



FREDERIKSBORG GYMNASIUM OG HF

Studieretningsprojekt 2009/10

Elevens navn:	Olivia Mulvad Akselsen	Klasse:	3v 21
---------------	------------------------	---------	-------

	Fag	Vejleders initialer
Studieretningsfag på A-niveau	4856A Kemi	(JK)
Fag på mindst B-niveau	4851B Fysik	GS

Område og faglig problemstilling

Klima, køer og metan

Opgaveformulering - udfyldes af eksaminator

Se bilag

Vejl. underskrift:


Jørgen Kloch

Vejl. underskrift:


Gert Schomacker

Jeg bekræfter herved med min underskrift, at opgavebesvarelsen er udarbejdet af mig. Jeg har ikke anvendt tidligere bedømt arbejde uden henvisning hertil, og opgavebesvarelsen er udfærdiget uden anvendelse af uretmæssig hjælp og uden brug af hjælpemidler, der ikke har været tilladt under prøven.

Elevens underskrift



Opgaven udleveres d. 3.12. 2009 kl.15.30

Opgaven afleveres d. 17.12.2009 kl. 14.00

Klima, køer og methan.

På Københavns Universitet, Det Biovidenskabelige Fakultet, Institut for Grundvidenskab skal du undersøge, hvorledes forskellige typer af foder har betydning for koens fordøjelse og dermed produktionen af methan.

Der ønskes en gennemgang af drivhuseffekten, drivhusgasser samt de klimaændringer som skyldes den menneskelige og selvfølgelig køernes udledning af drivhusgasser.

Endvidere ønskes en gennemgang af molekylet methan, herunder skal methan som drivhusgas, methans GWP-værdi forklares og diskuteres.

Som introduktion til den eksperimentelle del ønskes en kort kemisk beskrivelse af de 3 energikilder:

- Proteiner
- Kulhydrater
- Fedtstoffer (triglycerider)

Du skal i dit projekt give en grundig beskrivelse af, hvorledes kulhydratomsætningen foregår hos drøvtyggere.

Du skal desuden gennemgå

- Hvorledes methan dannes i fordøjelseskanaalen hos drøvtyggere
- Fodringens betydning for produktionen af methan
- Hvordan produktionen af methan hos drøvtyggere kan reduceres

I gennemgangen af fodringens betydning for produktionen af methan skal du inddrage forsøgsresultaterne.

Du skal opstille en klimamodel og foretage simuleringer ved hjælp af denne model. I forbindelse hermed skal du undersøge mulige klimamæssige konsekvenser af methanproduktionen.

Besvarelsen skal i forbindelse med det eksperimentelle arbejde indeholde:

- en gennemgang af teorien bag de benyttede eksperimentelle metoder
- en beskrivelse af, hvordan det eksperimentelle arbejde er blevet udført
- en gennemgang af de udførte målinger og beregninger
- en redegørelse for de fysiske metoder/teorier, der er benyttet, herunder bl.a. anvendelse af gaslove
- en vurdering af resultaterne

Klima, køer og methan



Olivia Mulvad 3.v

Studieretningsprojekt

Kemi A – Fysik B

Frederiksborg Gymnasium og HF

17-12-2009

Indholdsfortegnelse

Abstract	3
Indledning.....	4
Klima	5
Drivhuseffekten	5
Drivhusgasser.....	7
Klimamodeller.....	8
Klimaændringer nu og i fremtiden.....	12
Methan	13
Kemisk opbygning.....	13
Fysiske egenskaber	14
Anvendelse af methan i form af naturgas	15
Kilder til methan	15
Methan som drivhusgas.....	15
Køer.....	16
Proteiner	16
Fedtstoffer	17
Kulhydrater	19
Kulhydratomsætningen hos drøvtyggere	20
Dannelse af methan i koen	21
Forsøg – Fodringens betydning for produktionen af methan	22
Teori	22
Udførelse.....	25
Resultater.....	28
Databehandling.....	28
Diskussion	30
Konklusion.....	31
Reduktionen af methan hos drøvtyggere.....	31
Konklusion	33
Kildeliste	34
Bilag 1-7 Findes bagerst i opgaven	

Abstract

Global warming is a much discussed topic all over the World. The climate changes are obvious for big and for small as well as rich and for poor.

This project goes through the greenhouse effect and the increased greenhouse gas emission. Through a simplified climatic model it is in this project proven, that the increased greenhouse gas emission is to blame for the rise in global temperature.

One of the gasses which are discharged in huge amounts is methane, this project contains therefore a chemical description of methane. The main source of methane is agriculture, where it is a byproduct from the digestion system of ruminants. A description of the cow and the chemistry of its most important energy sources are to be found in this project.

Further, the chemistry of the carbohydrate digestion and methane production in the ruminants is described in details.

It also investigates how different types of feeds effect the production of methane in the cow. This is demonstrated by an experiment made in a laboratory at Copenhagen University, where a simulated cow paunch is fed with different types of feed such as hay, barley and barleystraw.

This experiment showed that hay and straw result in a lot more methane production than barley does. Finally, different methods to reduce the methane discharge are discussed.

Indledning

Klimaet er vel nok et af de mest omdiskuterede emner i vor tid. Man kan ikke åbne en avis eller tænde et fjernsyn, uden at det er der med forfærdelige billeder og gruopvækkende overskrifter. Vi har i mange år hørt på at klimaet ændrer sig, men nu kan vi også se det med vores egne øje. Drivhuseffekten og den forøgede udledning af drivhusgasser står for skud, når vi skal finde en synder. Jeg vil derfor i denne opgave redegøre for drivhuseffekten samt den øgede udledning af drivhusgasser, ydermere vil jeg fokusere på den ellers en smule oversete drivhusgas methan.

I disse uger løber FN's meget omtalte klimatopmøde af stablen i Bella Centret i København. Alverdens klimamodeller med faretruende udsigter for vores ellers livgivende Jord bliver i den forbindelse præsenteret. Jeg ønsker derfor med min egen noget simplificerede klimamodel at undersøge sammenhængen mellem drivhuseffekten, drivhusgasser og den globale temperatur.

Der er for alvor sat fokus på det voksende problem, klimaet. Verden over er der bred enighed om at handling er nødvendigt, kun sammen kan vi redde Jorden. Vi må ind i de små hjem og give dem en grund til at spise mindre kød, spare på strømmen eller tage cyklen på arbejde. Vi må overtale storudleverne Kina og USA til at satse mere på den vedvarende og grønne energi, og vi må hjælpe udviklingslandene økonomisk til en bedre og mindre forurenende industrialisering.

I det følgende vil jeg kigge på en af klimaets andre helt store syndere, koen. Jeg vil redegøre for hvordan methan dannes i drøvtyggerens fordøjelseskanal og undersøge hvordan vi effektivt og mest omkostningsfrit for både dyret og økonomien kan reducere drøvtyggerens methanproduktion. Dette vil jeg gøre på baggrund af et forsøg udført på Københavns Universitet, Det Biovidenskabelige Fakultet, LIFE.

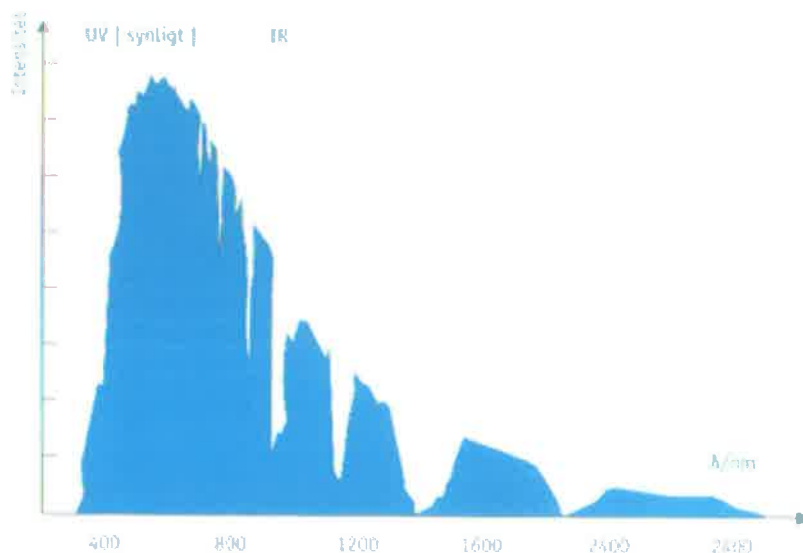
Klima

Den generelle interesse for klimaet er stigende og dette skyldes ikke mindst, at ændringerne er blevet synlige og mærkbare for os almindelige mennesker. Gletsjerne smelter, Arktis bliver varmere, koralrevene dør og temperaturen stiger bare for at nævne nogle få. Men at jordens klima ændrer sig drastisk er ikke noget nyt. Gennem jordens 4.6 milliarder lange levetid har klimaet både været meget varmere og koldere end det er nu. Selvom Jordens klima har skiftet mellem istider og mellemistider i hele dens lange levetid grundet nogle naturlige faktorer, som: *Ændringer i solindstrålingen som følge af variationer i Jordens kredsløb omkring solen; forandringer i udbredelsen af iskapperne og havisen; ændringer i de globale havstrømme; og vekslende mængder af drivhusgasser i atmosfæren¹*, så er dog stadig grund til bekymring for meget tyder på, at det globale klima ikke er så stabilt, som hidtil antaget.

Drivhuseffekten

Drivhuseffekten er ikke noget nyt, selvom der er kommet meget mere fokus på den, her de seneste årtier. Faktisk har drivhuseffekten eksisteret lige så længe Jorden har haft en atmosfære og det kan vi kun være taknemmelige for. Uden drivhuseffekten ville Jordens gennemsnitsklima være 33°C lavere, dvs. at i stedet for den nuværende gennemsnitstemperatur på 14°C ville vi have en temperatur på blot -19°C, dermed ville også livsbetingelserne på Jorden se meget anderledes ud.

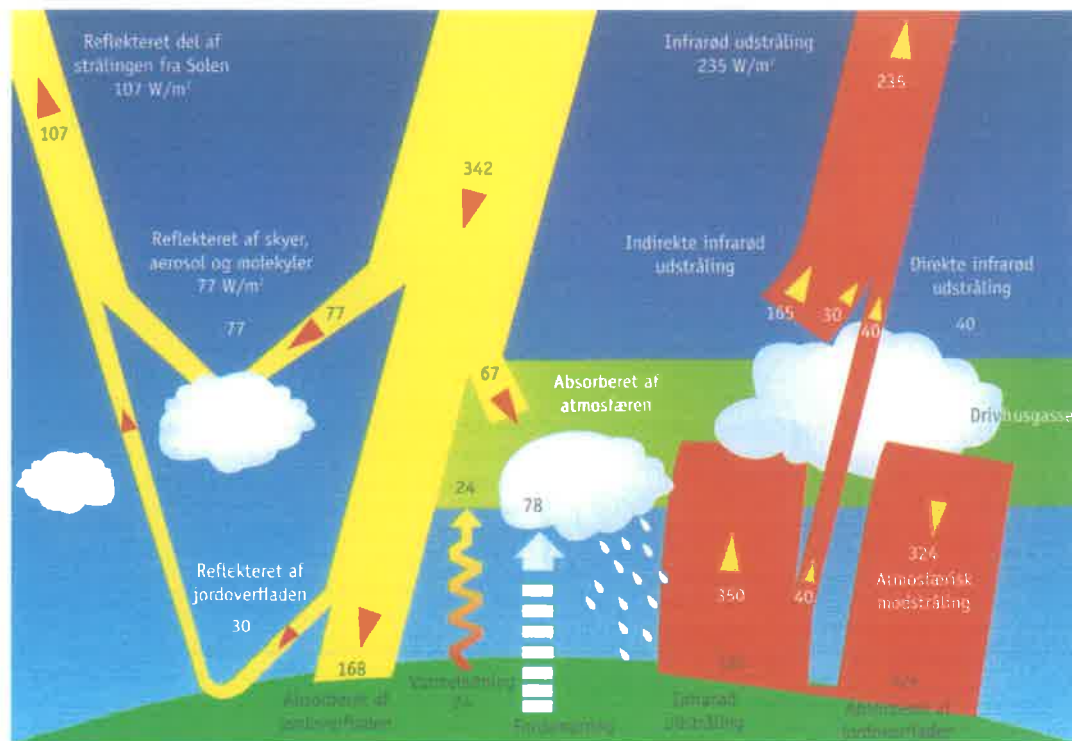
Solen, Jordens primære energikilde, kan opfattes som et absolut sort legeme, der absorberer al elektromagnetisk stråling af enhver bølgelængde, og ydermere udsender mere stråling end noget andet element af samme temperatur.



Figur 1: Solens spektrum ved Jordens overflade, passer med en Planck-kurve (Kilde: Litteratur 1)

Når vi i stedet betragter Jorden, er det kun med hensyn til dennes udstråling at den med god tilnærmelse kan betragtes som et absolut sort legeme. Anderledes er det med dens absorption, her kan den bestemt ikke betragtes som et absolut sort legeme.

