



## **Bilagsrapport 4: Haveaffald – systembeskrivelse**

### Modellering af behandlingen af haveaffald i Herning Kommune

**Hansen, Trine Lund; Boldrin, Alessio**

*Publication date:*  
2007

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Hansen, T. L., & Boldrin, A. (2007). *Bilagsrapport 4: Haveaffald – systembeskrivelse: Modellering af behandlingen af haveaffald i Herning Kommune*. Institut for Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

---

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Bilagsrapport 4: Haveaffald - systembeskrivelse**

*Modellering af behandlingen af haveaffald i  
Herning Kommune*

*23. marts 2007*

Trine Lund Hansen  
Alessio Boldrin  
Institut for Miljø & Ressourcer  
Danmarks Tekniske Universitet

## Indhold

<b>SAMMENFATNING</b> .....	<b>2</b>
<b>INDLEDNING</b> .....	<b>3</b>
<b>DATAINDSAMLING</b> .....	<b>4</b>
EKSISTERENDE DATA .....	4
SAMMENSÆTNINGEN AF HAVEAFFALD .....	4
TØRRING OG NEDBRYDNING AF HAVEAFFALD OG STØD .....	4
EMISSIONER FRA KOMPOSTERING.....	4
<b>AFFALDSMÆNGDER</b> .....	<b>5</b>
<b>INDSAMLING OG TRANSPORT</b> .....	<b>6</b>
<b>SCENARIUM 1: NUVÆRENDE BEHANDLING</b> .....	<b>7</b>
<b>SCENARIUM 2: FORBRÆNDING OG KOMPOSTERING</b> .....	<b>9</b>
<b>SCENARIUM 3: HJEMMEKOMPOSTERING I</b> .....	<b>11</b>
<b>SCENARIUM 4: HJEMMEKOMPOSTERING II</b> .....	<b>13</b>
<b>SUBSTITUTION</b> .....	<b>14</b>
KUNSTGØDNING.....	14
SPAGNUM.....	14
AFDÆKNINGSJORD .....	14
ENERGI .....	14
<b>REFERENCER</b> .....	<b>15</b>
<b>BILAG 1: SAMMENSÆTNING AF HAVEAFFALD, SORTERINGSFORSØG</b> .....	<b>17</b>
METODE.....	17
RESULTATER.....	19
<b>BILAG 2: TØRRING OG NEDBRYDNING AF HAVEAFFALD OG STØD, FULDSKALAFORSØG</b> .....	<b>21</b>
KOMPOSTERING AF HAVEAFFALD .....	21
TØRRING AF HAVEAFFALD .....	24
TØRRING AF STØD .....	25
<b>BILAG 3: EMISSIONER FRA KOMPOSTERING, LABORATORIEFORSØG OG LITTERATURVÆRDIER</b> .....	<b>26</b>
METODE.....	26
RESULTATER.....	26
<i>Metan</i> .....	26
<i>Lattergas</i> .....	26
<i>Ammoniak</i> .....	27
<i>Litteraturværdier</i> .....	27
<b>BILAG 4: TRANSPORTAFSTANDE</b> .....	<b>29</b>

## Sammenfatning

For at vurdere forskellige muligheder for håndtering af Herning Kommunes haveaffald er der opstillet fire scenarier til den efterfølgende miljøvurdering:

1. Nuværende håndtering
2. Forbrænding og kompostering
3. Hjemmekompostering I
4. Hjemmekompostering II

Disse fire scenarier beskrives i detaljer, og det vurderes hvilke data, der er nødvendige for at kunne gennemføre en grundig miljøvurdering af alternativerne.

Data omkring transport, afstande og affaldsmængder er baserede på data (årlige opgørelser, tidligere rapporter og personlig kommunikation) fra Herning Kommune samt skøn foretaget af DTU.

I de beskrevne scenarier indgår kompostering, tørring og forbrænding. For at vurdere miljøeffekterne fra disse processer var det nødvendigt at gennemføre forskellige undersøgelser. Sammensætningen af Herning Kommunes haveaffald blev undersøgt i efteråret 2004. Denne undersøgelse gav et øjebliksbillede af haveaffaldets sammensætning om efteråret. For at validere disse data og belyse variationen burde undersøgelsen gentages, eventuelt på en anden årstid.

Nedbrydningen af haveaffald under komposteringsprocessen blev undersøgt ved et fuldskala-forsøg på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg, hvor 200 ton haveaffald blev komposteret i udendørs miler med regelmæssig vending gennem 30 uger. Der blev målt mængde, tørstof og VS før og efter processen, således at nedbrydning og tørring af materialet kunne beregnes. Omkring 12% af tørstoffet blev nedbrudt under komposteringen. Der sås en vis tørringseffekt, men denne er meget afhængig af vejret op til og under nedtagningen af forsøget. Ud fra temperaturmålinger i komposten og vurdering af andelen af nedbrydelig kompost vurderes det, at yderligere nedbrydning kunne opnås ved forlængelse af komposteringsperioden. Et lignende forsøg blev udført under halvtag for at vurdere tørringseffekten af at lægge haveaffaldet i miler uden yderligere behandling (10 ton udlagt). Resultaterne fra dette forsøg indikerer, at der sker mindre nedbrydning og mere tørring end under komposteringsforsøget. Da større træødder, kaldet stød, udgør en væsentlig, men separat del af haveaffaldet, blev tørringseffekten ved oplæsning af neddelte stød i miler hhv. udendørs og under halvtag i 30 uger også målt. Resultatet viste en vægtreduktion på 16-18%, hvilket tilskrives tørring af stødene.

Luftemissioner (metan, ammoniak og lattergas) fra komposteringsprocessen blev belyst dels ved komposteringsforsøg med haveaffald fra Herning i reaktorer på den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole, dels ved sammenligning af eksisterende litteraturværdier. Emissionernes størrelse afhænger meget af de aktuelle forhold og er derfor meget variable. Der blev lavet en sammenstilling af forsøgsresultater og tilgængelige litteraturværdier indenfor området for at angive størrelsesordner på de forskellige typer af emissioner under forskellige forhold.

Alle indsamlede data er opstillet i tabeller beregnet til brug for miljøvurdering af de opstillede scenarier i pc-programmet EASEWASTE.

## Indledning

Denne datarapport indgår som et led i et projektforsøg, der har til formål at vurdere de samlede potentielle miljøpåvirkninger ved håndteringen af husholdningsaffald i Herning Kommune. I projektet opstilles en model for hele affaldssystemet i Herning Kommune, som senere er udgangspunktet for modellering af miljøpåvirkningerne i miljøvurderingsværktøjet EASEWASTE.

Rapporten indeholder først en beskrivelse af den nuværende håndtering af haveaffald i Herning Kommune. Der tages udgangspunkt i systemet, som det så i 2004. Det skal bemærkes, at ordningerne kan være ændret siden. Til brug for miljøvurderingen er der indsamlet relevante data. Det drejer sig om kortlægning af affaldsmængder, transportafstande og brændstofforbrug samt gennemførelse af analyser på haveaffald i Herning Kommune. Til projektet er gennemført en sorteringsanalyse af haveaffaldet samt analyse af den kemiske sammensætning af fem haveaffaldsfraktioner samt træstød. Tørring og nedbrydning af haveaffald og træstød i en periode på 30 uger blev ligeledes målt.

Dernæst er opstillet fire scenarier, som indgår i miljøvurderingen, inklusiv det nuværende behandlingssystem.

Til sidst i rapporten redegøres for hvorledes genanvendelse af kompost og energiudnyttelse ved forbrænding erstatter andre produkter. Godskrivning af denne nyttiggørelse er en vigtig del af miljøvurderingen.

### Note:

Efter systembeskrivelsen var færdiggjort, blev det besluttet ikke at inkludere behandlingen af træstød. Det skyldes, at det ikke lykkedes at fremskaffe tilstrækkelige data. Træstød udgør 4% af den samlede mængde haveaffald, og fraktionen optræder desuden ikke i de alternative behandlingsscenarier.

## **Dataindsamling**

### ***Eksisterende data***

En del af de data, der er nødvendige for miljøvurderingen af de fire opstillede behandlingsscenarier, var tilgængelige i form af opgørelser, tidligere rapporter eller af skøn fra ansatte i Miljøafdelingen i Herning Kommune eller på de relevante anlæg. Transportafstande blev skønnet ud fra Krak ([www.krak.dk](http://www.krak.dk)). Mange nødvendige data var dog ikke umiddelbart tilgængelige, og der blev derfor gennemført forskellige undersøgelser og forsøg for at belyse disse områder.

### ***Sammensætningen af haveaffald***

I efteråret 2004 udførtes et sorteringsforsøg på Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads, hvor 300 kg haveaffald blev sorteret i fem forskellige fraktioner. De fem fraktioner var græs og blade, plantedele, grene, træ og jord. Hver fraktion blev vejlet og analyseret for en række forskellige parametre, således at både sammensætningen af den enkelte fraktion og det gennemsnitlige haveaffald blev belyst. Da sammensætningen af haveaffald må formodes at variere meget, burde dette forsøg gentages senere, evt. på en anden årstid. Sorteringsforsøgene er nærmere beskrevet i Bilag 1.

