

# Risikovurdering ved anvendelse af vandingskanoner til udspredning af gylle fortyndet med vand

Jens Strodl Andersen og Tine Hald  
Statens Veterinære Serumlaboratorium,  
Dansk Zoonosecenter

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

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

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

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>13</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>19</b>
<b>2 BESKRIVELSE OG FOREKOMST AF SMITTEFREMKALDENDE AGENS I GYLLE</b>	<b>21</b>
2.1 BESKRIVELSE AF BAKTERIER	21
2.1.1 <i>Salmonella</i>	21
2.1.2 <i>Campylobacter</i>	23
2.1.3 <i>Yersinia enterocolitica</i>	24
2.1.4 Verotoksinproducerende <i>E. coli</i> (VTEC)	24
2.1.5 Antibiotikaresistente bakterier	25
2.2 BESKRIVELSE AF PARASITTER	25
2.2.1 <i>Cryptosporidium parvum</i>	25
2.2.2 <i>Giardia intestinalis</i> (~duodenalis)	26
2.2.3 <i>Ascaris</i>	27
2.3 BESKRIVELSE AF VIRUS	27
2.4 FOREKOMST AF BAKTERIER I GYLLE	28
2.4.1 Overlevelse udenfor værtsorganismen	30
2.5 FOREKOMST AF VIRUS I GYLLE	31
2.6 FOREKOMST AF PARASITTER I GYLLE	32
<b>3 UDSPREDNING AF GYLLE</b>	<b>35</b>
3.1 TRADITIONELLE UDSPREDNINGSTEKNIKKER	36
3.2 MED VANDINGSANLÆG	36
<b>4 AEROSOLER</b>	<b>39</b>
<b>5 MODELLERING AF SPREDNING AF AEROSOLER</b>	<b>43</b>
5.1 GENEREL BESKRIVELSE AF RIMPUFF	43
5.2 SPECIEL BEHANDLING AF DRÅBER	44
5.3 EVALUERING	44
5.4 DIMENSIONER AF ET PUFF	45
5.5 VARIATION AF METEOROLOGISKE VARIABLE	46
5.6 RESULTATET AF MODELLERING	46
<b>6 KVALITATIV RISIKOANALYSE</b>	<b>47</b>
6.1 RISIKOIDENTIFIKATION	47
6.2 RISIKOREDUCERENDE FORANSTALTNINGER	48
<b>7 KVANTITATIV RISIKOANALYSE</b>	<b>49</b>
7.1 INFORMATIONER DER ANVENDES I ANALYSEN	50
7.2 SCENARIER	50
7.2.1 <i>Salmonella Typhimurium</i>	51
7.2.2 <i>Cryptosporidier</i>	58

7.3	BETYDNING AF ANVENDTE DATA	66
7.3.1	<i>Agens i gylle</i>	66
7.3.2	<i>Dråbefordeling, vandingsanlæg</i>	66
7.3.3	<i>Meteorologiske parametre</i>	66
7.3.4	<i>Opholdstid og respiration</i>	69
7.4	SAMMENLIGNING MED DE TRADITIONELLE UDSPREDNINGSMETODER	69
<b>8</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>77</b>
	<b>BILAG A SPECIAL BEHANDLING AF DRÅBER</b>	<b>83</b>
	<b>BILAG B HUSDYRGØDNING-S-BEKENDTGØRELSEN</b>	<b>89</b>

# Forord

Nærværende rapport er et resultat af en risikovurdering vedrørende anvendelse af vandingskanoner til udspreddning af gylle fortyndet med vand. Rapporten beskriver de humane sundhedsmæssige risici der kan relateres til aerosoldannelse i forbindelse med udspreddningen.

Sundhedsmæssige risici defineres i nærværende vurdering som risici der kan relateres til eksponering for aerosoler fra udspreddningen og omfatter udvalgte mikrobiologiske sygdomsfremkaldende agens der forekommer i gylle fra danske husdyrhold.

Konsekvenser af utilsigtet forurening af det omgivende miljø med kemiske forbindelser samt lugtgener behandles ikke i vurderingen.

Rapporten er udarbejdet af:  
Cand. Polyt., Ph.D. Jens Strodl Andersen &  
Cand. Med. Vet., Ph.D. Tine Hald  
Dansk Zoonosecenter  
Statens Veterinære Serumlaboratorium.

Der er i forbindelse med udarbejdelse af rapporten nedsat en styregruppen med følgende deltagere:

Miljøstyrelsen v/ Linda Bagge (Formand)  
Fødevaredirektoratet v/Birgit Hendriksen  
Sundhedsstyrelsen v/ Elle Laursen  
Miljøstyrelsen v/ Mogens Kaasgaard  
Skov- og Naturstyrelsen v/ Mads Leth Petersen



# Sammenfatning og konklusioner

Nærværende rapport er et resultat af en risikovurdering vedrørende anvendelse af vandingskanoner til udspreddning af gylle fortyndet med vand. Rapporten beskriver de humane sundhedsmæssige risici, der kan relateres til aerosoldannelse i forbindelse med udspreddningen.

Myndighederne har været betænkelige ved risiko for luftbåren overførsel af sygdomsfremkaldende bakterier, virus og protozoer (agens), der kan opstå ved anvendelse af vandingskanoner til udspreddning af gylle fortyndet med vand, og iværksatte denne risikovurdering, der vurderer sandsynligheden for eksponering af mennesker for aerosoler. Aerosoler fra udspreddningen kan indeholde sygdomsfremkaldende agens og kan alt efter aerosolernes størrelse og de klimatiske forhold spredes over større eller mindre afstande, hvorved der opstår risiko for smitte af mennesker og dyr. En række faktorer har betydning for spredningen af aerosoler. Vigtigst er vindpåvirkninger, men temperatur, relativ luftfugtighed samt atmosfærisk stabilitet, har ligeledes betydning for spredningen af dannede aerosoler.

Efter en kort indledning i kapitel 1 gennemgås i kapitel 2 de mest relevante zoonotiske mikroorganismer, som kan forekomme i gylle fra danske husdyrbesætninger (zoonoser er sygdomme og infektioner, der kan overføres fra dyr til mennesker. De fleste zoonotiske infektioner hos mennesker i Danmark er forårsaget af bakterierne *Campylobacter*, *Salmonella* og *Yersinia*). Der beskrives for hver zoonose smitteveje, infektionsdosis, sygdomsforløb og symptomer, forekomst i danske husdyrhold, forekomst i gylle, samt decimeringstider i gylle. Der er mangel på litteratur der kvantitativt beskriver den mikrobielle sammensætning i et repræsentativt udsnit af danske husdyrhold.

Det er valgt at arbejde med *Salmonella* og *Cryptosporidier* i den kvantitative risikovurdering ud fra to kriterier: 1) Eksistens af data vedrørende forekomst og overlevelse i gylle (*Salmonella* op til  $2,8 \cdot 10^4$  og *Cryptosporidier* op til  $3 \cdot 10^2$  pr. ml i ufortyndet gylle), og 2) begge har relevans under danske forhold, dvs. betydning og hyppighed (udgør risiko) i danske husdyrbesætninger og for mennesker.

Kapitel 3 beskriver kort de anvendte teknikker til udspreddning af gylle. I dag udlægges ca. 75 % med slæbeslanger, ca. 15 % udspreddes med bredspreder og ca. 10 % nedfældes. Specielt skitseres udspreddning af gylle med vandingsanlæg, idet rapporten primært omhandler og vurderer denne metode.

Kapitel 4 giver en kort introduktion til aerosoler og deres potentiale for at drive bort med vinden. Potentialet afhænger primært af dråbestørrelsen i aerosolskyen. Det er udelukkende relevant at betragte dråber med en diameter mindre end 1 mm, idet større dråber falder så hurtigt til jorden under normale vindforhold at de ikke driver bort med vinden. Baseret på dimensionerne af et vandingsanlæg til udspreddning af gylle fortyndet med vand beskrives dråbevolumfordelingen. Denne fordeling angiver andelen af det samlede volumen der findes i dråber mindre end en given diameter. Der findes ca. 20 % af det samlede volumen i dråber med en diameter mindre end 1 mm.

Kapitel 5 omhandler beskrivelsen af aerosolers bevægelser i luften. Det er valgt at modellere aerosolbevægelserne ved en til formålet specialdesignet videreudviklet udgave af modellen RIMPUFF (RIsø Mesoscale PUFFmodel). RIMPUFF er velegnet til at beregne spredningen af materiale (aerosoler, partikler mv.) i atmosfæren under forhold, hvor de meteorologiske parametre varierer i rum og tid. Resultatet fra modelleringen af aerosolspredningen beskrives på et 5x5 km net med en maskestørrelse på 20x20m og omfatter mængden af fortyndet gylle pr.  $m^3$  i 1 meters højde samt mængden af fortyndet gylle deponeret pr.  $m^2$ . Modellen er evalueret i flere sammenhænge og det vurderes at ud til en afstand af ca. 30 km fra kilden kan RIMPUFF i fladt terræn forudsige koncentrationer og mængder indenfor en faktor 2 til 3.

Kapitel 6 giver en kort kvalitativ vurdering af de risici mennesker og dyr, der opholder sig i området der berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for. Fokus er på aerogen (luftbåren kontakt) samt peroral (gennem munden, direkte kontakt) smitte af mennesker fra aerosolskyen. Der eksisterer ikke humane tal for den aerogene infektive dosis. Men det skal bemærkes at andre infektioner end de normalt luftbårne kan spredes ad denne vej og at den infektive dosis ved aerogen smitte ofte vil være lavere end ved peroral indtagelse. Personer, der opholder sig i området, som berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen eller peroral smitte af mennesker fra aerosolskyen.

I tilfælde af at personer opholder sig i området, der berøres af en eventuel aerosolsky, opstår der mulighed for at fødevarer, tøj, blottet hud eller medbragte genstande bliver udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan ligeledes føre til peroral smitte (gennem munden, indirekte kontakt).

Dyr, der opholder sig i området som berøres af en eventuel aerosolsky kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen (luftbåren kontakt) eller peroral (direkte kontakt) smitte af dyrene fra aerosolskyen.

Dyr, der græsser i områder, eller dyr der på et senere tidspunkt fodres eller kommer i kontakt med hør/halm etc., der kan være eksponeret for aerosolskyen, kan ligeledes risikere smitte fra deponerede agens (indirekte kontakt).

Yderligere bør nævnes risikoen ved at sprede antibiotikaresistente organismer til miljøet, samt de mulige ekstra konsekvenser ved en infektion med antibiotika-resistente bakterier.

Endelig vil også kemiske stoffer, herunder medicinrester, hormoner, mercaptaner, kuldioxid, ammoniak, metan, desinfektionsmidler, svovlbrinte mv. kunne spredes med gylle. Disse er som nævnt tidligere ikke vurderet i denne rapport.

Følgende risikoreducerende foranstaltninger vil mindske sandsynligheden for smitte af mennesker med agens fra aerosolskyen.

1. Lagring af gyllen eller anden smitstofreducerende behandling.
2. Udspredning i vindstille vejr.
3. Brug af udspretningsmetode der minimerer aerosoldannelse.



Sikkerhedskravene til udspreddning af gylle skal afpasses efter de risici der er relevante. Skærpede forholdsregler bør derfor tages hos besætninger, der må anses for at være smitstofmæssigt belastede (Det er f.eks. ikke tilladt at sprede gylle fra besætninger med klinisk salmonellose eller besætninger der er sat under offentligt tilsyn). Dette er relevant for både smitteoverførsel til mennesker og smitteoverførsel til dyr.

Kapitel 7 indeholder en kvantitativ modellering, der omfatter *Salmonella* og *Cryptosporidier*. Modelleringen resulterer for hvert af de udvalgte agens i to mål for spredningen af zoonotiske smitstoffer fra vandkanonerne.

1. Antal agens der indåndes pr. time ved ophold i det af udspreddningen berørte område (udenfor marken).
2. Antal agens der deponeres pr. m<sup>2</sup> i det af udspreddningen berørte område (udenfor marken).

Resultaterne beskrives ved forskellige scenarier samt ved Monte Carlo simuleringer. I Monte Carlo simuleringer anvendes fordelingsfunktionerne for de elementer der er usikre. Der trækkes tilfældigt i disse fordelinger og på denne måde genereres en estimeret fordeling for det ønskede output (her henholdsvis antal agens indåndet pr time eller antal agens deponeret pr. m<sup>2</sup> i hele udspreddningsperioden).

#### **Salmonella, worst-case scenarium**

Antallet af bakterier i den ufortyndede gylle antages at være  $2,8 \times 10^4$  (fundet i den danske undersøgelse – det faktiske worst-case scenarium vurderes at kunne indeholde en 10x flere *Salmonella* bakterier). Yderligere antages det, at bakterierne er fuldt opblandet i gyllen og andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle agens overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antal *Salmonella* bakterier, der indåndes pr. time med en kraftig respiration ( $30 \text{ m}^3/\text{døgn} \approx 1250 \text{ liter/time}$ ).

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/time	~10000	~4000	~900	~500	~300	~100	~30

Antallet af *Salmonella* bakterier der indåndes falder med afstanden fra markskellet. I markskellet indåndes ca.  $10^4$  *Salmonella* bakterier i timen og det må formodes at der indåndes bakterier i en afstand af mindst 5 km fra markskellet (i vindretningen).

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antallet af *Salmonella* bakterier deponeret pr. m<sup>2</sup> i hele udspreddningsperioden (8 timer).

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/m <sup>2</sup>	$1 \cdot 10^7$	~200000	~8000	~700	~150	~65	~13

Antallet af *Salmonella* bakterier, der deponeres pr. m<sup>2</sup> i hele udspreddningsperioden (8 timer), falder med afstanden fra markskellet. I markskellet deponeres ca.  $10^7$  *Salmonella* bakterier pr. m<sup>2</sup> i løbet af hele udspreddningsperioden og det må formodes at der deponeres bakterier i en afstand af mindst 5 km fra markskellet (i vindretningen).

### Salmonella, Monte Carlo simuleringer

Antallet af *Salmonella* bakterier i den ufortyndede gylle beskrives af den i Figur 7 angivne fordeling. Mængden af bakterier bundet til partikulært materiale varierer uniformt mellem 25% og 75%. Gylleandelen varierer uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varierer parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middelværdi i de eksperimentelt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middelværdi.

Bakteriernes overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen beskrevet med en normalfordeling med middelværdi  $25\text{ m}^3/\text{døgn}$  og standard afvigelse på  $3\text{ m}^3/\text{døgn}$ . Simuleringerne er anvendt til at vurdere variationen i antallet af *Salmonella* bakterier, der indåndes pr. time. Resultatet fra simulationerne er vist i Figur 12, hvorfra fraktilerne i nedenstående tabel er ekstraheret.

Afstand (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1,3	0,8	0,3	0,11	0,07	0,02	0,015
5% nedre	0,04	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
95% øvre	36	22	11	3,5	2,2	0,8	0,5
Max	1970	1190	660	270	154	56	40

Som forventet er antallet af *Salmonella* bakterier der indåndes pr. time mindre for simuleringerne sammenlignet med worst-case scenariet. For at opnå worst-case scenariet i Monte Carlo simuleringerne skal den maksimale værdi for alle fordelinger trækkes simultant.

### Cryptosporidier, worst-case scenarium

Antallet af *Cryptosporidier* i den ufortyndede gylle antages at være  $3 \times 10^2$  pr. ml. Yderligere antages det at de er fuldt opblandet i gyllen, så andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle *Cryptosporidier* overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Nedenstående tabel viser antal *Cryptosporidier* der indåndes pr. time med en kraftig respiration ( $30\text{ m}^3/\text{time} \approx 1250\text{ liter/time}$ ) som funktion af afstanden (i meter) fra marken.

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/time	~139	~50	~9	~4	~2	~1	~0,4

Antallet af *Cryptosporidier*, der indåndes, falder med afstanden fra markskellet. I markskellet indåndes ca.  $10^2$  *Cryptosporidier* i timen og det må formodes at der indåndes *Cryptosporidier* i en afstand af mindst 2 km fra markskellet (i vindretningen).

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antallet af *Cryptosporidier*, der deponeres pr.  $\text{m}^2$  i hele udspretningsperioden (8 timer).

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/ $\text{m}^2$	~50000	~7000	~100	~4	~1	~0,3	~0,3

Antallet af *Cryptosporidier*, der deponeres pr.  $\text{m}^2$  i hele udspretningsperioden (8 timer), falder med afstanden fra markskellet. I markskellet deponeres ca.  $10^5$  *Cryptosporidier* pr.  $\text{m}^2$  i løbet af hele perioden og det må formodes at der deponeres *Cryptosporidier* i en afstand af mindst 0,8 km fra markskellet (i vindretningen).

### **Cryptosporidier, Monte Carlo simuleringer**

Antallet af *Cryptosporidier* i den ufortyndede gylle beskrives med fordelingen angivet i Figur 13. Mængden af *Cryptosporidier* bundet til partikulært materiale varieres uniformt mellem 25% og 75%. Gylleandelen varieres uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varieres parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middel i de tidligere omtalte eksperimentelt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middel. *Cryptosporidier*s overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen beskrevet med en normalfordeling med middel 25m<sup>3</sup>/døgn og standard afvigelse på 3m<sup>3</sup>/døgn.

Resultatet fra simulationerne er vist i Figur 18, hvorfra fraktilerne i nedenstående tabel er ekstraheret.

Afstand (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1,1	0,7	0,35	0,14	0,07	0,02	0,01
5% nedre	0,28	0,17	0,07	0,03	0,02	<0,01	<0,01
95% øvre	5	2	1,6	0,7	0,35	0,08	0,07
Max	20	15	8	4	2	0,5	0,4

Som forventet er antallet af *Cryptosporidier* der indåndes pr time mindre for simuleringerne sammenlignet med worst-case scenariet. For at opnå worst-case scenariet i Monte Carlo simuleringerne skal den maksimale værdi for alle fordelinger trækkes simultant.

Yderligere blev foretaget en sammenligning af risici ved anvendelse af henholdsvis fortyndet gylle spredt med vandingsanlæg og almindelig gylle spredt på traditionel vis ved henholdsvis bredspredning, udlægning med slæbeslanger og nedpløjning. Det vurderes, at den beskrevne teknik giver anledning til en betragtelig risikoforøgelse i forhold til de traditionelle metoder.

Ustadige vejrforhold vil forøge spredningen af smitstofferne, idet dråber ved større vindhastigheder, høj luftfugtighed, lave temperaturer og ustabil vejr vil transporteres længere bort med vinden.

Fokus i nærværende vurdering har været på zoonotiske smitstoffer og humane risici. Der er dog en række aspekter der bør nævnes i forbindelse med vurdering af den anvendte metode. Gylle kan indeholde kemiske stoffer, herunder medicinrester, hormoner, mercaptaner, kuldioxid, ammoniak, metan, desinfektionsmidler, svovlbrinte mv. der alle er kemiske forbindelser med toksisk potentiale og vil også kunne spredes med gylle. Det vurderes at den forøgede aerosoldannelse ved anvendelse af vandingsanlæg til udspredding vil forøge spredningen af ovennævnte kemiske stoffer (her er eventuelle kemiske reaktioner i luften ikke vurderet).

De veterinære aspekter kan behandles analogt med vurderingen af de humane risici, idet der blot kan foretages en skalering af respirationsvolumen. Yderligere kan antal agens deponeret pr. m<sup>2</sup> anvendes til at vurdere risici for smitte af husdyr, der græsser på (eller senere kommer i kontakt med afgrøder fra) marker, der berøres af aerosolskyen. Antal agens, der tilføres omkringliggende marker, vurderes at være højere end ved anvendelse af traditionelle udspreddingsteknikker.



# Summary and conclusions

The present report summarise a risk assessment of applying big volume irrigation guns to spread manure/slurry diluted with water. The report describes human health risks directly associated with exposure to aerosols originating from the irrigation.

Authorities has been precarious about the risk of airborne transmitted pathogenic bacteria, virus and protozoan (agens), that might arise from applying irrigation guns to spread manure/slurry diluted with water, and implemented the present risk assessment of the probability of human exposure to aerosols. Aerosols from the irrigation may contain pathogenic agens and will, depending on the size of the aerosols and the climatic conditions, drift over greater or smaller distances, thereby posing a risk of causing airborne infections of humans and animals. A number of factors are important for the drift of aerosols. Most important is wind-movement; furthermore temperature, relative humidity and atmospherically stability are important factors for the possible drift of generated aerosols.

After a brief introduction in Chapter 1, the most relevant zoonotic microorganisms present in manure/slurry from Danish livestock are described in Chapter 2 (zoonotic microorganisms are diseases and infections transmitted from animals to humans. The bacteria *Campylobacter*, *Salmonella* and *Yersinia* cause the majority of zoonotic infections in Denmark). The description includes source of infection, dissemination, dose of infection, course and symptoms of the disease, occurrence in Danish livestock, occurrence in manure/slurry and decimation time in manure/slurry. The literature is sparse on quantitative description of the microbial composition in a representative section of Danish livestock.

*Salmonella* and *Cryptosporidia* are chosen for the quantitative risk assessment Based on two criteria: 1) Data is available on occurrence and survival in manure/slurry (*Salmonella* up to  $2,8 \cdot 10^4$  and *Cryptosporidium* up to  $3 \cdot 10^2$  per ml. in undiluted manure/slurry), and 2) both are relevant under the existing conditions in Denmark, i.e. importance and frequency (pose a risk) in Danish livestock and for humans.

Chapter 3 concise describe the techniques applied to spread manure/slurry. Today about 75 % is spread using “drag tubes”; about 15 % is spread using a traditional spreading machine, and about 10 % by burying manure. Especially spread of manure/slurry with irrigation guns is outlined since the report primarily deals with and assesses this method.

Chapter 4 gives a brief introduction to aerosols and their drift potential (primarily drop size). It is only relevant to look at drops with a diameter smaller than 1 mm. since larger drops, under normal wind conditions, fall quickly to the ground and therefore the drift is minimal. The dropvolumedistribution is described based on dimensions of an irrigation system for spread of manure diluted with water. The distribution describes the proportion of the total volume found in drops with a diameter smaller

than a given size. 20 % of the total volume is found in drops with a diameter less than 1 mm.

Chapter 5 describe the movement and drift of aerosols in open air. Modelling of aerosol drift is done using a special developed version of the model RIMPUFF (RIsø Mesoscale PUFFmodel). RIMPUFF is suitable for predicting the spread of material (aerosols, particles etc.) in the atmosphere, where the meteorological parameters vary in time and space. The result of the drift modelling is described on a 5x5 km. grid with a grid size of 20x20m and includes the amount of diluted manure/slurry per m<sup>3</sup> one meter above the ground and the amount of diluted manure/slurry deposited per m<sup>2</sup> on the ground. The uncertainty of the model is evaluated several times and it predicts within a factor of 2 to 3.

Chapter 6 consist of a qualitative assessment of the human and animal health risks caused by staying in an area affected by the aerosol cloud. Focus is on aerogene (airborne contact) and peroral (through the mouth, direct contact) human infections from the aerosol cloud. Very few data on human infective dose for aerogene infections exists. However, other infections than the traditional airborne can spread in this manner and the infective dose is supposed to be lower compared to peroral infections. People staying in an area affected by the aerosol cloud might be exposed to agens, resulting in aerogene or peroral infections from the aerosol cloud.

In case people stay in the aerosol affected area contamination of foodstuff, clothing, skin or brought objects is possible, thereby posing a risk for subsequent peroral infection (through the mouth, indirect contact).

Animals staying in the aerosol-affected area may be exposed to agens resulting in aerogene (airborne contact) or peroral (through the mouth, direct contact) infections from the aerosol cloud. Furthermore, animals grazing on areas or animals that later in time are fed with or in contact with hay/straw exposed to the aerosol cloud, might risk infections from deposited agens (indirect contact).

Furthermore, the risk of spreading antimicrobial-resistant organisms to the environment and the possible extra consequences of having an infection with antimicrobial-resistant bacteria should be considered.

Finally, chemical substances such as, remnants of medicine, hormones, mercaptanes, carbondioxid, ammonia, methane, disinfectants, hydrogen sulphide etc. might be spread along with the manure. The hazard of these substances are not assessed in this report.

The following risk reducing actions will decrease the probability of human infections with agens from the aerosol cloud.

1. Storage of the manure or other treatment that reduces the infectious matter.
2. Only spread in calm wind.
3. Apply techniques that minimize generation of aerosols.

Safety precautions concerning spread of manure/slurry must be accommodated to the relevant risks. More stringent measures must be taken at livestock that pose a high risk of spreading agens, i.e. it is prohibited to

spread manure/slurry from livestock with clinical salmonellosis or livestock under public supervision. This is relevant concerning transfer of agents to both humans and animals.

Chapter 7 comprise a quantitative risk assessment, including *Salmonella* and *Cryptosporidia*. The assessment results in two measures for the spread of zoonotic agents from the irrigation system.

1. Number of agents inhaled per hours at a given location in the area affected by the aerosol cloud (outside the sprayfield).
2. Number of agents deposited per m<sup>2</sup> during the spray period at a given location in the area affected by the aerosol cloud (outside the sprayfield).

The results are described by means of different scenarios and Monte Carlo simulations. In Monte Carlo simulations the probability distributions of the uncertain elements are used as a basis for sampling to simulate a distribution of the outcome (here number of agents inhaled per hours or the number of agents deposited per m<sup>2</sup> during the spray period).

#### **Salmonella, worst-case scenario**

The number of bacteria in the undiluted manure/slurry is assumed to be  $2.8 \times 10^4$  (found in the Danish investigation). Furthermore, it is assumed that the bacteria is fully mixed in the manure and the proportion attached to particles can be neglected. All bacteria are assumed to survive in the aerosol cloud. The proportion of manure is 25%. The table below show worst-case estimates, the upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower row is the number of *Salmonella* bacteria inhaled per hour having a strong respiration ( $30 \text{ m}^3/\text{day} \approx 1250 \text{ litre/hour}$ ).

Distance (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Number/hour	~10000	~4000	~900	~500	~300	~100	~30

The number of *Salmonella* bacteria inhaled decreases with increasing distance from the property-line of the sprayfield. At the property-line of the sprayfield approximately  $10^4$  *Salmonella* bacteria is inhaled per hour and bacteria is presumably inhaled at a distance of 5 km. from the sprayfield (in the wind direction).

The table below show worst-case estimates, the upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower row is the number of *Salmonella* bacteria deposited per m<sup>2</sup> during the entire spray period (8 hours).

Distance (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Number/m <sup>2</sup>	$1 \cdot 10^7$	~200000	~8000	~700	~150	~65	~13

The number of *Salmonella* bacteria deposited decreases with increasing distance from the property-line of the sprayfield. At the property-line of the sprayfield approximately  $10^7$  *Salmonella* bacteria is deposited per m<sup>2</sup> during the entire spray period (8 hours) and bacteria is presumably deposited at a distance of 5 km. from the sprayfield (in the wind direction).

#### **Salmonella, Monte Carlo simulations**

The number of bacteria in the undiluted manure/slurry is described by the distribution shown in Figure 7. It is assumed that the proportion of bacteria

attached to particles varies uniformly between 25 % and 75 %. Furthermore the parameters in the drop volume-distribution are varied with a gaussian distribution with mean at the experimentally found values and a standard deviation of 10% of the mean. Bacterial survival in the aerosol cloud varies uniformly between 50 % and 100%. The proportion of manure varies between 10 % and 25%. The respiratory volume is varied according to a gaussian distribution with mean of 25m<sup>3</sup>/day and a standard deviation of 3m<sup>3</sup>/day. The simulations used to evaluate the variation in the number of *Salmonella* bacteria inhaled per hour. The results from the simulations is shown in Figure 12, from which the quantiles/percentiles in the table below is extracted. The upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower rows is the number of *Salmonella* bacteria inhaled per hour

Distance (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1.3	0.8	0.3	0.11	0.07	0.02	0.015
5% lower	0.04	0.02	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
95% upper	36	22	11	3.5	2.2	0.8	0.5
Maximum	1970	1190	660	270	154	56	40

As expected the number of *Salmonella* bacteria inhaled per hour is less in the simulations compared to the worst-case scenario. To obtain the worst-case scenario in the Monte Carlo simulations the maximum value in all distributions must be drawn simultaneously.

#### **Cryptosporidium, worst-case scenario**

The number of *Cryptosporidium* in the undiluted manure/slurry is assumed to be 3×10<sup>2</sup>. Furthermore, it is assumed that the *Cryptosporidium* is fully mixed in the manure and the proportion attached to particles can be neglected. All *Cryptosporidium* is assumed to survive in the aerosol cloud. The proportion of manure is 25%. The table below show worst-case estimates, the upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower row is the number of *Cryptosporidium* inhaled per hour having a strong respiration (30 m<sup>3</sup>/day ≈ 1250 litre/hour)

Distance (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Number/hour	~139	~50	~9	~4	~2	~1	~0.4

The number of *Cryptosporidium* inhaled decreases with increasing distance from the property-line of the sprayfield. At the property-line of the sprayfield approximately 10<sup>2</sup> *Cryptosporidium* is inhaled per hour and *Cryptosporidium* is presumably inhaled at a distance of 2 km. from the sprayfield (in the wind direction).

The table below show worst-case estimates, the upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower row is the number of *Cryptosporidium* deposited per m<sup>2</sup> during the entire spray period (8 hours)

Distance (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Number/m <sup>2</sup>	~50000	~7000	~100	~4	~1	~0.3	~0.3

The number of *Cryptosporidium* deposited decreases with increasing distance from the property-line of the sprayfield. At the property-line of the sprayfield approximately 10<sup>5</sup> *Cryptosporidium* is deposited per m<sup>2</sup> during the entire spray



period (8 hours) and *Cryptosporidium* is presumably deposited at a distance of 0.8 km. from the sprayfield (in the wind direction)

### **Cryptosporidium, Monte Carlo simulations**

The number of *Cryptosporidium* in the undiluted manure/slurry is described by the distribution shown in Figure 13. It is assumed that the proportion of *Cryptosporidium* attached to particles varies uniformly between 25 % and 75 %. Furthermore the parameters in the drop volume-distribution are varied with a gaussian distribution with mean at the experimentally found values and a standard deviation of 10% of the mean. *Cryptosporidium* survival in the aerosol cloud varies uniformly between 50 % and 100%. The proportion of manure varies between 10 % and 25%. The respiratory volume is varied according to a gaussian distribution with mean of 25m<sup>3</sup>/day and a standard deviation of 3m<sup>3</sup>/day. The simulations used to evaluate the variation in the number of *Cryptosporidium* inhaled per hour the results from the simulations are shown in Figure 18, from which the quantiles/percentiles in the table below are extracted. The upper row is the distance from the property-line of the sprayfield (in meters) and the lower rows is the number of *Cryptosporidium* inhaled per hour

Distance (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1.1	0.7	0.35	0.14	0.07	0.02	0.01
5% lower	0.28	0.17	0.07	0.03	0.02	<0.01	<0.01
95% upper	5	2	1.6	0.7	0.35	0.08	0.07
Maximum	20	15	8	4	2	0.5	0.4

As expected the number of *Cryptosporidium* inhaled per hour is less in the simulations compared to the worst-case scenario. To obtain the worst-case scenario in the Monte Carlo simulations the maximum value in all distributions must be drawn simultaneously.

Furthermore, a comparison of the risks associated with applying irrigation guns to spread manure/slurry with spread of manure/slurry using traditional techniques. It is concluded that the described techniques pose a substantial increase in human and animal risk compared to the traditional techniques.

Unsteady weather conditions will increase the spread of pathogens, since drops exposed to larger wind speed; high relative humidity, low temperatures and unstable meteorological conditions will drift longer.

Focus in the present risk assessment has been on zoonotic pathogens and human risk. There are though a number of aspects that should be mentioned when discussing the described technique. Manure/slurry may contain chemical substances such as, remnants of medicine, hormones, mercaptanes, carbondioxid, ammonia, methane, disinfectants, hydrogen sulphide etc. These substances all have a toxic potential and might be spread along with the manure. Based on the increased generation of aerosols it is assessed that the technique will increase the spread of these substances (possible chemical reactions in the air is not taken into account).

The veterinary aspects can be dealt with in the same manner as the human risk assessment; it only requires a scaling of the respiratory volume. Furthermore the number of agents deposited on the ground may be used to assess the risk of infecting farm animals grazing on (or animals eating hay from) pasture affected by the aerosol cloud. The number of agents deposited

on the surrounding pastureland is increased applying the techniques described compared to the traditional techniques.

