af grupper af organismer identificeret i jorden.

Evaluering af svampe

Svampehyfer der er bredere end 3 μm , betragtes som et godt tegn, mens et stort antal af lyse, tynde hyfer kan indikere tæt, komprimeret, iltfattig jord. Svampe biomasse estimeres ved hjælp af den omtrentlige diameter og længde på hyfe-fragmenterne, og hvor vidt hyfe-fragmentet er forgrenet eller ej. (Forgrening resulterer i et større biomasseestimat). Svampebiomasse sammenlignes med antal individuelle svampehyfe-fragmenter observeret for at give et mere komplet billede af svampe i prøven, som kan præsenteres med en simpel numerisk score.

For at præsentere dette i et tal bruges følgende kriterier:

Karakter/værdi	
0	<4 pr. strip og/eller <25 $\mu\text{g/g}$
1	≥ 5 pr. strip og <60 $\mu\text{g/g}$
2	5-16 pr. strip og 60-120 $\mu\text{g/g}$
3	≥ 10 pr. strip og 120-250 $\mu\text{g/g}$
4	≥ 20 pr. strip og > 220 $\mu\text{g/g}$
5	≥ 27 pr strip og > 500 $\mu\text{g/g}$

Det gælder i dette evalueringsprogram, at jo højere antallet er, desto mere positivt er resultatet. Hvis der er en særlig stor mængde tynde, lyse hyfer (mindre end 3 μm) vil prøven få en værdi tættere på 1 (0 er den laveste værdi), da dette betragtes som et tegn på dårlige forhold.

Bakterier

Bakterier er meget små. Vi kan kun lige se dem ved en forstørrelse på 400X. Vi kan skelne mellem de tre typiske bakterieformer, som er stænger, cocci (runde) og spirilla (spiralformede celler). Vores analyse giver en estimeret forekomst af bakterier, som repræsenterer det omtrentlige antal individer pr. mikroskopfelt (en cirkel med en diameter på 500 mikrometer). Dette antal er et groft

skøn, og er kun beregnet til at give en generel ide om bakteriepopulationen i jorden, og det giver os mulighed for at beregne et skøn over bakteriel biomasse, som vi derefter kan sammenligne med estimatet for svampebiomasse, og herved finde forholdet imellem dem. Det gør det muligt at beskrive om jorden er svampe-domineret eller bakterie-domineret. Vi noterer også diversitet og aktivitet. Oftest ser vi kun cocci eller bakterier, der er så små at vi ikke helt kan bestemme formen, men lejlighedsvis har jorden også bevægelige stænger og/eller spirilla, som noteres med en kommentar som "nogen", "moderat" eller "høj" diversitet, afhængig af hvor meget diversitet der ser ud til at være. Kompost og mere komplekse, biologisk rige jorder har typisk markant højere bakteriel diversitet men lavere bakteriel mængde end typiske landbrugsjorder.

Svampe/bakterie forhold

Den ideelle landbrugsjord har et forhold mellem svampe og bakterier der er tæt på 1:1, fremfor en signifikant dominans af den ene eller den anden. Det er typisk at se en stærk bakteriedominans i landbrugsjord og en stærk svampedominans i skovbunds-jord.

Protozoer

Protozoer er en utrolig forskelligartet gruppe af encellede, eukaryote organismer, der har en rovdynsrolle i jordens fødenet. Protozoer bruger relativt lidt kvælstof, så deres konsumering af kvælstofrige bakterier hjælper med at frigive plantetilgængeligt kvælstof tilbage i jorden. Klassificering og identificering af levende protozoer er udfordrende, men til vores formål kan de opdeles i tre brede grupper: flagellater, ciliater og amøber.

Flagellater er generelt mindre end ciliater, men større end bakterier, og har en eller flere pisk-lignende haler kaldet flagella, som de bruger til bevægelse eller til at skabe en strøm i vandet, der bringer mad mod cellen. Flagellater er sekundære konsumerer i jordbunden, som primært lever af bakterier. Flagellater er meget almindelige i jord, og egenskaberne for denne gruppe (så som størrelse og mangfoldighed) kan give os mere indsigt i jordens sundhed.

Ciliater er typisk større end flagellater, og de lever af bakterier såvel som andre protister (organismer med cellekerne). Den største forskel, som bruges ved identifikationen, er tilstedeværelsen af mange små hår, kaldet cilia, i stedet for længere pisk-lignende haler, som flagellaterne har. Cilia bruges både til bevægelse og til at skabe strømme til at trække maden mod cellen.

Amøber er en type protozoer med en flydende, dynamisk kropsform. Amøber danner pseudopoder, eller "falske fødder", for at bevæge sig rundt og fange mad. Amøber lever af bakterier, andre protister og dødt organisk materiale. De spiser mad ved blot at omslutte og absorbere det. Vi ser efter to brede grupper af amøber, nøgne eller med skal. Nøgne amøber lever frit, lidt som nøgne snegle, mens skal-amøber bygger en skal, lidt som en snegl med hus.