### ***Tørring og nedbrydning af haveaffald og stød***

For at måle hvor meget haveaffald og stød nedbrydes og/eller tørres under kompostering, blev der gennem en 30 ugers periode i efteråret 2004 - foråret 2005 gennemført en række fuldskala-forsøg på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg. 200 ton haveaffald blev lagt op i en udendørs mile til kompostering. Før og efter forsøget målt mængde og tørstof, således at det kunne beregnes, hvor meget der blev nedbrudt under processen, og hvor meget materialet tørrede. Derudover blev der taget prøver til andre kemiske analyser. Et lignende forsøg blev udført med 10 ton haveaffald, der blev lagt ud i en mile under halvtag. Her skulle ligeledes måles nedbrydningsgrad og tørring. Tørring af stød blev målt på 2 gange 10 ton neddelte stød, der blev lagt i bunker hhv. udendørs og under halvtag. Nærmere beskrivelse af disse forsøg og resultaterne derfra ses i Bilag 2.

### ***Emissioner fra kompostering***

Luftemissioner (hovedsageligt metan, ammoniak og lattergas) fra kompostering af haveaffald kan variere betydeligt og er meget afhængige af de faktiske forhold. Der blev gennemført en række reaktorforsøg med kompostering af haveaffald fra Herning Kommune under forskellige forhold for at belyse dette område. Disse forsøg, resultaterne derfra samt litteraturværdier fra andre forsøg er beskrevet i Bilag 3.

## Affaldsmængder

Herning Kommune har ønsket en vurdering af håndtering af haveaffald fra private borgere. Kommunens parkaffald fra pleje af kommunens arealer er derfor ikke inkluderet i undersøgelsen.

En del haveejere komposterer selv en del eller alt deres haveaffald i egen have. Disse mængder er svære at opgøre, da de ikke registreres. I projektet "Haveaffald hører til i haven" undersøgte Herning Kommune, hvad der sker med haveaffaldet i udvalgte grundejerforeninger, boligselskaber og andelsselskaber. Resultaterne gav et overordnet indtryk af interessen for selv at behandle haveaffaldet, men der kunne ikke umiddelbart udledes tal for, hvor mange procent af det producerede haveaffald, der håndteres i haven. I denne datarapport tages derfor udgangspunkt i de mængder haveaffald, der blev afleveret af private borgere på haveaffaldspladsen ved Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads i 2004, og haveaffald, der komposteres i egen have, indgår således ikke i de angivne mængder.

Opgørelser fra Herning Kommune for besøgstal og mængder (ton) afleveret haveaffald viser, at der i 2004 blev afleveret 3440 ton haveaffald ved 32585 besøg på haveaffaldspladsen. Derudover blev der modtaget 150 ton stød fra private (Enemark Jensen, 2005). Den gennemsnitlige mængde haveaffald inkl. stød leveret per besøg beregnes således til 110 kg/besøg.

Der bor knapt 58.000 borgere i Herning Kommune fordelt på 15.988 enfamilieboliger, 9.072 etageboliger og 327 andre affaldsproducerende boliger (Persson et al., 1998). Haveaffaldsmængden i Herning Kommune kan således beregnes til 215 kg/enfamiliebolig/år, 131 kg/gennemsnitlig husstand/år eller 59 kg/indbygger/år. Dette er lidt lavere end tallene fra Danmark som helhed, hvor det i 2003 blev registreret, at der produceredes 93 kg haveaffald/indbygger·år eller 203 kg haveaffald/gennemsnitlig husstand/år ([www.affaldsinfo.dk](http://www.affaldsinfo.dk)).

## Indsamling og transport

Transporten af haveaffaldet bidrager til de samlede miljøeffekter fra affaldssystemet. Det er derfor væsentligt at estimere, hvor langt haveaffaldet transporteres af henholdsvis borgerne og kommunen. Desuden afhænger emissionerne fra transporten også af typen af køretøjer. Nedenfor opsummeres data for indsamling og transport, og der henvises i øvrigt til bilagsrapport 5.

Den gennemsnitlige afstand til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads for borgerne i Herning er estimeret vha. Krak ([www.krak.dk](http://www.krak.dk)) ud fra antal boliger i de enkelte områder i Herning Kommune og afstanden derfra og til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads, se Bilag 4. Den gennemsnitlige afstand blev beregnet til 6,3 km. Da borgerne også kører tilbage og det antages, at aflevering af haveaffald normalt ikke kombineres med andre gøremål, skal der regnes med 2·6,3 km transport. Til gengæld indregnes ingen ekstra kørsel for afhentning af færdig kompost fra pladsen, da dette antages at ske ved returkørslen. Under antagelse af, at der afleveres 106 kg haveaffald pr. besøg, er brændstofforbruget estimeret til 12,5 liter benzin pr. ton haveaffald.

Afstanden fra Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads til Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg er 15,6 km ([www.krak.dk](http://www.krak.dk)). Også her regnes med tom returkørsel, undtaget i de tilfælde, hvor den færdige kompost tages med tilbage til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads. Derfor indregnes 2·15,6 km for transport af haveaffald til Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg og 0 km for transport af færdig kompost, da der transporteres langt færre læs færdig kompost end haveaffald. Transporten antages at foregå med en mindre lastbil, hvor dieselforbruget er 0,06 liter/(ton·km).

Afstanden mellem Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg og Knudmoseværket er 16,8 km ([www.krak.dk](http://www.krak.dk)). Denne afstand er relevant for transport af neddelte stød til forbrænding og for scenarierne, der indbefatter forbrænding af dele af haveaffaldet. Også her regnes med tom returkørsel, altså i alt 2·16,8 km. Også denne transport antages at foregå med en mindre lastbil med et dieselforbrug på 0,06 liter/(ton·km).



## Scenarium 1: Nuværende behandling

Borgerne kan aflevere haveaffald på haveaffaldspladsen ved Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads og på Grøn Plads i Sunds. Haveaffald fra Sunds transporteres efterfølgende med lastbil til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads, hvor alt haveaffald neddeles, inden det køres til kompostering på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg. Reelt bliver ca. 1/3 af haveaffaldet afleveret i Sunds, men det er i dette scenarium valgt at foretage modelleringen som om, alt haveaffald køres direkte til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads. Det skyldes, dels at der ikke er tilstrækkelige data for transportmønstret ved aflevering af haveaffald i Sunds, og dels at det måske ikke er realistisk at holde pladsen i Sunds åben i de fremtidige scenarier. Dette vurderes at give en usikkerhed i estimeringen af brændstofforbruget til transport af haveaffald på 20%. Betydningen heraf undersøges i en følsomhedsanalyse.

På Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg komposteres haveaffaldet i udendørs miler i omkring 20 uger. Under komposteringen vendes milerne jævnlige, omkring 1 gang om ugen (Rambøll, 2004). Efter kompostering soldes komposten, hvilket resulterer i en kompostfraktion og en restfraktion. Lastvognene, der afleverer haveaffald på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg, tager en lille del af komposten med retur til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads, hvor det sælges til private. Denne del udgør omkring 500 t/år (Enemark Jensen, 2004). Den resterende del af komposten anvendes til afdækningsjord på det tilstødende deponeringsanlæg (Thamdrup, 2005). Restfraktionen fra soldning efter kompostering består hovedsageligt af sten og andet ikke-komposterbart materiale, fx plast. Resten kan anvendes som strukturmateriale i komposteringsprocessen, men størstedelen bliver indtil videre oplagret med henblik på yderligere sortering af sten til genanvendelse som fyldmateriale (Thude, 2005). Tørstofindhold i det indsamlede haveaffald og slutprodukterne findes i Bilag 2. Tabel 1 indeholder data til miljøvurdering af den nuværende behandling af haveaffald i Herning Kommune.

**Tabel 1: Data for Scenarium 1, den nuværende håndtering af haveaffald i Herning Kommune.**

Haveaffald		Kilde
Mængde i 2004	3440 t/år	(Enemark Jensen, 2005)
<b>Energiforbrug</b>		
Neddeling	0,87 l/t	(Rambøll, 2004)
Komposteringsproces	2,74 l/t	(Rambøll, 2004)
Soldning	0,47 l/t	(Rambøll, 2004)
<b>Slutprodukter</b>		
Kompost	2155 t/år	Beregnet ud fra fordelinger i forsøg, Bilag 2
Restfraktion fra soldning	824 t/år	Beregnet ud fra fordelinger i forsøg, Bilag 2
<b>Transport</b>		
Private, bringe	2 · 6,3 km - 12,5 liter/ton	Estimat, Bilag 4
Private, mængde per tur	106 kg/tur	(Enemark Jensen, 2005)
Nederkærgård til Østdeponi	2 · 15,6 km - 0,06 liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
Privat afhentning af færdig kompost	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Nederkærgård	0 km	Returkørsel
<b>Substitution</b>	Private haver: 70% spagnum, 30% kunstgødning Afdækning: Ingenting	
<b>Processer medtaget i EASEWASTE</b>	Kompostering (miljøpåvirkninger fra processen, se data i bilag 1-3)	

Slutprodukternes vægt er beregnet ud fra resultaterne i fuldskala-forsøgene beskrevet i Bilag 2. Det er antaget, at der under komposteringsprocessen sker samme vægtreduktion som i forsøget, og at fordelingen mellem de to slutprodukter er identisk med den målte.

De indsamlede stød transporteres på nuværende tidspunkt (forår 2005) til haveaffaldspladsen i Skærbæk, hvor de neddeles, soldes og komposteres (tørres). Skærbæk-pladsen lukkes dog i juli 2005, og stødene vil herefter blive kørt til Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg, hvor de behandles på tilsvarende måde. Herefter sælges de til forbrændingsanlæg, hvor de anvendes til optænding efter nedlukning og dermed substituerer olie eller gas (Thude, 2005). Tørstofindhold før og efter tørring er vurderet i Bilag 2. Tabel 2 indeholder data til miljøvurdering af håndtering af stød i Herning Kommune.