# 1 Indledning

I forbindelse med øget recirkulering af organisk materiale og næringsstoffer fra byer og landbrug til jorden er der udviklet en metode til udbringning af gylle fortyndet med vand via vandingskanoner.

Der er udført forsøg ved Landbrugets Rådgivningscenter (LRC, 1997), som har vist at der ved anvendelse af metoden kan forventes et plantekvælstofoptag der meget nær svarer til gyllens ammoniumindhold. Dette skyldes at den fortyndede gylle hurtigt trænger ned i jorden (rodzonen) og dermed bliver biotilgængelig.

Det er velkendt, at der ved anvendelse af vandingskanoner dannes aerosoler. En række faktorer har betydning for spredningen af disse aerosoler i omgivelserne. Tekniske forhold såsom tryk, dysetype, kastevinkel, sektorvinkel, regulering af indkøringshastighed og flyttestand i forhold til kastelængden har betydning for spredjævnheden og dannelse af aerosoler. Det er de meteorologiske forhold i form af vindhastighed, temperatur, relativ luftfugtighed samt atmosfærisk stabilitet, der har betydning for spredningen af dannede aerosoler.

Aerosoler fra udspredningen kan indeholde sygdomsfremkaldende bakterier, virus og parasitter (agens) og kan alt efter aerosolernes størrelse og de klimatiske forhold spredes over større eller mindre afstande, hvorved der opstår risiko for smitte af mennesker og dyr. Myndighederne har været betænkelige ved risiko for luftbåren overførsel af sygdomsfremkaldende agens og har derfor iværksat nærværende risikoanalyse, der vurderer sandsynligheden for eksponering af mennesker for aerosoler. I analysen vurderes om udspredning af gylle fortyndet med vand via vandingsanlæg giver øget risiko for luftbåren overførsel af sygdomsfremkaldende agens i forhold til anvendelse af traditionelle teknikker til udspredning af gylle.



## 2 Beskrivelse og forekomst af smittefremkaldende agens i gylle

I de fleste husdyrhold er den traditionelle behandling af husdyrenes gødning og ajle blevet afløst af mekanisk opsamling og udbringning af gylle. Der er lovkrav om kapacitet af gyllebeholdere i forhold til besætningsstørrelse men ikke til antallet af gyllebeholdere pr. besætning. I nogle tilfælde vil landbruget kun have én gyllebeholder hvor gyllen opsamles kontinuerligt året rundt. I de korte perioder hvor gyllen udbringes på landbrugsjorden, vil gyllen derfor indeholde større eller mindre mængder frisk gylle.

Indholdet af agens i gylle stammer fortrinsvis fra fæces og urin. Yderligere indeholder gylle sekreter og dermed agens fra næse, svælg, vagina, blod, hud, yver, moderkage, ufordøjede eller delvist fordøjede foderstoffer samt strøelse og støv. Indholdet af smitstoffer og andre skadelige substanser i gylle afspejler derved husdyrholdets sundhedsstatus, produktionsforhold, samt den behandling (lagring) gyllen har gennemgået inden den spredes på jorden.

Frisk gylle indeholder i størrelsesordenen 1 milliard ( $10^9$ ) bakterier pr. ml. Der tilføres kontinuerligt næringsstoffer og nye mikroorganismer og derved udgør en gylletank et kompleks økosystem under konstant forandring.

Antallet af agens vil variere med lagringstid, infektionsstatus i husdyrholdet, årstid, temperatur, pH, partikelindhold, mikrobielt indhold og oxidations/reduktions potentiale. De fleste bakterier er normale tarmbakterier, mens de sygdomsfremkaldende bakterier kommer fra syge dyr og raske smittebærere. Smitstofnedbrydningen går meget langsommere ved lave temperaturer, endvidere vil de anaerobe forhold i gylletanke, i modsætning til de aerobe forhold i møddinger, ikke befordre varmedannelse og derfor ikke den samme betydelige inaktivering af smitstoffer. I de følgende afsnit beskrives de bakterier, virus og parasitter, der vurderes at være relevante under danske forhold.

Der er ikke i beskrivelsen vurderet forskellige infektiøse mikrosvampe, f.eks. ringorm (*Trichophyton* spp., *Microsporum* spp.), gærsvampe (*Candida* spp., *Cryptococcus* spp.) og skimmelsvampe (*Aspergillus* spp.).

### 2.1 Beskrivelse af bakterier

I dette afsnit gives en gennemgang af de mest relevante bakterielle zoonoser, som kan forekomme i gylle fra danske husdyrbesætninger. Det bør dog bemærkes, at der eksisterer en lang række af andre humanpatogene bakterier som ligeledes kan forekomme i gylle (Tabel 2). Afsnittet indeholder også en kort beskrivelse af antibiotikaresistente bakterier.

#### 2.1.1 Salmonella

Mennesker smittes sædvanligvis peroralt via kontaminerede fødevarer eller vand, og i sjældnere tilfælde ved person-til-person smitte. Den infektiøse dosis varierer afhængig af *Salmonella* typens virulens, levnedsmidlets (eller vehiklets) beskaffenhed, samt personens alder og almene helbredstilstand. For

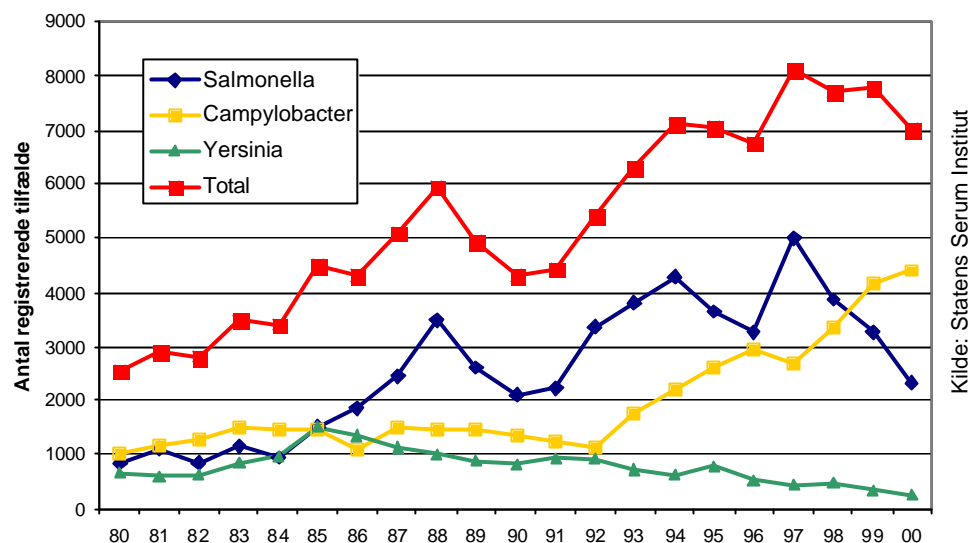
ikke værtsadapterede *Salmonella* serotyper som f.eks. *S. Typhimurium*, er der evidens for, at konceptet om en infektionsdosis på  $10^5$  til  $10^7$  bakterier, som bestemt ved frivillige infektionsforsøg, ikke længere holder. I forbindelse med udbrud har det vist sig at 10 bakterier har været i stand til at fremkalde sygdom (D'Aoust, 1989). Blaser og Newman (1982) rapporterer udbrudsdata med infektive doser fra 1 til  $10^{11}$  bakterier med en median på  $10^2$ . Desuden tyder udbrudsdata på at infektionsdosen er lavere i fedtholdige levnedsmidler, da fedtet antageligt beskytter bakterierne imod den nedbrydende effekt af mavesyren (Kapperud et al., 1990; Hedberg et al., 1992; Hennessy et al., 1996).

Det har ikke været muligt at finde litteratur om aerogen smitte af mennesker, herunder data vedr. den infektive dosis. Men det skal bemærkes, at andre infektioner end de normalt luftbårne kan spredes ad denne vej, og at den infektive dosis ved aerogen smitte ofte vil være lavere end ved peroral indtagelse. For *Salmonellas* vedkommende angives den infektive dosis hos får og kalve ved inhalation til at være en fjerdedel eller mindre af hvad der kræves for etablering af en peroral infektion (Pritulin 1959). Ved forsøg med mus og primater iagttoges infektive inhalationsdoser, der var ca. 1000 gange mindre end ved de orale doser (Crozier og Woodward 1962, Ivanott et al., 1979). Det vurderes derfor, at smitte af mennesker via luftvejene på det foreliggende grundlag ikke kan udelukkes.

Inkubationstiden for salmonellose er oftest 1-3 døgn, men kan variere fra 6 timer op til 10 døgn. Symptomerne er typisk karakteriseret ved gastroenteritis, dvs. diarré, mavesmerter, feber, hovedpine, muskelsmerter, kvalme og opkast. Symptomerne aftager sædvanligvis efter 3-4 dage, men kan vare op til 10 dage. I få procent af tilfældene ses følgelidelser som blodforgiftning, hjertebetændelse, led- og knoglebetændelse, samt lokale betændelsestilstande i forskellige organer. I sjældne tilfælde ses dødsfald (D'Aoust, 1989; Miller et al., 1995).

Som for en række af de øvrige zoonotiske tarminfektioner, regnes børn og ældre for at have en større risiko for at få en *Salmonella* infektion end en gennemsnitlig voksen person (D'Aoust, 1989). Det er ligeledes generelt accepteret, at personer med et svækket immunforsvar, som lider af en underliggende sygdom, som f.eks. kræft, AIDS eller ved kroniske lidelser i mave eller tarm, er mere modtagelige for infektion end personer med et almindeligt godt helbred (D'Aoust, 1989; Berends et al., 1998).

Salmonellose er den næsthypigste bakterielle zoonose i Danmark. I 2000 blev der registreret 2.344 tilfælde hos mennesker (Figur 1). Alle slagtesvinebesætninger undersøges rutinemæssigt for forekomst af *Salmonella* antistoffer, og andelen af højprævalente besætninger, dvs. besætninger placeret i niveau 2 og 3, lå ved udgangen af 1999 på ca. 3,1% (Anonym, 2000a). Der foregår ingen rutinemæssig overvågning af kvægbesætninger for *Salmonella*, men som led i den løbende resistensovervågning (DANMAP 99, 2000) undersøges en stikprøve af besætninger ved prøveudtagning af ét dyr pr. besætning i forbindelse med slagting. Følsomheden af denne overvågning er derfor noget begrænset, og der blev ikke påvist *Salmonella* i nogle af de 230 undersøgte fæcesprøver fra kvæg i 1999 (Anonym, 2000a). En mere omfattende undersøgelse, hvor der blev udtaget 10 prøver pr. besætning, blev gennemført ved en screening i 1998. Af 265 kvægbesætninger og 2.328 svinebesætninger blev hhv. 15 (5,6%) og 266 (11,4%) besætninger fundet positive (Anonym, 1998).



Figur 1 Udvikling i antallet af zoonotiske tarminfektioner hos mennesker i Danmark, 1980-2000.

### 2.1.2 Campylobacter

Mennesker smittes sædvanligvis peroralt (gennem munden) via kontaminerede fødevarer eller vand, og i sjældnere tilfælde ved person-til-person smitte. Den laveste infektiøse dosis for *Campylobacter* er ved forsøg med frivillige personer blevet bestemt til 500-800 bakterier, men vil under naturlige forhold antageligt variere betydeligt afhængig af værts- og patogenspecifikke faktorer, herunder de udsatte personers alder og almene helbredstilstand (Blaser, 1995; Altekruise et al., 1999). Inkubationstiden er normalt fra 1-3 døgn, men kan være op til 10 døgn. Oftest ses et akut sygdomsforløb med diarré evt. blodig, mavesmerter, opkast og feber. Sygdommen kan vare fra 1 døgn og op til flere uger. Følgesygdomme efter en *Campylobacter* infektion omfatter navelidelsen Guillan Barré syndrom, som i USA menes at ramme 1 ud af hvert 1000 tilfælde. Også Reiter syndrom karakteriseret ved ledbetændelse m.v. (reaktiv arthritis) er sat i forbindelse med forudgående *Campylobacter* infektion (Patienter med Reiter syndrom bærer ofte vævstypen HLA B27) (Altekruise et al., 1999).

I Danmark blev der i 2000 registreret 4.402 tilfælde af human campylobacteriose, og *Campylobacter* er dermed den hyppigst forekommende bakterielle zoonose hos mennesker (Figur 1). *C. jejuni* er den hyppigst forekommende type hos mennesker og udgør omkring 90% af det totale antal infektioner, mens *C. coli* udgør omkring 10%. Der foregår ingen rutinemæssig overvågning af kvæg- og svinebesætninger for *Campylobacter*, men som led i den løbende resistensovervågning blev der i 1999 fundet *Campylobacter* i hhv. 50% og 53,5% af undersøgte fæcesprøver fra kvæg- og svinebesætninger (Anonym, 2000a). De fleste infektioner hos kvæg skyldes *C. jejuni*, mens *C. coli* er langt den dominerende hos svin (ca. 90% af isolater).

### 2.1.3 *Yersinia enterocolitica*

Mavetarmkanalen er i de fleste tilfælde indgangsporten for en *Yersinia* infektion. Den infektiøse dosis for *Y. enterocolitica* kendes ikke, men menes at være omkring  $10^5$  -  $10^6$  bakterier, men i lighed med hvad der er kendt fra andre tarmpatogene zoonoser, må der regnes med en betydelig variation afhængig af de udsatte personers immunologiske og sundhedsmæssige tilstand. Inkubationstiden varierer normalt fra 3 til 7 døgn, hvorefter de første symptomer optræder. Yersiniose manifesterer sig typisk som gastroenteritis. Sygdomsforløb og symptomer kan variere betydeligt fra et let maveonde til et svært og langvarigt forløb. Undertiden medfører sygdommen stærke smerter i nederste højre maveregion (fossa iliaca), således at symptomerne kan forveksles med blindtarmsbetændelse. Infektionen kan desuden være lokaliseret til andre organer end tarmen, og i enkelte tilfælde ses blodforgiftning. Hos nogle patienter opstår et sekundært sygdomskompleks der er præget af reaktioner fra især hud og bindevæv, herunder reaktiv arthritis. Som ved campylobacteriose er det karakteristisk, at det især er personer med vævstypen HLA-B27, der er udsat for disse følgelidelser (Kapperud, 1991; Butler, 1995).

Antallet af *Yersinia enterocolitica* tilfælde i Danmark har været for nedadgående siden midten af 1980'erne (Figur 1). I 2000 blev der registreret 266 tilfælde, hvoraf hovedparten tilhørte serotype O:3. Størstedelen af danske svinebesætninger anses for inficerede med denne type (Anonym, 2000a). I en undersøgelse fra 1996 blev *Y. enterocolitica* O:3 isoleret fra 78% af 67 undersøgte svinebesætninger (Nielsen et al., 1996). Resultater fra resistensovervågningen i 1999 fandt imidlertid kun 16,4% positive besætninger ud af 193 undersøgte (Anonym, 2000a). Forskellen skyldes formentlig, at følsomheden af sidstnævnte overvågning er begrænset af, at der kun undersøges ét dyr pr. besætning.

### 2.1.4 Verotoksinproducerende *E. coli* (VTEC)

Mennesker smittes sædvanligvis peroralt via kontaminerede fødevarer eller vand, og i sjældnere tilfælde ved person-til-person smitte. VTEC er en gruppe af *E. coli* bakterier, som producerer et toksin der er ansvarlig for en stor del af symptombilledet. Flere serotyper kan medføre infektion, men *E. coli* O157:H7 er en af de hyppigst forekommende. Denne serotype er specielt associeret med drøvtyggere. Der skal kun et lille antal *E. coli* O157:H7 til for at give sygdom. Den infektiøse dosis er angivet til mindre end 100 bakterier (Riemann and Cliver, 1998). Inkubationstiden er 3 til 9 dage, hvorefter der opstår symptomer varierende fra mild diarré til alvorlig blodig tyktarmsbetændelse (hæmorrhagisk colitis). Normalt medfører sygdommen ingen eller kun let feber, og går for det meste over i løbet af 5 til 10 dage. I sjældnere tilfælde og oftest hos børn under 5 år og ældre kan der opstå komplikationer i form af skade på nyrer evt. med akut nyresvigt (Hæmolytisk Uræmisk Syndrom). Også skader på centralnervesystem eller nedsat blod koagulationsevne (Trombotisk Trombocytopenisk Purpura) kan ses i forbindelse med VTEC infektioner (Mead and Griffin, 1998).

Der blev i 2000 registreret 60 humane VTEC infektioner, hvoraf 18 tilfælde var forårsaget af *E. coli* O157. Sammenlignet med andre lande er forekomsten af zoonotiske *E. coli* infektioner i Danmark lav. Forekomsten af *E. coli* O157 undersøges i forbindelse med den løbende resistensovervågning. I 1999 blev denne serotype isoleret fra 7 (3,3%) af 227 undersøgte fæcesprøver fra kvæg. Derudover blev der i efteråret 1999 foretaget en screening af 60



kvægbesætninger i Kongeåområdet. *E. coli* O157 blev isoleret fra 10 (17%) af disse besætninger. I de positive besætninger udskilte i gennemsnit 20,8% af kreaturerne *E. coli* O157 med fæces (Anonym, 2000a).

### 2.1.5 Antibiotikaresistente bakterier

Mange bakterier, som forekommer i tarmen hos dyr og mennesker, herunder de ovennævnte humanpatogene bakterier, kan være resistente overfor et eller flere antibiotika. De gener, som koder for antibiotikaresistens kan sidde på bakteriens kromosom eller på ekstrakromosomalt DNA, som f.eks. plasmider og bakteriofager. Plasmider kan ved konjugation overføres mellem bakterier, mens bakteriofag medieret resistensoverførsel sker ved transduktion. Overførslen er mest effektiv mellem bakterier af samme art, men kan også ske på tværs af arter. Overførsel af bakterier fra det animalske reservoir til mennesker via f.eks. fødevarer, vand eller gylle, vil derfor også kunne medføre overførsel af antibiotikaresistente bakterier. Disse kan i sig selv være sygdomsfremkaldende for mennesker (f.eks. *S. Typhimurium* DT104), men muligheden for overførsel af resistensgener til patogener i det humane reservoir foreligger også.

Enterokokker er en gruppe af bakterier, som forekommer naturligt i tarmen hos varmblodede dyr inklusiv mennesker, og deres tilstedeværelse i f.eks. fødevarer kan indikere, at disse har været udsat for fækal forurening. I langt de fleste tilfælde er enterokokker apatogene for mennesker, men sygdom kan forekomme specielt i hospitalsmiljøer, hvor enterokokkerne ofte er resistente (Low et al., 1994; Linden et al., 1999). Danske undersøgelser tyder desuden på, at enterokokker kan spille en rolle i overførslen af resistensgener fra det animalske reservoir til mennesker (Wegener et al., 1999).

Infektioner med antibiotikaresistente bakterier hos mennesker er uønskede, da det kan føre til behandlingssvigt (se f.eks. Mølbak et al., 1999). Desuden er der indikationer for, at risikoen for infektioner med resistente bakterier er forøget hos personer, som i forvejen er i antibiotisk behandling for en anden infektion (Glynn et al., 1998).

Forekomsten af antibiotikaresistente bakterier (zoonoser, specifikke dyrepatoogene og indikator bakterier) i produktionsdyr, levnedsmidler af animalsk oprindelse og mennesker i Danmark er beskrevet i DANMAP 99 (2000).

## 2.2 Beskrivelse af parasitter

Parasitære infektioner kan overordnet deles i protozoer og orme, hvor protozoerne indeholder de encellede organismer og ormene (cestoder, nematoder og trematoder) de flercellede. De fleste parasitære tarminfektioner diagnosticeres hos hjemvendte rejsende.

### 2.2.1 *Cryptosporidium parvum*

*C. parvum* er en encellet parasit, dvs. en protozo og en betydningsfuld årsag til gastroenteritis hos både dyr og mennesker. Indtil for nylig er *C. parvum* blevet anset som den eneste art af *Cryptosporidium*. Da denne art forekommer hos såvel dyr og mennesker, blev *C. parvum* desuden regnet for at være zoonotisk. Nyere undersøgelser har imidlertid vist, at *C. parvum* omfatter mindst to genotyper (Caccio et al., 2000). Medens genotype 1 ser ud til at være specifik for mennesker, har genotype 2 et bredt værtsspektrum (zoonose) og

forekommer hos både mennesker og adskillige pattedyrarter. Der foreligger kun få referencer vedr. fordelingen af de to genotyper hos mennesker, men i Europa tyder det på, at omkring 40-50% af human cryptosporidiose skyldes genotype 1; de resterende genotype 2. I en stor engelsk undersøgelse publiceret i 2000, blev genotype 2 isoleret fra 61,5% af 1.705 fæcesprøver fra mennesker med cryptosporidiose, mens genotype 1 blev isoleret fra 37,8% af prøverne. I fæcesprøver fra husdyr tilhørte samtlige isolater genotype 2 (McLauchlin et al., 2000).

Cryptosporidiers livscyklus starter ved, at et menneske eller dyr indtager det infektiøse stadium, oocysten. Efter indtagelse frigiver oocysten de såkaldte sporozoiter, som efterfølgende invaderer epitelcellerne i tarmen hvori der sker en intracellulær, ekstracytoplasmatisk udvikling bestående af flere ukønnede (schizogeni) og en kønnet (gametogeni) formering. Livscyklus afsluttes med frigivelse af oocyster til tarmlumen. Oocysterne er infektiøse umiddelbart efter udskillelse med fæces, og overførsel af smitte kan ske fra person til person, fra dyr til person, ved indtagelse af fækal forurenet fødevarer eller vand, eller ved kontakt med fækal kontamineret overflader såsom marker eller græsarealer. Flere udbrud i udlandet, opstået efter badning i kontamineret vandløb eller indtagelse af forurenet vand er beskrevet (McAnulty et al., 1994; Kramer et al., 1998; Willocks et al., 1998; Barwick et al., 2000; Anonymous, 2000b; McLauchlin et al., 2000; Slifko et al., 2000). Oocysterne kan desuden overleve udenfor en vært i op til 6 måneder i koldt og fugtigt klima (Miller and Paige, 1998).

Infektionsdosis er lille, normalt 10 - 100 oocyster. Cryptosporidiose giver typisk vandig diarré med mavesmerter, som hos børn kan indledes med madlede og opkast. Hos voksne ses kun sjældent feber, kvalme, madlede og opkast. Inkubationsperioden varierer fra 1 til 12 dage med et gennemsnit på 7 dage. Varigheden er normalt 1-2 uger. Alvorlige og livstruende infektioner, som bl.a. kan involvere ekstraintestinale organer som f.eks. lunger, kan forekomme hos immunsvækkede personer.

Human cryptosporidiose er ikke anmeldelsespligtig i Danmark, dog er praktiserende læger og hospitaler forpligtiget til at indrapportere alle sygdomstilfælde som mistænkes for at være fødevarebårne. Der diagnosticeres årligt omkring 180 tilfælde af cryptosporidiose, hvoraf hovedparten (ca. 80%) antages at være rejserelaterede. Der foregår ingen rutineovervågning af *C. parvum* i husdyr, og der foreligger p.t. ingen tal for fordelingen af genotyper hos mennesker og dyr. Antallet af diagnosticerede tilfælde af *C. parvum* hos husdyr i 1997 er angivet i Tabel 1.

Tabel 1 Diagnosticerede tilfælde af *C. parvum* hos hus- og kæledyr i Danmark, 1997

	Antal	Relativ forekomst (%)
Kvæg	229	9,3
Får/ged	6	2,6
Svin	56	2,5
Hest	7	2,1
Hund	4	3,5

Kilde: Heidi Larsen Enemark, Statens Veterinære Serumlaboratorium.

### 2.2.2 *Giardia intestinalis* (~duodenalis)

Giardiasis forårsages af protozoen *Giardia intestinalis*. Selvom parasitten, som isoleres fra husdyr (katte, hunde og kvæg) og vilde dyr (bævere og bjørne) er

identisk med den, som findes hos mennesker, regnes mennesket for at være hovedreservoiret. Det animalske reservoir udgør dog en potentiel smitekilde. Smitten sker som regel ved indtagelse af vand, sjældnere fødevarer, der er fækalt kontaminerede med cyster fra inficerede personer. Cysterne kan overleve i vand i op til 2 måneder. Infektionsdosen er meget lav, under 100 cyster, og man regner med at én cyste kan være sygdomsfremkaldende (Acha og Szyfres, 1987). Ved *Giardia* infektion beskrives afføringen ofte som voluminøs, grønlig, skummende og der kan være op til 10 til 12 diarréer dagligt eventuelt ledsaget af kvalme og mavesmerter. Inkubationstiden er normalt 7-10 dage, men kan variere fra 3 – 25 døgn. Sædvanligvis varer sygdommen 1-2 uger, men kroniske tilfælde med en varighed på måneder eller år forekommer også.

I Danmark blev der i 1997 diagnosticeret omkring 1.500 human infektioner. Det anslås at omkring 80% af disse var erhvervet i udlandet. Der er ikke foretaget nogle større epidemiologiske undersøgelser til belysning af forekomsten hos husdyr.

### 2.2.3 Ascaris

*A. lumbricoides* har mennesket som hovedvært, mens *A. suum* primært findes hos svin. Stort set alle rapporterede tilfælde af human ascariasis i Danmark skyldes *A. lumbricoides*, og hovedparten er importerede. Smitten sker normalt ved indtagelse af fækalt forurenede vand eller grøntsager, eller ved direkte kontakt med forurenede jord eller andet materiale hvortil æggene klæber sig fast. Infektionsvejen er oftest peroral (gennem munden), men der er indikationer på at inhalation af æg også kan medføre infektion (Acha og Szyfres, 1987). Efter at have slugt *Ascaris* æg, klækkes disse og larverne trænger ind i mave-tarm slimhinden og vandrer til lungerne. Larverne bevæger sig derefter ud i luftvejene, hvor de hostes op og sluges. I tyndtarmen udvikles de til voksne orm, der kan blive 10 - 15 cm lange. Vævsfasen er ofte asymptomatisk, men ved en massiv infektion kan ses lungesyntomer som hoste. Efter udskillelse af æggene i fæces går der 2 eller flere uger før disse har udviklet sig til deres infektiøse stadie. Æggene er ekstremt resistente overfor såvel fysiske som kemiske forhold, og kan overleve flere år i jord (Barriga, 1982).

Mennesker kan også inficeres med *A. suum*, om end disse infektioner antages at være sjældent forekommende. *A. suum* larver kan hos mennesker gennemføre vandringer gennem lever og lunge, men de kan ikke opnå kønsmodenhed i tarmen. *A. suum* er en af de hyppigst forekommende ormeinfektioner i svinebesætninger i Danmark.

### 2.3 Beskrivelse af virus

I modsætning til de fleste ovennævnte bakterier og parasitter er de humane gastrointestinale vira, som f.eks. Norwalk-lignende virus og Hepatitis A, ikke zoonotiske. Fødevarebårne virusinfektioner skyldes derfor altid levnedsmidler eller vand forurenede med humane fækalier eller opkast (Myrmel, 1994). Omvendt er zoonotiske vira som f.eks. rabies, hantavirus og herpesvirus ikke fødevarebårne, men smitter ved direkte kontakt med det animalske reservoir via aerosoler eller ved introduktion direkte i blodbanen. Visse zoonotiske vira er insektbårne f.eks. West Nile fever.

Under danske forhold kendes der p.t. ingen praktisk relevante humanpatogene vira, som kan tænkes at blive spredt med gylle fra danske husdyrbesætninger.

Derimod er der en række betydningsfulde virusinfektioner hos husdyr, der kan spredes med gylle, og som har store økonomiske konsekvenser for såvel den enkelte landmand som den danske landsbrugseksport.

Gylle kan naturligvis indeholde virus som findes i mave-tarmkanalen og udskilles gennem fæces, men da gyllen imidlertid også tilføres sekreter fra f.eks. øjne og luftveje vil virus udskilt i sådanne sekreter ligeledes kunne findes i den ubehandlede gylle. Der er derfor en potentiel risiko for at mange forskellige virus kan forekomme i gylle, heriblandt virus som giver anledning til ondartede smitsomme husdyrsygdomme.

Forekomsten af forskellige virus i fæces, sekreter og blod er beskrevet af Sellers (1980)

- Virus der hovedsageligt udskilles i fæces
  - Enterovirus, Rotavirus, BDV-virus, TGE-virus, Bovint corona virus, Kvægpest-virus (forekommer også i respiratoriske sekreter), Parvovirus, Adenovirus (forekommer også i respiratoriske sekreter)
- Massiv forekomst i fæces
  - Mund- og klovsygevirus, smitsom blæreudslæt- (SVD-) virus, svinepest-virus, Afrikansk svinepest-virus.
- Virus der ikke udskilles i fæces
  - Rabies-virus, Svineinfluenza-virus, IBR-virus, Aujeszky-virus, Vesiculær stomatitis-virus, Hemagglutinating encephalomyelitis-virus, Bluetongue-virus.

#### 2.4 Forekomst af bakterier i gylle

Dette afsnit beskriver de bakterier der forekommer i gylle under danske forhold. I Tabel 2 er beskrevet patogene agens, der kan forekomme i husdyrgødning.

Tabel 2 Potentielt patogene bakterier der udskilles i fæces og kan forekomme i husdyrgødning (Efter Larsen og Munch 1981, Munch og Larsen 1990)

Bakterier	Sygdom	Overførbar til mennesker	Antal pr. ml.
<i>Salmonella</i> , gastroenteritis gruppen	Salmonellose. Tarmbetændelse, almen infektion	Ja	Ukendt status: 0,2 – 54 Salm pos. <0.2 – 2.8×10 <sup>4</sup> *
<i>Escherichia coli</i> , patogene typer	Colibacillose, Tarmbetændelse, almen infektion	Ja	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniose, tarmbetændelse og evt. almen infektion hos mennesker	Ja	
<i>Clostridium perfringens</i>	Clostridiose, tarmbetændelse	Ja	~10 <sup>4</sup>
<i>Clostridium tetani</i>	Stivkrampe	Ja	
<i>Clostridium butulium</i>	Butolisme, forgiftning via føden	Ja	
<i>Pseudomonas</i>	Tarmbetændelse, evt. almen	Ja	

<i>aeruginosa</i>	infektion		
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listeriose, almen infektion, hjernebetændelse, abort	Ja	
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Rødsyge, almen eller lokal infektion, hudinfektion hos mennesker	Ja	
<i>Mycobacterium bovis</i>	Tuberkulose, almen eller lokal infektion	Ja	
<i>Mycobacterium avium</i>	Tuberkulose, almen eller lokal infektion	Ja	
<i>Mycobacterium atypiske arter</i>	Mukobakteriose, lokale tuberkellignende knudedannelser	Ja	
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	Kronisk tarmbetændelse hos kvæg, mistænkt som årsag til Crohn's sygdom hos mennesker	Måske	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>0</sup> Ej Kli. >10 <sup>1</sup> Klinik.
<i>Corynebacterium equi</i>	Almen eller lokal infektion	Nej	
<i>Brachyspira hyodysenteriae</i>	Tarmbetændelse	Nej	
<i>Bacillus anthracis</i>	Miltbrand, almen eller lokal infektion	Ja	~10 <sup>4</sup>
<i>Campylobacter jejuni</i> og <i>C. coli</i>	Tarmbetændelse	Ja	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>
<i>Lawsonia intracellularis</i>	Tarmbetændelse	Nej	
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	Nekrosebakterieinfektion, almen eller lokal	Ja	

\* Munch et al 1987 (undersøgelse af 1230 gylleprøver fra 322 danske husdyrbesætninger med eller uden forud diagnosticeret klinisk salmonellose)

Tabel 3 Potentielle patogene bakterier, der fortrinsvis har lokalisation i andre organer end tarmkanalen (Larsen og Munch 1981)

Bakterier	Sygdom	Overførbar til mennesker	Antal pr ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	Almen og lokal infektion	Ja	
Streptokokker, hæmolytiske	Almen og lokal infektion	Ja	
<i>Leptospira</i>	Almen og lokal infektion, bla. i urinveje	Ja	
<i>Corynebacterium pyogenes</i>	Almen og lokal infektion	Nej	
<i>Corynebacterium renale</i>	Urinvejsinfektioner hos kvæg	Nej	
<i>Corynebacterium suis</i>	Urinvejsinfektioner hos svin	Nej	
<i>Bordetella</i> arter	Infektioner i luftveje	Nej	
<i>Haemophilus</i> arter	Almen og lokal infektion bl.a. i luftveje	Nej	
<i>Pasteurella</i> arter	Almen og lokal infektion	(Nej)	
<i>Brucella</i> arter	Almen og lokal infektion	Ja	

Tabel 4 Indikatorbakterier for fækal forurening

Bakterier	Sygdom	Overførbar til mennesker	Antal pr ml
Enterokokker		Ja	$10^5$ - $10^7$
<i>E. coli</i>			$10^{4.5}$ - $10^{5.9}$ *

\* VET-BIO-2

Det bør bemærkes at undersøgelser af gylle fra danske besætninger uden kliniske symptomer viste, at *Salmonella* i perioden 1976-86 kunne påvises i ca. 12 % af kvægbesætningerne (34/282) og i ca. 28% af svinebesætningerne (9/32). I samme undersøgelse påvistes *Mycobacterium paratuberculosis* i 13% af kvæggylleprøverne (16/125).