¹ Citat litteratur 3: Naturvidenskab for alle – Jordens klima fortid og fremtid side 2



Figur 2: Jordens og atmosfærens strålingsbalance (Kilde: Litteratur 1)

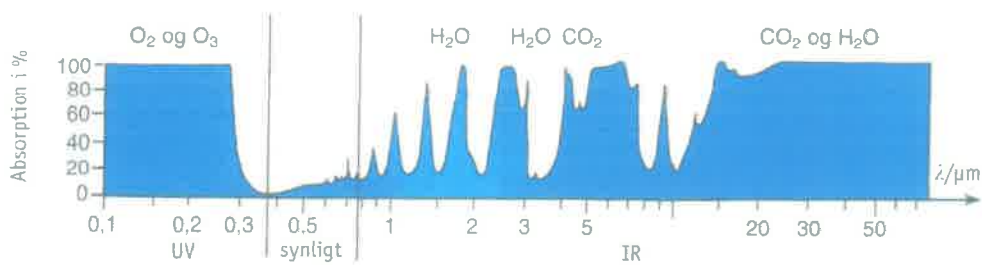
Sollysets intensitet lige uden for Jordens atmosfære, solarkonstanten, er i gennemsnit 1367 W/m^2 . Da Jordens overfladeareal er 4 gange dens tværsnitareal grundet Jordens kugleform, er den indkommende gennemsnitlige intensitet udenfor Jordens atmosfære 342 W/m^2 . Men ikke al den indkommende energi absorberes af Jorden. 77 W/m^2 af solindstrålingen reflekteres af skyer, aerosol og molekyler i atmosfæren og 30 W/m^2 reflekteres af jordoverfladen. Yderligere absorberes 67 W/m^2 af atmosfæren og opvarmer denne, altså når kun 168 W/m^2 ned til jordoverfladen. Jorden afgiver igen varme til atmosfæren ved varmeledning, konvektion, og ved vandfordampning. Den største energistrøm væk fra Jorden er dog varmestråling, IR-stråling. Det drejer sig om 390 W/m^2 altså mere end den indkommende stråling. Dog absorberer skyer og drivhusgasser praktisk taget al energien i første omgang, så kun 40 W/m^2 fortsætter direkte gennem atmosfæren og ud i verdensrummet. 324 W/m^2 returneres ligeledes som IR-stråling af atmosfæren til Jorden, mens 165 W/m^2 IR-stråling fra drivhusgasser og 30 W/m^2 IR-stråling fra skyer sendes ud i verdensrummet. Sammenfattende modtager Jorden og dens atmosfære 342 W/m^2 fra solen, hvoraf de 107 W/m^2 reflekteres. Jorden og dens atmosfære udsender igen selv 235 W/m^2 IR-stråling. Der er altså balance i energiregnskabet.²

Jorden og dens atmosfære reflekterer som sagt 107 W/m^2 af solindstråling på 342 W/m^2 , svarende til en refleksion på 31%, denne kaldes Jordens gennemsnitlige albedo³. At Jorden ikke absorberer al stråling og derfor ikke har en albedo på 0 er medvirkende til at den ikke kan betragtes som et absolut sort legeme.

Som før gennemgået passere en stor del af Solens stråling men kun en lille del af Jordens IR-stråling gennem atmosfæren, dette skyldes atmosfærens evne til at absorbere stråling ved forskellige bølglængder:

² Jorden og atmosfærens strålingsbalance er skrevet på baggrund af litteratur 1: Global opvarmning side. 52-53.

³ Albedo er den del af solindstrålingen, som reflekteres tilbage til rummet.



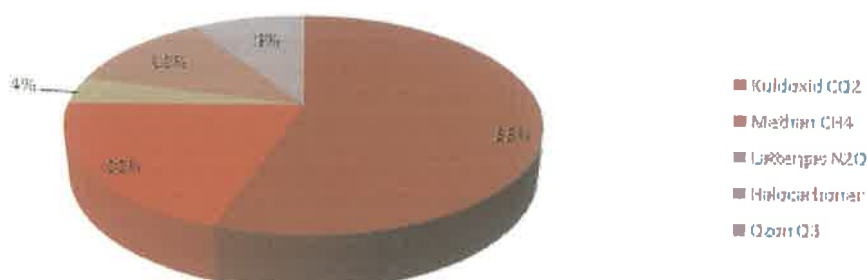
Figur 3: Jordens atmosfæres evne til absorption ved forskellige bølgelængder, og hvilke drivhusgasser, som foresager denne absorption. (Kilde: Litteretur 1)

Som det fremgår af figuren, absorberer ozonlaget bestående af O₂ og O₃ næsten al UV-stråling fra Solen, mens Solens synlige lys passerer så godt som uhindret gennem et såkaldt vindue i atmosfæren. Store dele af Jordens IR-stråling absorberes af drivhusgassen H₂O og i særdeleshed af drivhusgassen CO₂. Drivhusgasserne medvirker altså til den førnævnte balance i energiregnskabet, så hverken drivhuseffekten eller drivhusgasserne er i sig selv farlige. Det er i stedet den menneskeskabte forøgelse af drivhusgasser, der jf. ovenstående figur vil forøge den atmosfæriske tilbagestråling hvorved den globale temperatur vil stige. En stigning i den globale temperatur vil medføre smeltning af de store sne- og isdækkede områder, hvilket resulterer i, at Jordens albedo vil falde, da der vil være mindre hvid overflade til at reflektere men mere sort havoverflade til at absorbere stråling. Dette vil igen medføre en stigning i den globale temperatur og sådan kunne det blive ved.

Drivhusgasser

Atmosfærens evne til at absorbere og udsende varmestråling afhænger som sagt af mængden af drivhusgasser. En drivhusgas er en luftart, som har den egenskab, at den kan absorbere IR-strålingen som udsendes fra Jorden hvorimod den lader det synlige lys fra Solen slippe igennem. Derudover skal en drivhusgas bestå af mindst 3 atomer. Luftarterne dinitrogen og dioxygen, som tilsammen udgør 99% af den atmosfæriske luft, har kun 2 atomer i hvert molekyle og besidder derfor ikke egenskaberne for drivhusgasser. Det er der til gengæld en række andre gasser i atmosfæren, som gør, de vigtigste er vanddamp H₂O, carbondioxid CO₂, methan CH₄, lattergas N₂O og ozon O₃. Disse gasarter findes naturligt i atmosfære og foruden vanddamp men sammen med gruppen af halocarboner, som inkluderer de industrielt fremstillede CFC-gasser, HCFC'er, PFC'er og SF₆, er de også de vigtigste menneskeskabte drivhusgasser.

Bidrag til menneskeskabt forøgelse



Figur 4: De menneskeskabte drivhusgassers bidrag til den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten (Kilde: Litteratur 2)

Når man vurderer en drivhusgas' effektivitet, er det ikke nok at kigge på dens bidrag til den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten. Der er i stedet specielt en faktor, som man skal tage

højde for, nemlig stoffets GWP-værdi. GWP står for Global Warming Potentiel, og værdien er baseret på drivhusgassens evne til at absorbere IR-stråling, den absorberede strålings spektrale placering og gassens levetid i atmosfæren. Der er altså en sammenhæng mellem en høj GWP-værdi, en høj infrarød absorption, en lang levetid i atmosfæren og en absorption i et ellers gennemtrængeligt vindue i atmosfæren⁴. GWP-værdien er et mål for hvor meget en given drivhusgas skønnes at bidrage til den globale opvarmning, regnet vægtmæssigt i forhold til carbondioxid, der har GWP-værdien 1. Da drivhusgasserne har lang levetid i atmosfæren er der vedtaget flere GWP-værdier for hver enkelt drivhusgas afhængigt af hvor lang en tidshorisont, der ønskes belyst.

Følgende er et skema⁵ over de forskellige menneskeskabte drivhusgasser hvor GWP-værdierne er baseret på tidshorisont på 100 år:

Drivhusgas	Kilder	Stigning siden industrialisering	Levetid i atmosfæren	GWP-værdi
Carbondioxid CO ₂	Afbrænding af fossile brændsler. Afbrænding og rydning af skove	ca. 30%	100-1000 år	1
Methan CH ₄	Tarmluft og gylle fra husdyr. Vådområder. Forrådnelse af lossepladser. Mulige fremtidige kilder: Menneskeforårsaget optøning af den arktiske tundra.	160%	8-12 år	21
Lattergas N ₂ O	Kunstgødning i landbruget. Industrielle processer.	17%	120 år	310
Halocarboner (CFC, HFC'er m.fl)	Køleskabe, fryser, klimaanlæg. Brandslukningsmidler, opskumningsmidler. Lyddæmpende termoruder.	Ingen før industrialisering	50-50.000 år	Op til 23.9000 for SF ₆
Ozon O ₃	Fotokemiske reaktioner bl.a. af bilers udstødningsgasser.	100%	Ca. 1 måned	-

Som det fremgår af skemaet, er mængden af de menneskeskabte drivhusgasser alle steget markant efter industrialiseringen. Som før sagt stiger temperaturen, hvis atmosfærens indhold af drivhusgasser stiger. Dette vil jeg nu eftervise ved at konstruere nogle klimamodeller, som simulerer fremtidens klima hvis fx indholdet af drivhusgasser stiger eller hvis Jorden ingen atmosfære havde.

Klimamodeller

Programmet FPro benyttes til at konstruere disse klimamodeller. Det er dog meget simplificerede klimamodeller, som kun deler atmosfæren i en øvre og en nedre atmosfære. Disse udgør sammen med Jorden de tre elementer i modellerne. Elementerne er hver især karakteriseret ved en temperatur, en evne til at absorbere solstråling og en evne til at absorbere IR-stråling. I forhold til Jorden udstråler atmosfære-elementerne fra den dobbelte overflade, idet de både stråler op og ned.

⁴ Se figur 3 side 7.

⁵ Skemaet er baseret på litteratur 2: Den globale hedetur side 9

Modellen udtrykker i forenklet form energiudvekslingen mellem de tre elementer der alle betragtes som grålegemer. Grålegemer sender stråling ud fra overfladen med intensiteten F :

$$F = a * \sigma * T^4$$

F = strålingseffekten pr. overfladeareal

T = legemets absolutte temperatur i K

σ = Stefan-Boltzmanns konstant: $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 * K^4} \right)$

a = legemets absorptionsfaktor: $0 \leq a \leq 1$, hvor $a=1$ (sort legeme) absorberes al IR-strålingen og $a=0$ (hvidt legeme) absorberes intet IR-stråling.⁶

I modellen bruges et udtryk for temperaturændringen for hvert af de tre elementer. Dette udtryk tager udgangspunkt i formlerne for specifik varmekapacitet, effekt og intensitet:

$$Q = m * c * \Delta T = P * \Delta t = F * A * \Delta t$$

$$m * c * \Delta T = F * A * \Delta t$$

$$\Delta T = \frac{F * A * \Delta t}{m * c} = F * \frac{A * \Delta t}{m * c}$$

For at simplificere modellen yderligere antages det at m , c og A er samme i de tre elementer. Temperaturen kan da skrives som:

$$\Delta T = F * dt$$

dt betegner et tidsskridt målt i en udefinerbar enhed.

Følgende er oversigter over modellens variabler, parametre og deres betegnelser:⁷

Øvre atmosfære	Grålegemer med hensyn til IR-stråling	Temperatur: T_θ	$F_\theta = IR_\theta * \sigma * T_\theta^4$ $IR_\theta = 0.59 = 59\%$	3% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes: $\theta = 0.03$
Nedre atmosfære	Grålegemer med hensyn til IR-stråling	Temperatur: T_n	$F_n = IR_n * \sigma * T_n^4$ $IR_n = 0.97 = 97\%$	16% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes: $n = 0.16$
Jorden	Sortlegemer med hensyn til IR-stråling	Temperatur: T_J	$F_J = 1 * \sigma * T_J^4$	51% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes

F_θ , F_n , F_J	Strålingsintensitet: Udstrålet strålingsenergi pr. sek pr. m^2 fra øvre atmosfære
----------------------------	---

⁶ Formel og variable fra Litteratur 6: En klimamodel i FPro side 2

⁷ Oversigter fra Litteratur 6: En klimamodel i FPro side 3-4

	(F ϕ), nedre atmosfære (Fn) og fra Jorden (FJ)
IR ϕ =0.59	Den brøkdel IR-stråling, som den øvre atmosfære absorberer (afhænger primært af mængden af drivhusgasser i den øvre atmosfære)
IRn=0.97	Den brøkdel IR-stråling, som den nedre atmosfære absorberer (afhænger primært af mængden af vanddamp og skyer i den nedre atmosfære)
T ϕ cel=-25°C, Tncel=2°C, TJcel=14°C	Den absolutte temperatur i celsius for øvre atmosfære (T ϕ), nedre atmosfære (Tn) og fra Jorden (TJ)
T ϕ =273.15+T ϕ cel, Tn=273.15+Tncel, TJ=273.15+TJcel	Den absolutte temperatur i kelvin for øvre atmosfære (T ϕ), nedre atmosfære (Tn) og fra Jorden (TJ)
dT ϕ , dTn, dTJ	Angiver tilvæksten i de tilsvarende absolutte temperaturer i løbet af tidssteppet dt
Alfa=0.30	Jordens albedo
ϕ =0.030	Den brøkdel af solindstrålingen, som den øvre atmosfære absorberer (afhænger hovedsageligt af mængden af O ₃ i den øvre atmosfære)
n=0.16	Den brøkdel af solindstrålingen, som den nedre atmosfære absorberer (afhænger hovedsageligt af mængden af vanddamp, drivhusgasser og støv i den nedre atmosfære)
Ledn = k*(TJ-Tn) k=8.2 W/(m ² *K)	Varmeledning og fordampning fra Jorden til den nedre atmosfære (Regnet i Joule pr. sek.pr. m ²)
$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$	Stefan-Boltzmanns konstant
Solar = 342 W/m ²	Solstrålingens gennemsnitlige intensitet uden for atmosfæren
t, dt = 0.05	Tid og tidsstep målt i en ikke nærmere defineret tidsenhed

Variablerne og parametrene indtastes i det føromtalt program FPro⁸. Selve modellen er baseret på nedenstående linjer, som også er indtastet i programmet:

$$dT\phi := (\phi * Solar + IR\phi * Fn + IR\phi * (1 - IRn) * FJ - 2 * F\phi) * dt$$

$$dTn := (n * (1 - \phi) * Solar + IRn * FJ + Ledn + IRn * F\phi - 2 * Fn) * dt$$

$$dTJ := (Solar * (1 - Alfa) * (1 - \phi) * (1 - n) + Fn + (1 - IRn) * F\phi - FJ - Ledn) * dt$$

De led som bliver adderet repræsenterer den indkommende stråling hvorimod de led, der bliver subtraheret repræsenterer den udkommende stråling i energibalancen.