**Tabel 2: Data for behandling af stød i Herning Kommune**

<b>Stød</b>		<b>Kilde</b>
Mængde	150 t/år	(Enemark Jensen, 2005)
<b>Energiforbrug</b>		
Neddeling	0,87 l/t	(Rambøll, 2004)
Soldning	0,47 l/t	(Rambøll, 2004)
<b>Slutprodukt</b>		
Tørrede stød	125 t/år	Vurderet ud fra Bilag 2
<b>Transport</b>		
Nederkærgård til Østdeponi	2 · 15,6 km - 0,06 liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
Østdeponi til Knudmoseværket	2 · 16,8 km - 0,06 liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
<b>Substitution</b>	Olie til opstart af forbrændingsanlæg	(Thude, 2005)
<b>Processer medtaget i EASEWASTE</b>	Forbrænding	

## Scenarium 2: Forbrænding og kompostering

I dette scenarium antages, at borgene afleverer haveaffald på haveaffaldspladsen ved Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads, hvor det neddeles og soldes. Den grove fraktion, der hovedsageligt indeholder grene, træ og større plantedele (1175 ton), køres til forbrænding (enten på affaldsforbrændingsanlæg eller biomasseforbrændingsanlæg), mens den resterende del bestående af græs og blade, jord og sten samt mindre plantedele (2265 ton) køres til Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg, hvor det komposteres<sup>1</sup>. Dette scenarium vil medføre mindre mængder haveaffald til kompostering og øget energiproduktion fra forbrænding.

Det antages, at komposten afsættes til samme formål som i Scenarium 1. Tabel 3 indeholder data til miljøvurdering af Scenarium 2.

De indsamlede stød behandles som i Scenarium 1.

**Tabel 3: Data for Scenarium 2, forbrænding og kompostering af haveaffald i Herning Kommune.**

Haveaffald		Kilde
Mængde total (2004)	3440 t/år	(Enemark Jensen, 2005)
Mængde til forbrænding	1175 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1
Mængde til kompostering	2265 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1
<b>Energiforbrug</b>		
Neddeling	0,87 l/t	(Rambøll, 2004)
Soldning	0,47 l/t	(Rambøll, 2004)
Komposteringsproces	2,74 l/t	(Rambøll, 2004)
<b>Slutprodukter</b>		
Kompostfraktion	1417 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
Restfraktion fra soldning	542 t/år	
<b>Transport</b>		
Private, bringe	2 · 6,3 km - 12,5 liter/ton	Estimat, Bilag 4
Private, mængde per tur	106 kg/tur	(Enemark Jensen, 2005)
Nederkærgård til Østdeponi	2 · 15,6 km – 0,06liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
Privat afhentning af færdig kompost	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Nederkærgård	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Knudmoseværket	2 · 16,8 km – 0,06liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
<b>Substitution</b>	Private haver: 70% spagnum, 30% kunstgødning Afdækning: ingenting Forbrænding: Energiproduktion	
<b>Processer medtaget i EASEWASTE</b>	Kompostering (miljøpåvirkninger fra processen, se data i bilag 1-3) Forbrænding	

Mængden af haveaffaldsfraktioner til forbrænding er vurderet ud fra den totale mængde og forholdet mellem de forskellige fraktioner af haveaffald (sammensætning som i Bilag 1 antages). Den resterende mængde går til kompostering. Sammensætningen af denne mængde er anderledes

<sup>1</sup>I EASEWASTE skal denne fordeling behandles som en forbehandling

end i fuldskala-forsøget i Bilag 2. På vådvægtbasis består fraktionen til kompostering af 38% græs og blade, 33% plantedele og 29% jord og sten. Ud fra tørstofindholdet af de tre fraktioner (Tabel B1.1 i Bilag 1) er tørstofindholdet af den rå kompost beregnet til 51% (998 ton tørstof til kompostering). Det antages, at den nedbrydning, der sås i fuldskala-forsøget i Bilag 2 hovedsageligt sker i de fraktioner, der her komposteres, og ikke i de fraktioner, der ender i restfraktionen fra soldning, som hovedsageligt består af grene og træ.

Fordelingen af kompost og restfraktion antages at være den samme som i bilag 2, dvs. 72% kompost og 28% restfraktion. Dette giver 1417 ton kompost og 542 ton rest.

### Scenarium 3: Hjemmekompostering I

Det antages, at 50% af ”småt og vådt” haveaffald komposteres i private haver. Denne fraktion udgøres af græs og blade, plantedele samt jord og sten (1307 ton). Det resterende haveaffald vil behandles som i Scenarium 1 (den nuværende løsning)<sup>2</sup>. Denne løsning vil medføre mindre kørsel, ændrede emissioner fra behandling af haveaffaldet og to kompostfraktioner i stedet for en.

Borgernes anvendelse af centralt produceret kompost antages at være 500 t/år som i Scenarium 1, selvom de også producerer deres egen kompost (1108 t/år). Hermed antages det, at anvendelsen af kompost i private haver vil stige. Reelt vides det dog ikke, om efterspørgslen på centralt produceret kompost vil falde som følge af, at behovet dækkes ved hjemmekompostering, eller stige som følge af øget fokus på brug af kompost (Thamdrup, 2005). Den kompost, der ikke kan afsættes til private, vil fortsat blive anvendt som afdækningsjord på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg. Tabel 4 indeholder data til miljøvurdering af Scenarium 3.

De indsamlede stød behandles som i Scenarium 1.

**Tabel 4: Data for Scenarium 3, hjemmekompostering (I) af haveaffald i Herning Kommune.**

Haveaffald		Kilde
Mængde total (2004)	3440 t/år	(Enemark Jensen, 2005)
Mængde til hjemmekompostering	1307 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1 og (Enemark Jensen, 2005)
Mængde leveret til Nederkærgård	2133 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1 og (Enemark Jensen, 2005)
<b>Energiforbrug</b>		
Neddeling	0,87 l/t	(Rambøll, 2004)
Soldning	0,47 l/t	(Rambøll, 2004)
Komposteringsproces	2,74 l/t	(Rambøll, 2004)
<b>Slutprodukter</b>		
Kompostfraktion fra hjemmekompostering	1108 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
Kompostfraktion fra kompostering	1336 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
Grov fraktion efter soldning	511 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
<b>Transport</b>		
Private, bringe	2 · 6,3 km – 12,5 liter/ton	Estimat, Bilag 4
Private, mængde per tur	106 kg/tur	(Enemark Jensen, 2005)
Nederkærgård til Østdeponi	2 · 15,6 km – 0,06 liter/(ton-km)	Krak (www.krak.dk)
Privat afhentning af færdig kompost	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Nederkærgård	0 km	Returkørsel
<b>Substitution</b>	Private haver: 70% spagnum, 30% kunstgødning Afdækning: ingenting	
<b>Processer medtaget i EASEWASTE</b>	Kompostering (miljøpåvirkninger fra processen, se data i bilag 1-3)	

Hjemmekompostmaterialet har følgende sammensætning, skønnet ud fra de opstillede forudsætninger og sammensætningen i Bilag 1: 33% græs og blade, 29% plantedele og 38% jord og sten (vådvægtbasis). Det antages, at nedbrydningsfaktoren på 12% af TS (bilag 2) gælder for både hjemmekompostering og centralkompostering. Baseret på tørstofprocenterne angivet i Tabel B1.1 i

<sup>2</sup> I EASEWASTE skal denne opdeling håndteres som en forbehandling

Bilag 1 giver denne sammensætning en overordnet tørstofprocent på 53% (svarende til 604 ton tørstof). Det samlede output fra hjemmekompostering bliver således 1108 ton færdig kompost.

Sammensætningen af haveaffaldet afleveret til haveaffaldspladsen skønnes at have en anderledes sammensætning pga. den selektive udtagning til hjemmekompostering. De 2133 ton vurderes at have følgende sammensætning (vådvægtsbasis): 20% græs og blade, 18% plantedele, 19% grene, 19% træ og 23% jord og sten. Det antages, at 80% af nedbrydningen af TS sker i de fine fraktioner, mens de resterende 20% sker i grov fraktioner. Der sker ingen nedbrydning af jord-fraktionen. Outputet fra den centrale kompostering er beregnet til 1847 ton (55% TS), hvilket også fremgår af bilag 2. Den færdige kompost efter soldning udgør 1336 ton, da det antages, at soldningsresten er 28%, jf komposteringsforsøget.

## Scenarium 4: Hjemmekompostering II

Det antages, at 50% af ”småt og vådt” haveaffald komposteres i private haver. Denne fraktion, i alt 1307 ton, udgøres af græs og blade, blomster, plantedele og grønne grene samt jord og sten (se Bilag 1). Det resterende haveaffald vil behandles som i Scenarium 2 (forbrænding og kompostering)<sup>3</sup>. Det antages, at restfraktionen fra soldning vil udgøres af grene og træ samt ca. en trediedel af de indleverede plantedele (973 ton), som går til forbrænding. Den resterende mængde af de i alt 3440 ton haveaffald går til kompostering på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg (1133 ton). Det antages, at halvdelen af jordfraktionen går til hjemmekompostering, mens 35% henholdsvis 65% af den resterende halvdel går til forbrænding henholdsvis central kompostering.

Løsningen i dette scenarier vil medføre mindre kørsel, ændrede emissioner fra behandling af haveaffaldet, øget energiproduktion fra forbrænding samt to kompostfraktioner.

Mængden af centralt produceret kompost, der afsættes til private borgere, antages at være 500 t/år med de samme forudsætninger som i Scenarium 3. Tabel 5 indeholder data til miljøvurdering af Scenarium 4.