I forbindelse med den veterinære miljøforskning på SVS (Sengeløv, 2000) har man talt totalkim (cfu/ml) i gylle på henholdsvis LB- og blodplader, samt talt antallet af tetracyclin og streptomycin resistente kim (cfu/ml). Gennemsnittet på LB var  $3,8 \cdot 10^7$  cfu/ml og på blod  $3,8 \cdot 10^7$  cfu/ml. Andelen af tetracyclin resistente varierede fra 2% til 82% .

Der blev i forbindelse med tema 3 under Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning udtaget gylleprøver fra 5 tilfældigt udvalgte svinebesætninger og 5 tilfældigt udvalgte kvægbesætninger. Disse gylleprøver blev analyseret for antal total kim, coliforme, enterokokker, *Campylobacter* samt *Salmonella* pr. ml. Resultatet er angivet i Tabel 5.

Tabel 5 Undersøgelse af gylleprøver fra 5 tilfældigt udvalgte svinebesætninger og 5 tilfældigt udvalgte kvægbesætninger (IP=Ikke Påvist) (MST 2000)

Prøve (pr. ml)	Svin	Svin	Kvæg	Svin	Svin	Svin	Kvæg	Kvæg	Kvæg	Kvæg
Total kim	$3,4 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^6$	$9,8 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^5$
Coliforme	$3,3 \cdot 10^3$	13	$3,3 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	230	$9,2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^3$
Enterokokker	$3,3 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$
<i>Campylobacter</i>	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP
<i>Salmonella</i>	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP

#### 2.4.1 Overlevelse udenfor værtsorganismen

Bakterier adskiller sig fra parasitter og virus ved, under visse forhold, at kunne vokse uden for en værtsorganisme. De fleste af de bakterier, der tillægges en potentiel smitemæssig betydning i forbindelse med håndtering af gylle har dog parasitær natur. Drabs- eller inaktiveringsforløbet syntes under de fleste forhold at være eksponentielt, dvs. at det relative antal bakterier der dør/inaktiveres pr. tidsenhed er konstant. Drabs- eller inaktiveringshastigheden udtrykkes ofte ved  $T_{90}$ , hvorved forstås den tid, der medgår til drab af 90% af den population der var levende ved periodens begyndelse (svarer til en  $\log_{10}$ -reduktion).  $T_{90}$ -værdien kaldes også decimeringstiden (D). Decimeringstiden for patogene bakterier i gylle er bl.a. afhængig af følgende variable forhold:

1. Arten (species) af den pågældende mikroorganisme
2. Begyndelsekimtallet (jo større initialkoncentration desto længere overlevener)
3. Omgivelsernes temperatur (længere overlevelse ved lave temperaturer end ved høje)
4. Vandaktivitet (længere overlevelse ved lav vandaktivitet end ved høj, forudsat der ikke er opformeringmulighed)

5. Tørstofindhold (længere overlevelse ved høj tørstofprocent end lav)
6. pH (længere overlevelse ved pH 6-8 end ved lavere og højere værdier)
7. Redoxpotentiale (Eh), (længere overlevelse under anaerobe forhold end under aerobe forhold)
8. Biocider (bakteriedræbende) stoffer
9. Mikrobielle antagonist
10. Ultraviolet lys.

I Tabel 6 er angivet decimeringstider for udvalgte bakterier

Tabel 6 Aerobe decimeringstider ( $T_{90}$  for gennemsnit) for patogene bakterier og indikatorbakterier i gylle, efter Larsen og Munch (1981), Olsen et al (1985) og Olsen et al (1985(2)).

Bakterier	$T_{90}$ (uger) ved 18-21°C	$T_{90}$ (uger) ved 6-15°C
<i>Salmonella Typhimurium</i>	2,0	5,9
<i>Escherichia coli</i>	2,0	8,8
<i>Clostridium perfringens</i> type C	Ingen reduktion	Ingen reduktion
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,9	7,1
Coliforme bakterier	2,1	9,3
Gruppe D-streptokokker	5,7	21,4
<i>Bacillus cereus</i>	Ingen reduktion ved 53°C	

Det bemærkes at der ikke er nogen reduktion i sporulerende bakterier.

Amerikanske undersøgelser (Himathongkham 1999) af overlevelse af *E. coli* O157:H7 og *S. Typhimurium* i kvæg-mødding og kvæg-gylle fandt decimeringstider fra 2 dage (37 °C) til 5 uger (4 °C).

Undersøgelser af decimeringstider for bakterier fra gylle spredt på græsmark

Tabel 7  $T_{90}$  værdier (døgn) for bakteriehefnald i gylle spredt på græsmark (forsøgsperiode aug-nov. 1980, (Schlundt 1982))

	Græszone			
	Nederst (0-8 cm)	Midte (8-16 cm)	Øverst (>16 cm)	Gennemsnit
<i>Salmonella Typhimurium</i>	24	19	18	20
<i>Escherichia coli</i>	19	13	9	14
<i>Streptococcus faecalis</i>	20	20	13	17

Den veterinære miljøforskning på SVS genfinder *Salmonella* i op til 15 dage efter gyllespredning på marker (Boloda, 2000).

## 2.5 Forekomst af virus i gylle

Der er ikke foretaget mange analyser af antallet af virus partikler i gylle. Derbyshire og Brown (1978) undersøgte 32 svinegylleprøver og 18 kvæggylleprøver, samt prøver fra miljøet efter gyllespredning. Titrering af 3 prøver gav  $10^{4.7}$ ,  $10^{5.0}$  og  $10^{5.5}$  TCID<sub>50</sub> pr. liter gylle (median tissue culture infectious dose).

Inaktivering i gylle af udvalgte vira er beskrevet i Tabel 8.

Tabel 8 Inaktiveringstider for animalske vira i gylle ved forskellige opbevaringstemperaturer (Bøttner 1990)

Virus	Gødningstype (gylle)	5°C (uger)	20°C
Svine-influenza	Svinegylle	9	2 uger
Porcint parvovirus	Svinegylle	> 40	> 40 uger
Bovin virusdiarrhoe	Kvæggylle	3	3 dage
IBR hos kvæg	Kvæggylle	> 4	2 dage
Aujeszky's sygdom	Svinegylle	15	2 uger
Mund- og klovsyge Svin	Svinegylle	> 14	2 uger
Mund- og klovsyge Kvæg	Kvæggylle	i.u.	5 uger
Klassisk svinepest	Svinegylle	> 6	2 uger
TGE hos svin	Svinegylle	> 8	2 uger

## 2.6 Forekomst af parasitter i gylle

Parasitter er organismer, der er afhængige af en vært for at kunne reproducere sig og de har ofte betydelig værtsspecificitet.

Der blev i forbindelse med tema 3 under Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning udtaget gylleprøver fra 5 tilfældigt udvalgte svinebesætninger og 5 tilfældigt udvalgte kvægbesætninger. Disse gylleprøver blev analyseret for en række parasitter, resultatet er angivet i Tabel 9.

Tabel 9 Undersøgelse af gylle prøver fra 5 tilfældigt udvalgte svinebesætninger og 5 tilfældigt udvalgte kvægbesætninger (IP=Ikke Påvist) (MST 2000)

	Svin	Svin	Kvæg	Svin	Svin	Svin	Kvæg	Kvæg	Kvæg	Kvæg
<i>Cryptosporidium</i> pr. ml.	200	0	0	100	0	100	100	0	100	0
<i>Giardia</i> pr. ml.	300	100	0	100	0	100	100	100	100	0
<i>Eimeria</i> (coccidier)	IP	IP	30 æg/gr	IP	IP	IP	5 æg/gr	IP	30 æg/gr	IP
<i>Ascaris</i> æg (spoleorm)	IP	IP	IP	15 æg/gr	10 æg/gr	IP	IP	15 æg/gr	IP	IP
Trådorm	IP	IP	IP	IP	IP	5 æg/gr	IP	IP	IP	IP
<i>Toxocara</i> (spolorm)	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP
Strongylide-æg	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	5 æg/gr	IP
Piskeorm	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	5 æg/gr	IP

*Giardia* ikke artsbestemt, De fleste vil nok være *G. intestinalis*, men da der ikke er blevet lavet nogle større epidemiologiske undersøgelser i DK over forekomsten af *Giardia* hos husdyr, er det kun en formodning. *Cryptosporidium* er alle *C. parvum* (H. Enemark personlig meddelelse).

Æg, larver, og cyster overlever generelt længe udenfor en vært. I Tabel 10 er angivet overlevelsestider for en række parasitter.



Tabel 10 Overlevelse af parasitter i gylle (ref LRC 1994, efter Olsen et al (1985))

	100 % drab, antal uger		
	Fast gødning	Gylle (anaerob)	
Parasitter (æg eller larver)	(aerob) 50°C	8°C	18°C
Løbetarmsspongolider	1	9	4
Lungeorm (D.viv.)	2	6	3
Leverikte (F.hep.)	2	11	8
Ascaris/Spoleorm(A.suum)	3	13	13

#### Smitterisici ved parasitter

1. Infektive dosis er lav
2. Overlevelse i naturen er generelt høj

Der er ikke fundet nogen referencer på antal *Ascaris suum* i gylle, men Nilsson (1982) beskriver bla. overlevelsen i grise-urin. Hvis æggene inden 3 måneder overføres fra urinen til vand genoptager de udviklingen, men ligger de i urinen mere end 3 måneder dør de.



## 3 Udspredning af gylle

Der findes ingen lovmæssige bestemmelser om kontrol af smitstoffer i husdyrsgødning som ønskes spredt over større områder, heller ikke uden for en ejendoms egne marker (jvf. Bilag B: Husdyrsbekendtgørelsen). Regler om udbringning af gylle er udformet ud fra betragtninger vedrørende næringsstofbelastning af det ydre miljø.

Flydende husdyrsgødning må ikke udbringes i perioden fra høst til 1. februar, undtagen i perioden fra høst til oktober på etablerede overvintrende græsarealer eller på arealer med vinterraps. Baggrunden for disse regler er minimering af kvælstoftabet og deraf følgende næringsstofbelastning af det omgivende miljø. Der er ikke taget veterinære hensyn eller hensyn til humane smitterisici dog må der ikke spredes gylle fra besætninger under offentligt tilsyn. Der er på afgræsningsgræs anbefalinger vedrørende udbringningen, idet det er det eneste område, der er vurderet til at udgøre en risiko for smitteoverførsel med husdyrsgødning. Anbefalingerne består i at:

1. Gylleudbringning på afgræsningsmarker bør begrænses mest muligt.
2. Afgræsning bør ikke påbegyndes før tidligst 30 dage efter udbringning af lagret gylle og tidligst 60 dage efter udbringning af ikke lagret gylle.
3. Kun voksne dyr bør afgræsse arealer tilført gylle.

Yderligere har EU i 1980 (EU 1980) udarbejdet minimumsretningslinier for anvendelse af gylle m.m. med henblik på at indføre praktisk anvendelige regler til reduktion af smittefaren ved håndtering af gylle:

1. Anvendelse af gylle bør så vidt muligt begrænses til pløjejordsafgrøder. Gylle bør ikke anvendes på afgrøder der fortæres rå,
2. Hvis gylle alligevel anvendes på græsmarker, bør græsset anvendes til sletafgrøder: Hø ensilage, grønpiller,
3. Hvis gylle alligevel anvendes på græsningsarealer bør følgende krav være opfyldt:
  - a. gyllen skal være lagret, før den udbringes: I sommerperioden mindst 60 dage, i efterårs- og vinterperioden mindst 90 dage,
  - b. afgræsning bør ikke påbegyndes før tidligst 30 dage efter gylleudbringning,
  - c. kun voksne dyr eller uimodtagelige dyr bør afgræsse de gyllebehandlede arealer.

For Danmarks vedkommende giver følgende faktorer anledning til overvejelser (LRC 1994 side 33-44).

1. I danske husdyrbrug, hvor der kun er én gyllebeholder kan minimumskravene om lagring ikke overholdes.
2. Visse alment udbredte patogener elimineres ikke, f.eks. *Mycobacterium paratuberculosis*, *Clostridium perfringens* type C, parvovirus, æg fra spoleorm og bændelorm.
3. Under anaerobe forhold i lagertankene forløber nedbrydningen af mange smitstoffer meget langsomt.
4. Gyllens konsistens og partikelstørrelse har betydning for smitstoffernes nedbrydningstid. Den forlænges i større partikler og bestanddele.
5. Den anvendte udbringningsteknik har betydning for smitstoffernes nedbrydningstid.

6. Smitstoffernes nedbrydningstid og spredningsevne er afhængige af klimatiske faktorer f.eks. temperatur, luftfugtighed, skydække.

### 3.1 Traditionelle udsprede teknikker

Ved udbringning af gylle anvendes forskellige teknikker (LRC, 1994 side 33-44 samt personlig samtale Thorkild Birkmose, LRC 2001).

Ved *udlægning med slæbeslanger* udbringes gyllen gennem slanger med 30-50 cm's afstand som slæber på jordoverfladen. Gyllen bliver herved placeret i rækker med 6-8 cm's bredde. Dette er den dominerende udbringningsmetode, og skønsmæssigt udbringes 75% af gyllemængden i Danmark ved denne metode.

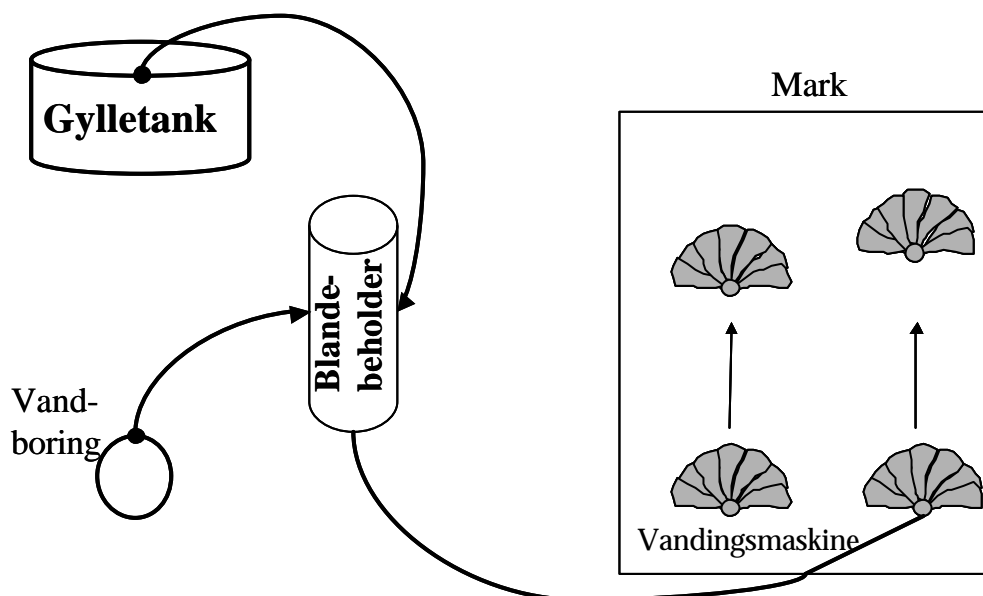
Ved *breddspredning*, hvor gyllen fordeles via én eller flere spredeflader eller gennem en svingende dyse (pendul) tilstræbes gyllen fordelt jævnt over hele arealet. Skønsmæssigt udbringes ca. 15 % af gyllemængden udbringes ved denne metode. Der sælges i praksis ikke længere breddspredere og de forventet udfaset i de kommende år.

*Nedfældning af gylle* anvendes fortrinsvis i græsmarker og ved sen udbringning i roer og majs. Ved nedfældning placeres gyllen i 5-10 cm's dybde og ved hjælp af nedfældningsaggregat, som kan bestå af et rulleskær efterfulgt af en nedfældertand eller af 2 vinklede rulleskær hvor gyllen lægges ned i den åbne rende. Skønsmæssigt udbringes ca. 10 % af gyllemængden udbringes ved denne metode..

En variant af nedfældning af gylle er udbringning med slæbesko, hvor gyllen placeres efter en slæbesko som overfladisk bearbejder jorden.

### 3.2 Med vandingsanlæg

Agrometer A/S har patenteret specialblandeanlæg til udbringning af gylle og flydende ammoniak med eksisterende vandingsanlæg (Agro 1997). Fra gylletanken og vandboringen pumpes henholdsvis gylle og vand ind i en blandebeholder. Fra denne pumpes vand/gylle (max 25%) blandingen til vandingsanlægget hvorfra det udspredes. Figur 2 illustrerer konceptet i blandingen og udspredeingen



Figur 2 Skitse af anlægget til udbringning af gylle fortyndet med vand. Der spredes i skitsen udelukkende i en halvcirkel (180°)

Der anvendes forskellige vandingsmaskiner, dimensionerne er primært afhængige af arealet på marker der skal vandes samt den nødvendige vandmængde. I Figur 3 er illustreret to forskellige vandingsanlæg, én dyse samt én vandingsmaskine.



Figur 3 Øverst forskellige typer af vandingsanlæg, de illustrerer potentiel aerosoldannelse. Nederst henholdsvis dyse og vandingsmaskine fra moderne vandingsanlæg.



## 4 Aerosoler

I en beskrivelse af aerosoldannelse fra vandingskanoner er dråbevolumenstørrelsesfordelingen den vigtigste parameter. Ved stigende tryk på vandingskanonen mindskes partikelstørrelsen og derved øges den del af det samlede volumen, der potentielt kan føres bort med vinden. Typen og udformningen af dysen på vandingsanlægget påvirker ligeledes dråbefordelingen. Yderligere er vindretning, vindhastighed, luftstabilitet, temperatur samt relativ luftfugtighed vigtige faktorer.

Dimensionerne for et typisk vandingsanlæg er beskrevet i Tabel 11

Tabel 11 Typiske fysiske data for et vandingsanlæg til udsprengning af gylle fortyndet med vand

Tryk (ved dysen)	3,5-4,5 bar
Dyse	14-38 mm
Kast diameter	59-106m
Ydelse	17-117 m <sup>3</sup> /time
Andel gylle	Max 25 %
Højde af sky	ca. 10m

Dråbestørrelsesfordelingen for vandingsanlæg med de fysiske data angivet i Tabel 11 ligger fra under 10µm til over 1mm.

Når en opløsning spredes via et vandingsanlæg (en dyse) opdeles den i sfæriske eller næsten sfæriske partikler (dråber). Partikler der er mindre en 100 µm (0,1mm) anses normalt for meget let at kunne drive bort med vinden. Partikler af denne størrelse påvirkes mere af vinden og de irregulære turbulente termiske luftstrømme end af tyngdekraften.

I Tabel 12 vises eksempler på faldtider for forskellige dråbestørrelser (Ross and Lembi, 1985).

Tabel 12 Fal dhastigheder (m/s) for forskellige dråbestørrelser i stille vejr (Ross and Lembi, 1985)

Effekt af dråbestørrelsen på faldtiden (3 meter) i stille vejr		
Dråbestørrelse(µm)	Tid	Hastighed (m/s)
1 (tåge)	28 timer	$3,0 \cdot 10^{-5}$
10 (tåge)	17 min.	$1,8 \cdot 10^{-3}$
20	4 min.	$1,3 \cdot 10^{-2}$
100 (dis)	11 sek.	0,28
200 (fin spray)	4 sek.	0,76
400 (grov spray)	2 sek.	1,5
1000 (grov spray)	1 sek.	3,0

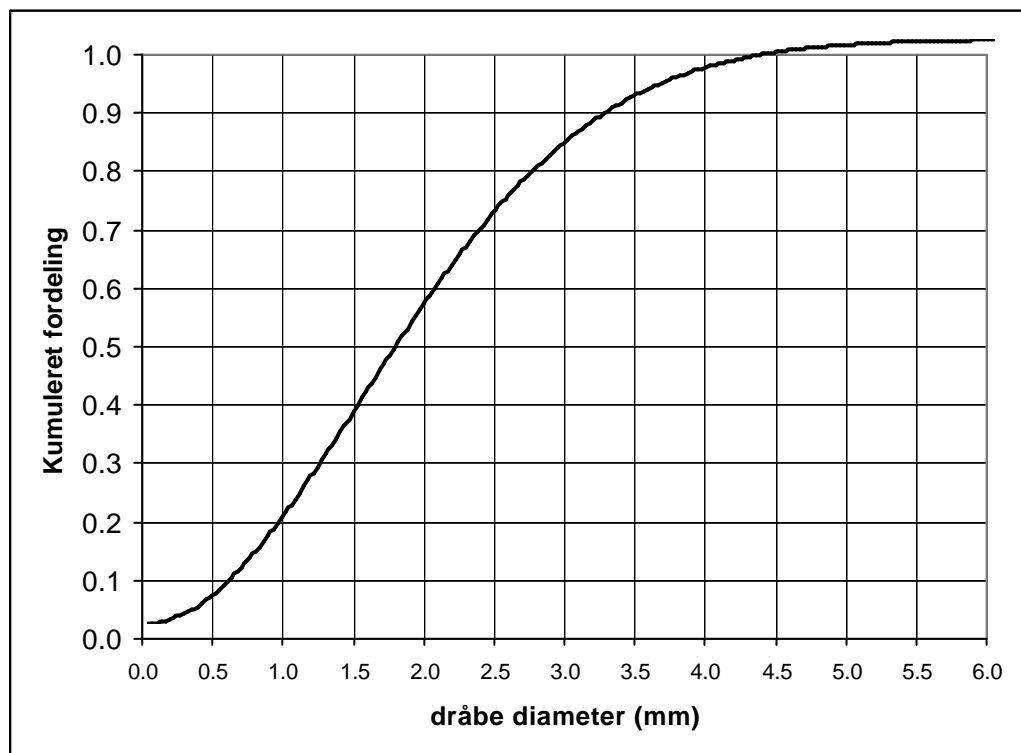
En del af dråberne fordamper inden de når jorden, dette er beskrevet i Tabel 13. Det betyder at eventuelle agens dermed er fuldt luftbårne (og dermed udsættes for UV-lys, udtørring mv.)

Tabel 13 Effekt af dråbestørrelse på fordampningen (Hofman, et al., 1986)

Effekt af dråbestørrelse på fordampning	
Diameter (µm)	(Vertikal / horisontal) bevægelse i meter indtil fordampning ved temperatur 25 °C, 55% relativ luft fugtighed, vindhastighed på 0,45 m/s og max vertikal faldhøjde er 6,5 meter)
80	(0,3 / 2,3)
100	(1,0 / 3,6)
120	(2,3 / 4,9)
150	(4,9 / 6,9)
200	(6,5 / 3,0)

Det bør dog bemærkes, at den relative fugtighed er meget lav, hvilket kraftigt påvirker fordampningen.

Kincaid et al. (1996) har undersøgt dråbevolumfordelingen for en række vandingsanlæg med forskellige dysetyper, dysediametre samt forskellige tryk. I undersøgelsen indgår vandingsanlæg med de fysiske parametre beskrevet i Tabel 11. Dråbevolumfordelingen er parametriseret med en eksponentialfunktion givet ved  $P_v = (1 - \exp[-0.693 \times (d/d_{50})^n])$ , hvor  $P_v$  er andelen af det totale volumen i dråber med en diameter mindre end  $d$  (mm),  $d_{50}$  er median dråbevolumendiameteren (mm) og  $n$  er en dimensionsløs eksponent. Denne dråbevolumfordeling har en estimeret median dråbevolumendiameter  $d_{50}$  på 1.83 mm, hvilket vil sige at 50% af volumen er indeholdt i dråber mindre end 1.83mm.  $n$  er estimeret til 1.91. Den eksponentielle dråbevolumfordeling er vist i Figur 4



Figur 4 Eksponentiel dråbevolumfordeling (Kincaid et. al. 1996)

Figuren beskriver variationen i dråbestørrelsen og skal fortolkes som følger: Dråbediameteren varierer fra 0 – 6 mm som angivet på den horisontale akse.



Den vertikale akse angiver det kumulerede volumen. Dette illustreres med et par eksempler.

1) Begynd ved værdien dråbediameteren 2 mm på den horisontale akse gå lodret indtil kurven og aflæs den vertikale akse (ca. 0.56). Det betyder at der er 56 % af det samlede volumen findes i dråber med en diameter mindre end 2 mm.

2) Begynd med værdien 0.2 på den vertikale akse. Gå vandret indtil kurven og aflæs den horisontale akse (ca. 1.0). Det betyder at der er 20 % af det samlede volumen findes i dråber med en diameter mindre end 1 mm.

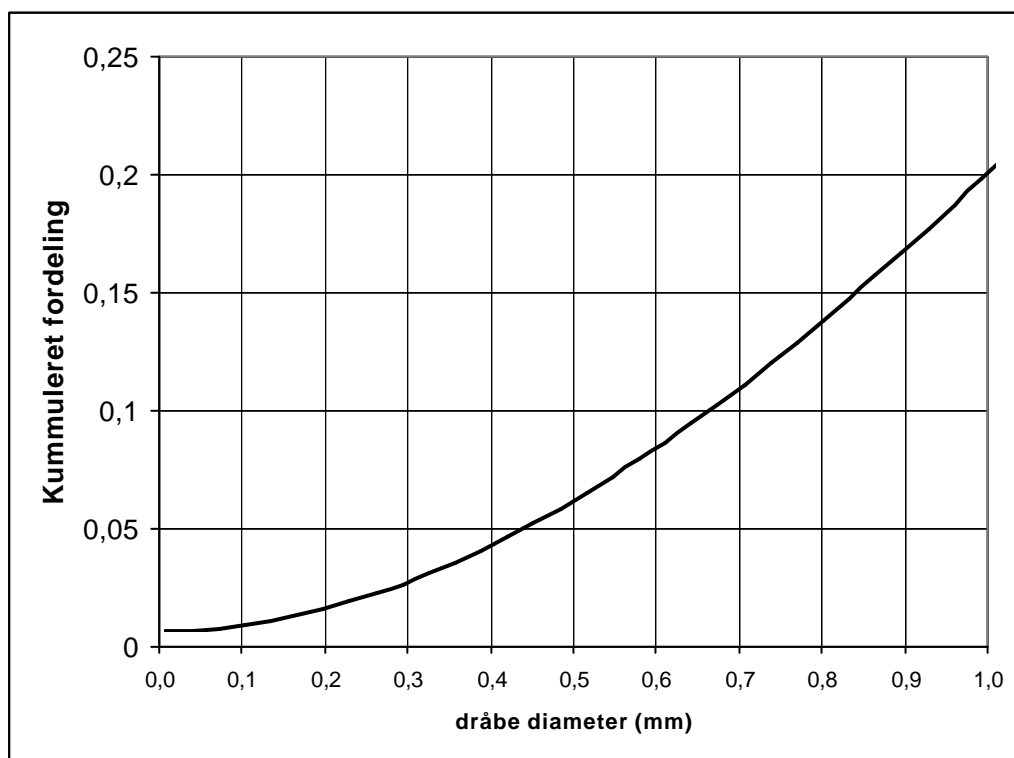
Det er udelukkende relevant at betragte dråber med en diameter mindre end 1 mm, idet større dråber falder så hurtigt til jorden under normale vindforhold at de ikke driver bort med vinden (jvf Tabel 12). Partikler større end 1 mm antages derfor alle at blive deponeret indenfor markarealet.

I forbindelse med modellering af aerosolspredningen som beskrevet i afsnit 5 er dråbevolumenfordelingen diskretiseret i volumendiameter intervallerne angivet i Tabel 14.

Tabel 14 Diskretisering (inddeling i intervaller) af dråbevolumenfordelingen. Volumen (%) angiver andelen af det samlede volumen der findes i dråber i det pågældende interval ( $]0,05 ; 0,1]$  betyder at 0,05 ikke er inkluderet i intervallet, 0,1 er inkluderet).

Diameter (mm)	[<0,05]	]0,05 ; 0,1]	]0,1 ; 0,2]	]0,2 ; 0,3]	]0,3 ; 0,4]	]0,4 ; 0,5]	]0,5 ; 0,6]	]0,6 ; 0,7]	]0,7 ; 0,8]	]0,8 ; 0,9]	]0,9 ; 1,0]	>1,0
Volumen (%)	0,72	0,20	0,74	1,16	1,56	1,92	2,26	2,56	2,83	3,07	3,27	80,4

Det diskretiserede intervalområde af dråbevolumenfordelingen er vist i Figur 5. Dette interval indeholder ca. 20 % af total volumen.



Figur 5 Closeup af den eksponentielle dråbevolumenfordeling



# 5 Modelling af spredning af aerosoler

At beskrive aerosolers bevægelser i luften er meget komplekst. I denne analyse er det valgt at modellere aerosolbevægelserne ved en til formålet specialdesignet videreudviklet udgave af modellen RIMPUFF. I den følgende generelle beskrivelse af modellen anvendes termen materiale, der i denne applikation betegner aerosoler fra vandingsanlæg.

## 5.1 Generel beskrivelse af RIMPUFF

Spredning af materiale i atmosfæren beregnes med RIMPUFF (RISø Mesoscale PUFFmodel). RIMPUFF (Mikkelsen et al., 1984; Thykier-Nielsen et al., 1989; Thykier-Nielsen og Mikkelsen, 1993) er en hurtig og effektiv puff model, som er velegnet til at beregne spredningen af materiale i atmosfæren under forhold, hvor de meteorologiske parametre varierer i rum og tid. Modellen kan beregne tør og våd deponering af det frigjorte materiale.

Udbredelsen af puff afhænger i RIMPUFF af den lokale turbulens, som enten kan fås direkte fra lokale målinger, eller beregnes med en pre-processor (Mikkelsen og Desiato, 1993). I RIMPUFF indgår endvidere varmeløft af plumen (aerosolsky), refleksion ved grænselaget og jordoverfladen, dosis beregning og våd/tør deponering.

Turbulensen kan karakteriseres på flere måder: Horisontale og vertikale vindfluktuationer, similaritets teori eller de såkaldte Pasquill klasser. Pasquill klasser, som benyttes ved de foreliggende beregninger, kan med rimelighed benyttes ved ukomplicerede meteorologiske forhold, når blot der er tale om korte afstande. Man inddeler den atmosfæriske turbulens i 6 kategorier, A til F, hvor A er den mest ustabile (stor spredning) og F den mest stabile (lille spredning). Pasquill klasse D betegner såkaldt neutrale forhold (mere end 60% af tiden).

Mængden og sammensætningen af det materiale, der deponeres på jordoverfladen er af væsentlig betydning. Tør deponeringshastigheden er forskellig for gasser og partikler, og i begge tilfælde stærkt afhængig af overfladens karakter, det vil sige at forskellige materialer har forskellig deponering på forskellige overflader. I RIMPUFF benyttes den såkaldte source depletion model, hvor tør deponeringen for et givet materiale karakteriseres ved en deponeringshastighed, som bl.a. er en funktion af den atmosfæriske stabilitet og vindhastigheden (Thykier-Nielsen og Larsen, 1982). Deponeringshastigheden kan korrigeres yderligere efter overfladetyper, by, land (åbne marker), skov og vand.

Normalt antages det, at fordelingen af materiale i et givet puff ikke påvirkes af deponeringen og at et puff spejles helt ved jordoverfladen. Når der er tale om tunge partikler, med en diameter der er meget større end  $1 \mu\text{m}$ , må ovennævnte source depletion model modificeres på flere punkter. Højden af et puff reduceres som funktion af transport tiden og deponeringshastigheden. Hertil kommer at der ikke antages nogen refleksion ved jordoverfladen. Beregningsmæssigt betyder dette, at man modellerer udfaldet af partikler som

om puffet "synker ned" i jorden. Alt materiale som berører jordoverfladen afsættes på denne. Er der tale om væskedråber, hvor afsætningshastigheden aftager med tiden, som følge af fordampning, kompliceres dette yderligere. Ved sådanne udslip kan der tales om 2 faser: I den første fase falder de tunge dråber med en faldhastighed som beregnes med den metode, der er beskrevet i næste afsnit. Når faldhastigheden er lig 0, d.v.s. al væske er fordampet, er der stadig partikler tilbage i luften. Disse partikler er meget små, typisk omkring 1  $\mu\text{m}$ , og deponeringen kan derfor beregnes med den først beskrevne source depletion model.