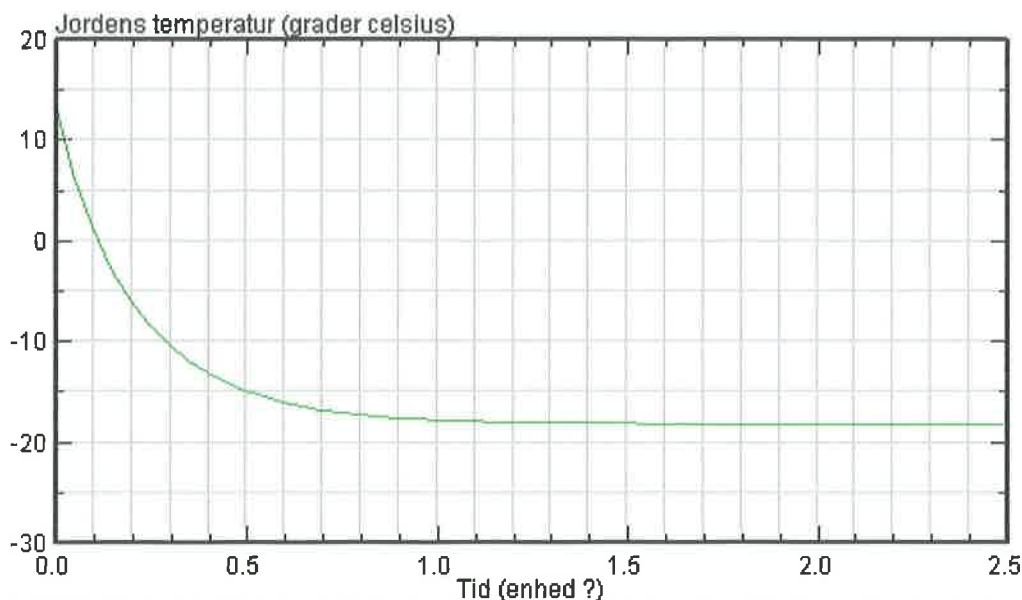
I nedenstående skema forklares første linje af modellen led for led:

Første led	$\phi * solar$	Betegner øvre atmosfæres absorption af solindstrålingen
Andet led	$IR\phi * Fn$	Betegner øvre atmosfæres absorption af IR-strålingsintensiteten fra nedre atmosfære
Tredje led	$IR\phi * (1 - IRn) * FJ$	Betegner den øvre atmosfæres absorption af IR-strålingsintensiteten fra Jorden, fratrukket den nedre atmosfæres absorption.
Fjerde led	$2 * F\phi$	Betegner den strålingsintensitet, som den øvre atmosfære udstråler både i retning af verdensrummet og i retning af Jorden.

⁸ Se bilag 1 for at se hvordan variablerne og parametrene er indtastet i vinduerne i programmet FPro.

De resterende to linjer kan tilsvarende forklares led for led. Findes som bilag 7.

Nu anvendes programmet til at simulere forskellige scenarier vedrørende klimaændringer. I første omgang undersøges hvad Jordens gennemsnitstemperatur ville være, hvis Jorden var foruden sin atmosfære og dermed også drivhuseffekt. Hvis IR_n , IR_0 , n , ϕ og k alle sættes lig nul, svarer det til en Jord uden atmosfære. Programmet sættes i gang, og følgende graf over Jordens gennemsnitstemperatur fremkommer⁹:



Figur 5: Klimamodel for Jordens gennemsnitstemperatur uden atmosfære. Modellen er lavet i FPro

Som det ses på grafen, falder Jordens gennemsnitstemperatur til en konstant temperatur på -18.24°C . Selvom modellen er forenklet stemmer resultatet på -18.24°C godt overens med de professionelle klimamodellers bud på Jordens gennemsnitstemperatur uden atmosfære og dermed også uden drivhuseffekt på -19°C .

I klimadebatten er der bred enighed om at give den forøgede udledning af drivhusgasser skylden for den observerede gennemsnitstemperaturstigning på Jorden. I denne sammenhæng kunne det være interessant at undersøge hvor meget udledningen af drivhusgasser egentlig påvirker gennemsnitstemperaturen. Hvis man øger mængden af drivhusgasser i den øvre atmosfære, absorberes der også en større brøkdel IR-stråling i den øvre atmosfære. IR_0 forøges med 0.01 fra en startabsorption i øvre atmosfære på 0.59 til en slutabsorption i øvre atmosfære på 0.63. Nedenstående tabel viser sammenhængen mellem værdien af absorptionen i den øvre atmosfære og den konstante gennemsnitstemperatur på Jorden:

IR_0	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63
Gennemsnitstemp.	15.26°C	15.72 °C	16.20 °C	16.67°C	17.15°C

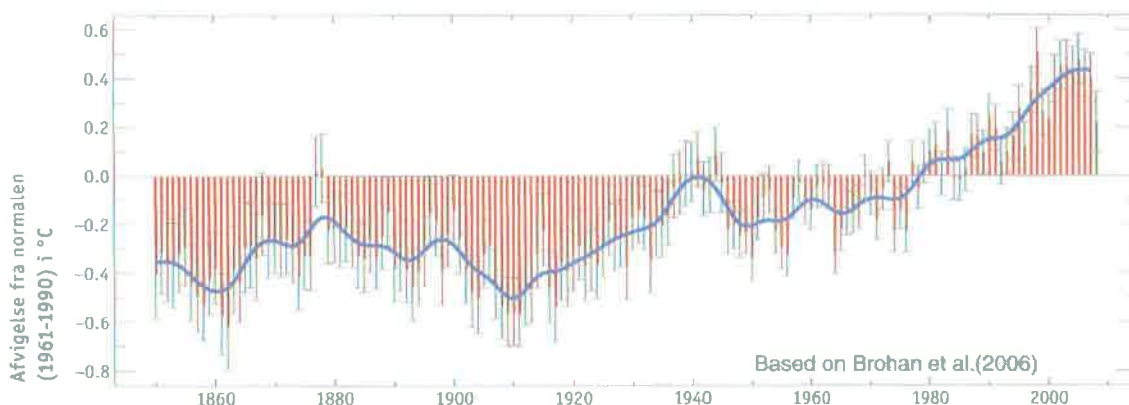
⁹ Se bilag 2: for screenshot af klimamodellen lavet i programmet FPro.

Som det fremgår af resultaterne giver en relativ lille ændring af absorptionen i den øvre atmosfære en betydelig ændring af gennemsnitstemperaturen. Det er hermed bevidst at øges mængden af drivhusgasser i atmosfæren medfører det en temperaturstigning.

En af modellens største svagheder ligger i den ikke nærmere definerede tidsenhed. I de foregående eksempler er det dog mindre væsentligt hvornår temperaturændringen indtræffer. Det vigtige er at se at bl.a. forøgelsen af drivhusgasser rent faktisk har en konsekvens for gennemsnitstemperaturen og det viser de opstillede klimamodel jo klart og tydeligt. I næste afsnit vil jeg komme nærmere ind på, hvilke konsekvenser temperaturstigningen har på Jorden og livet derpå.

Klimaændringer nu og i fremtiden

Den menneskelige påvirkning af klimaet begyndte allerede da vi 4000 år f.v.t. gik fra at være et jægeresamfund til at være et bondesamfund. Et stigende befolkningstal betød, at skov måtte fældes og afbrændes for at skaffe jord til afgrøder, hvilket forårsagede en udledning af CO₂ til atmosfæren, samtidig med at der blev mindre skov til at optage den øgede CO₂.



Figur 6: Den globale temperatur 1850-2007 angivet i forhold til den gennemsnitlige værdi for 1961-1990 (Kilde: litteratur 1)

Men det er først for alvor efter industrialiseringens start i midten af 1700-tallet af udledningen af drivhusgasser har taget fart og det har haft enorme konsekvenser. Siden 1906 er den globale middeltemperatur steget med 0.74°C, og siden man i 1860 systematisk begyndte at måle den globale temperatur har det vist sig, at 11 af de seneste 12 år, har været blandt de varmeste nogensinde registreret. Også vandstanden i verdenshavene er steget med 1.8 mm om året siden 1961, som følge af de smeltende gletsjere og iskapper. De sne- og isdækkede områder på jorden svinder ind, isen omkring Nordpolen er gennemsnitlig kun halv så tyk, som den var i 1950'erne. Vejrforholdene er også ændrede, der falder mere regn i de østlige dele af Nord- og Sydamerika, Nordeuropa og de nordlige centrale dele af Asien, mens nedbøren er reduceret i det allerede tørkeramte områder som det sydlige Afrika og Asien¹⁰. Bare i løbet af de sidste 35 år har USA oplevet en fordobling i antallet af altødelæggende orkaner og i 1999 oplevede også Danmark sin første af slagsen.

¹⁰ Ovenstående afsnit skrevet på baggrund af Litteratur 3 side 14-17.

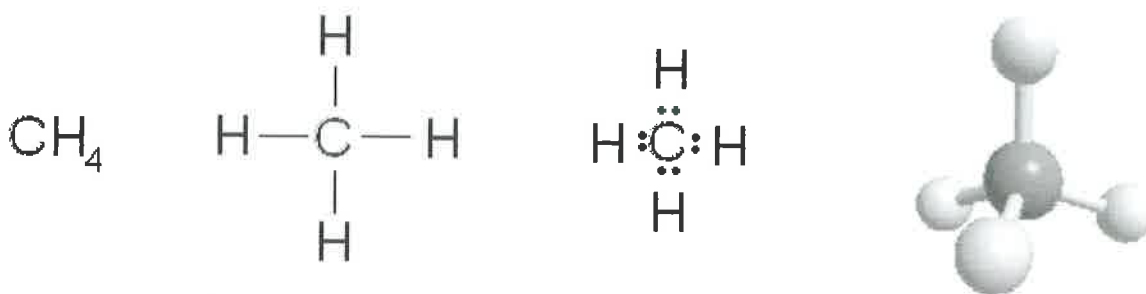
Alle disse klimamæssige forandringer har enorme konsekvenser for en ubegribelig lang række dyr og mennesker. Samtidig med at flere lavtliggende steder er truede af oversvømmelser, så sætter smeltningen af gletsjerne og iskapperne en stopper af vandforsyningen for millioner af mennesker. Tørken i Østafrika har allerede medført sultekatastrofe for 11 millioner mennesker og endnu flere ventes at omkomme som følge af tørke. Forskere spår, at inden år 2050 vil 30 millioner mennesker rammes af sult, som en direkte følge af klimaforandringerne og at der alene i Afrika syd for Sahara vil være en betydelig risiko for 182 mio. dødsfald som følge af klima-relaterede sygdomme i løbet af de næste 100 år.¹¹

Methan

Drivhusgassen methan medvirker til en belastning af klimaet. Og med sit bidrag på ca. 20% af den samlede menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten og indtager methan andenpladsen for de vigtigste menneskeskabte drivhusgasser. Jeg vil i det følgende kigge lidt nærmere på de grundlæggende principper omkring methans egenskaber.

Kemisk opbygning

Methan er det simpleste af de millioner af mulige carbonhydrider. Et carbonhydrid er kemiske forbindelser kendetegnet ved kun at indeholde carbon og hydrogen.



Figur 7: molekylformel

stregformel

prikformel

molekylmodel

Som det meget tydeligt fremgår af figur 5, består et methanmolekyle af et carbonatom med 4 hydrogenatomer rundt om. Da der i methan kun er ét carbonatom, kan der af gode grunde ikke være dobbeltbindinger i molekylet, derved tilhører methan den gruppe af carbonhydrider, som man betegner alkaner, disse kaldes også mættede forbindelser.

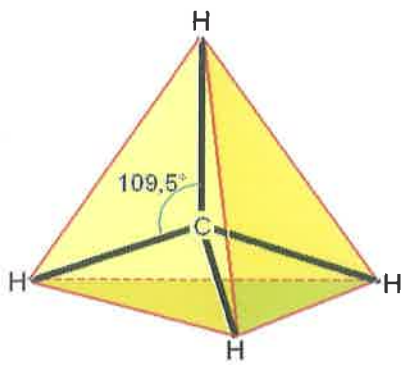
Carbonatomet og hydrogenatomerne i methanmolekylet er holdt sammen af elektronparbindinger også kaldt kovalente bindinger, som dannes mellem ikke metaller. Når carbon og hydrogen deles om et elektronpar, holdes de to atomer sammen af den tiltrækning, der er mellem begge atomers kerne og det fælles elektronpar.

Methans prikformel fortæller ikke kun om molekylets antal af fælles elektronpar, formelen kan også bruges til at bestemme methanmolekylets rummelige struktur. Den grundlæggende idé i VSEPR-modellen¹² er, at parrene af valenselektroner omkring et atom frastøder hinanden pga. elektronernes negative ladning, derfor søger de så langt fra hinanden som muligt.¹³

¹¹ Facts kilde 12: Folkekirkens nødhjælp om konsekvenser af klimaændringerne

¹² VSEPR-modellen: Valence Shell Electron Pair Repulsion, på dansk valenselektronparfrastødning.

¹³ Afsnit om VSEPR-modellen er skrevet på baggrund af litteratur 4: Kemi for gymnasiet 2 Aurum side 168-169.



Figur 8: Methans rumlige opbygning (Kilde 20)

Methanmolekylet vil danne den geometriske figur, et tetraeder. Selvom der er en lille elektronegativitetsforskel mellem C og H, som kunne gøre molekylet svagt polært, så bevirker methanmolekylets symmetriske opbygning at molekylet som helhed fremstår upolært, da tyngdepunktet for den negative ladning ligger lige midt i molekylet og på den måde falder sammen med tyngdepunktet for den positive ladning.

Jeg har tidligere beskrevet de stærke elektronparbindingerne, som holder atomerne sammen i molekylet, nu vil jeg så fortælle om svage og kortrækkende intermolekylære bindinger, som holder molekylerne sammen. For det upolære methanmolekyles vedkommende er disse kræfter dispersionskræfter også kaldt Londonkræfter. *Elektronernes konstante bevægelse om atomkernerne fører til at elektronfordelingen i et molekyle spontant kan blive asymmetrisk i forhold til atomkernerne, hvorved der opstår en dipol¹⁴.* Det vil sige at upolært molekyle kortvarigt kan blive polært. Denne opståede dipol i det ene molekyle vil da inducerer dipoler i nabomolekylerne og resultatet bliver, at molekylerne tiltrækker hinanden. Som sagt er det en meget kortvarig polaritet, en dipol opstår og forsvinder i løbet af 10^{-16} s, men da det hele tiden sker, kan tiltrækningen mellem et molekyle og dets nabomolekyler være stærke nok til at binde molekylerne sammen.

Fysiske egenskaber

Fordi methan og andre carbonhydrider er upolære holdes de som sagt kun sammen af Londonbindingerne, de vil således have et lavere kogepunkt end andre stoffer med tilsvarende molekylestørrelse, som ud over Londonbindingerne også holdes sammen af enten de stærke dipol-dipolbindinger eller de meget stærke hydrogenbindinger, da det netop gælder; jo stærkere intermolekylærekræfter jo højere kogepunkt. Ydermere er methan et lille molekyle og derved virker Londonbindingerne ikke lige så stærkt som hos andre carbonhydrider med større molekyler, da der mellem methanmolekylerne ikke er så stor en kontaktflade.