De indsamlede stød behandles som i Scenarium 1.

**Tabel 5: Data for Scenarium 4, hjemmekompostering (II) af haveaffald i Herning Kommune.**

Haveaffald		Kilde
Mængde total (2004)	3440 t/år	(Enemark Jensen, 2005)
Mængde til hjemmekompostering	1307 t/år	
Mængde til forbrænding	973 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1
Mængde til kompostering	1133 t/år	Skønnet ud fra Bilag 1
<b>Energiforbrug</b>		
Neddeling	0,87 l/t	(Rambøll, 2004)
Soldning	0,47 l/t	(Rambøll, 2004)
Komposteringsproces	2,74 l/t	(Rambøll, 2004)
<b>Slutprodukter</b>		
Kompostfraktion fra hjemmekompostering	1108 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
Kompostfraktion fra kompostering	718 t/år	Beregnet ud fra Bilag 1 og Bilag 2
Soldningsrest	274 t/år	
<b>Transport</b>		
Private, bringe	2 · 6,3 km – 12,5 liter/ton	Estimat, Bilag 4
Private, mængde per tur	106 kg/tur	(Enemark Jensen, 2005)
Nederkærgård til Østdeponi	2 · 15,6 km – 0,06 liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
Privat afhentning af færdig kompost	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Nederkærgård	0 km	Returkørsel
Østdeponi til Knudmoseværket	2 · 16,8 km – 0,06 liter/(ton·km)	Krak (www.krak.dk)
<b>Substitution</b>	Private haver: 70% spagnum, 30% kunstgødning Afdækning: ingenting Forbrænding: Energiproduktion	
<b>Processer medtaget i EASEWASTE</b>	Kompostering (miljøpåvirkninger fra processen, se data i bilag 1-3) Forbrænding	

<sup>3</sup> I EASEWASTE skal denne opdeling håndteres som en forbehandling

## **Substitution**

Substitution foretages, når der under affaldsbehandlingen produceres et produkt, der kan erstatte et allerede eksisterende produkt, således at fremstillingen af dette produkt kan "spares". De miljømæssige gevinster ved denne besparelse skal godskrives affaldsbehandlingssystemet.

De anvendelsesmuligheder for kompost, der betragtes her, er som substitution for kunstgødning, spagnum og afdækningsjord.

Ved forbrænding af haveaffald erstattes andre brændsler, hvilket afhænger af det konkrete anlæg.

## **Kunstgødning**

Anvendelse af kompost kan i nogen grad erstatte brugen af kunstgødning. Feltforsøg har vist, at næringsstofferne N, P og K i kompost maksimalt kan udnyttes henholdsvis 30%, 100% og 100% i forhold til samme mængde næringsstoffer tilsat som kunstgødning (Miljøstyrelsen, 1993).

Derudover skal det i den enkelte sag vurderes, om der rent faktisk erstattes kunstgødning, eller om der under andre omstændigheder ikke ville være blevet tilført kunstgødning, og der derfor er tale om en ekstra tilførsel af gødning. Der foreligger imidlertid ingen undersøgelser af borgernes vaner i forbindelse med brug af kunstgødning.

Det antages, at 30% af den anvendte kompost i private haver erstatter kunstgødning, mens andre erstatter spagnum.

## **Spagnum**

Kompost kan ved nogle anvendelser erstatte brug af spagnum, som er delvist baseret på tørv. Tørv kan betragtes som en fossil ressource, fordi det er relativt gammelt, lagret organisk materiale. Da det nedbrydes i løbet af en årrække ved anvendelse i spagnum, vil der således frigives fossilt kuldioxid, hvilket bidrager til øget drivhuseffekt.

Kompost kan helt eller delvist erstatte anvendelsen af tørv. I nogle tilfælde (specielt hvis tørv og kompost har lignende densiteter) kan kompost substituere tørv på basis af masse (Ozores-Hampton et al., 1999), mens i de fleste vil substitutionen ske på volumenbasis (Mathur et al., 1996) (Grehan et al., 1996). Det antages, at densiteten af spagnum er 277 kg/m<sup>3</sup> og densiteten af kompost er 500 kg/m<sup>3</sup>. Ved substitution på volumenbasis erstatter 1 ton kompost således 554 kg spagnum.

## **Afdækningsjord**

Når komposten anvendes til afdækningsjord på Østdeponis deponeringsanlæg, antages det, at der ikke sker nogen substitution. Reelt kan komposten substituere anden jord fra udgravninger og lignende, men dette er vanskeligt at kvantificere og formodes desuden ikke at have miljøeffekter af væsentlig betydning. Desuden er der ingen fast grænse for hvor meget kompost, der må anvendes til slutafdækning, og derfor kan overskydende kompost blot anvendes her. En fordel ved anvendelse af kompost som afdækning er sandsynligvis nedbrydning af gasarter fra deponiet, men denne effekt har ikke kunnet kvantificeres i miljøvurderingen.

## **Energi**

I de scenarier, hvor der indgår forbrænding af en del af haveaffaldet, modelleres forbrændingsprocessen på Herning Kommunes forbrændingsanlægget, Knudmoseværket. Værket producerer varme, der leveres til byens fjernvarmenet. Det vil erstatte produktion af varme på det nærliggende kraftværk, hvor der fyres med biomasse og naturgas. Nærmere beskrivelse af forbrændingsanlægget og energisubstitution er beskrevet i bilagsrapport 1 om dagrenovation.



## Referencer

- Amlinger, Florian. 2002. Umweltrelevanz Der Hausgartenkompostierung - Klimarelevante gasemissionen, flüssige emissionen, massenbilanz, hygienisierungsleistung, Marts 2002
- Ballesterio, T.P., Douglas E.M. 1996. Comparison between the nitrogen fluxes from composting farm wastes and composting yard wastes, Transaction of the ASAE general edition, 1996, Vol. 39, Nr. 5: 1709-1715
- Beck-Friis, B.G., M. Pell, U. Sonesson, H. Jönsson and H. Kirchmann. 2000. Formation and emission of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from compost heaps of organic household waste. Environmental Monitoring and assessment. 62: 317-331.
- Boldrin, A. 2005. Environmental assessment of a garden waste management. The Herning case. Master Thesis, Technical University of Denmark, Environment & Resources DTU.
- Clemens J., Cuhls C. 2002. Greenhouse gas emissions from mechanical and biological treatment of municipal waste, Environmental Technology, 2003, Vol. 24: 745-754
- Czepiel, P., E. Douglas, R. Harriss and P. Crill. 1996. Measurements of N<sub>2</sub>O from composted organic waste. Environmental Science & Technology. 30: 2519-2525.
- Enemark Jensen, Jan. 2005. Miljøafdelingen. Genbrug og Affald. Herning Kommune. Personlig samtale.
- Grehan D.M., Dodd V.A., Dennison G.J. 1996. An experimental assessment of greenwaste compost for horticultural applications, Journal of Solid Waste Technology and Management, vol. 23, no. 1, February 1996.
- Hellebrand, H.J. 1998. Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. Journal of Agricultural Engineering Research. 69: 365-375.
- Hellebrand, H.J., Kalk, W.-D. 2001. Emission of Carbon Monoxide during Composting of Dung and Green Waste. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2001, 60: 79-82.
- Herning Kommune.1998: Antal haveboliger i forskellige områder af Herning. Opgørelse.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste.
- Komilis, D.P., Ham, R.K. 1996. Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste. Waste Management, 2006, 26: 62-70.
- Liang Y., Leonard J.J., Feddes J.J.R., McGill W.B. 2006. Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting, Bioresource Technology 97 (2006): 748-761
- Miljøstyrelsen 1993: Jordbrugsmæssig værdi af produkter fra organisk dagrenovation, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, Nr. 64.

- Møller, Jacob. 2005. Institut for Jordbrugsvidenskab, Kongelig Veterinær- og Landbohøjskole. Personlig Kommunikation.
- Ozores-Hampton M., Vavrina C.S., Obreza T.A. 1999. Yard Trimming-Biosolids compost: Possible Alternative to Sphagnum Peat Moss in Tomato Transplant Production, Compost Science & Utilization, vol. 7 no. 4: 42-49, 1999
- Persson, B., S. Guldager, U. Reeh og M. B. Jensen. 1999. Økologiske muligheder i byens grønne struktur – tværfagligt samarbejde om biodiversitet, organisk affald og regnvand i Herning Kommune. Park- og Landskabsserien nr. 26. Forskningscenter for Skov & Landskab, Hørsholm.
- Pitschke, T., U. Roth, S. Hottenroth and W. Rommel. 2004. Ökoeffizienz von öffentlichen Entsorgungsstrukturen. BifA-Text Nr. 30, ISSN: 0944-5935, Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und technik GmbH (BifA), Germany
- Rambøll. 2004. Herning Kommune. Miljøafdelingen. Forprojekt for kompostering af haveparkaffald samt afsætning af kompost.
- Rambøll. 2005. CompSoil ApS. Emission af ammoniak og lugt med spredning i omgivelserne.
- Saft R.J., Van Ewijk H.A.L. 2004. Dutch LCA experiences with Biowaste Management, Status Paper, IVAM, 2004
- Sonesson, U. 1996. Modelling of the compost and transport process in the orware simulation model. Report 214, Department of Agricultural Sciences, Swedish University of agricultural sciences, Uppsala
- Thamdrup, Inger. 2005. Teknik og Miljø. Miljøafdelingen. Herning Kommune. Personlig samtale.
- Thude, Mogens, 2005. Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg. Herning Kommune. Personlig samtale.
- www.affaldsinfo.dk. 2005. Status for haveaffald, lokaliseret på <http://www.affaldsinfo.dk/default.asp?side=132&side2=2898>.
- www.krak.dk. Beregning af afstande på ruteplan, lokaliseret på [http://www.krak.dk/GRIDS/MAINPAGES/route.asp?Tagning=1.Fir\\_Fors/FA\\_RutP](http://www.krak.dk/GRIDS/MAINPAGES/route.asp?Tagning=1.Fir_Fors/FA_RutP).