Den relative fordeling af materiale i luften og på jorden efter et givet udslip afhænger af mange faktorer. For et væskeformigt udslip er de primære parametre, udover mængden der frigøres, udslipsperioden, højden, dråbestørrelse og temperatur. Hertil kommer så de atmosfære relaterede parametre: Turbulens (her beskrevet ved Pasquill klasse), vindhastighed og retning, tryk, temperatur og fugtighed.

## 5.2 Speciel behandling af dråber

Ud over at blive dispereret på grund af turbulensen i den omgivende luft vil en sky af vanddråber også være i fald mod jorden, og dråberne vil fordampe, hvis den relative luftfugtighed er under 100%. Faldet og fordampningen beregnes ved løsning af de tidlige differentialligninger for masse-, bevægelsesmængde- og energibevarelse, her udtrykt for en enkelt dråbe, idet alle dråber af den aktuelle størrelse antages at opføre sig ens og i øvrigt ikke påvirker hinanden. Derudover er det antaget at dråbernes indflydelse på temperatur og fugtighed af den omgivende luft er så lille, at også denne indflydelse kan negligeres.

Masseligningen er omformet til en ligning i dråbediameteren, bevægelsesmængdeligningen til en dråbehastighedsligning og energiligningen til en temperaturligning. Størrelse, hastighed og temperatur af dråben samt temperatur og relativ fugtighed af luften er afgørende for friktionen, varmetransporten til dråben samt fordampningen, og dermed af de tidlige ændringer i størrelse, hastighed og temperatur. Friktionen, varmetransporten fra omgivende luft til dråben samt transporten af det fordampede vand fra dråbeoverfladen til den omgivende luft er beskrevet ved empiriske modeller fra litteraturen, Boothroyd (1971), og Bird et al. (1960). De nødvendige materialedata såsom varmfylder, massefylder og diffusionskoefficienter er beskrevet delvis med modeller fra litteraturen, Field et al. (1967), delvis med polynomiumsapproximationer til data fra Kristensen (1972).

Med beregningssekvensen: materialestørrelser, overgangskoefficienter, tidssteppet, diameteren, hastigheden, og til sidst temperaturen, giver denne model en hurtig og stabil bestemmelse af en dråbes opførsel, dvs. dens størrelse, faldhastighed og temperatur som funktion af tid samt af omgivende lufts temperatur og fugtighed.

Yderligere detaljer om beregningerne findes i Bilag A.

## 5.3 Evaluering

RIMPUFF er blevet evalueret ved adskillige eksperimenter i forskellige typer terræn. Konklusionen er at ud til en afstand af ca. 30 km fra udslipspunktet i fladt terræn kan RIMPUFF forudsige koncentrationer og doser indenfor en faktor 2 til 3. Usikkerheden er noget større i komplekst (bjergrigt) terræn hvor bestemmelsen af vind- og turbulens-felter er relativt kompliceret.

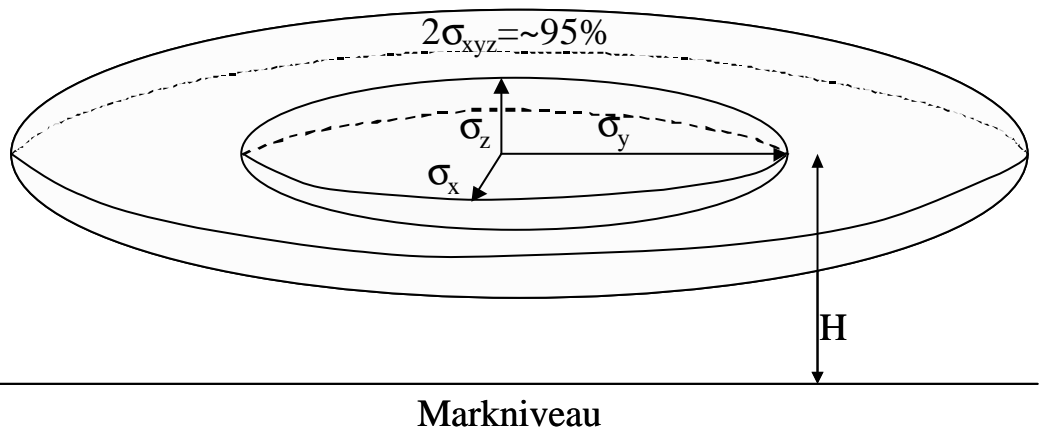
For de forskellige typer terræn skal nævnes følgende evaluerings eksperimenter:

- Fladt terræn: Adskillige eksperimenter, specielt skal fremhæves Øresunds eksperimenterne i perioden 1982-1984. (Thykie-Nielsen og Mikkelsen, 1988).
- Bakket terræn: "MADONA" ("Meteorology And Diffusion Over Non-uniform Areas") : Omfattende eksperimentel kampagne i bakket terræn nær Porton Down i England. Detaljerede målinger af spredning og turbulens (Thykie-Nielsen et al., 1995).
- Bjergrigt terræn: Guardo eksperimentet. En serie på 14 fuld-skala sprednings eksperimenter i særdeles bjergrigt terræn i det Nordlige Spanien (Thykie-Nielsen et al., 1993a).

#### 5.4 Dimensioner af et puff

Det er ikke muligt i RIMPUFF at beskrive den eksakte bane for væsken der udsprøjtes fra vandingsanlægget. Der er derfor lavet en række approksimationer. Dråbeskyen fra vandingsanlægget beskrives med en ellipsoide med en normalfordelt tæthed. Dimensionerne angives af  $\sigma_{xyz}$  der udgør én standardafvigelse i henholdsvis xyz-planen. Dette er illustreret i Figur 6.

Vandingsanlægget bevæges rundt på marken som beskrevet i Figur 2, og varigheden af tiden der udledes puff på hver position afhænger af dimensionerne af det pågældende vandingsanlæg (primært dysediameter og tryk) samt den mængde gylle fortyndet med vand der skal udbringes (antal mm gange arealet). For at forenkle beregninger antages et konstant udslip i 10 sekunder. Dette udslip udbreder sig som et enkelt puff. Vind retningen holdes konstant under hele udspreddingen. Tiden det tager aerosolerne at bevæge sig fra vandkanonen til markskellet er forsvindende lille i forhold til den samlede varighed af udspreddingen.



Figur 6 Principiel skitse af et puff, H angiver højden af centrum for ellipsoiden ( $H=10\text{m}$ ),  $\sigma_{xyz}$  angiver halvakslerne i ellipsoiden ( $\sigma_x=10\text{m}$ ,  $\sigma_y=10\text{m}$ ,  $\sigma_z=2\text{m}$ ). Da tætheden i ellipsoiden er normalfordelt angiver  $\sigma_{xyz}$  én standardafvigelse i den pågældende retning. Som angivet på figuren indeholder  $2\sigma_{xyz}$  ca 95 % af dråberne.

## 5.5 Variation af meteorologiske variable

For at undersøge betydningen af vejret i forbindelse med modellering varieres en række meteorologiske variable, temperatur, vindhastighed, relativ fugtighed samt meteorologisk stabilitet.

Som standard situation for danske forhold er valgt en temperatur på 10 °C, vindhastighed på 5 m/s, Relativ fugtighed på 90% samt meteorologisk stabilitet til neutral (pasquill D).

Et parameterstudie må omfatte et spektrum af realistiske værdier af de nævnte parametre, der er valgt følgende værdier

Relativ Luftfugtighed (%): 60, 70, 80, 90, 100

Temperatur (°C): 5, 10, 20

Vindhastighed (m/s): 2, 5, 8

Meteorologisk stabilitet (*Pasquill*): B (ustabil) ; D (neutral) ; F (stabil)

Disse variationer er udelukkende beskrevet for partikelstørrelsen 0,1 mm, idet det er vurderet at det er tilstrækkeligt at klarlægge betydningen af de enkelte parametre.

## 5.6 Resultatet af modellering

Resultatet fra modelleringen af aerosolspredningen beskrives på et 5x5 km net med en maskestørrelse på 20x20m og omfatter

1. Mængden af fortyndet gylle pr.  $m^3$  i 1 meters højde. Dette kan umiddelbart omregnes til antal agens pr  $m^3$  luft når antallet af agens i gyllen fortyndet med vand kendes.
2. Mængden af fortyndet gylle deponeret pr.  $m^2$ . Dette kan ligeledes omregnes til antal agens deponeret pr.  $m^2$ , når antallet af agens i gyllen fortyndet med vand kendes.

## 6 Kvalitativ risikoanalyse

Aerosolers betydning for spredning af patogene mikroorganismer, allergener, endotoksiner og medicinrester, har fået stor opmærksomhed i de seneste år, om end der især har været fokuseret på aerosoldannelse fra rensning af spildevand.

Mennesker kan smittes aerogent eller peroralt med humanpatogene agens fra aerosoler. Der er nogen litteratur om den estimerede perorale infektiøse dosis (se afsnit 4), hvorimod det er meget sparsomt med litteratur om aerogen infektiøse doser.

Hovedparten af studierne omhandler *Salmonella*, hvor der gennem de senere år er publiceret adskillige studier der rokker ved opfattelsen af, at den infektiøse dosis ligger på  $10^5$  bakterier eller derover. I D'Aoust (1989) er angivet infektiøse doser på 1 til  $10^5$  bakterier hvoraf flere studier angiver infektiøse doser under 100 bakterier. Blaser og Newman (1982) rapporterer udbrudsdata med infektiøse doser fra 1 til  $10^{11}$  bakterier med en median på  $10^2$ .

Der eksisterer ikke humane tal for den aerogene infektiøse dosis. Men det skal bemærkes at andre infektioner end de normalt luftbårne kan spredes ad denne vej og at den infektiøse dosis ved aerogen (luftbåren kontakt) smitte ofte vil være lavere end ved peroral (gennem munden, direkte kontakt) indtagelse. For *Salmonellas* vedkommende angives den infektiøse dosis hos får og kalve ved inhalation kun at være en fjerdedel eller mindre af hvad der kræves for etablering af en peroral infektion (Pritulin, 1959). Ved forsøg med mus og primater iagttoges infektiøse inhalationsdoser, der var ca 1000 gange mindre end ved de orale doser (Crozier og Woodward, 1962, Ivanott et al., 1979).

Jepsen og Roth (1950) viste, at ved udsprøjtning af spildevand med vandkanon kunne fækale colibakterier påvises i en afstand af 392 m fra kanonens plads.

### 6.1 Risikoidentifikation

Personer, der opholder sig i området, som berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen (luftbåren kontakt) eller peroral (gennem munden, direkte kontakt) smitte af mennesker fra aerosolskyen.

I tilfælde af at personer opholder sig i området, der berøres af en eventuel aerosolsky, opstår der mulighed for at fødevarer, tøj, blottet hud eller medbragte genstande bliver udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan ligeledes føre til efterfølgende peroral smitte (indirekte kontakt).

Dyr, der opholder sig i området, som berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen (luftbåren kontakt) eller peroral (direkte kontakt) smitte af dyrene fra aerosolskyen.

Dyr, der græsser i områder, eller dyr, der på et senere tidspunkt fodres eller kommer i kontakt med hø / halm etc., der kan være eksponeret for aerosolskyen, kan ligeledes risikere smitte fra deponerede agens (indirekte kontakt).

Desuden bør nævnes risikoen ved at sprede antibiotikaresistente organismer til miljøet, samt de mulige ekstra konsekvenser ved en infektion med antibiotikaresistente bakterier.

Endelig vil også kemiske stoffer, herunder medicinrester, hormoner, mercaptaner, kuldioxid, ammoniak, metan, desinfektionsmidler, svovlbrinte mv. kunne spredes med gylle. Disse er som nævnt tidligere ikke vurderet i denne rapport.

## 6.2 Risikoreducerende foranstaltninger

1. Lagring af gyllen eller anden smitstof reducerende behandling.
2. Udspredning i vindstille vejr.
3. Brug af udspretningsmetode der minimerer aerosoldannelse.

Sikkerhedskravene til udspredning af gylle skal afpasses efter de risici der er relevante. Skærpede forholdsregler bør derfor tages hos besætninger der må anses for at være smitstofmæssigt belastede (Det er f.eks. ikke tilladt at sprede gylle fra besætninger med klinisk salmonellose). Dette er relevant for både smitteoverførsel til mennesker og smitteoverførsel til dyr.



## 7 Kvantitativ risikoanalyse

De patogener, der indgår som eksempler i den kvantitative risikoanalyse blev udvalgt ud fra to kriterier: 1) Eksistens af data vedrørende forekomst og overlevelse i gylle, og 2) relevans under danske forhold, dvs. betydning og hyppighed i danske husdyrbesætninger og/eller mennesker.

Som det fremgår er partikelstørrelsen af patogenet en vigtig faktor, når det skal beregnes hvor langt og over hvor stort et areal mikroorganismene spredes i forbindelse med udbringning af gylle. Patogener med samme partikelstørrelse, f.eks. bakterier eller virus, vil under samme klimaforhold opføre sig ens i spredningsmodellen, hvorved resultatet af denne udelukkende vil være afhængig af den initiale koncentration af patogenet i gyllen. Typiske bakteriestørrelse er i intervallet  $[0,5;2]\mu\text{m}$ , typiske virusstørrelse er i intervallet  $[0,02-0,3]\mu\text{m}$ , *Cryptosporidier* er i intervallet  $[4;5 \mu\text{m}]$ , *Ascaris* æg er i intervallet  $[60;90]\times[60;75]\mu\text{m}$  og *Giardia* er i intervallet  $[7-10]\mu\text{m}$ . *Ascaris* æg vil, grundet deres størrelse, kun udgøre et problem ved ophold i umiddelbar nærhed af vandingsanlægget.

På baggrund af ovenstående blev *Salmonella* valgt til at indgå i en spredningsmodel for bakterier og *Cryptosporidium parvum* til at indgå i en model for protozoer, da der for disse to forelå data vedr. forekomst i gylle og begge har relevans under danske forhold, dvs. betydning og hyppighed (udgør risiko) i danske husdyrbesætninger og for mennesker.

Der var ikke tilgængelige data vedrørende forekomst af vira eller *Ascaris suum* i gylle fra husdyrbesætninger.

Den kvantitative analyse kan anvendes til vurdering af sundhedsmæssige risici af alle typer agens af samme fysiske størrelse.

For en række af de bakterielle og parasitære infektioner nævnt i Afsnit 4 blev der angivet information vedrørende infektionsdosis. Disse skal dog vurderes med nogen forsigtighed, da de ofte enten er 1) ekstrapolerede fra epidemiologiske undersøgelser, herunder udbrudseftersporinger, 2) fremkommet ved eksperimentelle infektionsforsøg med unge og raske frivillige, eller 3) baseret på "worst-case" situationen. Derudover er det vanskeligt at inddrage i forbindelse med risikovurdering, da de ikke tager højde for specifikke patogen eller værts afhængige faktorer, herunder den inficerede persons helbredsstatus og alder.

På baggrund heraf er det valgt, at estimere antallet af patogener som en person kan udsættes for pr. time ved ophold i et område, hvor der spredes gylle indeholdende zoonotiske smitstoffer.

I den kvantitative analyse vil der blive beskrevet et middelscenarium, et worst-casescenarium samt lavet en fordeling af udfaldet af analysen.

Fremgangsmåden og de enkelte informationer der indgår i analysen er beskrevet i det følgende.

## 7.1 Informationer der anvendes i analysen

De anvendte informationer er inddelt i tre grupper

- A. Vedrørende agens i gylle,
- B. Vedrørende udspredningen af gylle fortyndet med vand,
- C. Vedrørende den humane eksponering for aerosoler fra udspredningen.

### ad A) Vedrørende agens i gylle

1. Antallet af den pågældende agens i den ufortyndede gylle (afhængig af agens vil antallet variere fra 0 til  $10^x$  pr. ml., hvor  $x \in [-9;9]$ ), varierer med lagringstid, infektionsstatus i husdyrholdet, årstid, temperatur, pH, partikel indhold, mikrobielt indhold, oxidations / reduktions potentiale.
2. Fortyndingsgraden [10-25 % gylle, dvs. 75-90% vand].
3. Andel af agens bundet til "større partikulært materiale" i forhold til andel i "opløsningen". Varieres fra 25% til 75 %, det formodes at en væsentlig del initielt er bundet til partikulært materiale i gyllen, der findes dog ingen undersøgelser der viser hvordan fordelingen er efter pumpen med gylle kværn, blanding under tryk i blandingstanken hvor gyllen spules ind i siden af tanken samt udspredning under tryk. Tørstofindholdet i gyllen ligger generelt under 10%. (Kjellerup og Klausen 1975).
4. Overlevelse af agens i aerosolskyen. Denne faktor er ikke undersøgt i aerosolskyer af denne størrelse og medtages ikke, dermed antages 100% overlevelse i skyen.

### ad B) Vedrørende udspredningen af gylle fortyndet med vand

1. Markareal (areal proportional med mængden af gylle), her anvendes 3 ha,
2. Vandhøjde (antal mm. gylle fortyndet med vand der ønskes udbragt på marken), her anvendes 15mm.
3. Udspretningsstiden (antal timer udspretningen varer), afhænger af mængden idet dimensionerne er faste.
4. Vandkanonens dimensioner og arbejdsstryk, varieres meget lidt – som middelværdier benyttes anbefalinger fra Agrometer.

### ad C) Vedrørende human eksponering for aerosoler fra udspretningen

1. Opholdstiden på et givet sted i det område der berøres af "aerosol-dannelsen" under udspretning (tiden er proportional med eksponering). Eksponeringen beskrives som antal agens der indåndes pr. time.

Den mest betydningsfulde faktor i analysen vurderes at være antallet af agens i den ufortyndede gylle. Det er ligeledes denne faktor, der er størst usikkerhed omkring, dels fordi det ikke er tilstrækkeligt dokumenteret og dels fordi der er stor variation.

## 7.2 Scenarier

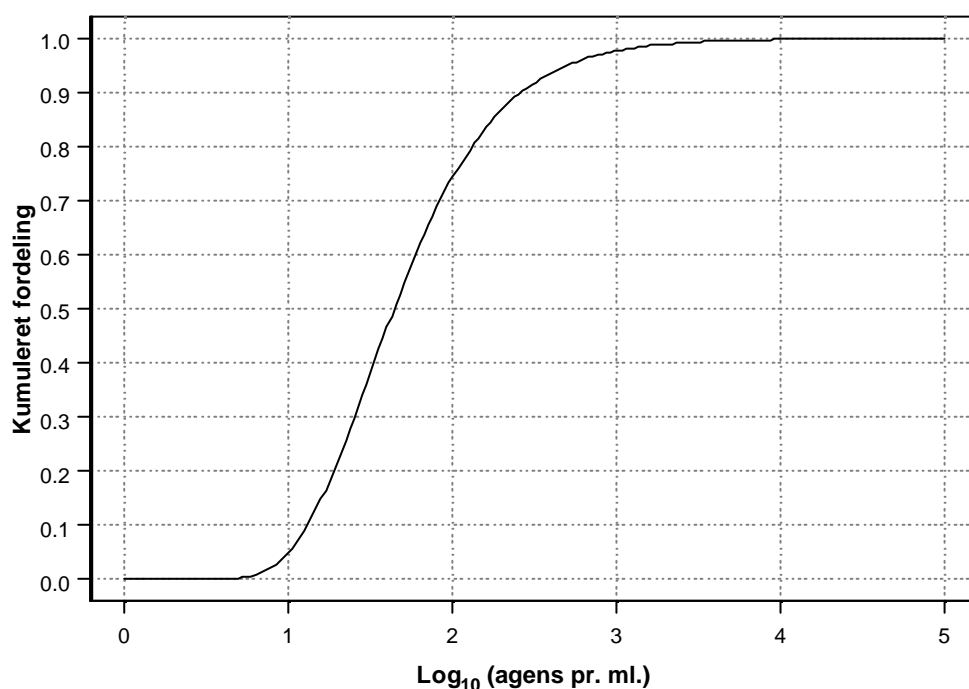
Der er en række fysiske parametre fælles for alle de kvantitative analyser. Det analyserede markareal er 3 ha ( $150 \times 200 = 30000 \text{ m}^2$ ). Vandhøjde: 15 mm (0.015m), hvilket giver en samlet vandmængde på  $450 \text{ m}^3$ . Vandingstid er 8 timer hvilket giver et flow på ca.  $56 \text{ m}^3$  i timen svarende til 15,6 liter i sekundet.

### 7.2.1 Salmonella Typhimurium

I litteraturen er antallet af *Salmonella* pr. ml gylle meget varierende afhængig af husdyrholdets sundhedsstatus. Fra de danske undersøgelser er variationsbredden for husdyrhold med subklinisk eller klinisk salmonellose  $0,2-2,8 \times 10^4$  pr. ml. Antallet kan dermed variere betragteligt. I Figur 7 er angivet den i analysen anvendte kumulerede fordeling af antal *Salmonella* pr. ml. i ufortyndet gylle. Figuren anvendes til at beskrive variationen i antal *Salmonella* og skal fortolkes som følger: Det antages at antallet af *Salmonella* varierer mellem 1 og  $10^5$  pr. ml., dette svarer til værdierne 0 og 5 på den 10-tals-logaritmerede horisontale akse. Den vertikale akse angiver sandsynligheden for at et tilfældigt udvalgt husdyrhold har mindre end et givet antal *Salmonella* pr. ml. i den ufortyndede gylle. Dette illustreres med et par eksempler.

1) Begynd ved værdien 2 på den horisontale akse (dette betyder  $10^2=100$  *Salmonella* pr. ml.) gå lodret indtil kurven og aflæs den vertikale akse (ca. 0.75). Det betyder, at der er 75% sandsynlighed for at den ufortyndede gylle fra en tilfældig udvalgt besætning har færre end 100 *Salmonella* pr. ml.

2) Begynd med værdien 0.5 på den vertikale akse. Gå vandret indtil kurven og aflæs den horisontale akse (ca. 1.65). Det betyder at der er 50% sandsynlighed (medianen) for at en tilfældig udvalgt besætning har færre en  $10^{1.65} \approx 45$  agens pr. ml.



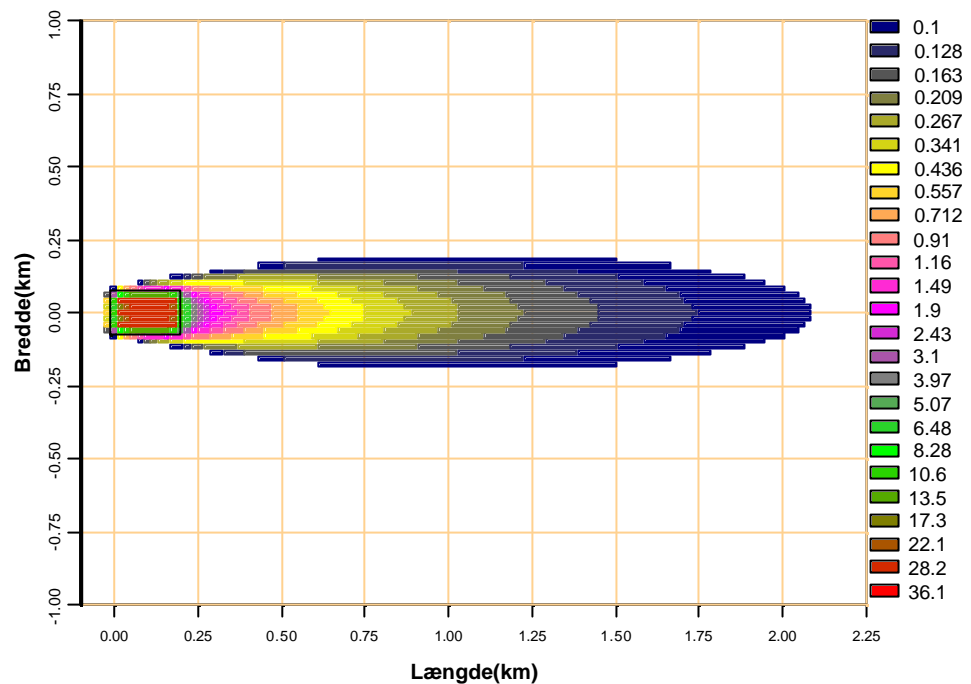
Figur 7 Kumuleret fordeling af antal *Salmonella*bakterier i ufortyndet gylle

#### Scenarium 1 (Middelscenarie):

Antallet af bakterier i den ufortyndede gylle antages at være  $1 \times 10^2$ . Yderligere antages det at bakterierne er fuldt opblandet i gyllen og andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle agens overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Resultaterne fra scenarium 1 er vist i Figur 8 der beskriver det antal *Salmonella* bakterier en person med en normal respiration ( $25 \text{ m}^3/\text{døgn} \approx$

1042 liter/time) kan forventes at indånde pr. time ved ophold i aerosolskyen. Figur 9 beskriver det totale antal Salmonella bakterier deponeret pr. m<sup>2</sup> jord gennem hele udsprejningsperioden.

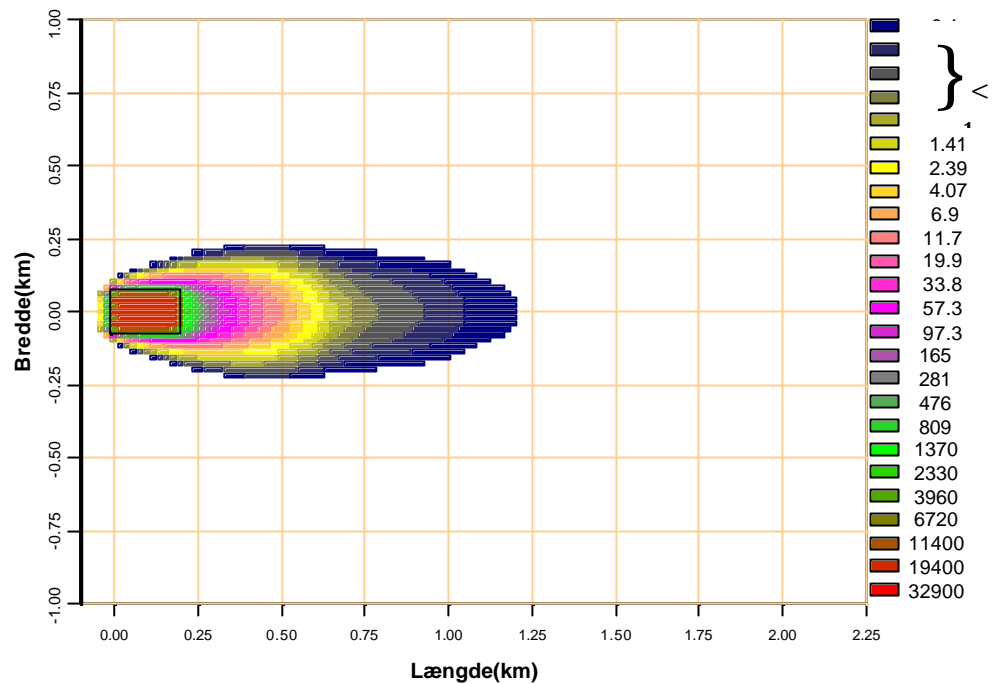


Figur 8 Antal Salmonella bakterier der indåndes pr. time ved normal respiration.

Farveskalaen angiver antallet af Salmonella bakterier, der indåndes pr. time hvis man opholder sig på et givet sted, der berøres af aerosolskyen. Det sorte rektangel angiver skellet til marken hvorpå udsprejningen foretages. Opholder man sig i området under hele udsprejningsperioden skal niveauet på det pågældende sted multipliceres med en faktor 8. Dette illustreres med to eksempler:

- 1) Opholder man sig 1 km nedvinds det øvre markskel, dvs. i koordinatsættet (x,y)=(1km,0km) vil man indånde ca. 0,25 bakterier i timen. Hvis man derfor opholder sig 4 timer i området vil man indånde  $4 \times 0,25 = 1$  bakterie.
- 2) En passage langs markskellet vil tage 2-3 minutter (ca. 0,15 km / ca. 4 km/t). I dette tidsrum vil derfor indtages mindre end 1 bakterier (der antages en gennemsnits indånding på 10 bakterier pr. time, dvs indånding af  $10/20=0,5$ ). Her er udelukkende medtaget de bakterier man indånder ved passage af markskellet og ikke turen hen til markskellet.

Betragtes Figur 9, der viser antal bakterier deponeret pr. m<sup>2</sup> gennem hele udsprejningsperioden, vil man se af fanen for deponering ikke fortsætter så langt ud som fanen med indåndet pr. time, på trods af at det deponerede er kumuleret over hele udsprejningsperioden. Det betyder at de agens, der er i luften, er fuldt luftbårne og dermed deponeres meget langsomt. Deres bevægelse styres mere af de turbulente luftbevægelser end af tyngdekraften. Dette illustreres ligeledes af at forholdet mellem antal bakterier indåndet pr. time og antal deponeret pr m<sup>2</sup> ændres (bliver større) med stigende afstand fra marken (vandkanonen).



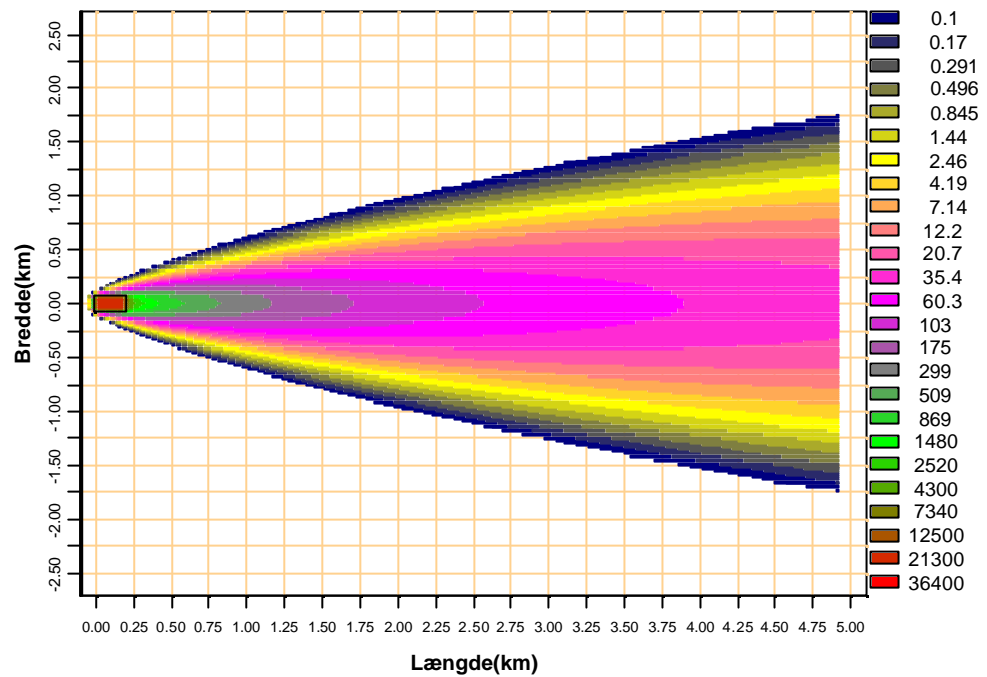
Figur 9 Antal Salmonella deponeret pr. m<sup>2</sup> gennem hele udspretningsperioden.

Det ses af Figur 9 at der deponeres mere end 1 *Salmonella* bakterie pr. m<sup>2</sup> i ca 500 meters afstand fra marken.

**Scenarium 2 (Worst-case):**

Antallet af bakterier i den ufortyndede gylle antages at være  $2,8 \times 10^4$  (fundet i den danske undersøgelse – det faktiske worst-case scenarium vurderes at kunne indeholde en 10x flere *Salmonella* bakterier). Yderligere antages det, at bakterierne er fuldt opblandet i gyllen og andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle agens overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Resultaterne fra scenarium 2 er vist i Figur 10 der beskriver det antal *Salmonella* bakterier en person med en kraftig respiration ( $30 \text{ m}^3/\text{døgn} \approx 1250$  liter/time) kan forvente at indånde pr. time ved ophold i aerosolskyen, mens Figur 11 beskriver det totale antal *Salmonella* bakterier deponeret pr.  $\text{m}^2$  jord gennem hele udspretningsperioden.