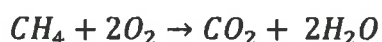
Methan er en lugt- og farveløs gas ved stuetemperatur og atmosfærisk tryk, methan dannes ved en anaerob nedbrydning af organisk materiale. Methan har som beskrevet et lavt kogepunkt på -161.5°C og et tilsvarende lavt smeltepunkt på -182.5°C . Som et upolært stof er methan letopløseligt i upolære opløsningsmidler som heptan hvorimod det er uopløseligt i stærkt polære opløsningsmidler som vand.

Methan er som andre carbonhydrider brændbare, man udnytter derfor methan som brændstof i form af naturgas.

¹⁴ Citat kilde 4: Kemi for gymnasiet 2 Aurum side174. Resten af afsnittet er skrevet på baggrund af samme kilde.

Anvendelse af methan i form af naturgas

Naturgas består hovedsageligt af methan, ca. 89% afhængig af kvaliteten, og er som kul og olie et fossilt brændstof, der findes i undergrunden. Afbrændingen giver hverken aske, støv eller andre partikler til luften og desuden giver den ikke så meget syre, da naturgas kun indeholder en ganske lille mængde svovl. Faktisk er afbrændingen af naturgas en ganske ren afbrænding, som udleder 40 % mindre CO₂ end kul gør pr. produceret energienhed. Man kan derfor betegne naturgas for et klimavenlig fossilt brændstof, og det er da også ganske positivt at naturgas dækker ca. en fjerdedel af verdens energiforbrug, dog forudsiges det, at med den afbrænding af naturgas, som finder sted nu, rækker reserveerne kun til ca. 70 år endnu. Reaktionen mellem naturgas og luft foregår i en lang række trin, hvor der sker en delvis oxidation af brændslet. Jeg har dog valgt kun at skrive totalreaktionen for omsætningen af et molekyle methan. Reaktionen giver en ide om de støkiometriske forhold:¹⁵



Kilder til methan

Som sagt findes methan som naturgas i undergrunden, bl.a. i Nordsøen hvor gassen ligesom olie blev dannet af døde mikroskopiske planter og dyr dybt nede i undergrunden for mange millioner år siden. Methan slipper ud i atmosfæren, hvis den ikke forbrændes fuldstændigt eller hvis der er utætheder i naturgasledninger. En stor del methan kommer fra mikrobiel nedbrydning af organisk materiale under anaerobe forhold i sumpe, søer moser, rismarker og på lossepladser. Landbruget er også en vigtig kilde til dannelsen af methan. Her dannes methanen ligeledes ved en mikrobiel nedbrydning af organisk stof under anaerobe forhold, her sker det bare i mave-tarmkanalen hos drøvtyggere. Landbruget frigiver også methan ved håndtering af gødningen fra dyrene: ajle, møg og gylle, som spredes ud på markerne.

Sidst men ikke mindst er der enorme mængder methan bundet som methanhydrat¹⁶ under oceanerne og i den arktiske permafrost. Forekomsterne af methanhydrat udgør en enorm potentiel energikilde men samtidig også en enorm potentiel risiko for yderligere methanudledning grundet optøningen af tundraen.

Methan som drivhusgas

En reduktion af methanudledningen vil teoretisk set have en stor effekt på den globale opvarmning over forholdsvis kort tid, fordi methan har en relativ kort levetid i atmosfæren samtidig med at den har en GWP-værdi på 21 set over en tidshorisont på 100 år. Bare i løbet af de sidste 200 år, er atmosfærens indhold af methan mere end fordoblet. Det er derfor væsentligt at der i atmosfæren foregår fotokemiske reaktioner, der kan spalte methan til methylradikaler og frie hydrogenatomer. *Fotokemiske reaktioner forgår på den måde at et molekyle absorbere elektromagnetisk stråling fra solen, hvorved molekylets energi øges. Hvis den absorberede energi er tilstrækkelig stor, kan det føre til dissociation af molekylet til andre molekyler og frie atomer.* For methan sker der følgende fotokemisk reaktion:

¹⁵ Fakta skrevet på baggrund af kilde 13: Naturgasfakta

¹⁶ Methanhydrat: Methan dannet med mikrobiel nedbrydning indesluttet i iskrystaller på bunden af verdens oceaner.



Spaltningsprodukterne methylradikalet og det frie hydrogenatom er ustabile partikler, da de begge mangler en elektron, og derfor de er meget reaktionsvillige. *Men da koncentrationen af stofferne i de højere atmosfæreslag er meget lille, er sandsynligheden for at de ustabile partikler støder ind i hinanden også meget lille. Partiklerne kan derfor opholde sig forholdsvis længe i atmosfæren uden at reagere med andre partikler.*¹⁷

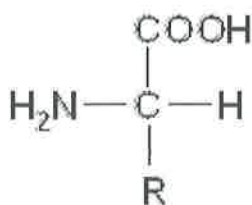
Køer

Næstefter methanproduktion i vådområder er methanproduktionen i mave-tarmkanalen hos dyr den mest betydningsfulde methankilde på verdensplan og her er koen en af de helt store syndere. Én ko alene producere 400 L methan dagligt, hvilket svarer til at danske køer årligt udleder 150.000 ton methan. Da methanen ikke er en energikilde for koen, men tværtimod resulterer i et energitab er denne udledning fuldstændig nyttesløs. For at kunne forklare, hvordan methan dannes i koen, er det vigtigt at redegøre for de forskellige energikilder, som indgår i koens fordøjelse.

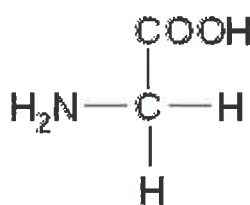
Proteiner

Proteiner er generelt meget store molekyler, makromolekyler, der findes i store mængder i alt levende. Der findes et stort antal forskellige proteiner men ens for alle er, at proteiner er centrale byggesten i alle organismer og udfører livsnødvendige funktioner som fx enzymer, hormoner, antistof og strukturproteiner.

Proteiner er polymere opbygget af aminosyrer. Proteinerne indeholder grundstofferne C, H, O, N og en mindre mængde S. Der indgår 20 forskellige aminosyrer i proteinerne, og i alle 20 aminosyrer er der bundet en carboxylsyregruppe $-\text{COOH}$ og en aminogruppe $-\text{NH}_2$ på det samme centrale C-atom, hvortil det også er bundet et H-atom og et radikale R. Forskellene på aminosyrene består netop i radikalet R:



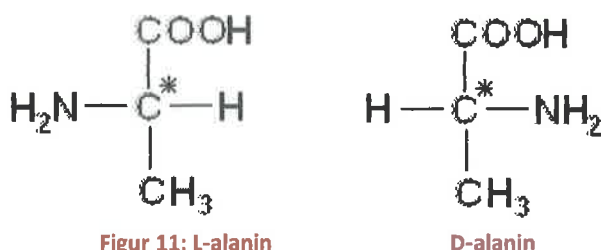
Figur 10: Generel formel for aminosyre



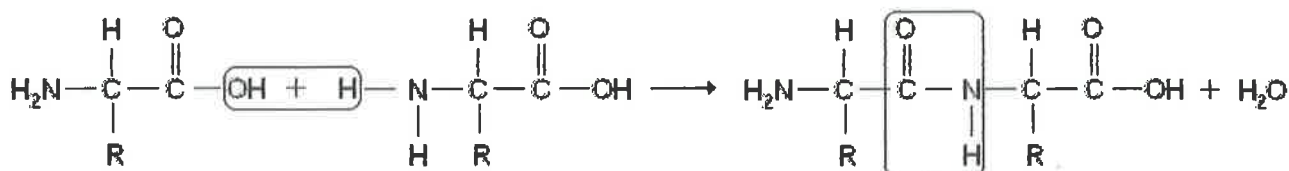
Figur 9: 2-aminoethansyre (glycin)

For alle andre aminosyrer end glycine er det centrale C-atom asymmetrisk, der forekommer altså to spejlbilledeisomere former af hver aminosyre. De naturligt forekommende aminosyrer er L-formen, dvs. aminogruppen sidder til venstre i en Fischer-projektion, hvor carboxylgruppen er øverst.

¹⁷ Citater litteratur 4: Kemi for gymnasiet 2 Aurum side 24-25



Som sagt er proteiner opbygget af kæder af aminosyrer, disse er bundet sammen af peptidbindinger. En sådan peptidbinding dannes mellem to aminosyrer ved en kondensationsreaktion mellem carboxylgruppen ved det centrale C-atom på den ene aminosyre og aminogruppen ved det centrale C-atom på den anden aminosyre. Produktet kaldes en dipeptid:



Figur 12: Peptidbinding mellem to aminosyrer

Dipeptiden kan bindes sammen med flere aminosyrer ved dannelse af flere peptidbindinger, da den stadig har en fri aminogruppe i den ene ende og en fri carboxylgruppe i den anden ende. Tre aminosyrer bundet sammen kaldes en tripeptid osv. Sidder der mange aminosyrer sammen kaldes det en polypeptid.¹⁸

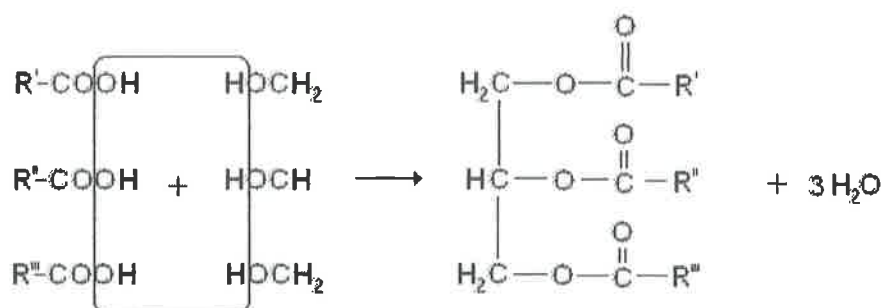
Proteiner er polypeptider med mellem 50 og over 1000 aminosyreneheder sat sammen. Et proteins egenskaber afhænger af dets molekylestruktur, her skelner man mellem den primære, sekundære, tertiære og kvaternære struktur. Den primære struktur angiver rækkefølgen af aminosyrer i proteinet. Den sekundære struktur angiver polypeptidkædens foldning fx i α -helix eller β -sheets. Den tertiære struktur angiver den overordnede rummelige opbygning af hele peptidkæden. Den kvaternære struktur angiver proteiner, der er sammensat af flere peptidkæder. Ødelægges den sekundære, tertiære eller kvaternære struktur af et protein, siges proteinet at denaturere. Denaturering kan skyldes opvarmning, ekstreme pH-værdier eller organiske opløsningsmidler.

Fedtstoffer

Fedtstoffer eller lipider er defineret som organiske stoffer af biologisk oprindelse. Fedtstofferne er helt essentielle for alle levende organismer, de bruges som energireserver grundet deres høje indhold af energi, desuden dannes alle cellemembraner af fedtstoffer. Gruppen af fedtstoffer er en stor gruppe stoffer med vidt forskellig kemisk struktur, men ens for fedtstofferne er at de indeholder grundstofferne C, H og O, og at de alle er upolære da carbonhydridkæden altid dominerer.

De almindeligste fedtstoffer er triglycerider, der er en ester af den trivalente alkohol propan-1,2,3-triol (glycerol). Triglycerider dannes ved en kondensationsreaktion mellem glycerol og tre carboxylsyremolekyler, der kan være ens eller forskellige:

¹⁸ Afsnit skrevet på baggrund af Litteratur 4: Kemi for gymnasiet 2 Aurum side 286-289

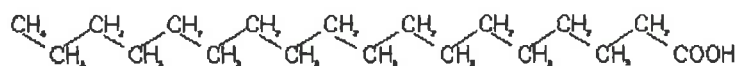


Figur 13: fedtsyreren: glycerol

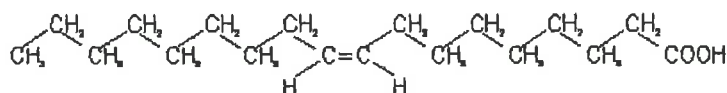
generel formel for triglycerid

De carboxylsyrer som indgår naturligt i triglycerider kaldes fedtsyrer. Alle naturligt forekommende fedtsyrer er ligekædede og uforgrenede. De vigtigste og hyppigst forekommende fedtsyrer indeholder 16 eller 18 C-atomer.

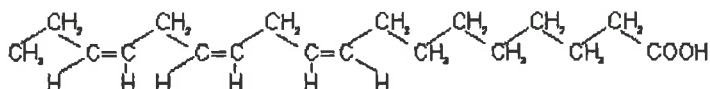
Fedtsyrer kan inddeles i mættede og umættede fedtsyrer. I de mættede er der udelukkende enkeltbindinger mellem carbonatomerne. De umættede fedtsyrer kan endvidere inddeles i monumættede og polyumættede fedtsyrer. De monumættede indeholder én dobbeltbinding mellem to C-atomer i carbonhydridkæden. Den sidste gruppe de polyumættede indeholder to eller flere dobbeltbindinger i carbonhydridkæden. De umættede fedtsyrer har pga. deres dobbeltbinding cis/trans-isomeri. De naturligt forekommende umættede fedtsyrer har cis-formen.



Mættet fedtsyre



Monomættet fedtsyre



Polyumættet fedtsyre

Figur 14: Eksempler på fedtsyrer: 1) Stearinsyre 2) Oliesyre 3) Linolensyre (Kilde 19)

Umættede fedtstoffer kan deltage i additionsreaktioner med fx brom. Jo flere dobbeltbindinger der er i det umættede fedtstof, jo mere brom kan det addere. Mængden af brom målt i gram der kan adderes til 100 g. af det umættede fedtstof angiver således bromtallet. Traditionelt anvendte man iodallet som et mål for fedtstoffets umættethed.¹⁹

I de mættede fedtsyrer er der god kontaktflade til andre molekyler, hvorimod der i de umættede fedtsyrer er en mindre godt kontaktflade pga. "knækket" fra dobbeltbindingen. Molekylets rumlige form har derfor stor betydning for størrelsen af de intermolekylære kræfter og dermed også for stoffets smeltepunkt. Triglycerider med mange umættede fedtsyrer vil altså pga. de svagere intermolekylære kræfter også have et lavere smeltepunkt end triglycerider med mange mættede fedtsyrer.