## Bilag 1: Sammensætning af haveaffald, sorteringsforsøg

Sammensætningen af haveaffald fra private borgere formodes at variere betydeligt, både mellem årstider og mellem forskellige geografiske områder. Sammensætningen af haveaffaldet i Herning blev undersøgt ved en sorteringsundersøgelse i efteråret 2004. Denne undersøgelse repræsenterer et øjebliksbillede af sammensætningen af haveaffald i Herning om efteråret. Undersøgelsen bør derfor gentages på et senere tidspunkt, eventuelt på en anden årstid, for at belyse variationer i sammensætningen.

### Metode

Private borgere i Herning kan aflevere haveaffald på pladsen på Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads. Den mest friske bunke, der var indsamlet inden for 2-3 dage, blev udvalgt til prøvetagning. Bunken havde en størrelse på ca. 3x3x40 m. Her blev udtaget omkring 30 kg 10 forskellige tilfældige steder i bunken. Repræsentativ prøvetagning blev vanskeliggjort af et meget inhomogent materiale, der bl.a. indeholdt meterlange grene, store jordknohle ol. Derfor var mange stik forskellige steder i bunken nødvendige for at sikre, at den indsamlede prøve indeholdt et repræsentativt udsnit af haveaffaldet i den undersøgte bunke.

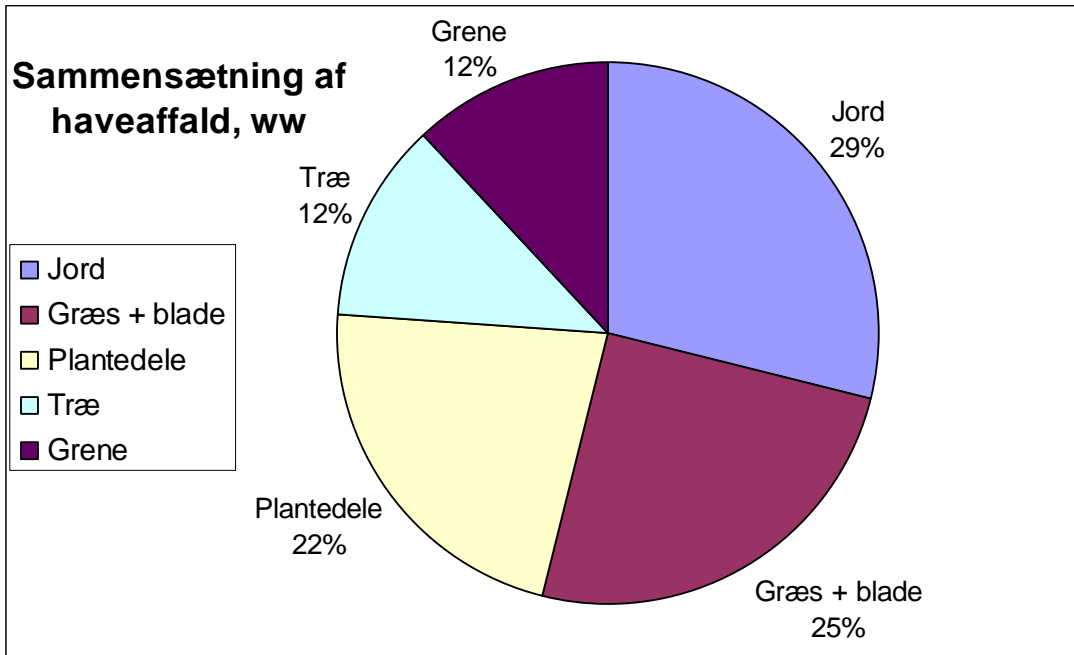
De omkring 300 kg udtagne prøver af haveaffald blev sorteret i fem fraktioner:

1. Græs (inklusiv græstørv) og blade
2. Plantedele (blomster, plantedele og grønne grene)
3. Grene
4. Træ
5. Sten og jord

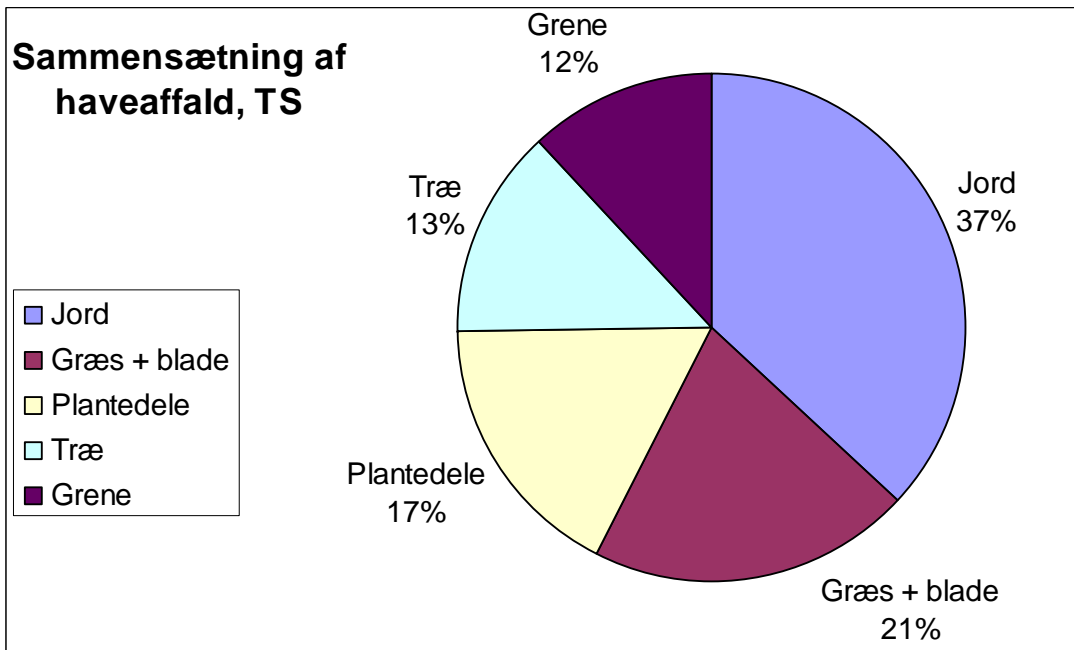
Græs og plantedele blev rystet fri for jord i det omfang det var muligt, men de blev ikke helt fri for jord. Gren-fraktionen indeholdte grene, der kunne klippes over med en grensaks, mens større grene kom i træ-fraktionen.

Hver fraktion blev vejlet og neddelt, før der blev udtaget prøver til analyse. Figur B1.1 viser fordelingen mellem de fem fraktioner på vådvægtsbasis. Det skal bemærkes, at den viste fordeling er justeret en smule i forhold til resultatet af den oprindelige sorteringsanalyse. Ved modellering af komposteringsprocessen i EASEWASTE var der uoverensstemmelse mellem den målte og den modellerede kompostsammensætning. Derfor er inputmaterialets sammensætning justeret for at reducere denne uoverensstemmelse. Justeringen er størst for jord, som er justeret op fra 24% til 29%.

Figur B1.2 viser fordelingen mellem de fem fraktioner på tørstofbasis. Forskellen mellem de to figurer skyldes, at tørstofindholdet varierer mellem de forskellige fraktioner, se tabel B1.1. Denne fordeling er ligeledes justeret i forhold til modelleringen af komposteringsprocessen.



Figur B1.1: Sammensætning af haveaffald fra Herning (vådvægtsbasis), efterår 2004



Figur B1.2: Sammensætning af haveaffald fra Herning (tørstofbasis), efterår 2004

Prøver fra hver af de fem fraktioner blev tørret og analyseret for organisk stof (VS), aske, brændværdi, næringsstofferne N, P og K, tungmetaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) samt elementerne C, Ca, Cl, H, Na, O og S.

Indholdet af organisk stof (VS) er væsentligt både i forbindelse med kompostering og forbrænding, da det er denne del af materialet, der kan nedbrydes eller forbrændes. Den resterende del af materialet består af aske, som ikke ændres ved de nævnte behandlingsformer. Brændværdien er væsentlig i forhold til den energimængde, der kan opnås ved forbrænding af affaldet, og næringsstofindholdet viser hvor stor gødningsværdi, der er i affaldet. Størstedelen af disse næringsstoffer vil være at finde i komposten. For kvælstofs vedkommende kan der dog ske et tab i løbet af komposteringsprocessen. Det er nødvendigt at kende indholdet af tungmetaller i affaldet for at vurdere, om materialet er velegnet til jordbrugsformål, enten i landbruget, i kommunens parker og lignende eller i private haver. De viste tungmetaller indgår alle i Slambekendtgørelsen, og der kan derfor sammenlignes med de grænseværdier, der er fastsat i denne. De øvrige målte elementer kan være relevante i andre sammenhænge, fx ved modulering af forbrænding af haveaffald.

## Resultater

Tabel B1.1 viser den kemiske sammensætning af de fem analyserede haveaffaldsfraktioner samt et beregnet gennemsnit vægtes i forhold til hver fraktions andel af den totale mængde (TS).