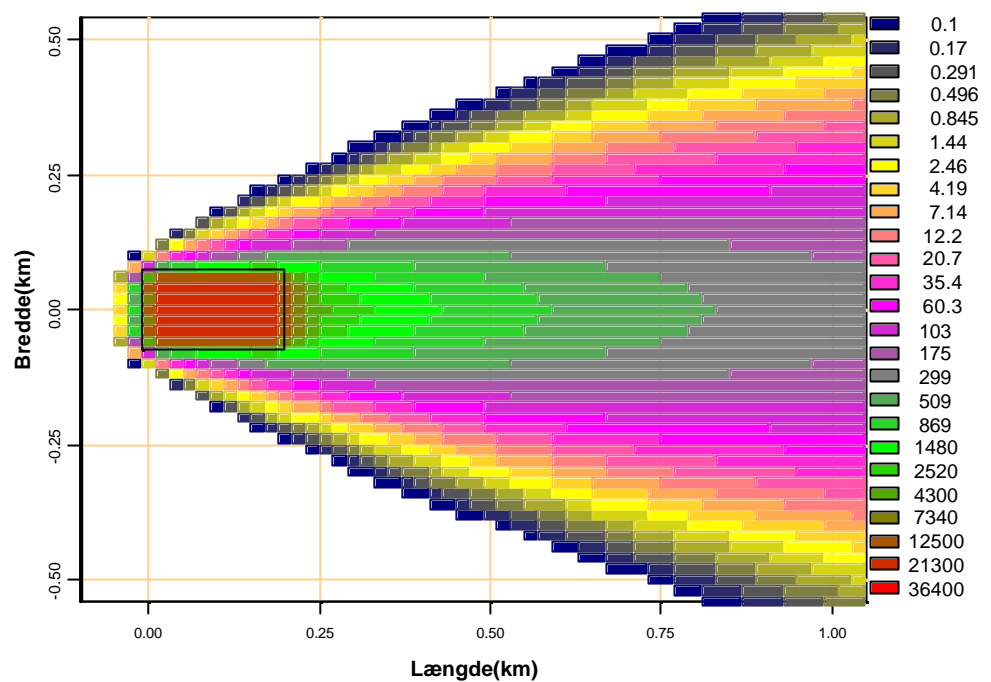
Figur 10 Antal *Salmonella* bakterier der indåndes pr. time ved kraftig respiration.

Farveskalaen angiver antallet af *Salmonella* bakterier, der indåndes pr. time hvis man opholder sig på et givet sted, der berøres af aerosolskyen. Det sorte rektangel angiver skellet til marken hvorpå udspretningen foretages. Opholder man sig i området under hele udspretningsperioden skal niveauet på det pågældende sted multipliceres med en faktor 8. Dette illustreres med to eksempler:

1) Opholder man sig 1 km fra det øvre markskel (i vindretningen), dvs. i koordinatsættet  $(x,y)=(1\text{km},0\text{km})$  vil man indånde ca 300 bakterier i timen. Hvis man derfor opholder sig 8 timer i området vil man indånde  $8 \times 300 = 2400$  bakterier.

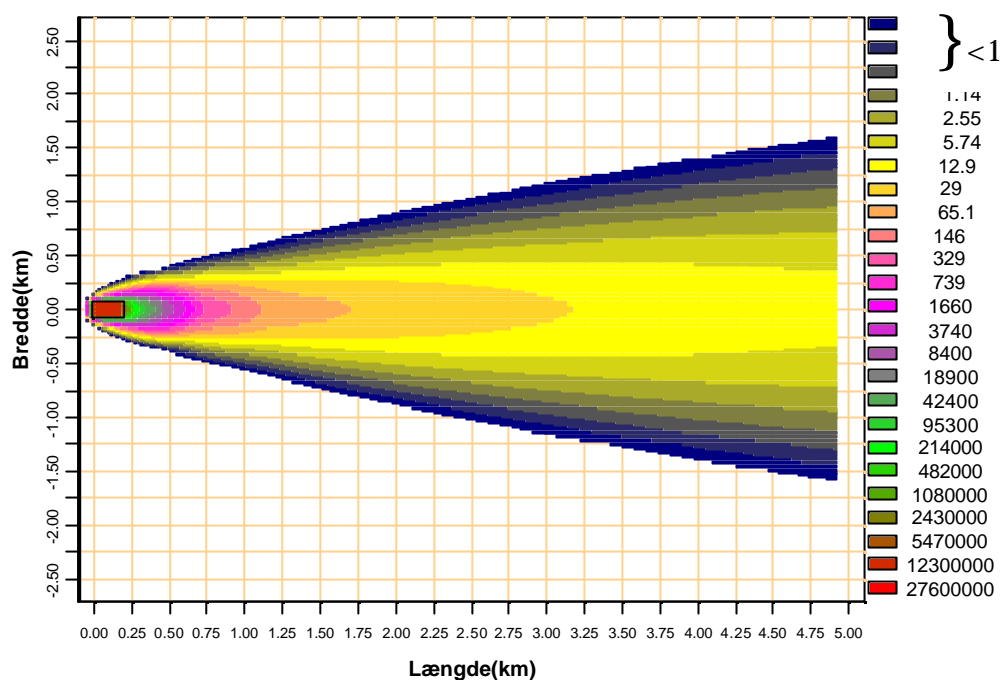
2) En passage langs markskellet vil tage 2-3 minutter (ca.  $0,15 \text{ km} / \text{ca. } 4 \text{ km/t}$ ). I dette tidsrum vil der indtages ca 600 bakterier (der antages en gennemsnits indånding på 12500 bakterier pr. time, dvs indånding af  $12500/20 \approx 600$ ). Her er udelukkende medtaget de bakterier man indånder ved passage af markskellet og ikke turen hen til markskellet.

Et closeup af Figur 10 er vist nedenfor i Figur 10a



Figur 10a Closeup af Salmonella worst-case scenarium. Antal Salmonella bakterier der indåndes pr. time ved kraftig respiration.

Betragtes Figur 11, der viser antal Salmonella bakterier deponeret pr.  $m^2$  gennem hele udspretningsperioden, vil man se, at bakterie niveauet i det luftbårne Figur 10 ikke falder så hurtigt med afstand fra marken som niveauet af det deponerede. Det betyder at de agens der er i luften er fuldt luftbårne og dermed deponeres meget langsomt. Deres bevægelse styres mere af de turbulente luftbevægelser end af tyngdekraften.



Figur 11 Antal Salmonella deponeret pr m<sup>2</sup> gennem hele udspretningsperioden

### Monte Carlo simuleringer

Niveauekortene beskrevet i figur 8-11 består af et net på  $251 \times 251 = 63001$  punkter. Når der foretages Monte Carlo simuleringer (f.eks. 10000) vil der i hvert af de 63001 punkter blive genereret 10000 værdier der kan danne grundlag for at estimere en fordeling. Det er imidlertid kun interessant at betragte en linje vinkelret nedvinds marken, idet antallet af bakterier der indåndes samt deponeres vil være størst her. Følgende x-vektor er benyttet til at evaluere fordelingen  $x=0,20,40,60,80,100,200,500,900\text{m}$ , y-vektoren er lig 0.

For at få indtryk af variationen benyttes fordelingen angivet i Figur 7 som antal Salmonella i den fortyndede gylle. Mængden af bakterier bundet til partikulært materiale varieres uniformt mellem 25% og 75%. Gylle andelen varieres uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varieres parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middel i de tidligere omtalte eksperimentelt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middel.

Bakteriernes overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen modelleret beskrevet med en normalfordeling med middel  $25\text{m}^3/\text{døgn}$  og standard afvigelse på  $3\text{m}^3/\text{døgn}$ .

I Figur 12 er angivet resultatet af simuleringerne. På den horisontale akse (x-aksen) er angivet  $\log_{10}$  til antallet af bakterier indåndet pr. time og på den vertikale akse er angivet den kumulerede fordeling. De 9 kurver beskriver, hvordan fordelingen afhænger af afstanden fra marken. Et par eksempler vil i det følgende beskrive anvendelse af figuren. Først beskrives medianen – start på den vertikale akse ved 0,5 gå derefter vandret indtil kurverne. I skæringspunktet med de enkelte kurver kan på den horisontale akse aflæses det mest sandsynlige antal bakterier der indåndes i den pågældende afstand.



Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger for medianen til antallet af bakterier indåndet pr. time fra de enkelt kurver.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
Median	1,3	0,8	0,3	0,2	0,15	0,11	0,07	0,02	0,015

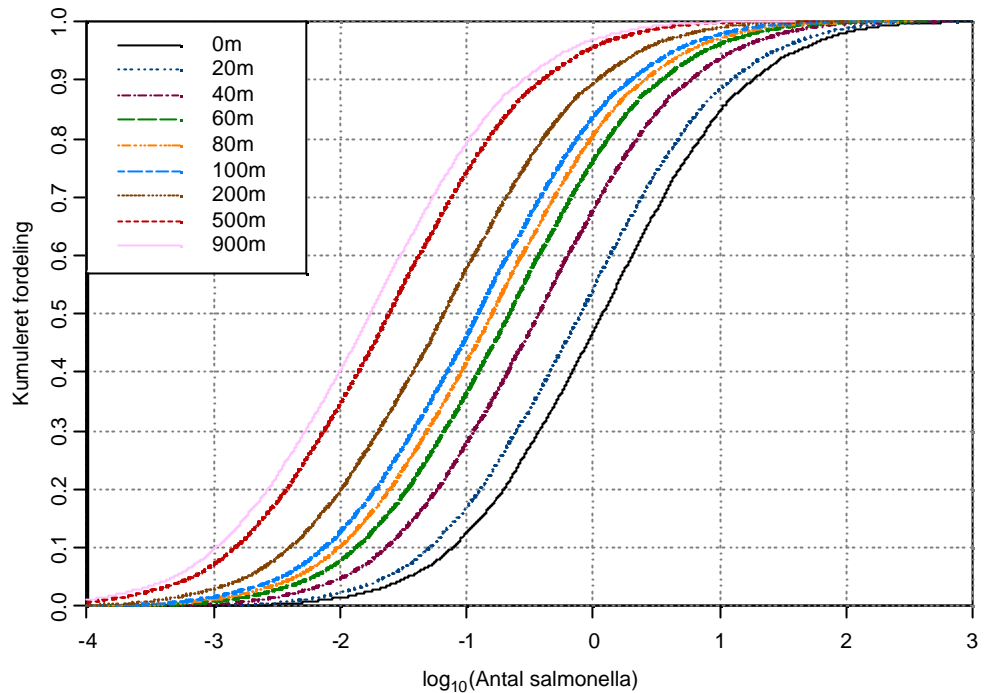
Figuren kan ligeledes anvendes til at aflæse f.eks. 95% fraktiler – dvs. givet at de forudsætninger der er gjort i Monte Carlo simuleringerne holder, vil 95% fraktilen beskrive en situation hvor man i 5% af tilfældene vil indånde flere bakterier pr. time og i 95% af tiden vil indånde færre. Start på den vertikale akse ved 0,95 gå derefter vandret indtil kurverne. I skæringspunktet med de enkelte kurver kan på den horisontale akse aflæse 95% fraktilen for i den pågældende afstand. Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger for 95% fraktilen for de enkelt kurver.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
95%	36	22	11	7	4	3,5	2,2	0,8	0,5

Kurverne kan ligeledes anvendes den modsatte vej. Vil man f.eks. finde den afstand, hvor man i mindst 90% af tilfældene vil indånde mindre end 10 bakterier pr. time udføres følgende. Start på den horisontale x-akse ved 1 (idet  $\log_{10}(10)=1$ ), gå lodret indtil værdien 0,9 på den vertikale y-akse, forsæt lodret indtil første kurve krydses – denne afstand angiver den mindste afstand hvor man med mindst 90% sandsynlighed indånder 10 eller færre bakterier pr. time.

Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger sandsynligheden for at indånde 10 eller færre bakterier pr. time for de enkelt afstande.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
Median	84%	89%	94%	96%	97%	97,5%	98%	99%	>99%

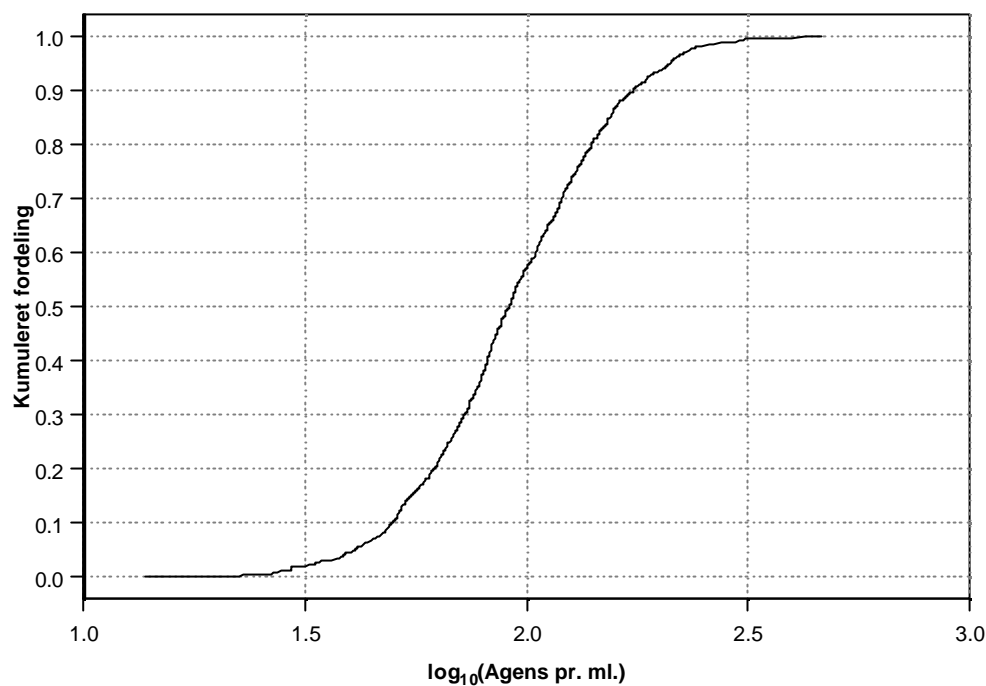


Figur 12 Fordeling af antal Salmonella bakterier der indåndes pr. time ved normal respiration som funktion af afstanden fra markens overflade.

### 7.2.2 Cryptosporidier

I litteraturen er der meget sparsomme oplysninger om antallet af *Cryptosporidier* pr. ml gylle. Fra danske undersøgelser er antallet mellem 0 og 200, det vurderes at antallet kan variere betragteligt. I Figur 13 er angivet den i analysen anvendte kumulerede fordeling af antal *Cryptosporidier* pr. ml. ufortyndet gylle. Figuren anvendes til at beskrive variationen i antal *Cryptosporidier* og skal fortolkes som følger: Det antages at antallet af cryptosporidier varierer mellem 0(1) og  $10^3$  pr. ml., dette svarer til værdierne 0 og 3 på den 10-tals-logaritmerede horisontale akse. Den vertikale akse angiver sandsynligheden for at et tilfældigt udvalgt husdyrhold har mindre end et givet antal *Cryptosporidier* pr. ml. i den ufortyndede gylle. Dette illustreres med et par eksempler.

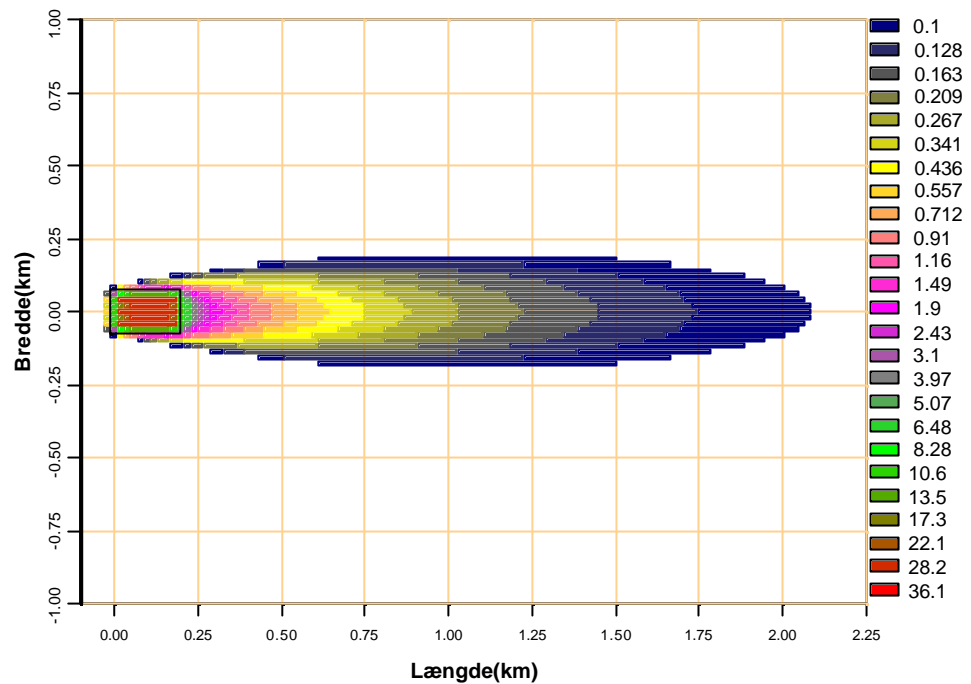
- 1) Begynd ved værdien 2 på den horisontale akse (dette betyder  $10^2=100$  *Cryptosporidier* pr. ml.) gå lodret indtil kurven og aflæs den vertikale akse (ca. 0.57). Det betyder at der er 57% sandsynlighed for at den ufortyndede gylle fra en tilfældig udvalgt besætning har færre end 100 *Cryptosporidier* pr. ml.
- 2) Begynd med værdien 0.5 på den vertikale akse. Gå vandret indtil kurven og aflæs den horisontale akse (ca 1.9). Det betyder at der er 50% sandsynlighed (medianen) for at en tilfældig udvalgt besætning har færre end  $10^{1.9} \approx 80$  *Cryptosporidier* pr. ml.



Figur 13 Kumuleret fordeling af antal *Cryptosporidier* i uforyndet gylle

**Scenarium 3 (Middel):**

Antallet af cryptosporider i den uforyndede gylle antages at være  $1 \times 10^2$ . Yderligere antages det at de er fuldt opblandet i gyllen så andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det at alle cryptosporider overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%. Resultaterne fra scenarium 3 er vist i Figur 14 der beskriver det antal cryptosporider en person med en normal respiration ( $25 \text{ m}^3/\text{døgn} \approx 1042 \text{ liter/time}$ ) kan forventes at indånde pr. time ved ophold i aerosolskyen, mens beskriver det totale antal cryptosporider deponeret pr.  $\text{m}^2$  jord gennem hele udspredeperioden.

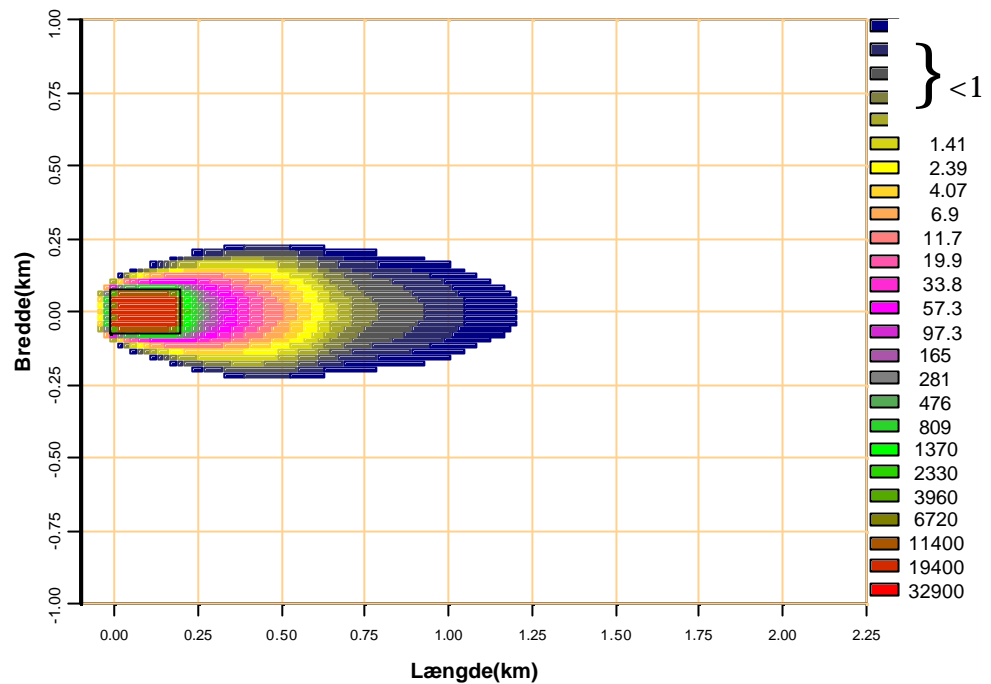


Figur 14. Antal *Cryptosporidium parvum* der indåndes pr time

Farveskalaen angiver antallet af *Cryptosporidier*, der indåndes pr. time, hvis man opholder sig på et givet sted, der berøres af aerosolskyen. Det sorte rektangel angiver skellet til marken, hvorpå udspreddingen foretages. Opholder man sig i området under hele udspreddingsperioden skal niveauet på det pågældende sted multipliceres med en faktor 8. Dette illustreres med to eksempler:

- 1) Opholder man sig 1 km medvinds det øvre marksskel, dvs. i koordinatsættet  $(x,y)=(1\text{ km},0\text{ km})$  vil man indånde ca 0,25 *Cryptosporidier* i timen. Hvis man derfor opholder sig 4 timer i området vil man indånde  $4 \times 0,25 = 1$  *Cryptosporidium*.
- 2) En passage langs marksskellet vil tage 2-3 minutter (ca. 0,15 km / ca. 4 km/t). I dette tidsrum vil derfor indtages mindre end 1 *Cryptosporidium* (der antages en gennemsnits indånding på 10 *Cryptosporidier* pr. time, dvs indånding af  $10/20=0,5$ ). Her er udelukkende medtaget de *Cryptosporidier* man indånder ved passage af marksskellet og ikke turen hen til marksskellet.

Betragtes Figur 15, der viser antal *Cryptosporidier* deponeret pr.  $\text{m}^2$  gennem hele udspreddingsperioden, vil man se at fanen for deponering ikke fortsætter så langt ud som fanen med indåndet pr. time, det på trods af, at det deponerede er kumuleret over hele udspreddingsperioden. Det betyder, at de agens der er i luften er fuldt luftbårne og dermed deponerer meget langsomt. Deres bevægelse styres mere af de turbulente luftbevægelser end af tyngdekraften. Dette illustreres ligeledes af at forholdet mellem antal *Cryptosporidier* indåndet pr. time og antal deponeret pr  $\text{m}^2$  ændres (bliver større) med stigende afstand fra marken (vandkanonen).

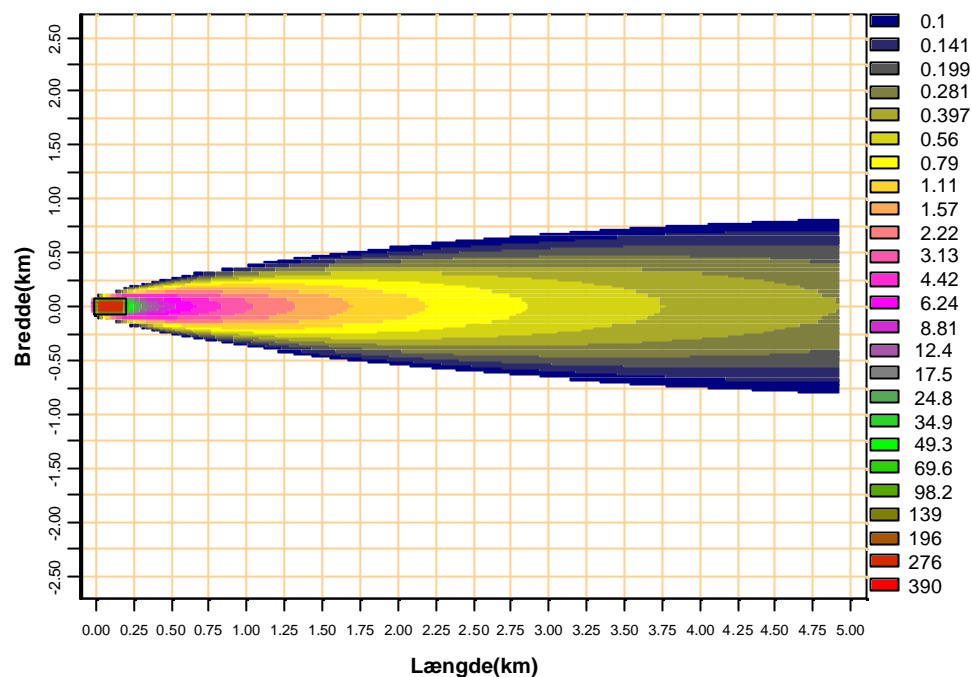


Figur 15 Antal *Cryptosporidier* deponeret pr m<sup>2</sup> gennem hele udspretningsperioden

Det ses af Figur 15 at der deponeres mere end 1 cryptosporidie pr. m<sup>2</sup> indtil ca 500m fra marken.

**Scenarium 4 (Worst-case):**

Antallet af *Cryptosporidier* i den ufortyndede gylle antages at være  $3 \times 10^2$ . Yderligere antages det at de er fuldt opblandet i gyllen så andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle *Cryptosporidier* overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%. Resultaterne fra scenarium 4 er vist i Figur 16, der beskriver det antal *Cryptosporidier* en person med en kraftig respiration ( $30 \text{ m}^3/\text{døgn} \approx 1250 \text{ liter/time}$ ) kan forvente at indånde pr. time ved ophold i aerosolskyen, mens Figur 17 beskriver det totale antal *Cryptosporidier* deponeret pr. m<sup>2</sup> jord gennem hele udspretningsperioden.

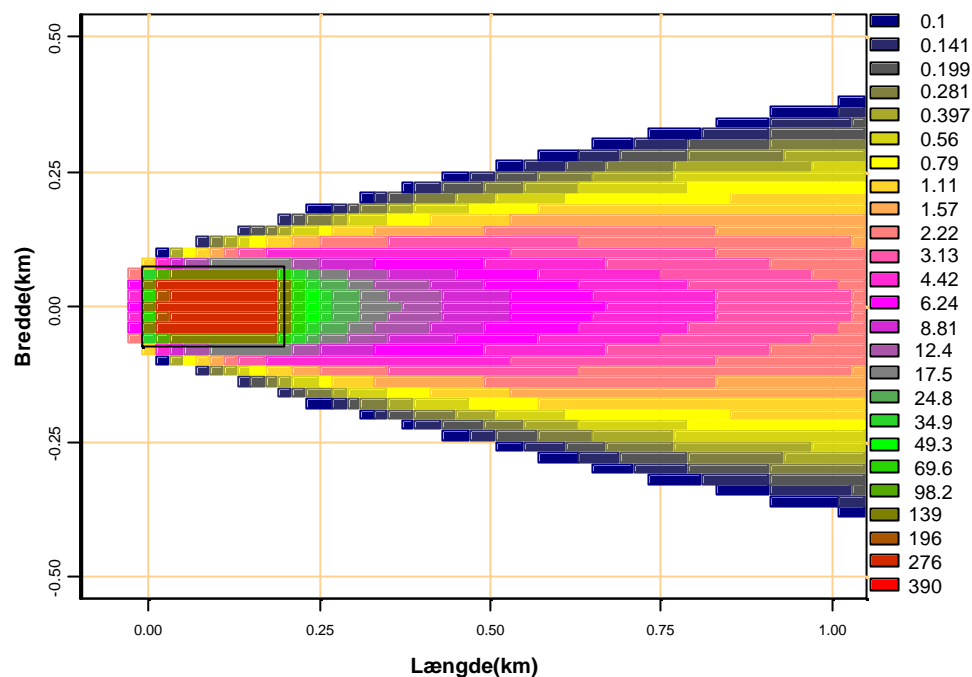


Figur 16 Antal *Cryptosporidium parvum* der indåndes pr time

Farveskalaen angiver antallet af *Cryptosporidier*, der indåndes pr. time, hvis man opholder sig på et givet sted, der berøres af aerosolskyen. Det sorte rektangel angiver skellet til marken, hvorpå udspredningen foretages. Opholder man sig i området under hele udspretningsperioden skal niveauet på det pågældende sted multipliceres med en faktor 8. Dette illustreres med to eksempler:

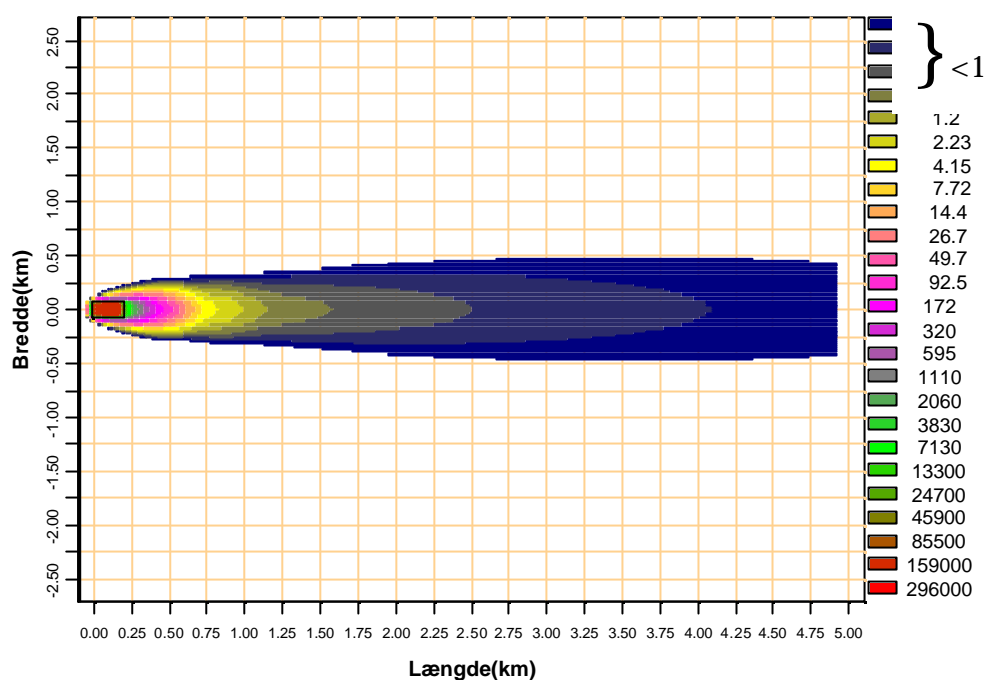
1) Opholder man sig 1 km medvinds det øvre markskel, dvs. i koordinatsættet  $(x,y)=(1\text{km},0\text{km})$  vil man indånde ca 3 *Cryptosporidier* i timen. Hvis man derfor opholder sig 8 timer i området vil man indånde  $8 \times 3 = 24$  *Cryptosporidier*.

2) En passage langs markskellet vil tage 2-3 minutter (ca. 0,15 km / ca. 4 km/t). I dette tidsrum vil derfor indtages ca. 14 *Cryptosporidier* (der antages en gennemsnits indånding på 276 *Cryptosporidier* pr. time, dvs. indånding af  $276/20=13.8$ ). Her er udelukkende medtaget de *Cryptosporidier* man indånder ved passage af markskellet og ikke turen hen til markskellet. Et closeup af Figur 16 er vist nedenfor i Figur 16a



Figur 16a Closeup af Cryptosporidium worst-case scenarium Antal Cryptosporidier der indåndes pr. time ved kraftig respiration.

Betragtes Figur 17, der viser antal *Cryptosporidier* deponeret pr  $m^2$  gennem hele udspretningsperioden, vil man se at niveauet for deponering hurtigt daler i forhold til niveauet i fanen med indåndet pr time, det på trods af, at det deponerede er kumuleret over hele udspretningsperioden. Det betyder at de agens der er i luften er fuldt luftbårne og dermed deponeres meget langsomt. Deres bevægelse styres mere af de turbulente luftbevægelser end af tyngdekraften.



Figur 17 Antal Cryptosporidium parvum der deponeres pr.  $\text{m}^2$  i hele udspretningsperioden

Det ses af Figur 17 at der deponeres mere end 1 cryptosporidie pr.  $\text{m}^2$  indtil ca 1,5 km fra marken.