¹⁹ Afsnit skrevet på baggrund af litteratur 5: Kemi 200 side 242-247

Kulhydrater

Kulhydrater, carbohydrater eller saccharider fungerer oftest som energilagrer eller som byggestof. Simple kulhydrater som glucose og fructose dannes ved fotosyntesen, hvorfra alt organisk stof har sin oprindelse.

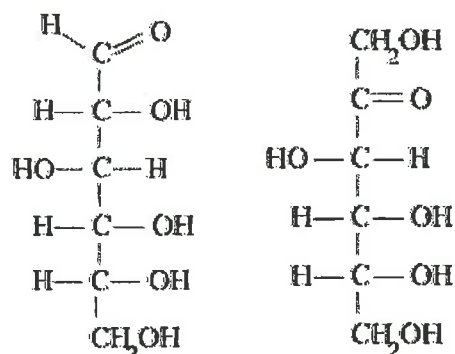
Kulhydrater er en fælles betegnelse for en stor gruppe organiske molekyler udelukkende opbygget af grundstofferne C, H og O. Oprindeligt var kulhydrater betegnelsen for kemiske forbindelser med den generelle formel:



En anden beskrivelse kunne være, at kulhydrater er polyhydroxyaldehyder og polyhydroxyketoner.

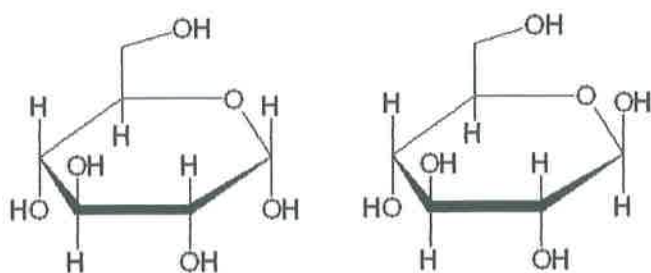
Saccharider inddeles i tre grupper: monosaccharider, disaccharider og polysaccharider.

Monosaccharider er farveløse krystalline forbindelser, der er let opløselige i vand, men uopløselige i ikke-polære opløsningsmidler. De fleste har en sød smag. Monosaccharider består af ret små molekyler med uforgrenede kæder opbygget af 3-7 C-atomer. Til alle C-atomer undtagen et sidder der en hydroxygruppe, på det sidste C-atom sidder en carbonyl-gruppe. Sidder carbonylgruppen i enden af carbonkæden er der tale om et aldehyd og monosaccharidet kaldes for aldose, sidder carbonylgruppen derimod inde i carbonkæden er der tale om en keton, og monosaccharidet kaldes en ketose.



Figur 15: Aldose – glucose ketose - fructose

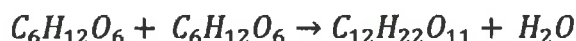
Glucose og fructose er begge eksempler på hexoser, nemlig monosaccharider med 6 C-atomer. Hexoser forekommer både på lineær og i cyklisk form. Af både glucose og fructose findes to cykliske stereoisomerer, α og β :



Figur 16: α -glucose

β -glucose

Disaccharider er ligesom monosaccharider opløselige i vand. Disaccharider dannes ved en kondensationsreaktion mellem to monosaccharid molekyler. Hvis vi tager udgangspunkt i to hexoser med molekyleformlen $C_6H_{12}O_6$ kan dannelsen af et disaccharid skrives således:



Dette reaktionsskema er dog helt formelt, da kondensationen af de to molekyler monosaccharider kun kan gennemføres ad omveje. Bindingen mellem de to monosaccharidmolekyler kaldes en glucosid-binding.

Polysaccharider indeholder mange monosaccharid-enheder bundet sammen. De vigtigste polysaccharider er stivelse og cellulose. Stivelse er et meget stort makromolekyle bestående af 100-1000 glucoseenheder bundet sammen af α -glucosid-bindinger. Stivelse er hydrofil, men på grund af molekylets størrelse opløses det kun i varmt vand. Stivelse findes i betydelige mængder i korn, majs, ris og kartofler osv. Cellulose fremstilles i planterne, når de opbygger cellevægge. Cellulose er det vigtigste strukturelement i planteriget hvor det især findes i stammer og stængler. Som stivelse består cellulose af mange glucoseenheder mellem 100 og 12.500. Forskellen er bare at cellulose er bundet sammen af β -glucosid-bindinger og ikke α -glucosid-bindinger, hvilket resulterer i en meget mere holdbar struktur. Cellulose er ligesom stivelse hydrofil, men det opløses ikke i vand. De indbyrdes bindinger mellem de lange molekyler er alt for stærke. Dyr kan pga. celluloses meget holdbare struktur ikke fordøje det. Enzymet cellulase, som bl.a. dannes af bakterier og protozoer i vommen hos drøvtyggere kan dog hydrolysere cellulosen.²⁰

Kulhydratomsætningen hos drøvtyggere

Drøvtyggere, såsom køer, indtager kulhydrater i form af forskellige fodertyper som, majs, roer, byg, hvede, melasse mm. Som alle andre dyr, starter drøvtyggeren sin fordøjelse i munden, her tygges fodret ganske kort, så det nedbrydes til mindre partikler, derefter blandes fodret med spyt. Spyttet indeholder enzymet amylase, som allerede i munden påbegynder nedbrydningen af de letfordøjelige²¹ kulhydrater til glucoseenheder. Spyttet, som er basisk, virker samtidig pH-neutraliserende i vommen, som ellers har tendens til forsuring pga. de syrer, som dannes ved bakteriernes stofskifte. Det er meget vigtigt, at der ikke sker pH-ændringer i vommen på drøvtyggeren, da de mikroorganismer, der lever i vommen ikke tåler pH-ændringer. Efter foderets blanding med spyt, fortsætter det gennem spiserøret og ender i den anaerobe vom, der i virkeligheden er en stor gæringstank, hvor millioner af de førnævnte mikroorganismer ved deres stofskifte processer forgærer de letfordøjelige kulhydrater, som blev tilført med føden, til de tre kendte fedtsyrer:

1. Eddikesyre: $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
2. Propionsyre: $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$
3. Smørsyre: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$

Fedtsyrerne er, som det ses ovenfor, affaldsstoffer fra bakteriernes stofskifte og danner grundlaget for drøvtyggerens energistofskifte. Fedtsyrerne optages gennem vomvæggens papiller til blodbanen, hvor de føres med blodet videre til leveren. Det er i leveren, at hovedparten af energistofskiftet finder sted.

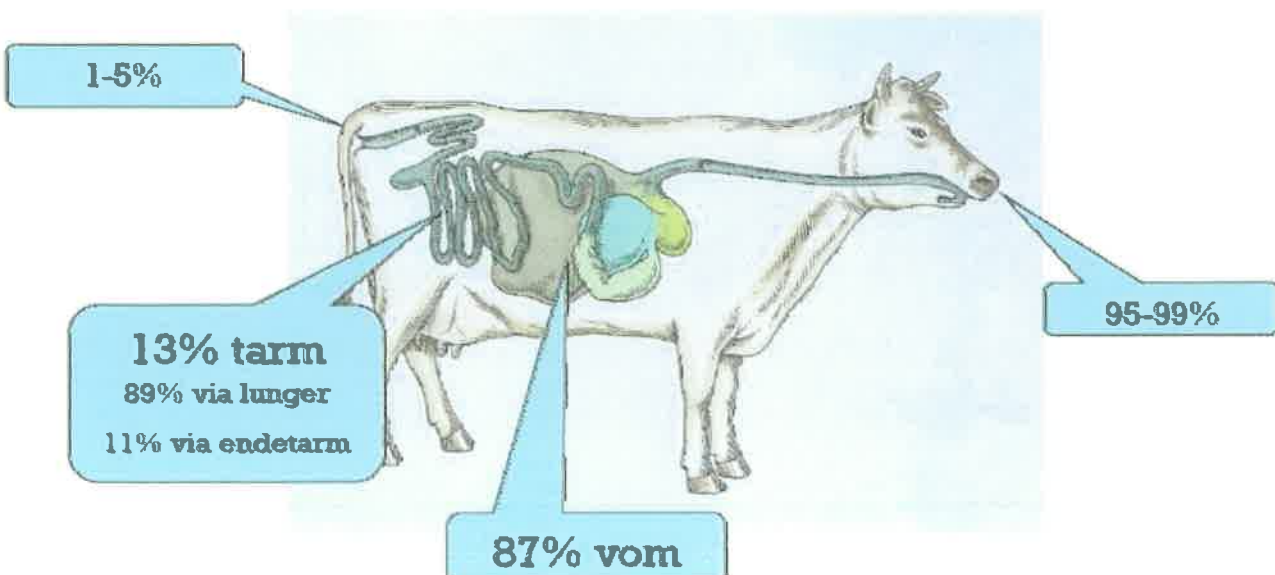
²⁰ Afsnit skrevet på baggrund af kilde 15: Biokemiens vigtigste stofgrupper

²¹ Medregnet stivelse da letfordøjelige kulhydrater her ses i forhold til meget svært fordøjelige som cellulose og lignin.

Cellulose, fordøjeligt cellevægsstof, består som sagt af nogle andre bindinger mellem glucoseenhederne end stivelse, og kan derfor ikke nedbrydes af dyrenes egne enzymer. I vommen hos drøvtyggerne findes dog nogle bakterier og protozoer, som danner enzymet cellulase, der netop kan spalte cellulosen. Det er disse cellulaseproducerende bakterier og protozoer, der lever i symbiose med dyret, som gør, at drøvtyggeren, i modsætning til andre dyr, kan udnytte cellulose. Cellulose består imidlertid også af ufordøjeligt cellevægsstof, lignin. Cellulosen er indkapslet af ligninen, som mikroorganismene ikke kan nedbryde. Det er derfor at koen tygger drøv, den del af føden, som ikke i første omgang kunne nedbrydes, føres tilbage til munden hvor det tygges igen. Hovedformålet med drøvtygningen er altså at gøre cellulosen tilgængelig for mikroorganismene ved at bryde laget af lignin. Mikroorganismene kan udnytte den fordøjede cellulose til at syntetisere mere simple kulhydrater, der optages via tyndtarmen, når mikroorganismene når løben (den 4. Mave), hvor de selv går til grunde pga. det sure miljø. Mikroorganismene kan også udnytte den fordøjede cellulose til dannelse af de før omtalte fedtsyrer, hovedsageligt eddikesyre, der sammen med smørsyre benyttes til produktion af mælkefedt i yveret.²²

Dannelse af methan i koen

Methandannelsen er en naturlig del af de før beskrevne forgæringsprocesserne i vommen og kan ikke derfor undgås. Methanproduktionen hos kvæg finder sted i fordøjelseskanaalen i vommen, blindtarmen og tyktarmen. Nedenstående figur viser fordelingen af methanproduktionen og methanudskillelsen. Langt det meste metan produceres i vommen og langt størstedelen udskilles igen ved opræbning.



Figur 17: Fordelingen af methanproduktionen og methanudskillelsen i en ko (Kilde 17)

Methanen dannes i vommen af de specielle metanogene archaea, der på den måde holder brintrykket i vommen nede. Methan er en energirig forbindelse, så methandannelsen betyder et energitab for kvæget, hvorimod methandannelsen er en energigivende proces for de metanogene archaea. Igen opskrives de reaktioner, der fremkommer ved forgæring af foderet, samt metanogenesen og acetanogenesen:

²² Afsnit skrevet på baggrund af kilde 16: Trine Jensen & Martin Wolsing

1. Eddikesyre: $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
2. Propionsyre: $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$
3. Smørsyre: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
4. Methan: $4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
5. Acetat: $4H_2 + 2CO_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O$

Som man kan se resulterer dannelsen af eddikesyre og smørsyre i et carbondioxid- og dihydrogenoverskud, mens dannelsen af propionsyre resulterer i et forbrug af dihydrogen. Da methan dannes ved en reaktion mellem dihydrogen og carbondioxid vil methanproduktionen således afspejle balancen mellem på den ene side, produktionen af propionsyre og på den anden side produktionen af eddikesyre og smørsyre.

Som det fremgår af reaktion 5, så kan dihydrogenen og carbondioxiden også benyttes af de acetanogene bakterier i deres produktion af eddikesyre i stedet for methan. Som sagt udløser methandannelsen et energitab for dyret da de ikke kan udnytte methanen, den dannede eddikesyre kan dyret derimod godt udnytte som en energikilde. Der er ingen tvivl om, at acetanogenesen ville være at foretrække, men desværre er det sådan, at metanogenesen favoriseres i forhold til acetanogenesen, fordi metanogenesen frigiver mest energi til mikroorganismernes vækst.

Da dihydrogen som tidligere beskrevet er substrat for dannelsen af methan vil en øget dannelse af propionsyre i forhold til dannelsen af eddikesyre og smørsyre reducere metanproduktionen grundet den reducerede dihydrogen dannelse²³. Det er i den forbindelse spændende, at kigge på hvilke fodertyper, som netop kan fremme produktionen af propionsyre og derved reducere udledningen af methan. Det følgende in vitro forsøg²⁴ omhandler derfor fodringens betydning for produktionen af methan.

Forsøg – Fodringens betydning for produktionen af methan

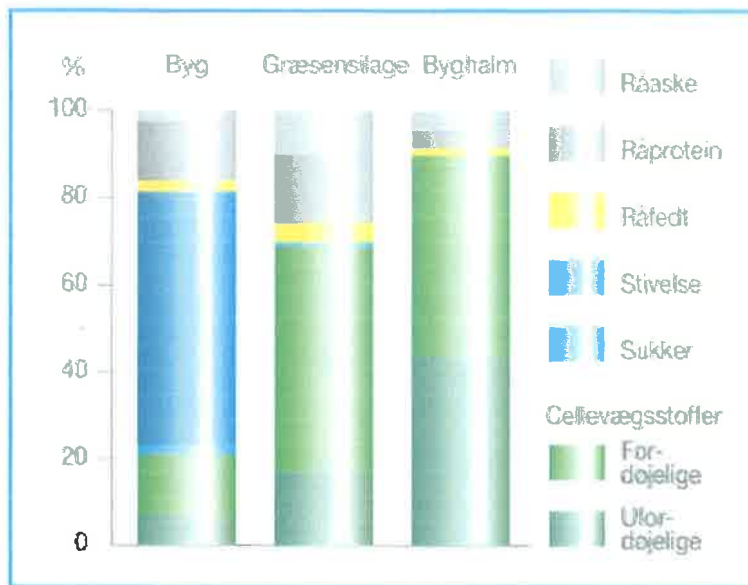
Koens fodersammensætning, har en væsentlig betydning for koens udledning af methan. Formålet med dette forsøg er derfor, at simulere hvad der sker i koens fordøjelse og undersøge hvordan de forskellige fodertyper, byg, hør og bygghalm påvirker produktionen af methan hos en ko.