**Tabel B1.1: Sammensætning af de fem fraktioner af haveaffald fra Herning indsamlet og analyseret i efteråret 2004.**

		Græs og blade	Plantedele	Grene	Træ	Sten og jord	Total sammensætning
Vådvægt fordeling		23,8	22,3	14,7	14,7	24,5	
Tørstof fordeling		19,8	17,6	14,9	16,2	31,5	
TS	%	44	41	53	58	68	55
VS	% af TS	45	40	93	95	9	48
Aske	% af TS	55	60	7	5	91	52
Brændværdi	MJ/kg TS	8,98	6,10	17,86	17,46	1,02	8,7
N	% af TS	1,2	0,6	1,0	0,2	0,3	0,6
P	% af TS	0,18	0,09	0,12	0,04	0,08	0,1
K	% af TS	1,25	1,03	0,55	0,2	0,98	0,9
As	mg/kg TS	2,0	1,42	0,19	0,29	2,28	1,4
Cd	mg/kg TS	0,19	0,18	0,26	0,1	0,2	0,2
Cr	mg/kg TS	16,5	16,8	5,49	3,02	33,4	18,1
Cu	mg/kg TS	10,5	5,23	4,98	2,32	12,9	8,2
Hg	mg/kg TS	0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,07	0,04*
Ni	mg/kg TS	2,13	2,13	0,98	0,69	2,55	1,9
Pb	mg/kg TS	6,26	3,52	1,09	1,82	11,9	6,1
Zn	mg/kg TS	66,1	20,6	126	13,1	28,6	46,6
C	% af TS	24,4	18,5	49	48,3	4,9	24,8
Ca	% af TS	0,86	0,84	1,42	0,25	0,43	0,7
Cl	% af TS	0,14	0,13	0,08	0,03	0,03	0,08
H	% af TS	3,1	2,5	5,9	6	0,7	3,1
Na	% af TS	0,17	0,24	0,05	0,05	0,36	0,21
O	% af TS	16,5	18,0	37,3	40,4	3,0	19,5
S	% af TS	0,11	0,08	0,07	0,02	0,04	0,06

\*)Maximalt indhold beregnet ud fra antagelse om at kviksolvindholdet i grene og træ var 0,02 mg/kg TS.

Indholdet af organisk stof (VS-indholdet) varierede stærk mellem de fem fraktioner. Det relativt lave VS-indhold i græs og plantedele skyldtes, at disse fraktioner indeholdt en vis mængde jord på rødder og lignende. Grene og træ indeholdt som ventet stort set kun organisk stof, mens jord og sten fraktionen hovedsageligt bestod af uorganisk materiale. Som følge heraf var brændværdien (på tørstofbasis) højest for grene og træ, lavere for græs og plantedele og lavest for jord og sten. Den gennemsnitlige brændværdi er relativt lav (8,7 MJ/kg TS i modsætning til omkring 20 for organisk

madaffald) pga. det høje aske indhold i haveaffaldet fra jord og sten fraktionen samt jord på rødder og lignende for græs og blade samt plantedele.

Indholdet af næringsstoffer varierede ligeledes mellem de enkelte fraktioner. En del af disse næringsstoffer vil kunne genfindes i den færdige kompost og dermed have betydning for gødningsværdien af produktet. Det vil derfor være relevant at kende størrelsesordenen for indhold af næringsstoffer i de forskellige fraktioner af haveaffald, hvis det skal overvejes at sortere nogle fraktioner fra.

Indholdet af tungmetaller i de forskellige fraktioner overholder slambekendtgørelsens tørstofrelaterede grænseværdier for tungmetaller i affald til jordbrugsformål, se Tabel B1.2.

**Tabel B1.2: Slambekendtgørelsens tørstofrelaterede grænseværdier for tungmetaller i affald beregnet til jordbrugsformål.**

	mg/kg TS
Arsen	25*
Bly	120 (60*)
Cadmium	0,8
Krom	100
Kobber	1000
Kviksølv	0,8
Nikkel	30
Zink	4000

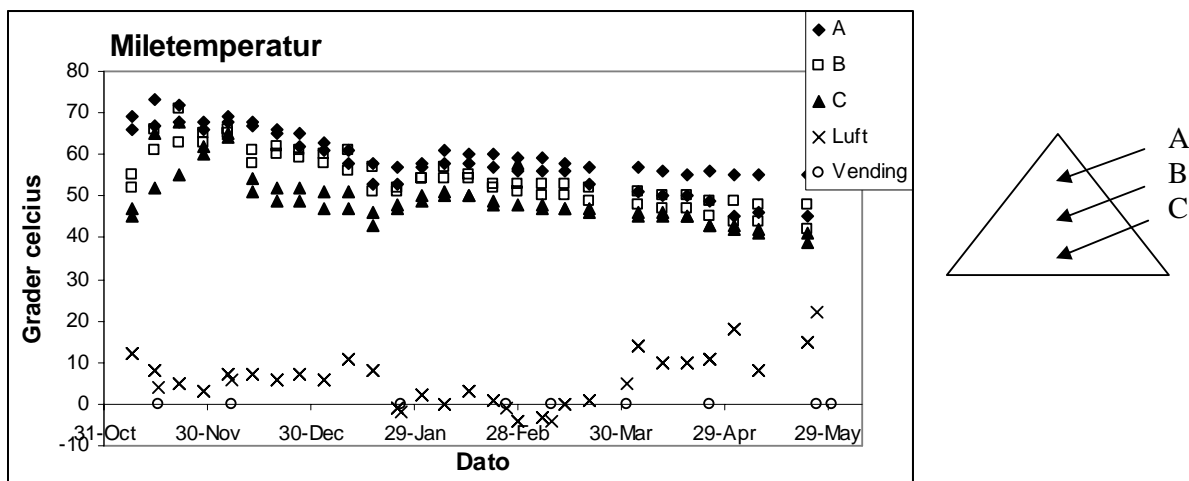
\*)Værdier for privat havebrug

## Bilag 2: Tørring og nedbrydning af haveaffald og stød, fuldskalaforsøg

Scenarierne i den beskrevne miljøvurdering indeholder alle enten tørring eller kompostering af alt eller dele af haveaffaldet fra private. Derfor blev der gennemført et forsøg for at vise, hvor meget haveaffaldet nedbrydes under en standard komposteringsproces, hvor milerne lægges op udendørs, vendes jævnligt gennem ca. 20 uger og derefter soldes til kompost og en restfraktion bestående af grene, sten og lidt plast. Forsøget bestod af tre delforsøg, som beskrives i det følgende.

### Kompostering af haveaffald

Godt 200 ton haveaffald blev lagt op i en udendørs mile på Østdeponi Affaldsbehandlingsanlæg. Inden oplægningen blev der udtaget prøver til bestemmelse af tørstofindhold og VS. Der blev udtaget ca. 20 kg 10 tilfældige steder i bunken. Milerne blev lagt op i efteråret (oktober), og det blev derfor vurderet, at de skulle ligge minimum 20 uger, da omsætningen er mindre i den koldeste del af året. Mile blev vendt jævnligt, ligesom temperaturen blev fulgt gennem procesperioden. Temperaturkurven kan ses på Figur B2.1.



Figur B2.1: Temperaturforløb i kompostmilen. Mile var ca. 4 meter høj og 6 meter bred.

Som figuren viser, er der målt tre steder i kompostmilen. De højeste temperaturer blev fundet i de øverste lag af mile gennem hele forsøget. Det ses af figuren, at der skete en temperaturstigning i starten af forsøget, mens processen kom i gang, hvorefter der skete et langsomt fald gennem hele perioden. Nogen steder er der tendens til temperaturstigning efter vending pga. øget aktivitet, men dette er ikke konsekvent for alle vendinger. Ved forsøgets afslutning er temperaturen stadig meget høj, og det må derfor antages, at der kunne opnås yderligere nedbrydning ved at forlænge komposteringen.

Efter 20 uger, kunne forsøget ikke afsluttes, da der lå sne på mile. Forsøget blev derfor først afsluttet efter 30 uger, hvor materialet i mile blev sorteret med sold, resulterende i en kompostfraktion og en restfraktion. Der blev udtaget prøver til bestemmelse af tørstof og VS fra begge fraktioner. I alt blev der udtaget 20-30 skovlfulde af hver fraktion kontinuert under sigtningen for at opnå repræsentative prøver.

Ud fra disse oplysninger kan det beregnes, hvor stor en del af tørstoffet i det udlagte haveaffald, der er nedbrudt under komposteringsprocessen. Resultaterne ses af Tabel B2.1.

**Tabel B2.1: Nedbrydning og tørring af haveaffald ved kompostering (30 uger)**

<i>Før kompostering</i>	
Total vægt (kg)	200250
Tørstof indhold (%)	58
Tørstof udlagt (kg)	116486
<i>Efter kompostering</i>	
<i>Kompost</i>	
Total vægt (kg)	125700
Tørstof indhold (%)	64
Tørstof vægt (kg)	80574
<i>Restfraktion fra soldning</i>	
Total vægt (kg)	48050
Tørstof indhold (%)	46
Tørstof vægt (kg)	22295
<i>Vægtreduktion</i>	
Vægt reduktion (kg)	26500
Vægtreduktion (kg TS)	13617
<i>Nedbrydning og tørring</i>	
Nedbrydning af TS (%)	12
Tørring (% af oprindelig vand)	15

Komposteringsprocessen resulterede i en vægtreduktion på 26500 kg kompost eller 13617 kg tørstof. Dette svarer til, at 12% af det oprindelige tørstof blev nedbrudt under komposteringen. Ud fra Tabel B1.1 vurderes, at omkring 20% af tørstoffet i komposten er nedbrydeligt (VS i de mest nedbrydelige fraktioner), og at der dermed er potentiale for yderligere nedbrydning. Vandindholdet i den færdige kompost afhænger meget af vejrforholdene, da der tilføres vand med regn og sne. Der sås en vis tørringseffekt, da der er fjernet 15% af det oprindelige vandindhold (sammenholdt med fjernelsen på 12% af det oprindelige tørstof), men dette kunne have været meget anderledes, hvis vejret op til og under nedtagningen havde været mere regnfuldt, end det var tilfældet. Tørringseffekten kan derfor ikke siges at være generel.