### Monte Carlo simuleringer

For at få indtryk af variationen benyttes fordelingen angivet i Figur 13 som antal cryptosporider i den fortyndede gylle. Mængden af cryptosporider bundet til partikulært materiale varieres uniformt mellem 25% og 75%. Gylle andelen varieres uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varieres parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middel i de tidligere omtalte eksperimentielt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middel. Bakteriernes overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen beskrevet med en normalfordeling med middel  $25\text{m}^3/\text{døgn}$  og standard afvigelse på  $3\text{m}^3/\text{døgn}$ .

I Figur 18 er angivet resultatet af simuleringerne. På den horisontale akse (x-aksen) er angivet  $\log_{10}$  til antallet af cryptosporider indåndet pr. time og på den vertikale akse er angivet den kumulerede fordeling. De 9 kurver beskriver, hvordan fordelingen afhænger af afstanden fra marken. Et par eksempler vil i det følgende beskrive anvendelse af figuren. Først beskrives medianen – start på den vertikale akse ved 0,5 gå derefter vandret indtil kurverne. I skæringspunktet med de enkelte kurver kan på den horisontale akse aflæses det mest sandsynlige antal cryptosporider der indåndes i den pågældene afstand. Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger for medianen af de enkelt kurver.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
Median	1,2	0,7	0,35	0,22	0,17	0,14	0,07	0,02	0,01



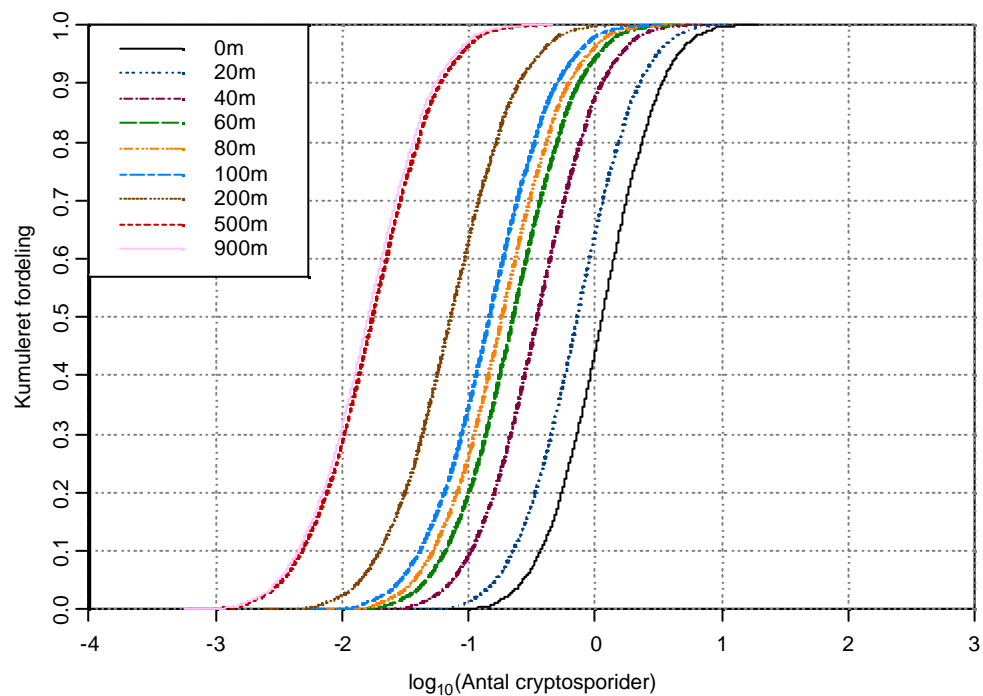
Figuren kan ligeledes anvendes til at aflæse f.eks. 95% fraktiler – dvs. givet at de forudsætninger, der er gjort i Monte Carlo simuleringerne holder, vil 95% fraktilen beskrive en situation man i 5% af tilfældene vil indånde flere cryptosporider pr. time og i 95% af tiden vil indånde færre. Start på den vertikale akse ved 0,95 gå derefter vandret indtil kurverne. I skæringspunktet med de enkelte kurver kan man på den horisontale akse aflæse 95% fraktilen for den pågældende afstand. Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger for 95% fraktilen for de enkelte kurver.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
95%	5	2	1,6	1,1	0,8	0,7	0,35	0,08	0,07

Kurverne kan ligeledes anvendes den modsatte vej. Vil man f.eks finde den afstand hvor man i mindst 90% af tilfældene vil indånde mindre end 1 cryptosporider pr. time udføres følgende. Start på den horisontale x-akse ved 0 (idet  $\log_{10}(1)=0$ ), gå lodret indtil værdien 0,9 på den vertikale y-akse, forsæt lodret indtil første kurve krydses – denne afstand angiver den mindste afstand, hvor man med mindst 90% sandsynlighed indånder 1 eller færre cryptosporider pr. time.

Nedenstående skema angiver cirka aflæsninger sandsynligheden for at indånde 1 eller færre bakterier pr. time for de enkelte afstande.

Afstand	0	20	40	60	80	100	200	500	900
Ssh.	43%	63%	86%	94%	96%	98%	99%	>99%	>99%



Figur 18 Fordeling af estimater som funktion af afstand fra mark

### 7.3 Betydning af anvendte data

I dette afsnit vurderes betydningen af de enkelte parametre i Monte Carlo simulationerne.

#### 7.3.1 Agens i gylle

Fordelingen af agens i gyllen er altafgørende for udfaldet af simuleringerne. Der forligger desværre ingen undersøgelser der har karakteriseret mikrofloraen i gylle fra danske husdyrsbrug. Da det formodes at fordelingen er meget skæv (har en lang højre hale) er det forbundet med en relativ stor usikkerhed at anvende den i analysen valgte fordeling. Den valgte fordeling indeholder de data der er angivet i litteraturen. En større repræsentativ undersøgelse af gylle fra danske besætninger vil være nødvendig for at kunne nuancere analyserne.

Andelen af agens bundet til partikulært materiale samt overlevelse af agens i aerosolskyen er to faktorer der ikke er omtalt meget i denne riskovurdering. Der foreligger ikke data så antagelserne kan vurderes.

#### 7.3.2 Dråbefordeling, vandingsanlæg

Valget af dråbevolumenfordeling har betydning for andelen af det totale volumen, der befinder sig i partikler der er følsomme for at kunne drive med vinden. Den har et komplekst og ikke-lineært samspil med de meteorologiske variable. Der vil naturligvis være en vis variation i dysestørrelse og tryk på de anvendte vandingskanoner idet forskellige arealstørrelser stiller forskellige krav til de fysiske dimensioner af vandingsanlægget. I denne analyse er valgt standard dimensioner der er dækkende til at beskrive metoden.

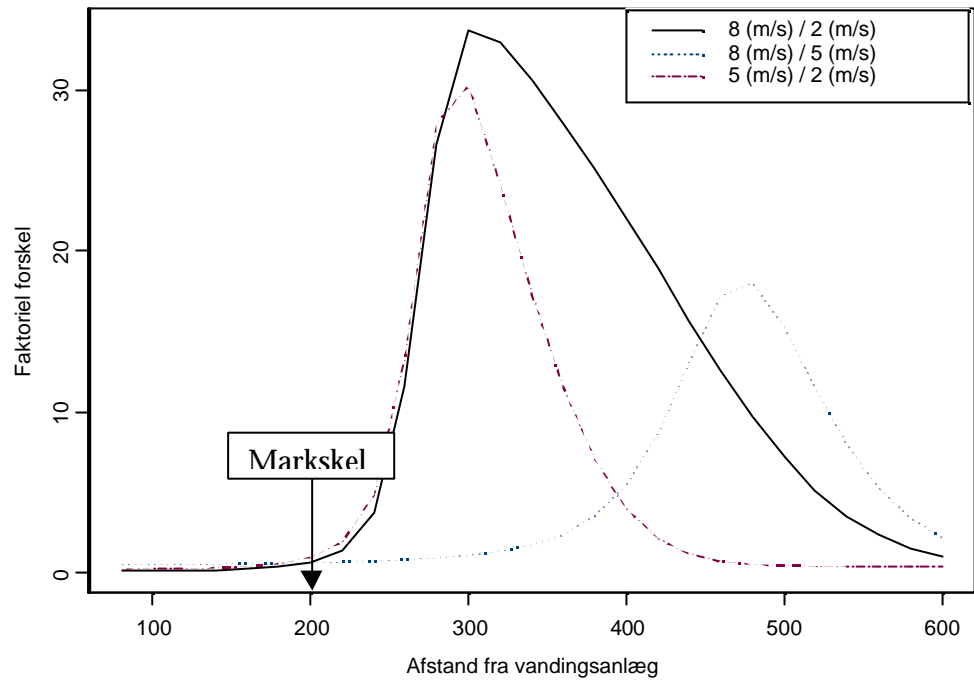
#### 7.3.3 Meteorologiske parametre

##### **Vind**

I et parameterstudie er betydningen af de meteorologiske variable undersøgt for én dråbestørrelse, resultaterne kan dog generaliseres til de øvrige dråbestørrelser. Variablene er undersøgt ved at kigge på forholdet mellem den deponerede mængde pr.  $m^2$  for forskellige vindstyrker (2, 5, 8m/s) langs en linje vinkelret og nedvinds marken – dvs. y-koordinat lig 0 og alle x-koordinater fra marken og nedvinds. Det er valgt at kigge på forholdet mellem deponeringen pr.  $m^2$  for de forskellige vindhastigheder idet en differens er afhængig af niveauet.

Som det ses i Figur 19 deponeres der forholdsmæssigt mere udenfor marken ved stigende vindhastighed. Betragtes den fuldt optrukne linje, dvs forholdet mellem det deponerede antal agens pr.  $m^2$  for 8m/s og 2m/s ses at antallet af deponerede agens/ $m^2$  udenfor markskellet er godt 30 gange større i en afstand fra ca. 100 til 200m fra markskellet. Det bør bemærkes at allerede ved en stigning fra 2m/s til 5m/s giver effekt på deponering nedenfor marken, i dette tilfælde ses effekten umiddelbart nedenfor marken til en afstand på ca. 200 meter.

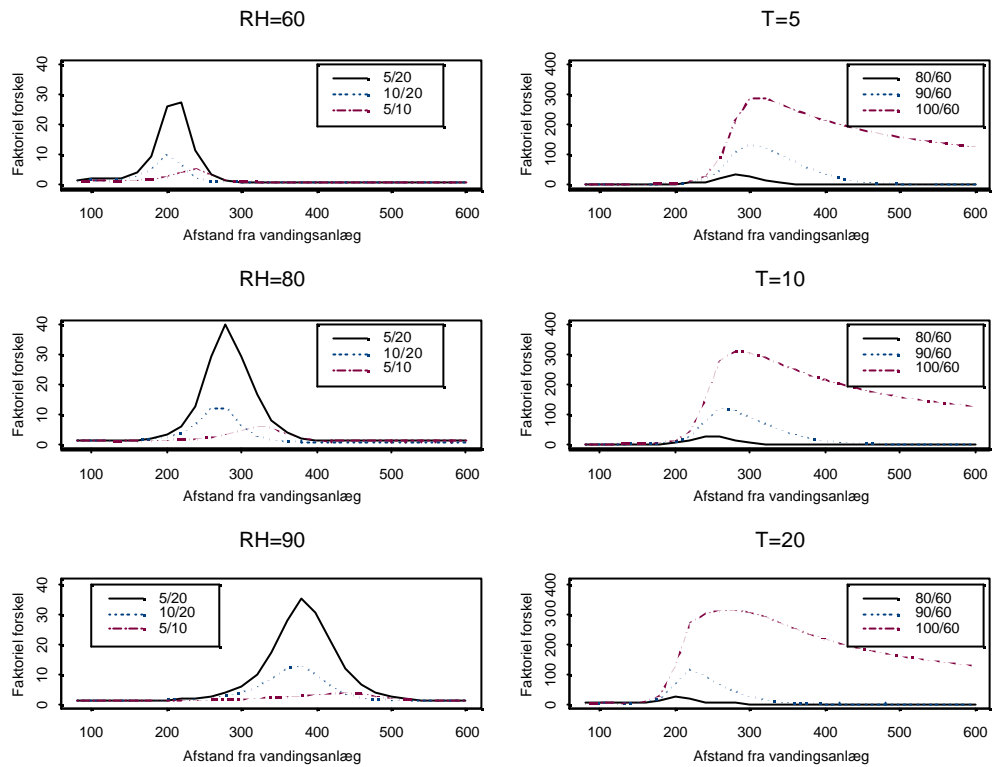
Disse forhold vil gælde for alle koncentrationer af agens. Vinden er dermed en betydelig faktor når den potentielle risici skal vurderes. Det skal bemærkes, at ved vindstille spredes aerosolskyen i praksis ikke.



Figur 19 Betydning af vindstyrke, ved fastholdt temperatur på 10°C, relativ luftfugtighed på 90% og luftstabilitetsindex D.

### Relativ luftfugtighed og temperatur

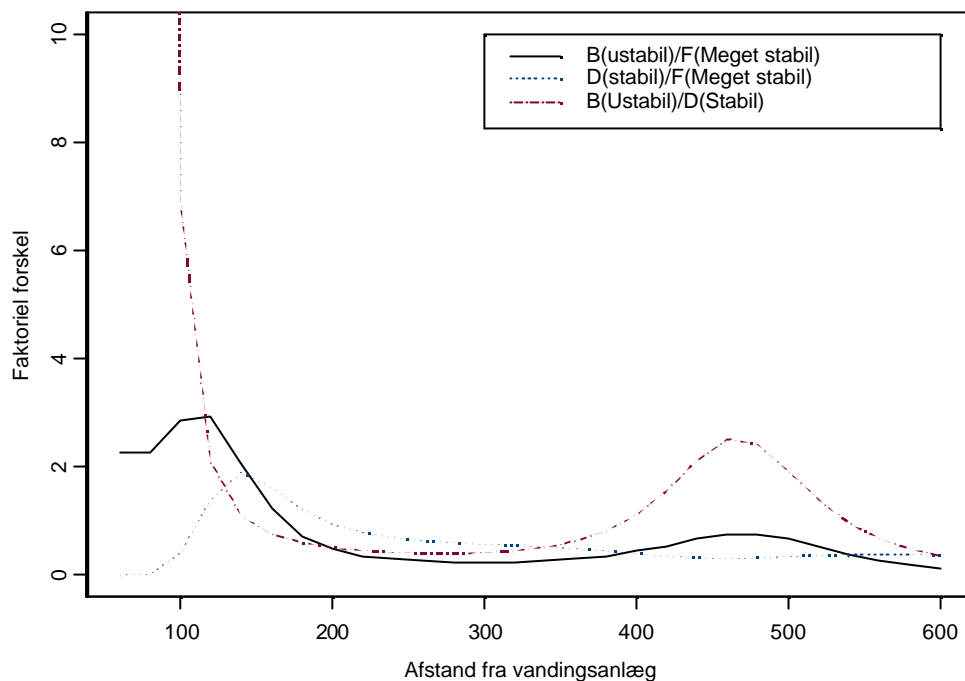
Betydningen af den relative luftfugtighed og temperaturen er mere kompleks end effekten af vindhastigheden. Samspillet mellem de to variable er forsøgt afbildet i Figur 20 efter samme princip som i Figur 19 ved at beskrive forholdet mellem deponeringen pr. m<sup>2</sup> vinkelret nedvinds marken. I venstre kolonne i Figur 20 ses at for alle tre luftfugtigheder deponeres der flere bakterier pr. m<sup>2</sup> ved lave temperaturer end ved høje. Endvidere bemærkes at området med forholdsvis større deponering bevæger sig længere væk ved større relativ luftfugtighed. Sammenholdes disse oplysninger betyder lav temperatur og høj luftfugtighed at dråberne kommer længere inden de fordampes – og dermed deponeres længere væk fra marken. Det bør her bemærkes at ved lav relativ fugtighed og høj temperatur fordampes dråberne hurtigt og eventuelle agens bliver fuldt luftbårne. Samme sammenhæng kan udledes af højre kolonne.



Figur 20 Betydning af relativ luftfugtighed og temperatur for fastholdt vindstyrke og stabilitet. I venstre kolonne er forholdet mellem deponeringen ved forskellige temperaturer (5,10 og 20 °C) vist for tre relative luftfugtigheder (60, 80 og 90 %). I højre kolonne er angivet forholdet mellem deponeringen for forskellige relative luftfugtigheder (60, 80 og 90 %) ved tre forskellige temperaturer (henholdsvis 5,10 og 20 °C). Vindstyrken er fastholdt på 5 m/s. Luftstabilitetsindexet på D.

### Luftstabilitetsindex

Det er en smule vanskeligt at uddrage klare konklusioner vedrørende betydningen af stabilitetsindexet for deponeringen. Der er dog ingen tvivl om at ustabile forhold skaber mere turbulens og dermed større fluktuationer i deponeringen.



Figur 21 Effekt af vindstabilitetsindex (B,D,F) på den forholdsmæssige deponering for dråber på 0,1 mm for fastholdt temperatur på 10°C, relativ luftfugtighed på 90% og vindhastighed på 5 m/s.

#### 7.3.4 Opholdstid og respiration

Det er i analysen antaget at en person respirerer med et volumen på cirka  $25\text{m}^3$  i døgnet. Det er uvist hvor stor en del af de agens der måtte være i de indåndede aerosoler der når til hhv, næse, mund, svælg, mave eller lunger. Aerosoler mindre end  $5\ \mu\text{m}$  kan svæve direkte i alveolerne (Benenson 1995), derfor vil de beskrevne agens (hvis de er frit svævende, dvs. vanddråben er fordampet) potentielt svæve direkte i alveolerne jævnfør deres størrelse: Typiske bakteriestørrelse er i intervallet  $[0,5;2]\mu\text{m}$  og *Cryptosporidier* er i intervallet  $[4;5\ \mu\text{m}]$ .

#### 7.4 Sammenligning med de traditionelle udspretningsmetoder

Udspretning af gylle fortyndet med vand via vandkanoner adskiller sig fra de traditionelle metoder på en række afgørende punkter i forhold til mulig spredning af patogener via aerosoler

- Blandingen spredes under tryk – det betyder større andel af volumen indeholdt i partikler der potentielt kan drive bort med vinden
- Blandingen spredes væsentligt højere i luften end ved bredspredning

Der eksisterer desværre ikke undersøgelser der beskriver dråbestørrelsesfordelingen fra bredspredning så en kvantitativ sammenligning er ikke mulig. Alt taler dog for at udspretning af gylle fortyndet med vand via vandingskanoner udgør en væsentlig større risiko.



## 8 Konklusion

Nærværende risikovurdering beskriver de humane sundhedsmæssige risici der er forbundet med anvendelse af vandingskanoner til udspreddning af gylle fortyndet med vand. Der beskrives udelukkende risici der kan relateres til aerosoldannelse i forbindelse med udspreddningen og deraf følgende eksponering for zoonotiske smitstoffer.

Indholdet af agens i gylle stammer fortrinsvis fra fæces og urin. Yderligere indeholder gylle sekreter og dermed agens fra næse, svælg, vagina, blod, hud, yver, moderkage, ufordøjede eller delvist fordøjede foderstoffer samt strøelse og støv. Derved udgør en gylletank et kompleks økosystem under konstant forandring. Indholdet af smitstoffer og andre skadelige substanser i gylle afspejler derved husdyrholdets sundhedsstatus, produktionsforhold, samt den behandling (lagring) gyllen har gennemgået inden den spredes på jorden. Der er mangel på litteratur der kvantitativt beskriver den mikrobielle sammensætning i et repræsentativt udsnit af danske husdyrhold.

*Kvalitativt* vurderes at personer, der opholder sig i området, som berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen (luftbåren kontakt) eller peroral (gennem munden, direkte kontakt) smitte af mennesker fra aerosolskyen.

- For personer der opholder sig i området, der berøres af en eventuel aerosolsky, opstår der mulighed for at fødevarer, tøj, blottet hud eller medbragte genstande bliver udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan ligeledes føre til peroral smitte (gennem munden, indirekte kontakt).

- Dyr der opholder sig i området, som berøres af en eventuel aerosolsky, kan blive udsat for kontakt med eventuelle agens. Dette kan føre til aerogen (luftbåren kontakt) eller peroral (direkte kontakt) smitte af dyrene fra aerosolskyen.

- Dyr, der græsser i områder, eller dyr der på et senere tidspunkt fodres eller kommer i kontakt med hø/halm etc., der kan være eksponeret for aerosolskyen, kan ligeledes risikere smitte fra deponerede agens (indirekte kontakt).

- Yderligere bør nævnes risikoen ved at sprede antibiotikaresistente organismer til miljøet, samt de mulige ekstra konsekvenser ved en infektion med antibiotikaresistente bakterier. Endelig vil også kemiske stoffer, herunder medicinrester, hormoner, mercaptaner, kuldioxid, ammoniak, metan, desinfektionsmidler, svovlbrinte mv. kunne spredes med gylle. Disse er som nævnt tidligere ikke vurderet i denne rapport.

Det er valgt at arbejde med *Salmonella* og *Cryptosporidier* i den kvantitative risikovurdering ud fra to kriterier: 1) Eksistens af data vedrørende forekomst og overlevelse i gylle (*Salmonella* op til  $2,8 \cdot 10^4$  og *Cryptosporidier* op til  $3 \cdot 10^2$  pr. ml i ufortyndet gylle), og 2) begge har relevans under danske forhold, dvs. betydning og hyppighed (udgør risiko) i danske husdyrbesætninger og for mennesker.

Der var ikke tilgængelige data vedrørende forekomst af vira eller *Ascaris suum* i gylle fra husdyrbesætninger, endvidere vurderes gylle fra danske husdyrbesætninger ikke at indeholde relevante humanpatogene vira.

Kvantitativt resulterer modelleringen for hvert af de udvalgte agens i to mål for spredningen af zoonotiske smitstoffer fra vandkanonerne

1. Antal agens der indåndes pr. time ved ophold i det af udspreddingen berørte område (udenfor marken).
2. Antal agens der deponeres pr. m<sup>2</sup> i det af udspreddingen berørte område (udenfor marken).

Resultaterne beskrives ved forskellige scenarier samt ved Monte Carlo simuleringer. I Monte Carlo simuleringer anvendes fordelingsfunktionerne for de elementer der er usikre. Der trækkes tilfældigt i disse fordelinger og på denne måde genereres en estimeret fordeling for det ønskede output (her henholdsvis antal agens indåndet pr time eller antal agens deponeret pr m<sup>2</sup> i hele udspreddingsperioden).

### Salmonella, worst-case-scenarium

Antallet af bakterier i den ufortyndede gylle antages at være  $2,8 \times 10^4$  (fundet i den danske undersøgelse – det faktiske worst-case scenarium vurderes at kunne indeholde en 10x flere *Salmonella* bakterier ). Yderligere antages det, at bakterierne er fuldt opblandet i gyllen og andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle agens overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antal *Salmonella* bakterier der indåndes pr. time med en kraftig respiration (30 m<sup>3</sup>/døgn  $\approx$  1250 liter/time)

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/time	~10000	~4000	~900	~500	~300	~100	~30

Antallet af *Salmonella* bakterier der indåndes falder med afstanden fra markskellet. I markskellet indåndes ca.  $10^4$  *Salmonella* bakterier i timen og det må formodes at der indåndes bakterier i en afstand af mindst 5 km fra markskellet (i vindretningen).

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antallet af *Salmonella* bakterier deponeret pr. m<sup>2</sup> i hele udspreddingsperioden (8 timer).

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/m <sup>2</sup>	~1 * 10 <sup>7</sup>	~200000	~8000	~700	~150	~65	~13

Antallet af *Salmonella* bakterier, der deponeres pr. m<sup>2</sup> i hele udspreddingsperioden (8 timer), falder med afstanden fra markskellet. I markskellet deponeres ca.  $10^7$  *Salmonella* bakterier i hele udspreddingsperioden og det må formodes at der deponeres bakterier i en afstand af mindst 5 km fra markskellet (i vindretningen).

### Salmonella, Monte Carlo simuleringer

Antallet af *Salmonella* bakterier i den ufortyndede gylle beskrives af den i Figur 7 angivne fordeling. Mængden af bakterier bundet til partikulært materiale varierer uniformt mellem 25% og 75%. Gylle andelen varierer uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varierer parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middel i de eksperimentelt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middel.



Bakteriernes overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen modelleret beskrevet med en normalfordeling med middeltal  $25\text{ m}^3/\text{døgn}$  og standard afvigelse på  $3\text{ m}^3/\text{døgn}$ . Simuleringerne er anvendt til at vurdere variationen i antallet af *Salmonella* bakterier, der indåndes pr. time. Resultatet fra simulationerne er vist i Figur 12, hvorfra fraktilerne i nedenstående tabel er ekstraheret.

Afstand (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1,3	0,8	0,3	0,11	0,07	0,02	0,015
5% nedre	0,04	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
95% øvre	36	22	11	3,5	2,2	0,8	0,5
max	1970	1190	660	270	154	56	40

Som forventet er antallet af *Salmonella* bakterier, der indåndes pr. time mindre for simuleringerne sammenlignet med worst-case scenariet. For at opnå worst-case scenariet i Monte Carlo simuleringerne skal den maksimale værdi for alle fordelinger trækkes simultant. Det maksimale antal i afstand 0, dvs. i skellet er 1970 *Salmonella* bakterier pr. time, dvs. ca. en faktor 5 under worst-case scenariet.

### **Cryptosporidier, worst-case scenarium**

Antallet af *Cryptosporidier* i den ufortyndede gylle antages at være  $3 \times 10^2$ . Yderligere antages det at de er fuldt opblandet i gyllen, så andelen bundet til partikulært materiale dermed kan negligeres. Endvidere antages det, at alle *Cryptosporidier* overlever i aerosolskyen. Andelen af gylle sættes til 25%.

Nedenstående tabel viser antal *Cryptosporidier* der indåndes pr. time med en kraftig respiration ( $30\text{ m}^3/\text{døgn} \approx 1250\text{ liter/time}$ ) som funktion af afstanden (i meter) fra marken.

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/time	~139	~50	~9	~4	~2	~1	~0,4

Antallet af *Cryptosporidier*, der indåndes, falder med afstanden fra markskellet. I markskellet indåndes ca.  $10^2$  *Cryptosporidier* i timen og det må formodes at der indåndes *Cryptosporidier* i en afstand af mindst 2 km fra markskellet (i vindretningen).

Nedenstående tabel angiver worst-case estimater, der viser afstanden (i meter) fra marken (i vindretningen) og antallet af *Cryptosporidier*, der deponeres pr.  $\text{m}^2$  i hele udspretningsperioden (8 timer).

Afstand (m)	0	50	300	500	800	2000	5000
Antal/ $\text{m}^2$	~50000	~7000	~100	~4	~1	~0,3	~0,3

Antallet af *Cryptosporidier*, der deponeres pr.  $\text{m}^2$  i hele udspretningsperioden (8 timer), falder med afstanden fra markskellet. I markskellet deponeres ca.  $10^5$  *Cryptosporidier* i hele perioden og det må formodes at der deponeres *Cryptosporidier* i en afstand af mindst 0,8 km fra markskellet (i vindretningen).

### **Cryptosporidier, Monte Carlo simuleringer**

Antallet af *Cryptosporidier* i den ufortyndede gylle beskrives med fordelingen angivet i Figur 13. Mængden af *Cryptosporidier* bundet til partikulært materiale varierer uniformt mellem 25% og 75%. Gylle andelen varierer

uniformt mellem 10% og 25%. Yderligere varieres parametrene i dråbevolumfordelingen efter en normalfordeling med middel i de tidligere omtalte eksperimentelt bestemte værdier og en standardafvigelse svarende til 10 % af middel. Cryptosporidiers overlevelse i aerosolskyen antages at variere uniformt mellem 50% og 100%. Endeligt er respirationsvolumen beskrevet med en normalfordeling med middel 25m<sup>3</sup>/døgn og standard afvigelse på 3m<sup>3</sup>/døgn.

Resultatet fra simulationerne er vist i Figur 18, hvorfra fraktilerne i nedenstående tabel er ekstraheret.

Afstand (m)	0	20	40	100	200	500	900
Median	1,1	0,7	0,35	0,14	0,07	0,02	0,01
5% nedre	0,28	0,17	0,07	0,03	0,02	<0,01	<0,01
95% øvre	5	2	1,6	0,7	0,35	0,08	0,07
Max	20	15	8	4	2	0,5	0,4

Som forventet er antallet af *Cryptosporidier*, der indåndes pr time mindre for simuleringerne sammenlignet med worst-case scenariet. For at opnå worst-case scenariet i Monte Carlo simuleringerne skal den maksimale værdi for alle fordelinger trækkes simultant. Det maksimale antal i afstand 0, dvs. i skellet er 139 *Salmonella* bakterier pr time, dvs. ca. en faktor 7 under worst-case scenariet.

#### Øvrige konklusioner

Yderligere blev foretaget en sammenligning af risici ved anvendelse af henholdsvis fortyndet gylle spredt med vandingsanlæg og almindelig gylle spredt på traditionel vis ved henholdsvis bredspredning, udlægning med slæbeslanger og nedpløjning.

Udspredning af gylle fortyndet med vand via vandkanoner adskiller sig fra de traditionelle metoder på en række afgørende punkter i forhold til mulig spredning af patogener via aerosoler.

- Blandingen spredes under tryk – det betyder større andel af volumen indeholdt i partikler der potentielt kan drive bort med vinden.
- Blandingen spredes væsentligt højere i luften end ved bredspredning.

Der eksisterer desværre ikke undersøgelser der beskriver dråbestørrelsesfordelingen fra bredspredning så en kvantitativ sammenligning er ikke mulig. Alt taler dog for at udspredding af gylle fortyndet med vand via vandingskanoner udgør en betragtelig risikoforøgelse i forhold til de traditionelle metoder.

Ustadige vejrforhold vil forøge spredningen af smitstofferne, idet dråber ved større vindhastigheder, høj luftfugtighed, lave temperaturer og ustabil vejr vil transporteres længere bort med vinden.

Fokus i nærværende vurdering har været på zoonotiske smitstoffer og humane risici. Der er dog en række aspekter der bør nævnes i forbindelse med vurdering af den anvendte metode. Gylle kan indeholde kemiske stoffer, herunder medicinrester, hormoner, mercaptaner, kuldioxid, ammoniak, metan, desinfektionsmidler, svovlbrinte mv. der alle er kemiske forbindelser med toksisk potentiale og vil også kunne spredes med gylle. Det vurderes at den forøgede aerosoldannelse ved anvendelse af vandingsanlæg til udspredding vil forøge spredningen af ovennævnte kemiske stoffer (her er eventuelle kemiske reaktioner i luften ikke vurderet).

De veterinære aspekter kan behandles analogt med vurderingen af de humane risici, idet der blot kan foretages en skalering af respiration.

Yderligere kan antal agens deponeret pr.  $m^2$  anvendes til at vurdere risici for smitte af husdyr, der græsser på (eller senere spiser græs fra) marker, der berøres af aerosolskyen. Antal agens der tilføres omkringliggende marker vurderes at være højere end ved anvendelse af traditionelle udspreningsteknikker.

Det er ikke tilladt at sprede gylle fra besætninger underlagt offentligt tilsyn. Det må forventes, at såfremt gylle spredes via vandkanoner fra besætninger, hvor der efterfølgende konstateres sygdom, der kan smitte til mennesker og dyr, spredes via vandkanoner, vil smitterisikoen være øget.