Ud over protozoer noterer vi også tilstedeværelsen af alger og protozo-cyster samt større, mere komplekse mikroskopiske organismer såsom hjuldyr og nematoder, der bidrager til vurdering af biodiversitet.

Totalvurdering af protozoer

Når vi vurderer jordprøver for protozoer, er vi ikke bare på udkig efter et stort antal. Den ideelle prøve vil have moderat repræsentation fra mange grupper med god diversitet indenfor grupperne. Vi har forsøgt at oprette en score, der tager højde for antallet af grupper, der ses i en prøve og antallet af organismer inden for hver gruppe. Scoren er samlet ud fra antallet af grupper og beregninger, hvor der er brugt diversitetsformler. Generelt er et højere antal bedre, men på grund af kompleksiteten i jordens økosystem kræver denne vurdering også en fortolkning baseret på visuelle bemærkninger. Disse findes i kommentar-afsnittet i rapporten.

Denne del af analysen er kontinuerligt under udvikling, da vi arbejder mod en bedre forståelse af roller og funktioner hos forskellige organismer i jorden, og hvordan denne information bedst kan præsenteres.

Ofte stillede spørgsmål

Hvad er relationen mellem svampe og bakterier i jorden?

Forholdet mellem svampe og bakterier er en indikation på, hvilken type jordøkosystem der er tale om, og ser ud til at korrespondere med den økologiske succession i en eller anden grad.

Økosystemer i en tidlig successions fase (f.eks. arealer med hyppig stress og forstyrrelse, såsom landbrugsdrift), ser ud til at understøtte pionerarter (banebrydende arter), som har en kort livscyklus, som koloniserer, gror og reproducerer hurtigt såsom bakterier (og i større skala ukrudt). Økosystemer i en senere successiv fase, såsom skove, har en tendens til at støtte arter, der har en langsommere livscyklus, tager længere tid at kolonisere og er mere følsomme over for forstyrrelser.

God landbrugsjord har en tendens til at have en mere ligelig balance mellem bakterier og svampe snarere end ekstrem dominans af det ene eller det andet. Det er typisk for nedbrudt landbrugsjord at have en høj bakterie-dominans.

Hvorfor kigger vi på den overordnede diversitet i stedet for at kigge efter specifikke indikatororganismer?

Vi lærer mere og mere om vigtigheden af biodiversitet, og at dette gælder for jord såvel som skovene, oceanerne og alle andre økosystemer. Hvert medlem af et økosystem har en bestemt rolle, eller niche og udfører specifikke funktioner, der bidrager til systemets sundhed og modstandsdygtighed som en helhed. I jord betyder et mere robust og komplekst fødenetværk, at der er en rig og mangfoldig næringsstofcyklus og næringsstof-tilbageholdelse, bedre modstand overfor sygdomme, skadedyr og forurening

Hvilke skridt kan jeg tage for at forbedre den økologiske sundhed i min jord?

Vi kan reducere landbrugets påvirkning på jordens økosystem ved at reducere hyppigheden og intensiteten af jordbearbejdningen, ved hjælp af efterafgrøder og sædskifte, og ved at tilføre kompost, kompost-te og andre produkter og metoder, der fremmer sund mikrobiel aktivitet og understøtter jorden som et økosystem.

Priser og vejledning i udtagning af jordprøve til mikroskopering kan findes her:

<https://www.mikroliv.no/en/analysis>

Resultater fra mikroskopering af udvalgte kompostprøver fra projektet ”Optimer anvendelsen af kompost”.

Svampe	J9	J10	J16	M1	M2	M8
<3µm- µg/g	41,1	17,0	27,8	33,4	78,0	18,8
≥ 3µm- µg/g	37,7	164,2	18,4	96,9	524,0	147,7
Antal hyfefragmenter	24,0	26,5	4,5	23,5	71,5	24,5
Sporer	2772	1278	576	774	2232	4302
Totalvurdering svampe	1	3	0	2	5	3

Bakterier	J9	J10	J16	M1	M2	M8
Estimeret µg bakterie/g	672	192	336	432	960	960
Forhold mellem svampe og bakterier*	1:37	1:2	1:38	1:9	1:4	1:14

*Forholdet skal tolkes anderledes i kompost end i jord. Se note i kommentarer.

Encellede organismer	J9	J10	J16	M1	M2	M8
Skalamøber	198	108	36	180	198	414
Runde skalamøber	0	0	18	72	36	54
Flagellater	720	540	954	900	360	1314
Cilliater	0	54	18	18	54	0
Cyster	756	234	126	324	882	234
Diatoméer (kiselalger)	0	0	36	18	162	0
Nøgne amøber	18	90	54	54	0	18
Amøbecyster	0	0	0	54	90	72
Nematoder	0	0	0	0	0	18

Typer flagellater	7	8	7	7	7	11
Antal grupper	5	6	8	9	8	8
Biodiversitets-score	1,1	1,3	1,2	1,5	1,3	1,0
Totalvurdering protozoer*	1,3	1,5	1,7	2,0	1,7	2,9
Totalvurdering mikroskopi*	2,3	4,5	1,7	4,0	6,7	5,9
*Bemærk at disse opgørelser giver indsigt i den biologiske aktivitet og status i komposten. De er ikke ment som et mål for kvaliteten af komposten.						