Efter kompostering blev der udtaget prøver til bestemmelse af tørstof samt VS (organisk materiale) af både den færdige kompost og restfraktionen efter soldning. Disse prøver analyseres ligeledes for parametrene i Tabel B1.1, og resultaterne fra disse analyser ses i Tabel B2.2.

Nedbrydningen af TS er bestemt til 12%, men den vil variere stærkt i mellem de forskellige delfraktioner. Grove partikler af træ nedbrydes meget langsomt og vil derfor ikke omsættes væsentligt under komposteringen. Ved central kompostering formodes ca. 80% af nedbrydningen at ske i de fine fraktioner. I scenarierne for hjemmekompostering er det kun fint materiale, der hjemmekomposteres, og derfor sker 100% af nedbrydningen i de fine fraktioner. Fra central kompostering fås en soldningsrest, men det formodes ikke, at der i væsentligt grad findes større partikler i komposten fra hjemmekompostering. Udnyttelsesgraden er den færdigkompost er derfor sat til 98%. Tabel B2.3 opsummerer disse forudsætninger, der anvendes ved modellering af komposteringsprocessen.



**Tabel B2.2: Sammensætning og fordeling af kompost og restfraktion efter kompostering og soldning samt total sammensætning inden soldning.**

		Kompost	Restfraktion fra soldning	Total
Vådvægt fordeling		72	28	
Tørstof fordeling		78	22	
TS	%	64	46	59
VS	% af TS	17,2	61,3	27
Aske	% af TS	82,8	38,7	73
Brændværdi	MJ/kg TS	2,8	12,2	4,9
N	% af TS	0,6	0,7	0,6
P	% af TS	0,1	0,07	0,09
K	% af TS	0,87	0,64	0,86
As	mg/kg TS	3,02	3,01	3,02
Cd	mg/kg TS	0,21	0,25	0,22
Cr	mg/kg TS	22,8	18,6	21,9
Cu	mg/kg TS	26,5	26,8	26,6
Hg	mg/kg TS	0,026	0,024	0,026
Ni	mg/kg TS	4,7	4,28	4,6
Pb	mg/kg TS	22,5	19,2	21,8
Zn	mg/kg TS	82,0	93,4	84,5
C	% af TS	7,6	32,1	13,0
Ca	% af TS	0,92	0,86	0,91
Cl	% af TS	0,06	0,15	0,08
H	% af TS	0,9	3,9	1,6
Na	% af TS	0,28	0,23	0,27
O	% af TS	8,0	24,6	11,7
S	% af TS	0,08	0,1	0,08

Da nedbrydningsgraden varierer for hver fraktion, men denne ikke kan måles, er der gennemført en matematisk analyse for at fastlægge fraktionernes nedbrydningsgrader. I analysen er beregnet:

- nedbrydningsgraden for både TS og VS for hver fraktion
- Transfer-koefficienter til output for hver fraktion.

Tabel B2.4 viser estimerne for hver af ovennævnte parametre for central kompostering, mens tabel B2.5 viser de tilsvarende estimer for hjemmekompostering. Hvis der udfør en fraktion er 0 i hele linien betyder det, at fraktionen ikke optræder i sammensætningen i det givne scenarie.

**Tabel B2.3. Antagelser om nedbrydning af TS i komposteringsprocesser.**

		Central kompostering	Hjemme- kompostering
<b>Total nedbrydning af TS</b>	%	11,7	11,7
<b>Output kompost</b>	%	72,3	98
<b>Output restfraktion</b>	%	27,7	2
<b>Nedbrudt TS fra fine fraktioner</b>	%	80	100
<b>Nedbrudt TS fra grove fraktioner</b>	%	20	0

**Tabel B2.4. Estimer for nedbrydningsgraden i kompost for scenarier med central kompostering.**

		Nedbrydning af TS	Nedbrydning af VS	Til kompost	Til restfraktion
Scenarie	Fraktioner	%	%	%	%
<b>1</b>	<b>Græs + blade</b>	25,49	56,65	80	20
	<b>Plantedele</b>	27,36	68,40	80	20
	<b>Grene</b>	7,31	7,86	40	60
	<b>Træ</b>	6,68	7,04	40	60
	<b>Jord</b>	0	0	95	5
	<b>Total</b>	11,69	27,13	72,00	28,00
<b>2</b>	<b>Græs + blade</b>	18,56	41,25	70	30
	<b>Plantedele</b>	19,92	49,80	70	30
	<b>Grene</b>	0	0	0	0
	<b>Træ</b>	0	0	0	0
	<b>Jord</b>	0	0	80	20
	<b>Total</b>	11,69	27,13	72	28
<b>3</b>	<b>Græs + blade</b>	30,02	66,71	98	2
	<b>Plantedele</b>	32,21	80,54	98	35
	<b>Grene</b>	6,10	6,56	0	28
	<b>Træ</b>	5,57	5,87	0	28
	<b>Jord</b>	0,00	0,00	1	15
	<b>Total</b>	11,69	21,93	72	28
<b>4</b>	<b>Græs + blade</b>	14,85	33	80	20
	<b>Plantedele</b>	15,94	39,84	80	20
	<b>Grene</b>	0	0	0	100
	<b>Træ</b>	0	0	0	100
	<b>Jord</b>	0	0	1	99
	<b>Total</b>	9,35	31,62	72	28

**Tabel B2.5. Estimer for nedbrydningsgraden i kompost for scenarier med hjemmekompostering.**

	Nedbrydning af TS	Nedbrydning af VS	Til kompost	Til restfraktion
Fraktioner	%	%	%	%
<b>Græs + blade</b>	22,46	49,92	98	2
<b>Plantedele</b>	24,11	60,27	98	2
<b>Grene</b>	0	0	0	100
<b>Træ</b>	0	0	0	100
<b>Jord</b>	0	0	1	99
<b>Total</b>	11,69	44,96	98	2

### **Tørring af haveaffald**

Ti ton haveaffald blev udlagt i en mile under halvtag for at måle hvor stor tørringseffekt, der kan opnås uden aktiv tørring (og dermed energiforbrug). Den totale mængde blev vejlet, og der blev udtaget prøver af haveaffaldet til måling af tørstof og VS inden oplægning. For at beregne nedbrydning hhv. tørring gennem perioden (30 uger) skulle mængde, tørstof og VS ligeledes måles ved nedtagning. Det lykkedes desværre kun at få data for den totale mængde, da milen var taget ned og kørt væk, da der skulle prøvetages ved forsøgets afslutning. Derfor må tørstofindholdet skønnes. Resultaterne fra tørringsforsøget ses i Tabel B2.6.

**Tabel B2.6: Nedbrydning og tørring af haveaffald ved tørring under halvtag (30 uger). Værdier i parentes er antagne værdier og bygger ikke på direkte målinger.**

<i>Før tørring</i>	
Total vægt (kg)	10200
Tørstof indhold (%)	58
Tørstof udlagt (kg)	5933
<i>Efter tørring</i>	
<i>Kompost</i>	
Total vægt (kg)	5320
Tørstof indhold (%)	(70%)
Tørstof vægt (kg)	(3724)
<i>Restfraktion fra soldning</i>	
Total vægt (kg)	3300
Tørstof indhold (%)	(49%)
Tørstof vægt (kg)	(1617)
Vægtreduktion (kg)	1580
Vægtreduktion (kg TS)	(592)
Nedbrydning af TS (%)	(10%)
Tørring (% fordampet vand)	(23%)

Der sås en total vægtreduktion på 1580 kg svarende til omkring 15% af vådvægten fra starten af forsøget. Da tørstofindholdet ikke blev målt ved afslutningen af forsøget, er det ikke muligt præcist at fastslå, hvor stor en del af dette tab der skyldes tørring og hvor stor en del der skyldes nedbrydning. Det må antages, at der sker mindre nedbrydning og mere tørring end i det udendørs forsøg, fordi der ikke tilføres vand med nedbør under selve forsøget. Det er derfor antaget, at nedbrydningen af tørstoffet var højest 10%. Dermed kan beregnes, at tørringseffekten var 23%, hvilket betyder, at 23% af det oprindelige vandindhold i komposten er fjernet. Dette giver tørstofindhold i den færdige kompost og restfraktionen fra soldning på hhv. 70 og 49% (anslået fordeling).

### **Tørring af stød**

For at måle tørringen af stød blev der udlagt omkring 10 ton (nøjagtig vægt kendes) groft neddelte stød hhv. udendørs og under halvtag. Efter 30 uger blev stødene vejede og tørringseffekten beregnet. Det antages, at stødene ikke nedbrydes i denne periode, da de består af svært nedbrydeligt materiale, som kræver væsentlig længere tid til nedbrydning. Resultaterne af disse forsøg kan ses i Tabel B2.7. Som det fremgår af tabellen, var der en vægtreduktion på 16-18%, hvilket tilskrives tørring. Effekten var størst på stød tørret under halvtag, men der var ikke stor forskel. Antages en oprindelig tørstofprocent på 58% (som i Tabel B1.1), vil det betyde, at tørstofprocenten i de tørrede stød ligger omkring 70%.