## 9 Referencer

- Acha PN, Szyfres B, (Eds.), 1987. Zoonoses and communicable diseases common to man and animals. Pan American Health Organization, pp. 612-616 & 775-780.
- Agro 1997. Agrometer A/S, "Info Guldregn"
- Anonym. Teknisk rapport. Bakteriologisk *Salmonella* screening af svinebesætninger, Multiresistent *Salmonella* Typhimurium DT104. Statens Veterinære Serumlaboratorium, København, december 1998.
- Anonym, 2000a. Annual report on zoonoses in Denmark 1999. The Ministry of Food, Agriculture and Fisheries, Copenhagen.
- Anonymous, 2000b. Outbreak of gastroenteritis associated with an interactive water fountain at a beachside park . Florida, 1999. MMWR 49(25), 565-8.
- Altekruse SF, Stern NJ, Fields PI, Swerdlow DL. *Campylobacter jejuni*--an emerging foodborne pathogen. Emerg.Infect.Dis. 1999;5:28-35.
- Barwick RS, Levy DA, Craun GF, Beach MJ, Calderon RL, 2000. Surveillance for waterborne-disease outbreaks – United States, 1998. MMWR CDC Surveill Summ, 49(4), 1-21.
- Barriga OO. Ascariasis. In: Steele JH, Schulz MG, eds. Handbook series in zoonoses. Section C: Parasitic zoonoses, volume II. 1982, pp. 55-61.
- Benenson 1995, Control of communicable diseases manual, Beneson, Abram S. (editor), Sixteenth Edition, Official report of the American Public Health Association 1995
- Berends BR, Van Knapen F, Mossel DA, Burt SA, Snijders JM. Impact on human health of *Salmonella* spp. on pork in The Netherlands and the anticipated effects of some currently proposed control strategies. Int J Food Microbiol 1998;44:219-29.
- Bird, B.B; Stewart, W.W; Lightfoot, E.N: Transport Phenomena. John Wiley & Sons. 1960.
- Blacer M. J. and Newman L.S. (1982) A review of human Salmonellosis: I Infectious dose. Rev. Inf. Dis. 4: 1096-1105
- Black RE, Levine MM, Clements ML, Hughes TP, Blaser MJ. (1988) Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans. J.Infect.Dis. ; 157: 472-479.
- Blaser MJ. *Campylobacter* and related species. In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Principles and practice of infectious diseases, New York: Churchill Livingstone, 1995, pp 1948-58.
- Boloda S. 2000, Personlig meddelelse.
- Boothroyd, R.G: Flowing Gas-Solids Suspensions. Chapman and Hall Ltd, London. 1971.
- Butler T. *Yersinia* species (including plague). In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Principles and practice of infectious diseases, New York: Churchill Livingstone, 1995, pp 2070-8. 1993.
- Bøttner A. (1990) Modelstudier vedrørende overlevelse af virus I gylle under traditionel opbevaring og under udrådning I biogasanlæg. Delprojekt 1, VET-BIO-1, Statens Veterinære institut for virusforskning. Lindholm.
- Cacció, S., Homan, W., Camilli, R., Traldi, G., Kortbeek, T., Pozio, E.: A microsatellite marker reveals population heterogeneity within

- human and animal genotypes of *Cryptosporidium parvum*. *Parasitology* 2000, 120, 237-244.
- Crozier D., og Woodward T.E. (1962) Activities of the commission on epidemiological survey. *Milit. Med.* 127, 701-05.
- DANMAP 99 – Consumption of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, food and humans in Denmark. 2000, ISSN 1600-2032.
- Danmarks Klima 96, Danmarks Meteorologiske Institut, Lyngby (DK). ISSN 0904-3101, 1997
- D'Aoust JY. *Salmonella*. In Doyle MP, ed. *Foodborne Bacterial Pathogens*, pp 327-445. New York: Marcel Dekker Inc., 1989.
- Derbyshire J.B. og Brown E.G. (1978). Isolation of animal viruses from farm livestock waste, soil and water. *J Hyg (Lond)* Oct;81(2)295-302
- Derbyshire J.B., Monteith H.D. og Shannon E.E. (1986). Virological studies on an anaerobic digestion system for liquid pig manure. *Agri. Wastes* 18, pp 309-312
- EU (1980). Walton J. R., og E.G. White (editors): Communicable diseases resulting from storage, handling, transport and landsread of manures. *Proceedings CEC Workshop, Hannover 1980, EUR 7627*
- Field, M.A; Gill, D.W; Morgan, B.B; Hawksley, P.G.W: *Combustion of Pulverised Coal*. The British Coal Utilisation Research Association. 1967.
- Glynn MK, Reddy S, Fiorentino T, Shieferaw B, Vugia D, Bardsley M, Bender J, Angulo F and the FoodNet working group. Antimicrobial agent use increases infections with resistant bacteria: a FoodNet case-control study of sporadic, multiresistant *Salmonella* Typhimurium DT104 infections, 1996-1997. Abstract, IDSA'98, Denver 1998.
- Hedberg CW, Korlath JA, D'Aoust JY, White KE, Schell WL, Miller MR et al. A multistate outbreak of *Salmonella* javiana and *Salmonella* oranienburg infections due to consumption of contaminated cheese [see comments]. *JAMA* 1992;268:3203-7.
- Hennessy TW, Hedberg CW, Slutsker L, White KE, Besser Wiek JM, Moen ME et al. A national outbreak of *Salmonella* enteritidis infections from ice cream. The Investigation Team [see comments]. *N.Engl.J.Med.* 1996;334:1281-6.
- Himathongkham S., Saipul B., Riemann H. and Cliver D. (1999) Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium in cow manure and cow slurry. *FEMS Microbiology letters* 178 pp 251-257.
- Hofman V., H. Kucera and M. Berg 1986. Spray equipment and calibration. North Dakota State University Extension Service circular 13. AGENG 5-3. North Dakota State University, Fargo ND.
- Ivanott B. og Cordel J., Robert D. Fontages R. (1979) Importance de la voie respiratoire dans la salmonellose expérimentale de la Souris Balb. *C.R. Acad. Sc. Paris* 289, 1271-74
- Jepsen og Roth 1950. Parasitologiske og bakteriologiske problemer vedrørende spildevand, specielt i forbindelse med oversprøjtningmetoden. *Nord. Vet-Med* 1950,2,967-991
- Kapperud G, Gustavsen S, Hellesnes I, Hansen AH, Lassen J, Hirn J et al. Outbreak of *Salmonella* Typhimurium infection traced to contaminated chocolate and caused by a strain lacking the 60-megadalton virulence plasmid. *J.Clin.Microbiol.* 1990;28:2597-601.
- Kapperud G. *Yersinia enterocolitica* in food hygiene. *Int.J.Food Microbiol.* 1991;12:53-65.
- Kjellerup V. og Klausen P.S. (1975) Gyllens indhold af plantenæringsstoffer. *Statens forsøgsvirksomhed i plantekultur, 1212, medd.,*

- Kramer MH, Sorhage FE, Goldstein ST, Dalley E, Wahlquist SP, Herwaldt BL, 1998. First reported outbreak in the United States of cryptosporidiosis associated with a recreational lake. *Clin. Infect. Dis.* 26(1), 27-33.
- Kristensen, H. *Saustrup: Formler Til Varmetransmission*, 3. udgave. Polyteknisk Forlag, København. 1972.
- Kincaid D.C., Solomon K.H., Oliphant J.C. (1996) Drop size distribution for irrigation sprinklers *Transactions of the ASAE* Vol. 30(3):839-845
- Larsen H.E. og Munch B., (1981). Sygdoms-og miljømæssige problemer i forbindelse med behandling og spredning af flydende husdyrsgødning. Institut for veterinær mikrobiologi og hygiejne, Den kgl. veterinær- og landbohøjskole.
- Linden PK, Miller CB. Vancomycin-resistant enterococci: the clinical effect of a common nosocomial pathogen. *Diagn.Microbiol.Infect.Dis.* 1999;33:113-20.
- Low DE, Willey BM, Betschel S, Kreiswirth B. Enterococci: pathogens of the 90s. *Eur.J.Surg.Suppl* 1994;19-24.
- LRC (1994). Seminar om spredning af smitstoffer fra husdyrsgødning og organisk affald, Landbruget rådgivningscenter, Udkærvej 15 Skejby, DK-8200 Århus N.
- LRC (1997). Bedre vandudnyttelse ved vanding og forbedret udnyttelse af kvælstof i husdyrsgødning. Landbruget rådgivningscenter, Udkærvej 15 Skejby, DK-8200 Århus N.
- Lund E. (1980) Overlevelse af virus i gylle. *Ugeskrift for Jordbrug* 1980, nr 2, side 47-49
- McLauchlin J, Amar C, Pedraza-Diaz S, Nichols GL, 2000. Molecular epidemiological analysis of *Cryptosporidium* spp. In the United Kingdom: results of genotyping *Cryptosporidium* spp. in 1,705 fecal samples from humans and 105 fecal samples from livestock animals. *J. Clin. Microbiol.* 38, 3984-90.
- Mead PS, Griffin PM. *Escherichia coli* O157. *Lancet* 1998;352:1207-12.
- Mikkelsen, T., S.E. Larsen and S. Thykier-Nielsen (1984). Description of the Risø Puff Diffusion Model. *Nuclear Technology*, Vol. 67, pp. 56-65.
- Mikkelsen, T. and F. Desiato (1993): Atmospheric Dispersion Models and Pre-processing of Meteorological Data for Real-time Application. In: Proceedings of the Third International Workshop on Real-time Computing of the Environmental consequences of an Accidental Release to the Atmosphere from a Nuclear Installation, Schloss Elmau, Bavaria, October 25-30 1992. *Radiation Protection Dosimetry* (Dec. 1993).
- Miller MA, Paige JC. Other food borne infections. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 1998;14:71-90.
- Miller SI, Hohmann EL, Pegues DA. *Salmonella* (including *Salmonella typhi*). In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. *Principles and practice of infectious diseases*, New York: Churchill Livingstone, 1995.
- MST (2000) Undersøgelse af gylle prøver fra 5 tilfældigt udvalgte svinebesætninger og 5 tilfældigt udvalgte kvægbesætninger (kontakt Linda Bagge).
- Munch B.H. Errebo-Larsen H. Brest Nielsen B (1987) Forekomst af *Salmonella* i gylle fra danske husdyrbesætninger, *Dansk vet. tidskr.* 1987, 70, 1169-1179
- Munch B. og Larsen A. B. (1990) Delprojekt 2 (VET-BIO-2) Forsknings- og overvågnings-program vedrørende bakterier og parasitter med henblik på opstilling af et driftsovervågningsprogram for Biogasfællesanlæg. Rapport fra Statens Veterinære

- Serumlaboratorium og Institut for veterinær mikrobiologi og hygiejne, Den kgl. veterinær- og landbohøjskole
- Myrmel M. Humanpatogene virus som kan overføres via næringsmidler. Norsk Veterinærtidsskrift 1994,106:932-939.
- Mølbak, K., Baggesen, D.L., Aarestrup, F.M., Ebbesen, J.M., Engberg, J., Frydendahl, K., Gerner-Smidt, P., Petersen, A.M., Wegener, H.C., 1999. An outbreak of multidrug-resistant, quinolone-resistant *Salmonella* enterica serotype Typhimurium DT104. N. Engl. J. Med. 341, 1420-1425.
- Nansen P. (1980) Gyllespredning på græsmarker, de parasitologiske konsekvenser. Ugeskrift for Jordbrug 1980, nr 2, side 49-51
- Nilsson O. (1982) Ascariasis in the pig. An epidemiological and clinical study. Acta. Vet. Scandinavica suppl. 79 1-108
- Olsen J.E., Errebo-Larsen H., og Nansen P. (1985) Smitstofreduktion ved Biogasproduktion i husdyrbruget. STUB-rapport nr 20, 1985, Udg. af Tek. Inst. Afd for Kemiteknik Tåstrup
- Olsen J.E., Jørgensen B., og Nansen P. (1985(2)) On the reduction of Mycobacterium paratuberculosis in bovine slurry subjected to batch mesofil of thermophilic anaerobic digestion. Agricult. Wastes 1985, 13, 273-280
- Panitz, H.-J., J. A. Jones (1991): The Modelling of Atmospheric Dispersion and Deposition in COSYMA). In proceedings of: Seminar on methods and codes for assessing the off-site consequences of nuclear accidents, 7- 11 May 1990, Athens, Greece. pp. 127-149 (Report EUR 13013/1 en, 1991).
- Päsler-Sauer J. (1986): Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models. INR, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK 4164.
- Pell A.N., (1997) Microbes and Manure: Public and animal health problem ?. J. Dairy Sci 80:2673-2681
- Pritulin P.L. (1959), Parathypoid in sheep and cattle resulting from airborne infektion. Veterinariya 36 26-27.
- Riemann HP, Cliver DO. Escherichia coli O157:H7. Vet Clin North Am Food Anim Pract 1998;14:41-8.
- Robinson DA. (1981) Infective dose of Campylobacter jejuni in milk. Br.Med.J. (Clin.Res.Ed) .1981; 282: 1584.
- Ross, Merrill A. and Carole A. Lembi (1985) Applied weed science, Burgess Publishing Company, Minneapolis, MN
- Sengeløv Gitte 2000, Personlig kommunikation
- Schlundt 1980, Sygdomsfremkaldende tarmbakteriers overlevelse i biogasanlæg og på gyllebehandlede marker. Licentiatafhandling Inst. Vet. Mikr. bio.og hyg., KVL 1982.
- Slifko TR, Smith HV, Rose JB, 2000. Emerging parasite zoonoses associated with water and food. Int. J. Parasitol. 30(12-13), 1379-1393.
- Straka, Geiß and Vogt (1981). Diffusion of Waste Air Puffs and Plumes under Changing Weather Conditions. Atmospheric Physics, Vol. 54, No. 2, May 1981, p. 207.
- Thykie-Nielsen, S., Deme, S. and T. Mikkelsen (2000): RIMPUFF, Atmospheric Dispersion Model, USER'S GUIDE, (Version: RIMDOS8, rev. 29, Windows NT/2000, Stand Alone). Available on request from: Department of Wind Energy, Risø National Laboratory, P.O. BOX 49, DK 4000 Roskilde.
- Thykie-Nielsen, S., Mikkelsen, T., Santabarbara, J., Ride, D. J., Higgs, T. and Weber, H. (1995).



- MADONA: Real-time Diffusion Model Simulations. Proceedings from 11<sup>th</sup> Symposium on Boundary Layers and Turbulence, Charlotte, NC, U.S.A., March 37-31, 1995.
- Wegener HC, Aarestrup FM, Jensen LB, Hammerum AM, Bager F. Use of antimicrobial growth promoters in food animals and *Enterococcus faecium* resistance to therapeutic antimicrobial drugs in Europe. *Emerg.Infect.Dis.* 1999;5:329-35.
- Willocks L, Crampin A, Milne L, Seng C, Susman M, Gair R, Mouldsdale M, Shafi S, Wall R, Wiggins R, Lightfoot N, 1998. A large outbreak of cryptosporidiosis associated with a public water supply from a deep chalk borehole. *Commun. Dis. Public Health* 1(4), 239-43.



# 1 Speciel behandling af dråber

Ud over at blive dispereret på grund af turbulensen i den omgivende luft vil en sky af vanddråber også være i fald mod jorden, og dråberne vil fordampe om den relative luftfugtighed er under 100%. Faldet og fordampningen beregnes her ved løsning af masse-, bevægelsesmængde- samt energiligningerne for en enkelt dråbe, idet alle dråber af den aktuelle dråbes størrelse antages at opføre sig ens og iøvrigt ikke påvirke hinanden. Desuden er det antaget at dråbernes indflydelse på temperatur og fugtighed af den omgivende luft er så lille, at den kan negligeres.

Masseligningen er omformet til en ligning i dråbediameteren, bevægelsesmængdeligningen til en dråbehastighedsligning og energiligningen til en temperaturligning. Størrelse, hastighed og temperatur af dråben samt temperatur og relativ fugtighed af luften er afgørende for friktionen, varmetransporten til dråben samt fordampningen, og dermed af de tidlige ændringer i størrelse, hastighed og temperatur.

## 1.1 Masse ligning

Masse ligningen for en dråbe udtrykker, at tilvæksten i dråbemasse er lig med kondensationen af damp på dråboverfladen. Den er beskrevet ved udtrykket

$$\frac{dm}{dt} = \mathbf{p} d^2 G$$

hvor  $m$  er dråbens masse,  $d$  dens diameteren, og  $G$  er masse fluxen af vand på dråbens overflade [ $\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$ ] regnet positiv mod dråben.

Masse fluxen  $G$  skyldes diffusion af vanddamp mellem dråbeoverfladen og luften omkring. Den er beskrevet ved udtrykket

$$G = \frac{Sh_f D_f}{d} \frac{M_{H_2O}}{R T_f} (p_{H_2O,a} - p_{H_2O,s})$$

hvor  $Sh$  er Sherwood tallet,  $D$  er diffusionskoefficienten for vanddamp i nitrogen (luft),  $M_{H_2O}$  er vands molekylvægt,  $R$  den universelle gaskonstant,  $T$  den absolutte temperatur,  $p_{H_2O,a}$  er partialtrykket af vanddamp i den omgivende luft, og  $p_{H_2O,s}$  er partialtrykket af vanddamp ved dråbens overflade. Index- $f$  indikerer at parameteren skal beregnes ved den såkaldte filmtemperatur, dvs. middelværdien af omgivende lufts og dråbeoverfladens temperaturer.

Af ovenstående ligninger samt af udtrykket for en kugles rumfang fås ligningen til bestemmelse af kuglens diameter

$$\frac{d(d^2)}{dt} = \frac{4M_{H_2O} D_f Sh_f}{r_{H_2O} R T_f} (P_{H_2O,a} - P_{H_2O,s})$$

Her er  $r_{H_2O}$  massefylden af flydende vand.

Damptrykket ved dråbeoverfladen er sat til mætningsstrykket svarende til overfladens temperatur, så i ovenstående ligning er det kun Sherwood tallet, der behøver at blive modelleret. Bird, Steward, Lightfoot (1960) angiver følgende udtryk

$$Sh = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Sc^{1/3}$$

hvor Reynolds- og Schmidt-tallene for dråben er defineret som

$$Re = \frac{d v r_a}{m_a}$$

$$Sc = \frac{m_a}{r_a D}$$

Her er  $v$  dråbe hastighed relativt til luften,  $r_a$  er luftens massefylde, og  $m_a$  er luftens dynamiske viskositet.

## 1.2 Bevægelsesmængdeligningen

Bevægelsesmængdeligningen for en dråbe udtrykker at den tidlige tilvækst i bevægelsesmængde er lig de ydre kræfters sum, dvs. summen af tyngdekraften og friktionskraften. Ligningen kan skrives

$$m \frac{dv}{dt} = mg - 3 p d m_a v f$$

hvor  $g$  er tyngdeaccelerationen og sidste led er friktionskraften. Her er  $f$  en faktor, der beskriver friktionens mere end propertionale øgning med hastigheden  $v$ . I henhold til Boothroyd (1971), kan  $f$  modelleres som

$$f = 1.0 + 0.15 Re^{0.687}$$

Med definitionen

$$t_m = \frac{r_{H_2O} d^2}{18 m_a f}$$

kan bevægelsesmængdeligningen skrives

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{v}{t_m}$$

som for  $t_m$  konstant i integrationstidssteppet giver

$$v = \exp\left(\frac{-t}{t_m}\right) v_0 + \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{t_m}\right)\right) g t_m$$

Her er  $v_0$  dråbehastigheden til tiden  $t = 0$ , dvs. ved starten på tidssteppet.

### 1.3 Energiligningen

Dråbeenergiligningen udtrykker at den tidlige tilvækst i termisk energi er lig den ved kondensationen frigjorte varmeenergi plus den med luften ved konvektion og varmeledning udvekslede varmeenergi. Energiligningen kan skrives

$$m C_{p_{H_2O}} \frac{dT}{dt} = \frac{dm}{dt} h_{evap} + \rho d^2 \frac{Nu_f k_f}{d} (T_a - T_s)$$

hvor  $C_{p_{H_2O}}$  er vands varmekapacitet,  $T$  er dråbens temperatur,  $h_{evap}$  er vands fordampningsvarme ved dråbeoverfladetemperaturen  $T_s$ ,  $Nu$  er Nusselt-tallet,  $k$  er luftens varmeledningsevne, og  $T_a$  er omgivende lufts temperatur. Nusselt-tallet modelleres af såvel Boothroyd (1971) som Bird, Steward, Lightfoot (1960) som

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

hvor Prandtl-tallet er defineret som

$$Pr = \frac{m_a C_{p_a}}{k}$$

Bemærk at  $Nu$  her og  $Sh$  i masseligningen ovenfor er modelleret ens. Det skyldes at de fysiske mekanismer ved varme- og masse overgang er ens.

Med definitionen

$$t_m = \frac{d^2 \rho_{H_2O} C_{p_{H_2O}}}{6 Nu_f k_f}$$

og med antagelsen, at dråbeoverfladetemperaturen kan sættes lig dråbens indre temperatur, kan energiligningen skrives

$$\frac{dT}{dt} = \frac{h_{evap}}{C_{p_{H_2O}}} \frac{3}{d} \frac{dd}{dt} + \frac{T_a - T}{t_e}$$

Denne kan integreres på samme måde som bevægelsesligningen ovenfor og giver da

$$T = \exp\left(\frac{-t}{t_e}\right) T_0 + \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{t_e}\right)\right) \left( \frac{h_{evap}}{C_{p_{H_2O}}} \frac{3}{2} \frac{d(\ln(d^2))}{dt} t_e + T_a \right)$$

hvor  $T_0$  er dråbetemperaturen ved  $t = 0$ , dvs. ved tidssteppets begyndelse.

#### 1.4 Materiale-størrelser

Materiale-størrelsesmodellerne er delvist taget fra Field et al. (1967), delvist lavet som polynomiumstilnærmelser til data i Kristensen (1972).

Med trykket  $p$  ydtrykt i Pascall [Pa] og temperaturen  $T$  i grader Celsius [deg C] er de anvendte modeller følgende:

Lufts varmekapacitet [J/kg/K]  
 $Cp_a = 0.039207 * T + 1005.08$

Lufts varmeledningsevne [W/m/K]  
 $k = 7.72247E-05 * T + 0.024293$

Lufts massefylde [ $kg/m^3$ ]  
 $r_a = 0.00348448 * P / (T + 273.15)$

Lufts dynamiske viskositet [ $m^2/s$ ]  
 $m_a = 4.56828E-08 * T + 1.72335E-05$

Binære diffusionskoefficient for blanding af vanddamp og nitrogen [ $m^2/s$ ]  
 $D = 1.1841E-04 * (T + 273.15) ** 1.75 / P$

Vands varmekapacitet [J/kg/K]  
 $Cp_{H2O} = 4200.0$

Vands massefylde [ $kg/m^3$ ]  
 $r_{H2O} = ((3.98136E-005 * T - 0.00829678) * T + 0.0800829) * T + 999.797$

Vands fordampningsvarme [J/kg]  
 $h_{evap} = 2500600.0 - 2363.14 * T$

Vanddamps mætningstryk [Pa]  
 $p_{H2O,s} = ((0.0738426 * T - 0.214983) * T + 60.6037) * T + 600.244$

#### 1.5 Tidsstep-bestemmelse

Integrationstidssteppet angivet i sekunder [s] er normalt bestemt som

$$t = \max(0.001, 0.7 \min(t_m, t_e))$$

Det giver et tidsstep i løbet af hvilket enten hastigheden eller temperaturen når halvvejs til dens quasi stady værdi. I tilfælde af at dette tidsstep skulle give en hastighedsændring på mere en 0.2 m/s, bliver det reduceret, så at denne værdi ikke overskrides.

#### 1.6 Konklusion

Med beregningssekvensen: materiale-størrelser, overgangskoefficienter, tidssteppet, diameteren, hastigheden, og til sidst temperaturen, giver ovenstående model en hurtig og stabil bestemmelse af en dråbes opførsel,

dvs. dens størrelse, faldhastighed og temperatur som funktion tid samt af omgivende lufts temperatur og fugtighed.





# 1 Husdyrgødnings-bekendtgørelse

BEK nr 877 af 10/12/1998 (Gældende)

De vigtigste regler for opbevaring og udbringning af gylle er samlet i denne "husdyrgødnings-bekendtgørelse", der blev udformet så tidligt som i 1987. Heri finder man bestemmelserne for bl.a. afstand mellem gyllebeholdere og naboer, vandløb, veje og vandindvindingsanlæg, for overdækning af gyllebeholdere, udbringning af gylle, nedpløjning, osv. Bagest i bekendtgørelsen findes en tabel over omregningsfaktorer ved beregning af dyreenheder.

## Lovgivning som forskriften vedrører

LBK Nr. 698 af 22/09/1998 § 7, § 13, § 16, § 19, stk. 5, § 67, § 73, § 80, § 92 og § 100, stk. 3-4

## Senere ændringer til forskriften

BEK Nr. 755 af 30/09/1999

## Forskriftens fulde tekst

### **Bekendtgørelse om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage m.v.**

I medfør af §§ 7, 13, 16, 19, stk. 5, 67, 73, 80, 92 og 110, stk. 3 og 4, i lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998 om miljøbeskyttelse som ændret ved lov nr. 478 af 1. juli 1998 om ændring af lov om miljøbeskyttelse, lov om naturbeskyttelse, lov om vandløb og lov om planlægning fastsættes:

#### Kapitel 1

#### *Bekendtgørelsens område*

**§ 1.** Reglerne i denne bekendtgørelse tager sigte på at begrænse forurening og gener fra dyrehold, herunder produktion, opbevaring og anvendelse af husdyrgødning og ensilage m.v.

*Stk. 2.* Reglerne finder anvendelse over for stalde og lignende indretninger til dyr ved erhvervsmæssigt dyrehold, herunder lokalisering, og alle former for opbevaring og anvendelse af gødning herfra. Reglerne finder endvidere anvendelse på ensilageoplæg samt opbevaring og anvendelse af ensilagesaft og visse former for spildevand. Undtaget fra bekendtgørelsens regler er butikker med almindelig dyrehandel.

*Stk. 3.* For virksomheder, der ved bekendtgørelsens ikrafttræden er godkendt i.h.t. miljøbeskyttelseslovens kapitel 5, gælder denne bekendtgørelses bestemmelser, jf. dog stk. 5 for pelsdyrfarme. Bestemmelserne erstatter:

- 1) Vilkår om gødningsopbevaring, herunder krav til opbevaringsanlæggenes tæthed, styrke og bestandighed samt til

opbevaringskapacitet, medmindre der i godkendelsen er fastsat større krav.

2) Vilkår om udbringningstidspunkter.

3) Vilkår om udbringningsmængder, medmindre godkendelsen fastsætter mindre mængder end bekendtgørelsen.

*Stk. 4.* Kommunalbestyrelsen kan ved godkendelser efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 5 fastsætte vilkår, der er mere vidtgående end bestemmelserne i denne bekendtgørelse.

*Stk. 5.* For pelsdyrfarme gælder reglerne i §§ 6, 8-10, 12-13, 17-19 og 21-30 om anvendelse af husdyrgødning og om anlæg til opbevaring m.v. heraf.

*Stk. 6.* Reglerne finder ikke anvendelse i det omfang, de strider mod Fødevareministeriets og Veterinær- og Fødevarerectoratets bestemmelser om forebyggelse og bekæmpelse af smitsomme husdyrsygdomme.

**§ 2.** I bekendtgørelsen anvendes følgende definitioner:

1) Ved husdyrgødning forstås fast gødning, ajle, gylle og møddingsaft fra alle husdyr.

2) Fast gødning er faste ekskrementer og strøelse.

3) Flydende gødning omfatter ajle, gylle og møddingsaft samt enhver sammenblanding af fast gødning med ajle, gylle og møddingsaft.

4) Ajle er urin, separeret fra den faste gødning.

5) Gylle er en blanding af faste ekskrementer og urin samt eventuel strøelse.

6) Møddingsaft er den væske, der løber fra fast gødning under opbevaringen på møddingen samt det regnvand, der falder på møddingpladsen.

7) Ensilagesaft er den væske, der løber fra ensilage, herunder sukkerroeffald og lignende, under opbevaringen.

8) Ved kvægbrug forstås husdyrbrug, hvor mindst 2/3 af dyreenhederne udgøres af kvæg.

9) Ved svinebrug forstås husdyrbrug, hvor mindst 2/3 af dyreenhederne udgøres af svin.

10) Ved spildevand forstås i denne bekendtgørelse alene mælkerumsvand samt vand fra vask af produkter fra husdyrhold, foderrekvisitter og lignende fra almindelig landbrugsdrift.

11) En dyreenhed er en beregningsenhed, der for de dyrearter, som er optaget på bekendtgørelsens bilag 1 udgør det antal dyr, som er fastsat i bilaget. For andre arter af husdyr end de i bilaget nævnte omregnes til dyreenheder ud fra gødningsproduktionens beregnede indhold af plantenæringsstoffer, idet et indhold på 100 kg N ab lager inklusiv den mængde der afsættes på marken svarer til 1 dyreenhed. Omregningsfaktorerne i bilag 1 fastsættes for kvæg således, at en dyreenhed svarer til 100 kg kvælstof i husdyrgødning ab lager inklusiv den mængde, der afsættes på marken. For andre husdyrarter optaget på bilag 1 fastsættes omregningsfaktoren fra den 1. august 2002, så en dyreenhed

svarer til 100 kg kvælstof i husdyrgødning ab lager inklusiv den mængde, der afsættes på marken.

12) Ved en landbrugsbedrift forstås en driftsenhed, der anvendes til landbrug, skovbrug, gartneri, frugtplantage, planteskole eller lignende jordbrugsvirksomhed. Driftsenheden kan omfatte både ejede og forpagtede arealer. Driftsenhedens arealer kan være med landbrugspligt efter reglerne i lov om landbrugsejendomme eller uden landbrugspligt.

## Kapitel 2

### Lokalisering af erhvervsmæssigt dyrehold

**§ 3.** I byzone- og sommerhusområde er erhvervsmæssigt dyrehold ikke tilladt.

*Stk. 2.* Dispensation til husdyrbrug kan dog meddeles af kommunalbestyrelsen, særligt til bestående landbrugsejendomme. Dispensation kan gives på vilkår om særlige krav til dyreholdet, til indretning af stalde, møddinger m.v. udover de i bekendtgørelsen omhandlede krav.

**§ 4.** Kommunalbestyrelsen kan godkende etablering, udvidelse og ændring af husdyrbrug, herunder stalde og lignende, og gødningsopbevaringsanlæg inden for de i stk. 3-5 nævnte afstande. Etablering, udvidelse og ændring uden for de i stk. 3-5 nævnte afstande, samt udvidelse og ændring, der inden for disse afstande ikke medfører forøget forurening, kan ske uden godkendelse, jf. dog §§ 29-30.

*Stk. 2.* En godkendelse skal være ledsaget af sådanne vilkår, at risikoen for forurening eller ikke-uvæsentlige gener for omgivelserne begrænses.

»*Stk. 3.* Afstande for lokalisering af husdyrbrug med mere end 15 dyreenheder, jf. dog stk. 6:

- 1) Til nabobeboelse 50 m
- 2) Til eksisterende eller, ifølge kommuneplanens rammedel, fremtidigt byzone- eller sommerhusområde, jf. dog stk. 4-5. 100 m
- 3) Til område i landzone, der i lokalplan er udlagt til boligformål, blandet bolig og erhverv eller til offentlige formål med henblik på beboelse, institutioner og lignende 100 m

*Stk. 4.* For lokalisering af husdyrbrug, som har mere end 120 dyreenheder i svin og/eller fjerkræ eller plads til mere end 20.000 slagtekyllinger eller 10.000 stk. andet fjerkræ, men som ikke har over 250 dyreenheder i svin og/eller fjerkræ, er afstandskravet til byzone- eller sommerhusområde 300 m

*Stk. 5.* For lokalisering af øvrige husdyrbrug med over 120 dyreenheder er afstandskravet til byzone- eller sommerhusområde 200 m

*Stk. 6* Afstande for lokalisering af husdyrbrug med mere end 250 dyreenheder i svin og/eller fjerkræ fastsættes i forbindelse med godkendelse efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 5.«

**§ 5.** Etablering, udvidelse og ændring af hundekenneler og andre hundehold, hundehandler og hundepensioner, herunder stalde og udendørs anlæg til hunde, skal mindst opfylde følgende afstande:

- 1) Hundekenneler og andre hundehold med 5 eller flere voksne hunde over 18 uger, samt hundehandler:
  - a) til nabobeboelse 100 m

b) til eksisterende, eller iflg. kommuneplanens rammedel, fremtidigt byzone- eller sommerhusområde samt områder i landzone, der i lokalplan er udlagt til boligformål eller blandet bolig og erhverv eller til offentlige formål med henblik på beboelse, institutioner og lignende 200 m

2) Hundepensioner:

a) til nabobeboelse 200 m

b) til eksisterende, eller ifølge kommuneplanens rammedel, fremtidigt byzone- eller sommerhusområde samt områder i landzone, der i lokalplan er udlagt til boligformål eller blandet bolig og erhverv eller til offentlige formål med henblik på beboelse, institutioner og lignende 300 m

*Stk. 2.* Dyrehospitaler og dyreklinikker, med hunde interneret i forbindelse med behandling, er omfattet af bestemmelserne i stk. 1, nr. 2.

*Stk. 3.* Hvor overholdelse af de i stk. 1 nævnte afstande ikke er mulig, kan kommunalbestyrelsen efter ansøgning meddele dispensation fra de stillede afstandskrav til mindre udvidelser og ændringer. Dispensationen skal være ledsaget af sådanne vilkår, at der ikke opstår risiko for forurening eller gener for omgivelserne.