Teori

Koens kost består af en blanding af kraftfoder og grovfoder. Hvis der ændres på kraftfoder/grovfoder forholdet, kan der også ændres på koens samlede udledning af methan.

²³ Reaktioner og baggrundsviden kilde 17: Speciale om foderrationens betydning for methanudledningen fra kvæg

²⁴ In vitro: en betegnelse for at lave eksperimenter udenfor en levende organisme, typisk i et reagensglas.



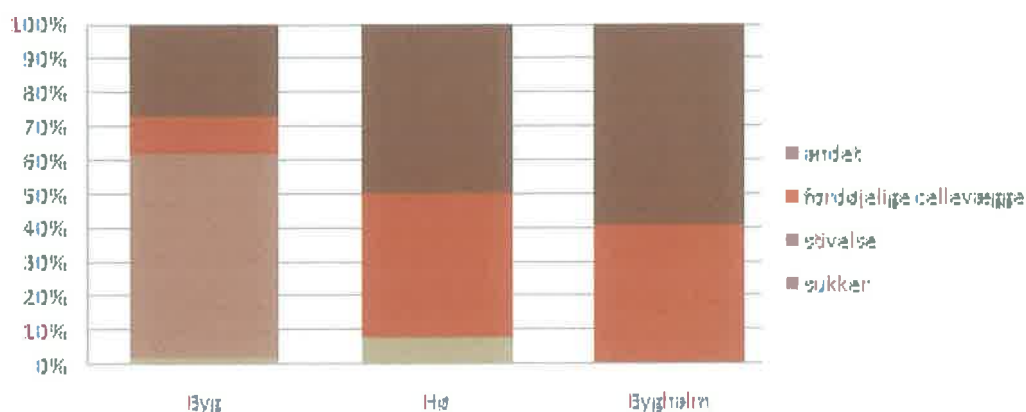
Figur 18: Fodermidlers sammensætning (Kilde: Forelæsning på LIFE af Ida Hindrichsen)

Som det fremgår af figur 18, indeholder grovfoder som græsensilage og byghalm en meget høj procentdel cellevægsstoffer, hvorimod kraftfoder som byg, ikke indeholder så meget cellevægsstoffer, men derimod meget stivelse.

Grovfoder med dets høje cellevægskulhydratindhold vil fremme produktionen af eddikesyre og dermed også produktionen af dihydrogen, som igen vil øge produktionen af methan hos de metaogene achaea. Kraftfoder derimod vil med dets høje stivelseindhold fremme produktionen af propionsyre og dermed reducere produktionen af dihydrogen, som igen vil reducere produktionen af methan hos de metaogene achaea. Et højt sukkerindhold, som ingen af de tre fodertyper på figur 18 har, vil fremme produktionen af smørsyre og dermed produktionen af brint som i sidste ende vil øge produktionen af methan.

Nedenstående diagram, er et diagram over sammensætningen i de fodermidler, vi benytter i vores forsøg. Indholdet kan dog variere, da tallene er baseret på en fodermiddeltabel. Diagrammet er ikke så detaljeret som det forrige, men igen ses det tydeligt, at byg har et højt stivelseindhold hvorimod høg og byghalm har et højt cellevægskulhydratindhold.

Fodermidlernes sammensætning i vores forsøg



Figur 19: De tre fodermidlers sammensætning (Kilde: baseret på informationer giver af Life)

Sammenfattende vil vi i vores forsøg kunne vente, at der i den simulerede kovom med byg vil være en lavere methanproduktion end der vil være i de simulerede kovomme med hhv. hø og byghalm.

For at kunne undersøge methan som en gas, må vi kende til idealgasligningen som lyder:

$$p * V = n * R * T$$

For en indesluttet gas, som vores, er $n \cdot R$ konstant:

$$\frac{p * V}{T} = \text{konstant}$$

$$\frac{p * V}{(273.15 + \theta)} = k$$

Hvor θ er temperaturen i °C. Når $\theta = 0$ °C og $p_0 = 1$ atm kommer ligningen til at hedde:

$$\frac{p_0 * V_0}{273.15} = k$$

Da begge ligninger er lig k , kan de sættes lig hinanden:

$$\frac{p_0 * V_0}{273.15} = \frac{p * V}{273.15 + \theta}$$

p_0 er trykket udenfor = 1 atm svarende til 14.6959 psi

V_0 er det samlede gastryk i mL

p er sluttrykket for gassen i psi

V er volumen af beholderen = 214 mL

θ er temperaturen = 39.5 °C

Udtrykket for det samlede gastryk bliver:

$$V_0 = \frac{(p * V)}{p_0} * \frac{273.15}{273.15 + \theta}$$

$$V_0 = \frac{p * V}{p_0 * (1 + (\frac{1}{273.15}) * \theta)}$$

$$V_0 = \frac{p * 214 \text{ mL}}{14.6959 \text{ psi} * (1 + (\frac{1}{273.15}) * 39.5^\circ \text{C})}^{25}$$

²⁵ $1/273.15 = \alpha$ og er gassens rumudvidelseskoefficienten

Udførelse

Før forsøget

Først skulle vomvæsken med mikroorganismene til den simulerede kovom hentes fra Rørrendegården i Taastrup. Her stod 3 fistulerede Jersey køer. Vomvæsken blev hældt på opvarmede termokander, så den beholdte sin temperatur på omkring 39 °C, dette er vigtigt, da en temperatursænkelse kan dræbe de mange millioner mikroorganismer i vomvæsken. Vomvæsken blev hurtigt transporteret tilbage til laboratoriet.



Figur 20: Fistuleret ko (Kilde: privat billede)

Inden forsøget blev apparaturet, der skulle benyttes som simulator for kovommen, testet og klargjort af personalet på LIFE. Apparaturet består, som det ses på nedenstående figur, af en iltfri gasbeholder med et tæt konstrueret låg hvori der sidder et batteri og en sender. Senderen er via bluetooth i kontakt med det tilhørende computersystem, der er i stand til at registrere gastrykket fra beholdere i psi i bestemte tidsintervaller.



Figur 21: Gas Production System fra Ankom Technology (Kilde 21)

Den sidste faktor for at simulere en kovom er et medium bestående af 5 opløsninger. Blanding af opløsningerne til medium, blev ligeledes gjort af personalet på LIFE²⁶:

1. Mikromineral opløsning:

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand:

- 13.0 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- 10.0 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

²⁶ Blandingerne 1-5 samt tabel over mængden taget fra forsøgsvejledningen bilag 4

- 1.0 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- 8.0 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

2. Makromineral opløsning:

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand:

- 5.70 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
- 6.20 g KH_2PO_4
- 0.60 g $\text{MgSO}_2 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

3. Puffer opløsning:²⁷

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand:

- 35.0 g NaHCO_3
- 4.0 g $(\text{NH}_4)_2\text{HCO}_3$

4. Redox indikator:

Opløs i et glas ved at fylde op til 100 mL med destilleret vand:

- 100 mg resazurin

5. Reduktion agent (skal være frisklavet):

- 47.5 mL deioniseret vand
- 2.0 mL 1-n-NaOH
- 285 mg $\text{Na}_2\text{S} \cdot (7-9 \text{H}_2\text{O})$

Opløsning 1-4 og deioniseret vand blev blandet i de mængder og den rækkefølge nedenstående tabel angiver. Dette blev gjort under magnetomrøring og under flushing af CO_2 , for at fjerne ilten og dermed sikre et anaerobt miljø for mikroorganismerne.

Deioniseret vand	474 mL
Mikromineral opløsning	0.12 mL
Makromineral opløsning	237 mL
Puffer opløsning	237 mL
Redox indikator	1.22 mL
Reduktions agent	49.5 mL
Vomvæske	499.7 mL
TOTAL	1498.5 mL

Inden forsøget kunne gå i gang klargjorde personalet på LIFE også glaskolberne fra ANKOM, som skulle simulere selve kovommen. Der blev afvejet 0.5 g af hver fodertype i intervallet 0.500 g til 0.550 g, og den nøjagtige vægt blev noteret. I alt blev der klargjort 20 glaskolber hvoraf de 5 skulle være blank. Af de resterende 15, skulle 5 fyldes med 0.5 g byg, 5 med 0.5 g hør og 5 med 0.5 g bygghalm, hvorefter alle 20 glaskolber blev sat i et varmeskab på 39.5°C ²⁸. Også computerprogrammet blev klargjort. Hvert af de 20 glas blev registreret, og computeren blev sat til at måle gastrykket i 24 timer med et optagelses interval på 30 minut.

²⁷ Pufferen tilsættes for at undgå ændring i pH, fungerer som koens spyt.

²⁸ Varmeskabet er 39.5°C hvilket svarer til koens vom

Selve forsøget

Ved ankomsten af vomvæsken tilsættes den korrekte volumen reduktions agent til mediet, som stadig flushes med CO₂. Farven skifter nu fra blå til lyserød for til sidst at blive farveløs.



Figur 22: Medium inden tilsættelse af vomvæske (Kilde: privat billede)

Imens der ventes på at mediet bliver klart, filtreres 1 L af vomvæsken gennem 2 lag ostelærred. (Pas på tryk ved åbning af termoflaskerne.) Det er vigtigt at få noget af det faste materiale fra vommen med, da det er her mikroorganismene sidder, disse medtages ved at klemme på det faste materiale i ostelærredet.

Når mediet er farveløst kan det nøjagtige volumen af vomvæsken tilsættes. Det endelige medium flushes med CO₂ yderligere 15 min. for at simulere en anaerob kovom.

Nu kan det færdige medium endelig tilføres de 20 glaskolber. Udluftsventilerne åbnes på det første sæt af 4 kolber, som tages ud af varmeskabet på én gang. Låget skrues af kolberne, som også flushes med CO₂ samtidig med at der tilføres to gange 30 mL medium til hver af kolberne. Det er vigtigt at blande medium og foderprøve godt, men kolberne må ikke rystes. Låget skrues godt på igen og udluftsventilerne lukkes. Når alle 4 kolber er tilført medium sættes de igen i varmeskab. Proceduren gentages med de resterende 16 kolber.

Når alle kolber er tilbage i varmeskabet startes computerprogrammet og 24 timer senere har computeren registreret trykket for hver af kolberne.



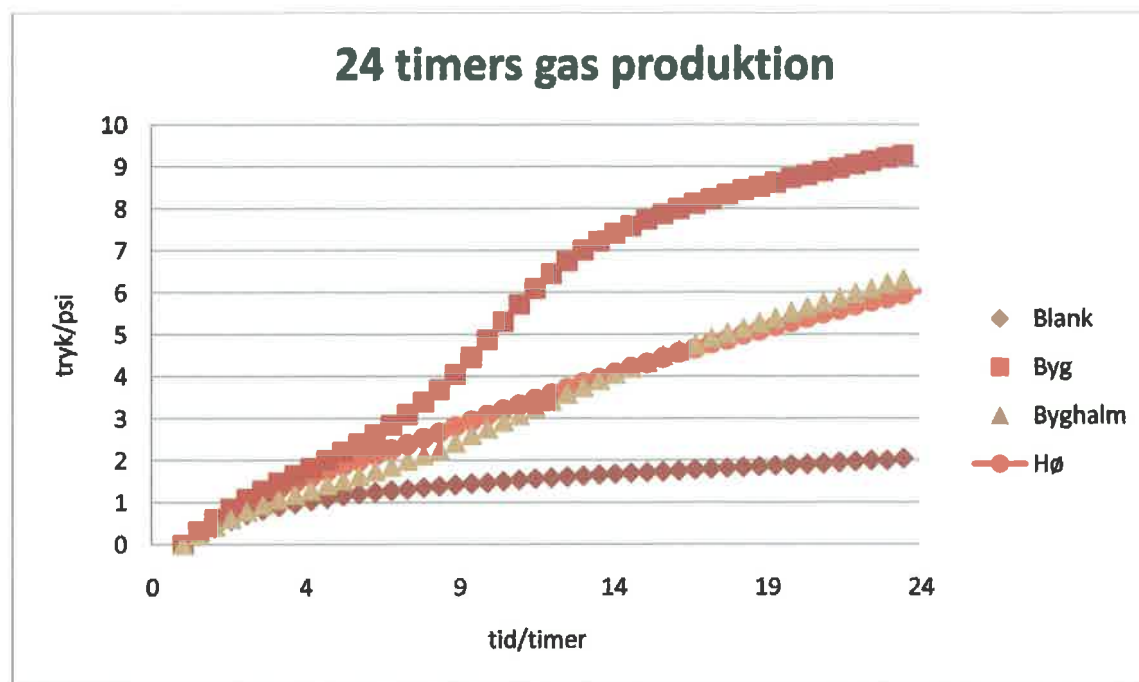
Figur 23: Glaskolberne med foder og medium i varmeskabet (Kilde: privat billede)

Resultater

Målingsresultaterne fra computeren kan ses på bilag 5

Databehandling

Nedenstående er en graf over den gennemsnitlige totalgasudvikling fra de 20 glaskolber set over 24 timer:



Grafen fortæller os kun om den samlede gasproduktion i beholderen. Men vi er i dette forsøg interesserede i methangasproduktionen, så derfor udføres følgende beregninger:

Den teoretiske methanproduktion fra en fodertype i Mcal methan per. dag kan regnes med følgende formel fra Johnson og Ward udleveret af LIFE:

$$CH_4 \text{ i } \frac{\text{Mcal}}{\text{dag}} = 0.54 + 0.39 * \text{fordøjeligt sukker} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) + 0.08 * \text{fordøjeligt stivelse} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) + 0.68 * \text{fordøjelige cellevægskulhydrater} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right)$$

Den første parameter 0.54 i ovenstående formelen tages ud, da formelen er baseret på et in vivo forsøg i koen og vi har udført et in vitro forsøg i laboratoriet. Hvis methanproduktionen blev udregnet med ovenstående formel, ville vi få, at der blev produceret 60 L metan i de vores glaskolber, hvilket er helt urealistisk. I stedet vil formelen lyde:²⁹

$$CH_4 \text{ i } \frac{\text{Mcal}}{\text{dag}} = 0.39 * \text{fordøjeligt sukker} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) + 0.08 * \text{fordøjeligt stivelse} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right) + 0.68 * \text{fordøjelige cellevægskulhydrater} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dag}} \right)$$