**Tabel B2.7: Tørring af stød (30 uger)**

	<b>Udendørs</b>	<b>Under halvtag</b>
<i>Før tørring</i>		
Total vægt (kg)	10050	10000
<i>Efter tørring</i>		
Total vægt (kg)	8420	8210
Tørring (% vægtreduktion)	16	18

## Bilag 3: Emissioner fra kompostering, laboratorieforsøg og litteraturværdier

For at vurdere luftemissioner ved kompostering af haveaffald blev der gennemført forsøg med kompostering i kontrollerede reaktorer på den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole i København.

### Metode

Forsøgsreaktorerne var seks ti liters beluftede reaktorer med automatiseret måling af ilt og kuldioxid i de enkelte reaktorer med brugerdefinerede intervaller. Lufttilførslen kan styres, så der kan veksles mellem tilstrækkelig og utilstrækkelig luftning, alt efter om der ønskes aerobe eller anaerobe forhold i reaktoren. Under forsøgene blev der dagligt udtaget prøver af udgangsluften fra reaktorerne for at måle metan- og lattergaskoncentrationer gennem komposteringsprocessen. Temperaturen i reaktorerne måles kontinuerligt gennem processen, som forløb over 24 dage. Forsøgene er nærmere beskrevet i *Boldrin* (2005).

Som kompostmateriale blev benyttet forskellige blandinger af de fem fraktioner af haveaffald beskrevet i Bilag 1:

1. Herning-sammensætning, som målt i sorteringsforsøget
2. Vinter-sammensætning med større indhold af grene og træ og mindre græs og plantedele
3. Sommer-sammensætning med større indhold af græs og plantedele og mindre indhold af grene og træ
4. Hjemmekompostering-sammensætning, som er ”småt og vådt” haveaffald, dvs. hovedsageligt græs og plantedele

### Resultater

De målte luftemissioner fra kompostering af haveaffaldet varierede meget afhængigt af sammensætning af affaldet og de fysiske forhold i reaktoren (især lufttilførsel).

#### Metan

Metan kan kun dannes, hvis der ikke er tilstrækkelig ilt til stede. Under kompostering kan der dannes anaerobe ”lommer” i komposten, som afgiver metan, selvom der generelt er tilstrækkelig iltning af processen. I reaktorforsøgene kunne der ikke påvises metan under fuldt iltede forhold, men nedsat beluftning medførte stigning i metanproduktionen. Tabel B3.1 viser de målte metanemissioner fra de reaktorforsøg, hvor der i perioder blev kørt med nedsat beluftning. Afhængig af sammensætning af affaldet udgjorde mængden af kulstof afgivet som metan 0,7-1,3% af den totale kulstofmængde i haveaffaldet. Generelt sås størst metanemissioner fra de lettest omsættelige haveaffaldsblandinger.

#### Lattergas

Lattergas dannes under omsætning af kvælstof, nitrificering og denitrificering. Under reaktorforsøgene blev der målt lattergas både ved tilstrækkelig og utilstrækkelig lufttilførsel. Generelt blev omkring 0,4% af det totale kvælstofindhold i haveaffaldet afgivet på lattergasform (N<sub>2</sub>O), hvilket er vist i Tabel 3.1.

### Ammoniak

Ammoniakemissioner fra reaktorerne blev ikke målt. Der henvises derfor til næste afsnit, hvor litteraturværdier for emissioner fra kompostering gennemgås.

### Kulilte

Kulilte-emissioner (CO) er tidligere blevet rapporteret i forbindelse med kompostering. *Hellebrand* (1998) målte en kulilte-emission på 0,04% af det oprindelige kulstofindhold i haveaffald *Hellebrand & Kalk* (2001) målte den maksimale CO-koncentration til 120 ppm i kompostmiler af haveaffald.

### Litteraturværdier

Emissioner fra kompostering afhænger af mange faktorer, bl.a. sammensætningen af det komposterede materiale, den valgte teknologi og de fysiske forhold under processen. Det er derfor svært at angive standardværdier. For at angive størrelsesorden for de forskellige luftemissioner fra komposteringsprocessen vises eksempler på emissioner i Tabel B3.1.

**Tabel B3.1: Værdier for luftemissioner fra kompostering af forskellige former for organisk affald. Ved total N forstås den totale mængde N i den rå kompost.**

Metan	Lattergas	Ammoniak	Affaldstype	Data	Kilde
1,9 kg CH <sub>4</sub> /t TS	0,35 kg N <sub>2</sub> O/t TS	1,31 kg NH <sub>3</sub> /t TS	Organisk husholdnings affald og have affald	Litteratur værdier	(Pitschke et al, 2004)
1,5-2,0% af total C	0,5% af total N	1,2% af total N	Haveaffald	Batch and field experiments	(Hellebrand, 1998)
	1,5-2,1% af total N		Spildevandsslam og gylle	Field experiments, static chambers	(Czepiel et al, 1996)
0,35% af produceret CO <sub>2</sub> -C	2% af total N-tab beregnet ved Kirchmann*	2% af total N-tab beregnet ved Kirchmann*	Organisk husholdnings affald	Litteratur værdier	(Sonesson, 1996)
0-119 g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> ·dag	1-1464mg N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> ·dag		Organisk husholdnings affald	Closed chamber technique	(Beck-Friis et al, 2000)
0,7-1,3% af total C	0,4% af total N		Haveaffald	Reaktorforsøg	(Boldrin, 2005)
	0,23% af total N			Målinger på fuldskala-anlæg	ikke publicerede data fra (Møller, 2005)
		0,02-0,3% af total N	Spildevandsslam og haveaffald	Målinger på reaktorkompostering	(Rambøll, 2005)
		4,5gNH <sub>3</sub> -N/kgDM	Garden waste	Lab scale reactors	(Komilis et al., 2006)
		41gNH <sub>3</sub> -N/kgDM	Food waste	Lab scale reactors	(Komilis et al., 2006)
	1,18% of total N		Garden waste	Full scale plant	(Ballesterro et al., 1996)
		10-20% of total N	Manure, straw, paper	Vessel system	(Liang et al., 2006)
3,62 CH <sub>4</sub> in % von Cges-Emissionen	1,25% of total N	6,97% of total N	Household organic and garden waste	Simulation indoor home-composting	(Amlinger, 2002)

Metan	Lattergas	Ammoniak	Affaldstype	Data	Kilde
2,05 CH <sub>4</sub> in % von Cges-Emissionen	0,95% of total N	6,04% of total N	Household organic and garden waste	Simulation indoor windrow	(Amlinger, 2002)
195 g/ton waste	101 g/ton waste	27 g/ton waste	Biowaste	Closed system with biofilter	(Saft et al., 2004)
6-12 kg CH <sub>4</sub> /ton waste	1,44-378 g N <sub>2</sub> O/kg ton waste	18-1150 g NH <sub>3</sub> /ton waste	Municipal waste	Measurement at biofilter	(Clemens et al., 2003)
4 kg CH <sub>4</sub> /ton waste 10 kg CH <sub>4</sub> /ton DM	0,3 g N <sub>2</sub> O/kg waste 0,6 g N <sub>2</sub> O/kg DM				(IPCC, 2006)

På baggrund af de viste værdier i Tabel B3.1 er der skønnet værdier for luftemission af metan, lattergas og ammoniak fra kompostering af haveaffald i Herning Kommune. Tabel B3.2 viser hvilke værdier, der anvendes ved modellering af kompostering i EASEWASTE. Da der er tale om skønnede værdier, skal der udføres følsomhedsanalyse på disse data.

**Tabel B3.2: Skønnede værdier for emission af metan, lattergas og ammoniak til luft fra komposteringsprocesser.**

	Central kompostering	Hjemmekompostering
<b>Metan (CH<sub>4</sub>)</b>	2 % af nedbrudt C	3 % of nedbrudt C
<b>Lattergas (N<sub>2</sub>O)</b>	0,7% af total N	1,2 % af total N
<b>Ammoniak (NH<sub>3</sub>)</b>	1,2 % af total N	1,5 % af total N
<b>Kulilte (CO)</b>	0,04 % af total C	0,04 % af total C

## Bilag 4: Transportafstande

De anvendte afstande er hovedsageligt estimeret ved hjælp af Krak (www.krak.dk). For at beregne den gennemsnitlige afstand for borgerne i Herning til haveaffaldspladsen ved Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads er afstanden fra de enkelte dele af Herning vægtet med antallet af boliger i disse områder. Disse data er vist i Tabel B4.1.

**Tabel B4.1: Antal boliger i forskellige områder af Herning Kommune samt afstanden fra de enkelte områder til Nederkærgård**

	Antal boliger (Herning Kommune, 1998)	Afstand til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads (www.krak.dk)
Sunds	1127	11,5
Ilskov	266	17,5
Simmelkær	125	20,9
Sinding	81	12,2
Ørre	31	12,9
Tjørring	1363	4,5
Gullestrup	210	4,3
Herning by	5096	3,5
Hammerum	1057	8,0
Gjellerup	1077	9,7
Birk	62	6,7
Snebjerg	1229	3,1
Haunstrup	81	8,9
Studsgård	174	5,2
Lind	1235	4,0
Høgild	116	8,8
Kollund	59	4,2
Arnborg	234	14,8
Kølkær	238	14,6
Fasterholt	166	21,7

Den beregnede vægtede gennemsnitsafstand fra borgerne i Herning Kommune til Nederkærgård Genbrugs- og Affaldsplads er til 6,3 km ud fra data i Tabel B4.1.