*Placering af stalde, møddinger m.v.*

**§ 6.** Stalde og lignende indretninger til dyr, samt møddinger og åbne beholdere til husdyrgødning skal opfylde følgende afstandskrav:

1) Til enkelt vandindvindingsanlæg 25 m

2) Til fælles vandindvindingsanlæg 50 m

3) Til vandløb (herunder dræn) og søer 15 m

4) Til offentlig vej, privat fællesvej og naboskel (jf. dog nr. 6) 15 m

5) Til levnedsmiddelvirksomhed 25 m

6) Til naboskel fra pelsdyrhal 5 m

7) Til beboelse på samme ejendom 15 m

*Stk. 2.* Ensilageoplag, ensilagebeholdere og lukkede beholdere til husdyrgødning samt beholdere til spildevand skal opfylde de i stk. 1, nr. 1-5 nævnte afstande.

*Stk. 3.* Hvor overholdelse af ovennævnte afstande ikke er mulig, kan kommunalbestyrelsen meddele dispensation. Der kan fastsættes vilkår for indretning og drift, så at der ikke opstår væsentlige ulemper og gener eller forurening af omgivelserne, jf. § 34, stk. 3. Sådanne vilkår skal fastsættes, hvis der meddeles dispensation fra nr. 1-3.

*Stk. 4.* Hvor overholdelse af de nævnte afstande ikke vil medføre tilstrækkelig sikkerhed mod ikke-uvæsentlige gener eller forurening, kan kommunalbestyrelsen påbyde, at anlægget placeres mere hensigtsmæssigt, jf. § 34, stk. 3.

*Stk. 5.* Anlæg, jf. stk. 1, der er lovligt placeret ved bekendtgørelsens ikrafttræden, kan fortsat være placeret samme sted.

## *Indretning af stalde m.v.*

**§ 7.** Stalde og lignende indretninger til dyr skal være indrettet således, at forurening af grundvand og overfladevand ikke finder sted. De skal have gulve, udført af for fugtighed vanskeligt gennemtrængeligt materiale. Gulve skal udføres således, at de kan modstå påvirkningerne fra dyrene og de i stalden anvendte redskaber. Der skal etableres et hensigtsmæssigt afløbssystem til opsamling af alle flydende affaldsstoffer i overensstemmelse med bestemmelserne i §§ 19 og 20.

## Kapitel 4

### *Kapacitet af gødningsopbevaringsanlæg*

**§ 8.** For ejendomme, der har et dyrehold eller som oplagrer husdyrgødning, skal opbevaringsanlæg for husdyrgødning have en kapacitet, der er tilstrækkelig til, at udbringningen kan ske i overensstemmelse med reglerne i kapitel 10 samt til, at udnyttelsen af husdyrgødningens næringsstofindhold opfylder kravene i Fødevarerministeriets bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække. Opbevaringsanlæg til husdyrgødning skal dog mindst have en kapacitet svarende til 6 måneders tilførsel, jf. dog stk. 3.

*Stk. 2.* Den tilstrækkelige opbevaringskapacitet efter stk. 1 vil normalt svare til mindst 9 måneders tilførsel, dog normalt mindst 7 måneders tilførsel for kvægbrug, hvor dyrene går ude i sommerhalvåret.

*Stk. 3.* Tilførslen opgøres som den mængde husdyrgødning, der produceres i det givne tidsrum, beregnet ud fra, at dyrene er på stald, samt hvad der i øvrigt tilledes anlægget f.eks. af vaskevand eller ensilagesaft. Ved opgørelsen kan gødning opbevaret i overensstemmelse med § 11 dog fraregnes. Såfremt der foreligger specielle forhold, eksempelvis hvor kødkvæg går ude en stor del af året, skal opbevaringskapaciteten minimum svare til den periode, hvor dyrene er på stald.

*Stk. 4.* Anlæg, der udelukkende anvendes til opbevaring af ensilagesaft og spildevand, skal have tilstrækkelig opbevaringskapacitet til, at udbringning kan ske miljømæssigt forsvarligt.

*Stk. 5.* Kravet i stk. 1 om opbevaringskapacitet kan opfyldes ved, at der foreligger skriftlige aftaler om levering af husdyrgødning til opbevaring på anden ejendom eller levering til fælles biogasanlæg, gødningsbehandlingsanlæg eller gødningsopbevaringsanlæg. Sådanne opbevaringsaftaler skal have en varighed af mindst 5 år. Kommunalbestyrelsen kan fastsætte nærmere krav til aftalernes udformning.

**§ 9.** En opgørelse af den tilstrækkelige opbevaringskapacitet, jf. § 8, skal indsendes til kommunalbestyrelsen senest 31. december 1994. For ejendomme, der skal opfylde opbevaringskapaciteten tidligere, jf. § 36, skal opgørelse indgives sammen med anmeldelse af byggeriet til kommunalbestyrelsen. Såfremt der foretages ændringer efter 1. januar 1995, som har indflydelse på kapaciteten jf. § 8, skal der indsendes en ny opgørelse til kommunalbestyrelsen. Kopi af aftaler efter § 8, stk. 5, skal ligeledes indsendes til kommunalbestyrelsen.

## Kapitel 5

### *Opbevaring af fast gødning*

**§ 10.** Oplagring af fast gødning må kun ske på møddinger, der er indrettet efter bestemmelserne i §§ 12-13, eller i en lukket container, placeret på et befæstet areal med tæthed, som angivet i § 13, og afløb til en møddingsaftbeholder eller lignende, jf. dog § 11.

**§ 11.** Kompost med et tørstofindhold på mindst 30 pct. må dog oplagres i marken, såfremt oplaget er overdækket. Oplaget skal opfylde afstandskravene i § 6, stk. 1, og må ikke medføre risiko for forurening af grund- eller overfladevand.

*Stk. 2.* Kommunalbestyrelsen kan, for landbrugsejendomme i landsbyer, i særlige tilfælde tillade opbevaring af fast gødning i markmødding, hvis det godtgøres, at det ikke er muligt at opnå en miljømæssig tilfredsstillende opbevaring i tilknytning til staldene.

*Stk. 3.* En tilladelse skal være ledsaget af sådanne vilkår for placering, indretning og drift af markmøddingen, at der ikke opstår risiko for forurening af grundvandet, og at der ikke kan ske afledning til vandløb (herunder dræn), søer og havet. For markmøddinger gælder i øvrigt afstandsbestemmelserne i § 6, stk. 1.

**§ 12.** Møddinger skal indrettes således, at overfladevand fra omliggende arealer og tage ikke kan løbe ind på møddingarealet. Møddingsaft skal bortledes gennem dertil indrettede afløb, jf. kapitel 8.

**§ 13.** Møddingens sidebegrænsning skal bestå af en mindst 1 m høj mur eller en mindst 2 m bred randbelægning. Møddingbund og randbelægning samt belægning ved indkørsel i møddingen skal have mindst 3 pct. fald mod afløb.

*Stk. 2.* Kommunalbestyrelsen kan tillade en anden form for begrænsning, der giver tilsvarende sikkerhed for opsamling af møddingsaften, jf. § 12.

*Stk. 3.* Møddingbund og sidebegrænsning skal være udført af et for fugtighed vanskeligt gennemtrængeligt materiale og skal udføres således, at de kan modstå påvirkningerne, dels fra køretøjer og redskaber ved fyldning og tømning, dels fra den oplagrede gødning.

## Kapitel 6

### *Opbevaring af ensilage*

**§ 14.** Saftgivende ensilage, herunder ensilage af roetop, roeffald og ikke-forvejret græs, skal opbevares på ensilageplads eller i ensilagesilo.

**§ 15.** Ensilagepladser skal opfylde krav, svarende til bestemmelserne for møddinger med randbelægning i §§ 12-13.

**§ 16.** Ensilagesiloer skal have en bund, der er udført af et for fugtighed vanskeligt gennemtrængeligt materiale.

*Stk. 2.* De skal endvidere være udført af bestandige materialer og skal kunne modstå påvirkninger fra indholdet og fra indlægning og udtagning. De skal indrettes, så ensilagesaft kun kan afledes gennem dertil indrettede afløb, jf. kapitel 8.

## Kapitel 7

### *Opbevaring af flydende husdyrgødning samt ensilagesaft og spildevand*

**§ 17.** Beholdere for flydende husdyrgødning, ensilagesaft og spildevand skal være udført af bestandige og for fugtighed vanskeligt gennemtrængelige materialer. Beholderne skal dimensioneres for lasten af indholdet, og der skal tages hensyn til eventuelle kræfter på beholdervæg og -bund, herunder fra anlæg for omrøring og mekanisk bearbejdning. Beholderne skal endvidere udformes således, at de kan modstå påvirkninger fra omrøring og tømning.

**§ 18.** Beholdere for flydende husdyrgødning uden tæt flydelag skal være lukkede

med anden tæt overdækning.

*Stk. 2.* Åbne gyllebeholdere, hvortil gylle pumpes, skal have dykket indløb, der er sikret mod tilbageløb. Andre fyldningssystemer skal udføres, så at flydelaget ikke brydes.

*Stk. 3.* Beholdere, der udelukkende anvendes til opbevaring af møddingsaft, ensilagesaft eller spildevand, kan dog være åbne.

*Stk. 4.* Nye beholdere må ikke være udstyret med spjæld eller lignende forbindelse til fortank.

## Kapitel 8

### *Indretning af afløb*

**§ 19.** Afløb fra stalde, møddinger og ensilageoplæg, samle- og pumpebrønde skal føres gennem tætte, lukkede ledninger. Afløb, der kommer under pumpetryk, skal udføres således, at de kan modstå påvirkninger fra pumpetrykket. Afløb med tilhørende brønde skal udføres af autoriserede kloakmestre i overensstemmelse med forskrifter for afløb, som er anført i det af Boligministeriet udfærdigede bygningsreglement.

**§ 20.** Afløb fra stalde skal føres til beholder for flydende husdyrgødning.

*Stk. 2.* Spildevand fra vask af produkter fra husdyrhold, malkemaskiner, foderrekvisitter og lignende kan føres til en beholder for flydende husdyrgødning eller til en separat beholder.

**§ 21.** Afløb fra møddinger og ensilageoplæg skal udføres således, at der er afløb fra disses laveste sted(er), at tilstopning undgås, og at der kan bortledes en vandmængde pr. time, svarende til mindst 100 mm nedbør. Afløbet skal føres til beholder, der opfylder bestemmelserne i kapitel 7.

## Kapitel 9

### *Drift og vedligeholdelse*

**§ 22.** Opbevaringsanlæg for husdyrgødning, ensilagesaft og spildevand skal tømmes så ofte, at de ikke løber over.

*Stk. 2.* Er møddingen begrænset af en randbelægning, må der ikke lægges gødning på denne. Møddingen skal i øvrigt benyttes på en sådan måde, at der ikke er risiko for, at gødningen flyder uden for møddingen.

*Stk. 3.* På en ensilageplads må der ikke lægges ensilage på randbelægningen.

**§ 23.** De i bekendtgørelsen nævnte anlæg skal renholdes og vedligeholdes, herunder beskyttes mod tæring, så at de til enhver tid overholder bekendtgørelsens krav.

## Kapitel 10

### *Anvendelse af husdyrgødning og ensilagesaft*

**§ 24.** Husdyrgødning, ensilagesaft og spildevand, der tilføres jord, må kun anvendes til gødskningsformål.

*Stk. 2.* Husdyrgødning, ensilagesaft og spildevand må ikke udbringes i skove.

*Stk. 3.* Undtaget for bestemmelsen i stk. 2 er pyntegrøntarealer samt skovrejsningsarealer, hvor beplantningen er mindre end 10 år gammel.

**§ 25.** Gylle må ikke udbringes på lørdage samt søn- og helligdage på arealer, der ligger nærmere end 200 m fra byzone, sommerhusområder samt områder i landzone, der ved lokalplan er udlagt til boligformål.

*Stk. 2.* Udbringning af husdyrgødning m.v. må ikke give anledning til unødige gener.

**§ 26.** I perioden fra høst til 1. februar må der ikke udbringes flydende husdyrgødning. Undtaget herfra er udbringning fra høst til 1. oktober på etablerede, overvintrende græsarealer, samt på arealer, hvor der den følgende vinter skal være vinterraps.

*Stk. 2.* I perioden fra høst til 20. oktober må der kun udbringes fast gødning til arealer, hvor der er afgrøder den følgende vinter.

*Stk. 3.* I perioden fra høst til 1. november må der ikke udbringes ensilagesaft, medmindre udbringningen sker på bevoksede arealer eller på arealer, hvor der er afgrøder den følgende vinter.

*Stk. 4.* I perioden fra 1. september til 1. februar må der ikke udbringes flydende husdyrgødning på de i § 24, stk. 3, omtalte arealer.

**§ 27.** Flydende husdyrgødning og ensilagesaft, der udbringes på ubevoksede arealer, skal nedbringes hurtigst muligt og inden 12 timer. Kan dette, grundet uforudseelige omstændigheder, ikke lade sig gøre, skal nedbringningen finde sted, så snart det igen bliver muligt.

*Stk. 2.* Fast husdyrgødning, der udbringes på ubevoksede arealer, skal nedpløjes umiddelbart efter udbringning.

*Stk. 3.* Husdyrgødning, ensilagesaft og spildevand må ikke udbringes på en måde og på sådanne arealer, at der er fare for, at gødningen, ensilagesaften eller spildevandet strømmer til søer eller vandløb, herunder dræn, ved tøbrud eller regnskyl.

**§ 28.** Inden for en landbrugsbedrift, der drives som svinebrug, og på bedrifter uden husdyrproduktion, må den samlede mængde af husdyrgødning, som produceres på bedriften eller tilføres fra andre bedrifter indtil den 1. august 2002 højst udgøre 1,7 dyreenheder pr. ha. pr. år. Fra den 1. august 2002 må den samlede mængde højst udgøre 1,4 dyreenheder pr. ha. pr. år.

*Stk. 2.* Inden for en landbrugsbedrift, der drives som kvægbrug, må den samlede mængde af husdyrgødning som produceres på bedriften eller tilføres fra andre bedrifter indtil den 1. august 2002 højst udgøre 2,1 dyreenheder pr. ha pr. år, jf. dog stk. 3. Fra den 1. august 2002 må den samlede mængde højst udgøre 1,7 dyreenheder pr. ha pr. år, jf. dog stk. 3.

*Stk. 3.* Inden for en landbrugsbedrift, der drives som kvægbrug, må den samlede mængde husdyrgødning, som produceres på bedriften eller tilføres fra andre bedrifter, højst udgøre 2,3 dyreenheder pr. ha. pr. år, hvis over 70 pct. af arealet til rådighed for udbringning udgøres af roer, græs og græsefterafgrøder.

*Stk. 4.* Inden for andre husdyrbrug må den samlede mængde af husdyrgødning, som produceres på bedriften eller tilføres fra andre bedrifter indtil den 1. august 2002 højst udgøre 2,0 dyreenheder pr. ha. pr. år. Fra den 1. august 2002 må den samlede mængde højst udgøre 1,4 dyreenheder pr. ha. pr. år.

*Stk. 5.* Inden for enhver 12 måneders periode skal der være arealer til rådighed som sikrer, at den samlede mængde af gødning, som produceres eller tilføres fra andre bedrifter i perioden, ikke overstiger de stk. 1-4 angivne mængder pr. ha. pr. år, jf. dog stk. 6.



*Stk. 6.* Hvis der i perioden fra 1. februar-31. juli foretages etableringer eller udvidelser af dyreholdet, som medfører, at kravene i stk. 1-4 ikke længere kan overholdes, er det tilstrækkeligt, at der er indgået aftale om køb eller forpagtning af det fornødne areal eller er indgået aftale om afsætning af husdyrgødningen i medfør af stk. 8, som sikrer at det fornødne areal er til rådighed senest førstkommande 1. august. Disse aftaler skal være indgået senest samtidig med etableringen eller udvidelsen.

*Stk. 7.* Ved opgørelse af de arealer, der skal være til rådighed efter stk. 1-6, fraregnes de arealer, som ikke må tilføres gødning i henhold til denne bekendtgørelse og anden lovgivning, samt arealer, hvor husdyrgødning under normale omstændigheder ikke kan udbringes.

*Stk. 8.* Hvis en landbrugsbedrift har en større mængde husdyrgødning til rådighed, herunder gødning modtaget fra andre bedrifter, end der må være til rådighed på bedriftens areal, jf. stk. 1-7, skal der foreligge aftale, der sikrer, at overskydende gødning afsættes og anvendes på anden bedrift eller afsættes til fællesanlæg eller biogasanlæg. Sådanne aftaler skal også indgås ved afsætning af gødning fra fællesanlæg, biogasanlæg og lign. Både leverandør og modtager af husdyrgødningen skal opbevare eksemplar af aftalen.

*Stk. 9.* Aftaler i medfør af stk. 8, samt forpagtningsaftaler om arealer som indgår i landbrugsbedriftens areal, skal være skriftlige og indeholde oplysning om aftaleparternes navn, adresse og momsnummer (SE-nr.). Aftaler skal gælde for mindst et år ad gangen regnet fra 1. august. 1-årige aftaler og 1-årige forpagtningsaftaler kan dog højst etableres for i alt 35 ha. For den del af det nødvendige areal, jf. stk. 1-7, som ikke ejes eller dækkes af 1-årige aftaler eller 1-årige forpagtningsaftaler, skal der foreligge skriftlige aftaler, der til enhver tid dokumenterer, at der til brug for bedriften kan disponeres over det fornødne areal mindst 3 år frem i tiden.

*Stk. 10.* På de arealer, som er omtalt i § 24, stk. 3, må den samlede tilførsel af næringsstoffer ikke overstiger 50 kg totalkvælstof pr. ha. om året og 40 kg totalfosfor pr. ha. om året. Kvælstofdoseringsen kan beregnes som et gennemsnit over maksimalt 10 år, fosfordoseringsen kan beregnes som et gennemsnit over maksimalt 5 år.

## Kapitel 11

### *Forhåndsanmeldelse*

**§ 29.** Inden etablering, udvidelse eller ændring af et af de i kapitel 3-8 omhandlede anlæg, skal der indgives anmeldelse af byggeriet til kommunalbestyrelsen. Det samme gælder for pelsdyrhaller til kødædende pelsdyr.

*Stk. 2.* Anmeldelsen skal indeholde konstruktionstegninger m.v., som anført i bygningsreglementet, dokumentation for, at de i kapitel 3-8 nævnte krav til styrke, tæthed og bestandighed opfyldes, samt angivelse af anlæggets placering i forhold til vandindvindingsanlæg, vandløb (herunder dræn), søer, omgivende ejendomme, bebyggelse og eksisterende, eller ifølge kommuneplanen, fremtidigt udlagt byzone- og sommerhusområde, samt områder, der i kommuneplanen og/eller lokalplan er udlagt til boligformål eller blandet bolig og erhverv eller til offentlige formål med henblik på beboelse, institutioner og lignende.

*Stk. 3.* Anmeldelsespligten anses for opfyldt, når der er indgivet anmeldelse i medfør af bygningsreglementet, og når denne anmeldelse indeholder de i stk. 2 nævnte oplysninger. Kommunalbestyrelsen kan bestemme, at anmeldelse skal ske på særlige skemaer.

*Stk. 4.* Har kommunalbestyrelsen ikke inden 2 uger fra anmeldelsen gjort indsigelse, kan arbejdet bringes til udførelse. Såfremt byggearbejdet kræver dispensation, tilladelse eller godkendelse efter denne bekendtgørelse, skal der ansøges herom i forbindelse med anmeldelsen. Arbejdet må, uanset bestemmelsen i 1. pkt., ikke påbegyndes, medmindre dispensation, tilladelse eller godkendelse er meddelt.

*Stk. 5.* Har kommunalbestyrelsen gjort indsigelse, må bygge- og anlægsarbejder ikke påbegyndes, før kommunalbestyrelsen har meddelt afgørelse om, under hvilke nærmere betingelser projektet kan gennemføres.

**§ 30.** Inden etablering, udvidelse eller ændring af dyrehold inden for eksisterende anlæg omfattet af kapitel 3-8, skal der indgives anmeldelse heraf til kommunalbestyrelsen. Det samme gælder for pelsdyrhold inden for eksisterende pelsdyrhaller.

*Stk. 2.* Anmeldelsen skal angive anlæggets placering i forhold til vandindvindingsanlæg, vandløb (herunder dræn), søer, omgivende ejendomme, bebyggelse og eksisterende, eller ifølge kommuneplanen, fremtidigt udlagt byzone- og sommerhusområde, samt områder, der i kommuneplanen og/eller lokalplan er udlagt til boligformål eller blandet bolig og erhverv eller til offentlige formål med henblik på beboelse, institutioner og lignende.

*Stk. 3.* Kommunalbestyrelsen kan bestemme, at anmeldelse skal ske på særlige skemaer.

*Stk. 4.* Har kommunalbestyrelsen ikke inden 2 uger fra modtagelsen af anmeldelsen gjort indsigelse, kan etableringen, ændringen eller udvidelsen bringes til udførelse. Hvis forholdet kræver dispensation, tilladelse eller godkendelse efter denne bekendtgørelse, skal der ansøges herom i forbindelse med anmeldelsen. I så fald må etableringen, udvidelsen eller ændringen, uanset bestemmelsen i 1. punktum, ikke påbegyndes, medmindre dispensation, tilladelse eller godkendelse er meddelt.

*Stk. 5.* Har kommunalbestyrelsen gjort indsigelse, må etablering, udvidelse eller ændring ikke påbegyndes, før kommunalbestyrelsen har meddelt afgørelse om, under hvilke nærmere betingelser projektet kan gennemføres.

## Kapitel 12

### *Tilsyn, håndhævelse m.v.*

**§ 31.** Konstaterer kommunalbestyrelsen under tilsynet nærliggende risiko for sprængning eller lignende af en beholder til ensilagesaft, husdyrgødning eller spildevand, skal kommunalbestyrelsen umiddelbart meddele påbud om afhjælpende foranstaltninger eller eventuelt nedlægge forbud mod drift af anlægget.

*Stk. 2.* Er en af de i stk. 1 nævnte beholdere anbragt således, at driftsforstyrrelser eller uheld kan medføre alvorlige skader på vandindvindingsanlæg, vandløb og søer, kan kommunalbestyrelsen påbyde særlige foranstaltninger.

**§ 32.** For tilsyn, håndhævelse m.v. gælder reglerne i miljøbeskyttelsesloven.

*Stk. 2.* Plantedirektoratet udfører tilsynet med, at reglerne i § 28 overholdes. For Plantedirektoratets tilsyn og håndhævelse m.v. gælder reglerne i miljøbeskyttelsesloven.

## Kapitel 13

### *Beslutninger, klager og straf*

**§ 33.** For beslutninger i sager efter denne bekendtgørelse gælder bestemmelserne i miljøbeskyttelseslovens kapitel 10.

**§ 34.** Klager efter denne bekendtgørelse indgives senest 4 uger efter afgørelsens meddelelse til den myndighed, der har truffet afgørelsen. Denne myndighed videresender klagen til Skov- og Naturstyrelsen med sine eventuelle bemærkninger. Klagesagen afgøres efter reglerne i miljøbeskyttelseslovens kapitel 11.

*Stk. 2.* Kommunalbestyrelsens afgørelse efter § 6, stk. 3-4, § 29 og § 30 kan ikke påklages til anden administrativ myndighed.

*Stk. 3.* Kommunalbestyrelsen skal, forinden der efter bestemmelserne i § 6, stk. 3-4, træffes afgørelse, som ikke kan indbringes for højere administrativ instans, gøre berørte naboer bekendt med sagen og give dem adgang til at udtale sig inden en frist på 2 uger. Amtet skal tilsvarende høres i sager vedrørende ændring af de i § 6, stk. 1, nr. 1-3, omtalte afstandskrav.

*Stk. 4.* Påbud efter miljøbeskyttelseslovens § 72 vedrørende tilsynsmyndighedens adgang til forpagtningsaftaler samt aftaler indgået i medfør af § 28, stk. 7, kan ikke påklages til anden administrativ myndighed.

**§ 35.** Skov- og Naturstyrelsen kan efter indstilling fra Statens Jordbrugs Forskning eller Landbrugets Rådgivningscenters afdeling for bygninger godkende, at visse anlæg og staldsystemer, beskrevet i landbrugets byggeblade, ikke behøver at overholde kravene i bekendtgørelsens kapitel 3-8. Der kan stilles krav om, at nærmere angivne driftsforskrifter skal overholdes.

**§ 36.** Skov- og Naturstyrelsen kan ændre bekendtgørelsens bilag 1.

**§ 37.** Medmindre højere straf er forskyldt efter den øvrige lovgivning, straffes med bøde den, der

- 1) overtræder bestemmelserne i § 3, stk. 1, § 5, stk. 1 og 2, § 6, stk. 1 og 2, § 7, § 8, § 9, § 10, § 11, § 12, § 13, stk. 1 og 3, §§ 14-27, og § 28,
- 2) undlader at efterkomme påbud eller forbud efter § 6, stk. 4, og § 31,
- 3) undlader at indhente nødvendig tilladelse efter § 4, stk. 1,
- 4) påbegynder bygge- og anlægsarbejder ved et af de i kapitel 3-8 nævnte anlæg i strid med bestemmelserne i § 29,
- 5) etablerer, udvider eller ændrer dyrehold i strid med bestemmelserne i § 30,
- 6) undlader at indsende oplysninger eller regnskaber, herunder hindrer at give tilsynsmyndigheden adgang til et ajourført regnskab over gødningsleverancer, omfattet af §§ 8 og 9 eller tilsidesætter krav til aftalernes udformning, jf. § 8, stk. 5,
- 7) etablerer sådanne anlæg og staldsystemer, som efter § 35 er fritaget for at overholde kravene i kapitel 3-8, i strid med beskrivelserne i landbrugets byggeblade, eller overtræder fastsatte driftsvilkår, eller
- 8) overtræder vilkår i tilladelser, godkendelser eller dispensationer.

*Stk. 2.* Straffen kan stige til hæfte eller fængsel i indtil 2 år, hvis overtrædelserne er begået forsætligt eller ved grov uagtsomhed, og hvis der ved overtrædelserne er

- 1) voldt skade på miljøet eller fremkaldt fare herfor, eller

2) opnået eller tilsigtet en økonomisk fordel for den pågældende selv eller andre, herunder ved besparelser.

Stk. 3. Der kan pålægges selskaber m.v. (juridiske personer) strafansvar efter reglerne i straffelovens 5. kapitel.

## Kapitel 14

### *Ikrafttræden og overgangsbestemmelser m.m.*

**§ 38.** Bekendtgørelsen træder i kraft den 18. december 1998.

Stk. 2. Sager om udvidelse, ændring eller etablering af husdyrbrug, herunder stalde og lignende, og gødningsopbevaringsanlæg, hvortil der inden 1. august 1998 er indgivet anmeldelse efter §§ 29 eller 29 a, færdigbehandles efter de indtil da gældende regler i § 4 i bekendtgørelse nr. 1159 af 19. december 1994 om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage mv.

Stk. 3. Kommunalbestyrelsen udfører tilsyn og håndhævelse m.v. med, at reglerne i § 28 overholdes for så vidt angår forhold, der ligger forud for 1. august 1998.

Stk. 4. Miljøstyrelsen udøver indtil 31. december 1998 de beføjelser, der er tillagt Skov- og Naturstyrelsen i § 35 og § 36. Indtil 31. december 1998 indsendes klager, jf. § 34, til Miljøstyrelsen.

**§ 39.** Ved bekendtgørelsens ikrafttræden ophæves bekendtgørelse nr. 550 af 24. juli 1998 om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage m.v. og bekendtgørelserne nr. 677 af 16. september 1998 og nr. 696 af 29. september 1998 om ændring af bekendtgørelse om erhvervsmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage m.v.

## Bilag 1

### Ved beregning af dyreenheder, jf. § 2, anvendes følgende omregningsfaktorer:

Husdyrart		Enhed	Antal til 1 dyreenhed	Dyreenheder pr. dyr
Kvæg:				
Malkekøer	tung race	1 årsko	0,85	1,18
Malkekøer	Jersey	1 årsko	1	1
Kvier og stude	tung race	1 årstyr	2,9	0,34
Kvier og stude	Jersey	1 årstyr	4	0,25
Ammekøer uden opdræt		1 årstyr	1,9	0,52
Ammeko med opdræt		1 KPE <sup>1)</sup>	1	1
Tyre	fra fødsel til 250 kg	1 prod. dyr	7,5	0,13
Tyre	fra fødsel til 350	1 prod. dyr		

	kg		4,4	0,23
Tyre	fra fødsel til 450 kg	1 prod. dyr	2,9	0,35
Svin:				
Søer med grise til 25 kg <sup>2)</sup>		1 årssø	3	0,33
Søer med grise	til frav. ved 7 uger	1 årssø	4,2	0,24
Søer med grise	til frav. ved 4 uger	1 årssø	4,6	0,22
Smågrise	7,5-25 kg	prod. dyr	180	0,0056
Smågrise	7,5-30 kg	prod. dyr	136	0,0074
Slagtesvin	25-95 kg	prod. dyr	30	0,033
Slagtesvin	25-98 kg	prod. dyr	28	0,036
Slagtesvin	30-98 kg	prod. dyr	30	0,033
Slagtesvin	30-110 kg	prod. dyr	24	0,042
Fjerkræ:				
Høner til konsumægproduktion og HPR <sup>3)</sup>		1 årsdyr	150	0,0067
Hønniker til konsumægproduktion, stald m/dybstrøelse		opdræt	1.600	0,0006
Hønniker til HPR <sup>3)</sup> , stald m/dybstrøelse		opdræt	1.100	0,0009
Slagtekyllinger	36 dage	prod.	3.500	0,0003
Slagtekyllinger	39 dage	prod.	2.900	0,0003
Slagtekyllinger	42 dage	prod.	2.500	0,0004
Kalkun	mini	prod.	850	0,0012
Kalkun	store	prod.	200	0,005
Ænder		prod.	700	0,0014
Gæs		prod.	250	0,004
Andre:				
Moderfår med lam		1 årsfår	8	0,12
Heste	Under 450 kg	1 årshest	2,6	0,38
Heste	450-700 kg	1 årshest	2,0	0,5
Heste	Over 700 kg	1 årshest	1,6	0,63
Mink, ildere o.lign.		1 årstæve	40	0,025
Ræve		1 årstæve	15	0,067

1) KPE (kødproducerende enhed) = 1 ammeko + 1,02 kvie + 0,453 tyr

2) Normalt opdræt af polte til erstatning af udsatte avlsdyr i egen besætning er indeholdt i »søer«, dvs. polte tæller som søer fra 1. løbning. Indtil 98 kg beregnes polte som slagtesvin.

3) HPR = Hvid Plymouth Rock

Ved slagtevægtgrænser imellem bilagets slagtevægtgrænser for tyre og svin, og ved slagtealdrer imellem de i bilaget angivne slagtealdrer for fjerkræ (angivet i dage) skal omregningsfaktoren findes ved interpolation mellem de i bilaget angivne omregningsfaktorer for de to nærmeste slagtevægtgrænser/slagtealdrer henholdsvis under og over den faktiske slagtevægt/slagtealder.

For slagtevægtgrænser/slagtealdrer der ligger ud over de i bilaget angivne for tyre, svin og fjerkræ, skal omregningsfaktoren for nærmeste slagtevægtgrænse/slagtealder anvendes. Dog kan omregningsfaktoren i stedet findes ved forholdsmæssig beregning (ekstrapolation) ud fra de i bilaget angivne omregningsfaktorer.

For andre arter af husdyr end de i bilaget nævnte omregnes til dyreenheder ud fra gødningsproduktionens beregnede indhold af plantenæringsstoffer, idet et indhold på 100 kg N ab lager inklusiv den mængde der afsættes på marken, svarer til 1 dyreenhed, jf. § 2, nr. 11.

For afgasset gylle fra fællesbiogasanlæg kan der foretages omregning til dyreenheder ud fra en omregningsfaktor, hvor en dyreenhed svarer til 100 kg N, hvis det ikke er muligt at foretage omregning ud fra de i bilaget angivne omregningsfaktorer.

*Miljø- og Energiministeriet, den 10. december 1998*

Svend Auken

/Erik Lindegaard

#### Officielle noter

Denne bekendtgørelse indeholder bestemmelser, der gennemfører Rådets direktiv 91/676-EØF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, der stammer fra landbruget.