²⁹ Jusetering af formelen blev præsenteret under en forelæsning på LIFE af Ida Hindrichsen

Mængden af den fordøjelige sukker, fordøjelige stivelse og de fordøjelige cellevægskulhydrater i de tre fodertyper fremgår af nedenstående tabel. Værdierne er baseret på en fodermiddeltabel og udliveret af LIFE:

Fodermiddel	Byg	Hø	Byghalm
Sukker	2 %	8 %	0 %
Stivelse	60 %	0 %	0 %
Cellevægskulhydrater	10.8 %	42 %	40.5 %

Jeg vil nu gennemføre beregningerne med modul no. 2 byg:

Fodermiddel	Byg
Foder afvejet	0.5041 g
Sluttryk for gassen	10.01 psi

$$CH_4 = 0.39 * (0.02 * (0.5041 * 10^{-4} kg)) \frac{kg}{dag} + 0.08 * (0.60 * (5.0541 * 10^{-4} kg)) \frac{kg}{dag} + 0.68 * (0.108 * (5.0541 * 10^{-4} kg)) \frac{kg}{dag} = 6.5 * 10^{-5} \frac{Mcal}{dag}$$

Da 1 Mcal er 75.245 g methan, kan methanproduktionen omregnes til g/dag:

$$CH_4 = 6.5 * 10^{-5} \frac{Mcal}{dag} * 75.245 \frac{g}{Mcal} = 0.004902 \frac{g}{dag}$$

Da methans massefylde er $\rho=0.668$ g/L kan methanproduktionen omregnes til L/dag ved at gange med den reciproke brøk:

$$CH_4 = 0.004902 \frac{g}{dag} * \left(\frac{1}{0.668 \frac{g}{L}} \right) = 0.007339 \frac{L}{dag}$$

Til sidst omregnes methanproduktionen fra L/dag til mL/dag:

$$CH_4 = 0.007339 \frac{L}{dag} * 1000 mL = 7.339 \frac{mL}{dag}$$

For nu at udregne den samlede gasproduktion i mL benyttes omskrivningen af idealgasligningen beskrevet i teorien, sluttrykket indsættes:

$$V_0 = \frac{p * 214 mL}{14.6959 psi * (1 + (\frac{1}{273.15}) * 39.5^\circ C)}$$

$$V_0 = \frac{10.01 psi * 214 mL}{14.6959 psi * (1 + (\frac{1}{273.15}) * 39.5^\circ C)} = 127.32 mL$$

Den samlede gasproduktion er også i mL/dag, da sluttryk for gassen er efter 24 timer.

For at udregne procent methan ud af den samlede mængde gas divideres den teoretiske methangas produktion med den samlede gasproduktion og ganges med 100%:

$$\% CH_4 \text{ af totalgas} = \frac{7.339 \frac{\text{mL}}{\text{dag}}}{127.32 \frac{\text{mL}}{\text{dag}}} * 100\% = 5.76\%$$

Nedenstående er en tabel for gennemsnittet af hvert fodermiddel, værdierne er udregnet som i ovenstående eksempel:³⁰

Fodermiddel	Blank	Byg	Hø	Byghalm
Foder afvejet	0 g	0.5024 g	0.5023 g	0.5021 g
Pressure release	0.5 psi	0.5 psi	0.5 psi	0.5 psi
Teoretisk methanproduktion	0 mL	7.31 mL	17.92 mL	15.57 mL
Sluttryk for gassen	2.1 psi	9.3 psi	6.0 psi	6.4 psi
Samlede gasproduktion	26.2 mL	118.9 mL	76.7 mL	81.7 mL
% methan af totalgas	0 %	6.2 %	23.5 %	19.2 %

Diskussion

Først studeres grafen for gennemsnittet af den samlede gasproduktion for hver af de 4 fodermidler over 24 timer. Som det ses, følges de 4 grafer ad, de første to timer, hvorefter blank ikke længere producerer så meget gas som de glaskolber, der blev "fodret". Grunden til at blank dog stadig producerer en vis mængde gas, er at der i den tilsatte vomvæske stadig var ikke færdigfordøjet foder. Byg er klart den fodertype, der producerer mest totalgas, dette skyldes det høje stivelsesindhold og lave fordøjelige cellevægskulhydratindhold. Hø's totalgas produktion burde ligge mellem byg og byghalm, da hø har et mindre indhold af fordøjelige cellevægskulhydrater og et højere indhold af sukker end byghalm og samtidig ikke har et ligeså lavt indhold af fordøjelige cellevægskulhydrater, som byg har³¹. At dette ikke er tilfældet, men at hø i stedet ligger oveni byghalm, skyldes at den benyttede hø var af en ringe kvalitet, hvilket vil sige at den var sværere fordøjelig end normalt.

At byg producerer mere totalgas end de to andre fodermidler, betyder ikke nødvendigvis at byg producerer mest methangas. For kigger man på gennemsnittet af de tre fodermidlers methangas andel af den samlede totalgasproduktion, er det klart byg, der har den mindste methangas andel. Igen ligger hø og byghalm tæt på hinanden, dog har hø en anelse større methangas andel end byghalm, hvilket som før kan skyldes den ringe kvalitet af hø.

Selvom vi har fået nogle fine og forklarlige resultater, indeholder forsøget stadig en del fejlkilder, som kan have haft en indflydelse på det endelige resultat:

- Termokanden er ikke en 100% varmeisoleret beholder, hvilket resulterer i varmetab til omgivelserne. Da mikroorganismer ikke kan tåle kulde kan enkelte være døde under transporten.

³⁰ Hele regnearket med resultater for samtlige 20 glaskolber kan findes på bilag 6

³¹ Dette fremgår tydeligt af figur 17, som er et diagram over de tre fodermidlers sammensætning.

- Kolberne var statiske, så fodret sad op af glasset og blev derfor ikke blandet med vomvæsken.
- Under CO₂ flushing pustedes noget af foderet ud af kolben, hvilket betyder mindre foder i nogle af kolberne.
- Tilsætningen af vomvæsken tog lidt lang tid, og i al den tid stod glaskolberne udenfor varmeskabet, hvilket også kan have resulteret i døde mikroorganismer.
- Lågene kan muligvis være skruet løst på, hvilket ville betyde gasudslip som ikke ville blive registreret af computeren.

Konklusion

Sammenfattende var det et vellykket forsøg, hvor vi fik de resultater, som vi ifølge teorien havde ventet os.

Vi fandt at kraftfoderets, bygs, methanproduktion var lavere end grovfoderets, hø og bygghalms, methanproduktion. Så ud fra resultaterne kan vi konkludere at hvis man vil reducere methanproduktionen i køvommen, skal man fodre med overvejende kraftfoder såsom byg. Det er dog urealistisk kun at fodre med kraftfoder, da drøvtyggeren har brug for begge slags foder, for at holde mavefunktionen samt mælke- og energiproduktionen kørende. Desuden har det vist sig, at hvis kraftfoderandelen overstiger ca. 50% vil dette påvirke mælke kvaliteten negativt. Samtidig vil en øget produktion af propionsyre, gennem øget kraftfoder, sænke pH i vommen.

Man kan derfor ikke ændre betydeligt på drøvtyggerens kraftfoder/grovfoder fordeling uden at det får negative konsekvenser for produktionen eller dyret og dets energibalance. I følgende afsnit vil jeg i stedet kigge på andre metoder til at reducere methanproduktionen hos drøvtyggere.

Reduktionen af methan hos drøvtyggere

Da, en malkeko typisk vil æde 70 kg foder om dagen og bruge op til 10 timer i døgnet på at tygge drøv, er det berettiget at de fleste methanreducerende tiltag netop omhandler koens foder. Det er dog stadig yderst vigtigt, at en malkeko får den rigtige fodersammensætning, når den skal producere de 30 L mælk om dagen, som danske malkekøer i gennemsnit gør. Da man som sagt ikke kan rykke betydelig ved koens kraftfoder/grovfoder fordeling er det godt, at der findes andre metode: Den første metode er et øget *produktionsniveau*. Da en malkeko bruger de første 5-6 kg fodertørstof til vedligehold, vil et øget produktionsniveau medføre en reduktion af methanproduktionen pr. kg produceret kød/mælk. Et øget produktionsniveau vil kræve yderligere energi i form af øget foderoptagelse. En større del af energien må nødvendigvis komme fra kraftfoder, hvis man vil opnå et optimalt udbytte af fodret i forhold til kg produceret mælk/kød. Det øgede kraftfoder/grovfoder forhold reducerer desuden methanproduktionen.³² En anden metode er *fodring med fedt*. Fedt forgæres ikke i vommen og resulterer derfor ikke i methanproduktion. Fedtsyrer reducerer i stedet antallet af protozoerne, der normalt danner meget smørsyre. Et reduceret antal af protozoer betyder også et reduceret antal metanogene archæa i vommen, da disse lever i symbiose. Især umættede fedtsyrer har også en betydelig effekt på forgæringsmønstret i retning af mere propionsyre og dermed mindre methan. Sidst men ikke mindst mættes de umættede fedtsyrer primært i vommen og binder derved dihydrogenen,

³² Se teori afsnit under forsøg, for uddybelse af dette.

der ellers var gået til produktion af methan. En tredje men ikke så afprøvet metode er *nye græstyper*. Der forskes rundt om i verden i udveklingen af nye græstyper til at forøge produktionen og væksten hos drøvtyggerne, hvilket har den sidegevinst, at det giver mindre methan pr. kg produceret kød/mælk. I New Zealand har anvendelse af bl.a. hvidkløver betydet større vækst hos dyrene end de almindelige græstyper.

Der forskes også i andre metoder, der ikke består af andre fodertyper eller fodersammensætninger. En metode, der forskes i er *kængurubakterier*. Kænguruer og køer æder næsten det samme plantemateriale og fordøjer det på samme måde, dog udleder kænguruer ikke methan. Dette skyldes at kænguruerne omdanner dihydrogenen fra foderomsætningen til at danne eddikesyre i stedet for methan med de acetogene bakterier. Som tidligere beskrevet findes også disse bakterier i koens vom, dog er de underlegne i forhold til de metanogene archaere. Man håber derfor at kunne udnytte kænguruens tarmflora til at gøre de acetogene bakterier dominerende i koens vom. En anden metode *enzymer*. Der forskes i at fremstillingen enzymer, som kan forbedre optagelsen af de cellevægskulhydrater, der er skyld i methanudledning, og som findes i store mængder i grovfoder. Det er tanken, at enzymerne skal opløse de β -glukocid-bindinger mellem glucosenehederne, som i første omgang forhindrer drøvtyggerne i at udnytte cellevægskulhydraterne. Derved vil udnyttelsen af grovfoderet blive lige så effektivt som udnyttelsen kraftfodret, og man vil kunne spare en masse foder og ikke mindst penge. Som en sidste metode, findes også en række *stoffer*, som kan nedsætte produktionen af methan, enten ved forbrug af dihydrogen eller ved påvirkning af vommikrobesammensætningen. Stofferne er dog enten for omkostningsrige eller ikke acceptable inden for dansk kvægbrug.³³

³³ Afsnit skrevet på baggrund af litteratur 17: Speciale samt litteratur 18: Metan fra drøvtyggere

Konklusion

Klimaforandringerne skyldes med stor sandsynlighed den forøgede udledning af drivhusgasser til atmosfæren, det har selv den simplificerede klimamodel underbygget. Eftersom drivhusgassen methan i stor stil bidrager til den globale opvarmning ved at tilbage holde IR-stråling som andre drivhusgasser, er det væsentligt at forsøge at reducere udledningen af methan især fra drøvtyggere. Dette kan ske ved overstående metoder, men om det fra et dyreetisk synspunkt er i orden at fodre dyrene med fx hormoner og anabolske steroider for at udvikle større og mere effektive produktionsdyr, der har den sidegevinst at det reducere den samlede methanudledning pr. kg produceret kød/mælk, er også noget vi må tage med i overvejelserne, når vi så ivrigt prøver at reducere drivhusgasserne.

Måske ville det være mere relevant at ændre på den generelle holdning hos især os danskere, der er det folkefærd i verden, som spiser mest kød. Produktion af 1 kg oksekød udleder faktisk 19 kg CO₂. Så måske skulle man i stedet for at bruge en masse resurser og forskningsmidler på at udvikle nye fodertyper, som alligevel ikke ville kunne gro i Afrika og Indien, der i realiteten er de lande, der har allerflest køer, fokusere på at ændre den generelle holdning til forbruget af kød og mælk.

Det er hermed ikke sagt, at vi skal stoppe forskningen i reducere af methan fra landbruget, for det er en vigtig forskning, og landbruget er en væsentlig kilde til udledning af drivhusgasser ikke bare fra køernes methanbøvser, men også fra al den overgræsning og afskovning som man normalt ikke tænker at landbruget er skyld i.

Vi må helt bestemt gøre noget, men vi må også træde et skridt tilbage og overveje om de mange resurser vi benytter til forskning af bl.a. nyt foder, var bedre brugte et andet sted. Vi må overveje om vi egentlig ikke med forskningen udleder flere drivhusgasser end vi nogensinde vil kunne reducere med et positivt resultat af denne forskning.



Olivia Mulvad

17-12-2009

Kildeliste

Litteratur

1. Jensen, Hans Birger: *Global opvarmning Isis*. 1. Udgave, 2. Oplag. Systime, 2008.
2. Melgaard, Stig: *Den globale hedetur*. 1. Udgave, 1. Oplag. NOAH's forlag, 2001.
3. Nielsen, Rolf Haugaard: *Naturvidenskab for alle – Jorden klima fortid og fremtid*. 2 Årgang, nr. 2. Fysikforlaget, 2008.
4. Kristiansen, Kim Rongsted, Gunnar Cederberg: *Kemi for gymnasiet 2 Aurum*. 1. Udgave, 1. Oplag. Forlag Malling Beck, 2007.
5. Mygind, Helge: *Kemi 2000 – A-niveau 1*. 1. Udgave, 5. Oplag. P. Haase & Søn's Forlag, 2002.
6. Jakobsen, Kurt: *En klimamodel i FPro*. 2006. (vedlagt som bilag ??)