Bemærkning til forhold mellem svampe og bakterier for kompost:

Balancen mellem svampe og bakterier i kompost skal fortolkes anderledes end den skal for jord. I jord vil vi typisk se en lige balance for at maksimere biologisk mangfoldighed/diversitet, men målet for kompost kan variere afhængigt af det ønskede resultat.

Balancen vil også have en tendens til at skifte over tid, når materialer nedbrydes.

Man kan understøtte en mere bakteriel kompost ved at tilvejebringe mere kvælstofrige eller "grønne" materialer, der nedbrydes hurtigt, eller en mere svampebaseret kompost ved at tilvejebringe mere kulstofrige eller "brune" materialer, der nedbrydes langsommere.

J9 Pileflis med hestemøg og kvæggylle

Mængden af bakterier er rigelig og meget dominerende med et estimeret forhold på 1:37.

Bakterierne var ikke særlig mobile, men der var tegn på god bakteriel diversitet inklusive et par lange stavformede celler, meget lang tråd og stor spirilla. Der var mange forskellige sporetyper og en blanding af lyse og mørke svampehyfer. Flagellater var for det meste små, men med god diversitet. Skalamøberne var også forskellige.

J10 Pileflis med blade

Bakterier var sparsomme og mindre dominerende med et estimeret forhold på 1: 2. Der var nogle tegn på bakteriel mangfoldighed inklusive lange bevægelige tråde, et par små bevægelige stænger og cocci (kugleformet bakterie). Denne kompost var meget uomsat med meget groft materiale. Svampehyfer var for det meste blege, men der var nogle brune tråde. Der var god flagellatdiversitet og en type af ciliat er set. *acteria were sparse and less dominant with an estimated ratio of 1:2. There were some signs of bacterial diversity including long motile threads, a few small motile rods and cocci. This compost was very unfinished with a lot of coarse material. Fungal hyphae were mostly pale but there were some brown strands. There was good flagellate diversity and one type of ciliate seen.*

J11 Rørdal 3 år+

Bakterier var tilstede i moderate mængder og med nogle tegn på diversitet og bevægelighed.

Meget lav svampebiomasse resulterede i høj bakteriedominans på 1:38 på trods af kun, at der kun

var moderat mængde bakterier. Denne prøve ligner mere jord med store mørke aggregater og nogle mineralpartikler. Et lille fragment af hvad der syntes at være blå plast blev set på den ene dias. Der var god flagellatdiversitet og en ciliat af slægten *Vorticella* blev observeret i denne prøve.

M1 Frede Larsen

Bacteria were moderately abundant with some signs of diversity including a few rods and long motile spirilla and what appeared to be spirochete bacteria in low numbers. Dense clusters of bacteria formed around microaggregates. Bacteria were moderately dominant with an estimated ratio of 1:9. Fungal biomass was relatively low. This sample had the greatest overall diversity in protist groups.

M2 Bjarne Schaldemose

Bakterier var meget rigelige i denne prøve med nogle tegn på diversitet, herunder lange, bevægelige spirilla. Bakterier danner tætte klynger rundt om mikroaggregater. Denne prøve havde også meget høj svampebiomasse, hvilket resulterede i et anslået svampe/bakterier forhold på 1: 4. Denne prøve ligner løst aggregeret jord. Svampene varierede med en blanding af lyse og mørke tråde. Mængden af flagellater var lav, men diversiteten var god. Der var to typer af ciliater i denne prøve.

M8 Michael Meyer

Der var mange bakterier i denne prøve, og med nogle tegn på diversitet og bevægelighed. Cellerne var overvejende små stænger og cocci (runde). Mængden af svampe var moderat, og hyferne var for det meste lyse eller bleg- brune, kun et par få mørke strenge. Materialet virker meget ufærdigt med masser af plantemateriale. Der var mange flagellater, og de var meget forskelligartede og aktive. Skalamøberne var meget tynde og små, hvilket kan være et tegn på, at de er unge. En nematode blev set i denne prøve. Prøven fik den laveste score på biodiversitet på grund af det uforholdsmæssigt høje antal flagellater.

Sensorisk bedømmelse

Af Martin Beck

Den mest håndgribelige af alle metoder til at bedømme kompostkvalitet på 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, jo flere huminstoffer indeholder den. En mørk brun eller tilnærmelsesvis kul-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 praj 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)

Andre kvalitetskendetegn er f.eks. 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)

Svampevækst 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 vil således være en huminstofanalyse, dvs. 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 humus'en.

Konkluderende kan der siges, at kompostkvalitet udgøres 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.

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