Internetsider

7. COP15 Copenhagen: (Besøgt d. 4-12-2009)
<http://da.cop15.dk/klimafakta/hvilke+konsekvenser+kan+vi+vente,+og+hvad+kan+vi+g%C3%B8re-c7-/konsekvenserne+af+klimaforandringerne>
8. Miljøstyrelsen: (Besøgt d. 4-12-2009)
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2007/978-87-7052-374-5/html/kap04.htm>
9. Aktuel naturvidenskab: (Besøgt d. 8-12-2009)
<http://infolink2003.elbo.dk/Naturvidenskab/dokumenter/doc/8553.pdf>
10. NOAH's klimasider: (Besøgt d. 9-12-2009)
http://www.global-klima.org/Kap%202/s2_2.html
11. Wikipedia: (Besøgt d. 6-12-2009)
http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential
12. Folkekirkens nødhjælp: (Besøgt d. 6-12-2009)
http://www.noedhjaelp.dk/her_arbejder_vi/saerlige_emner/klima/laes_mere/konsekvenser_af_klimaaendringerne
13. Naturgasfakta: (Besøgt d. 10-12-2009)
http://www.naturgasfakta.dk/copy_of_miljoekrav-til-energianlaeg
14. Gyldendals encyklopædi: (Besøgt d. 11-12-2009)
http://www.denstoredanske.dk/Natur_og_milj%C3%B8/Biokemi_og_molekyl%C3%A6rbiologi/Biokemi/proteiner
15. Egå Gymnasium: Biokiemiens vigtigste stofgrupper (Besøgt d. 11-12-2009)
<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:dvMeomnkjDMJ:subsites.egaa-gym.dk/nr/biologi/Roholt/PDF%2520versioner/Tekst%2520om%2520kulhydrater.pdf+Biokiemiens+vigtigste+stofgrupper&hl=da&gl=dk&sig=AHIEtbQIUe5xbh6G-T4hXXOzeodkXyy9GQ>
16. Trine Jensen & Martin Wolsing: (Besøgt d. 12-12-2009)
<http://www.wolsing.dk/emne/drovtgygger/side4.htm>
17. Foderrationens betydning for metanudledningen fra kvæg: (Besøgt d. 12-12-2009)

[http://www.forskningsbase.life.ku.dk/fbspretrieve/11849474/Foderrationens_betydning_f
or_metanudledningen_fra_kv_g.pdf](http://www.forskningsbase.life.ku.dk/fbspretrieve/11849474/Foderrationens_betydning_for_metanudledningen_fra_kv_g.pdf)

18. Metan fra drøvtyggere

http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:2algs8wl_lgJ:li.lr.dk/kvaeg/informationsserie_r/kvaegforsk/1438.pdf+metan+fra+dr%C3%B8vtyggere&hl=da&gl=dk&pid=bl&srcid=ADGEEShd5H3GgT6CF8EfZPqjps7cLcgaLB57w7Km7fLcRfXUN-FVLp2guWqaS-hozA0ZTYqT8iR3cLCXHMnippFrLTOBPQB3r9UJChvOwaNZgEVdiAbzdmvFL2EZVhrVvNzrM-86Z_xf&sig=AHIEtbTINbkD6H1YHu_v2pCxDefQRbx4t5g

Figurer og billeder

19. Naskov-Gymnasium: (Besøgt d. 11-12-2009)

<http://www.naskov-gym.dk/kemi/orla/spifedts.gif>

20. Wikipedia: (Besøgt d. 9-12-2009)

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Methan_geom2.PNG

21. Ankom technology: (Besøgt d. 13-12-2009)

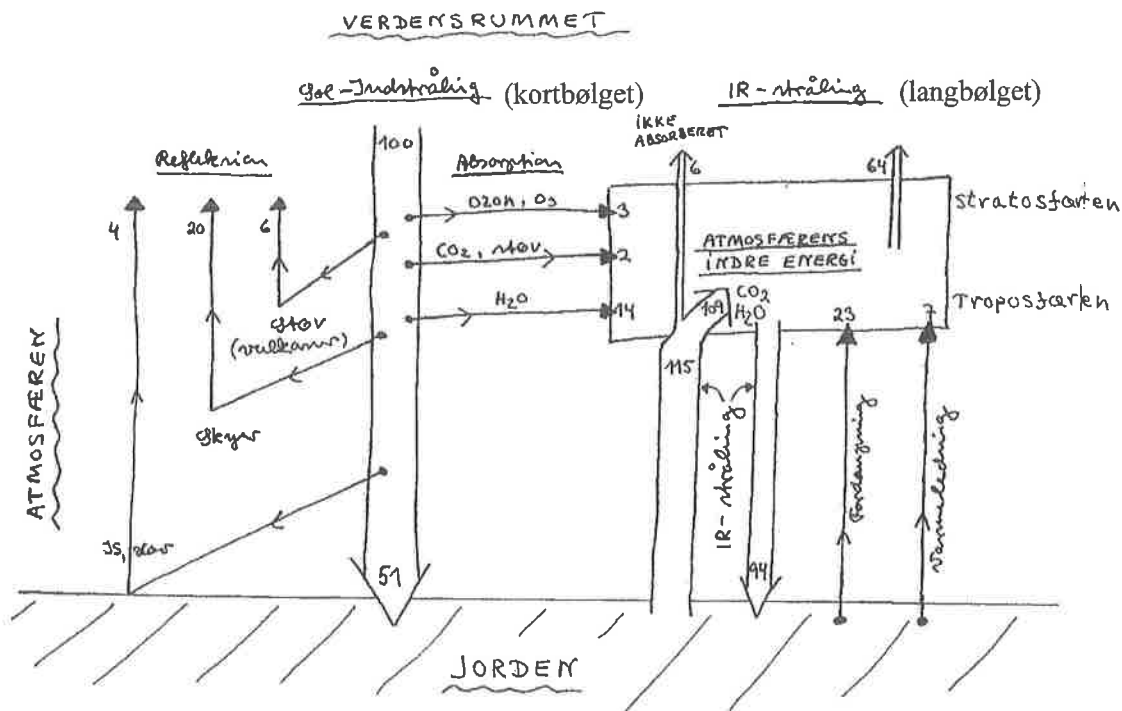
http://www.ankom.com/06_news/news.shtml

En klimamodel i FPro

1. Teori

I den klimamodel, som bliver beskrevet i det følgende, benyttes modelprogrammet FPro. Modellen tager udgangspunkt i Jordens energibalance, som den fremgår af Figur 1. Atmosfæren er delt op i en øvre og en nedre atmosfære. Disse udgør sammen med Jorden modellens tre elementer. Hvert element er karakteriseret ved en temperatur, evnen til at absorbere solstråling og evnen til at absorbere IR-stråling (=infrarød stråling). Modellen udtrykker i simplificeret form energiuudvekslingen mellem de tre elementer.

Figur 1



Absorption af solstråling. Solstrålingens intensitet (=solarkonstanten) uden for atmosfæren er i gennemsnit 342 W/m^2 . Den brøkdelt (**Alfa**) af solstrålingen, som fra Jorden (inklusive atmosfæren) totalt reflekteres tilbage til Verdensrummet, kaldes Jordens *albedo*. Jorden/atmosfæren absorberer følgelig brøkdelen $1-\alpha$. Den øvre atmosfære absorberer brøkdelen θ , og den nedre atmosfære brøkdelen n af solstrålingen. Hver af de tre parametre α , n og θ er tal mellem nul og en. (De har ingen enhed).

Absorption af IR-stråling. Infrarød stråling reflekteres ikke. Når et af atmosfæreelementerne modtager IR-stråling, absorberes brøkdelen angivet ved parametrene *IR_n* og *IR_ø*, og resten fortsætter igennem elementet. Jorden absorberer al IR-stråling. *IR_n* kaldes den nedre atmosfæres *absorptionsfaktor*, og er et tal mellem nul og et. Tilsvarende for *IR_ø*. Jordens absorptionsfaktor er 1.

Grålegemer. Med hensyn til IR-stråling betragtes hver af de tre elementer i modellen som såkaldte *grålegemer*. Sådanne sender stråling ud fra overfladen med intensiteten *F*:

$$F = a \cdot \sigma \cdot T^4.$$

F er strålingseffekten pr. overfladeareal.

T er legemets absolutte temperatur.

Sigma σ er en naturkonstant (= Stefan-Boltzmanns konstant), $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

a er legemets absorptionsfaktor; $0 \leq a \leq 1$. I grænsen $a = 1$ absorberes al IR-stråling (sortlegeme). I grænsen $a = 0$ absorberes ingen IR-stråling (hvidlegeme). Størrelsen *a* kan opfattes som et mål for, hvor gråt legemet er.

I forhold til Jorden udstråler atmosfære-elementerne fra den dobbelte overflade, idet de stråler både op og ned.

Varmetransporten fra Jorden til atmosfæren ved varmeledning og fordampning slås i modellen sammen til ét led. Det antages, at denne varmetransport er proportional med temperaturforskellen mellem Jorden og den nedre atmosfære:

$$\text{Ledn} = k \cdot (T_J - T_n).$$

Tidsparametrene *t* og *dt*. Disse størrelser skal opfattes som henholdsvis tiden og et tidsskridt (målt i en mærkelig enhed).

Af formelen *Tilført varmeenergi* = *Varmekapacitet* · *Temperaturstigning* ($Q = C \cdot \Delta T$) fås:

$$Q = C \cdot \Delta T \Leftrightarrow \frac{Q}{\Delta t} = C \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta T = \frac{Q}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t}{C}.$$

Her står, at *Temperaturstigning* = *Tilført varmeenergi pr. tid* · $\Delta t / C$. I modellen bruges dette udtryk til at beregne temperaturændringer for hver af de tre elementer (Jorden, nedre og øvre atmosfære). For at simplificere modellen bruges i de tre tilfælde samme værdi for *C*. Størrelsen $dt = \Delta t / C$ skal i modellen opfattes som et tidsskridt målt i en mærkelig enhed (= K/W). I det efterfølgende computerprogram er dette tidsskridt valgt til $dt = 0,05$. Det er ikke inden for den benyttede models rammer muligt at oversætte dette til fx et antal år.

2. Oversigt over modellen

Teori #1

For et grålegeme gælder Stefan-Boltzmanns lov $F = a \cdot \sigma \cdot T^4$

Modellen

Verdensrummet			
Øvre atmosfære		$F_{\emptyset} = IR_{\emptyset} \cdot \sigma \cdot T_{\emptyset}^4$	
Grålegeme med hensyn til IR-stråling	Temperatur: $T_{\emptyset}$	$IR_{\emptyset} = 0,59 = 59\%$	3% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes: $\emptyset = 0,03$
Nedre atmosfære		$F_n = IR_n \cdot \sigma \cdot T_n^4$	
Grålegeme med hensyn til IR-stråling	Temperatur: T_n	$IR_n = 0,97 = 97\%$	16% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes: $n = 0,16$
Jorden		$F_J = 1 \cdot \sigma \cdot T_J^4$	
Sortlegeme med hensyn til IR-stråling	Temperatur: T_J		51% af solstrålingen fra verdensrummet absorberes

Andre parametre i modellen:

Solarkonstanten $Solar = 342 \text{ (W/m}^2\text{)}$

Albedo $Alfa = 0,30 = 30\%$

Teori #2

Varmeledning og fordampning fra Jorden: $Led_n = k \cdot (T_J - T_n)$; $k = 8,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Teori #3

Hvis et legeme tilføres varmeenergien Q , vil dets temperaturstigning ΔT være givet ved

$$\Delta T = Q/C,$$

hvor C angiver legemets varmekapacitet. Udtrykt ved den tilførte varmeenergi pr. tid $Q/\Delta t$ fås

$$\Delta T = Q/\Delta t \cdot (1/C) \cdot \Delta t$$

3. Oversigt over modellens parametre og deres betegnelser

FJ	Strålingsintensiteten fra Jorden: Udstrålet strålingsenergi pr. sek pr. m ²		
Fø	Strålingsintensiteten fra øvre atmosfære: Udstrålet strålingsenergi pr. sek pr. m ²		
Fn	Strålingsintensiteten fra nedre atmosfære: Udstrålet strålingsenergi pr. sek pr. m ²		
IRø	Den brøkdelt IR-stråling, som den øvre atmosfære absorberer. $IRø = 0,59$. $IRø$ afhænger hovedsageligt af mængden af CO ₂ i den øvre atmosfære.		
IRn	Den brøkdelt IR-stråling, som den nedre atmosfære absorberer. $IRn = 0,97$. IRn afhænger hovedsageligt af mængden af vanddamp og skyer i den nedre atmosfære.		
TJ	Jordens kelvintemperatur	TJcel	Den tilsvarende celsiustemperatur
Tø	Den øvre atmosfæres kelvintemperatur.	Tøcel	Den tilsvarende celsiustemperatur
Tn	Den nedre atmosfæres kelvintemperatur.	Tncel	Den tilsvarende celsiustemperatur
Sigma	Stefan-Boltzmanns konstant, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.		
dTJ, dTø og dTn	angiver tilvæksten i de tilsvarende temperaturer i løbet af tidssteppet dt .		
Solar	Solstrålingens intensitet uden for atmosfæren. $Solar = 342 \text{ W}/\text{m}^2$.		
Alfa	Jordens albedo. Det vil sige den brøkdelt af solstrålingen, som fra Jorden/atmosfæren totalt reflekteres tilbage til Verdensrummet. $\alpha = 0,30$.		
ø	Den brøkdelt af solstrålingen, som den øvre atmosfære absorberer. $\varnothing = 0,030$. $\varnothing$ afhænger hovedsageligt af mængden af ozon O ₃ i den øvre atmosfære.		
n	Den brøkdelt af solstrålingen, som den nedre atmosfære absorberer. $n = 0,16$. n afhænger hovedsageligt af mængden af vanddamp, CO ₂ og støv i den nedre atmosfære.		
Ledn	Varmeledning og fordampning fra Jorden til den nedre atmosfære (regnet i joule pr. sek. pr. m ²). I modellen sættes $Ledn = k(T_J - T_n)$, hvor $k = 8,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.		
t	Tiden (målt i en ikke nærmere defineret tidsenhed).		

4. FPro-modellen

Klar-vinduet

Solar:=342
 $\emptyset$:=0.03
 n :=0.16
 Alfa :=0.30
 k :=8.2
 $\text{IR}\emptyset$:=0.59
 IRn :=0.97
 sigma :=5.67E-8

T_{Jcel} :=14
 T_{ncl} :=2
 $T_{\emptyset\text{cel}}$:-25

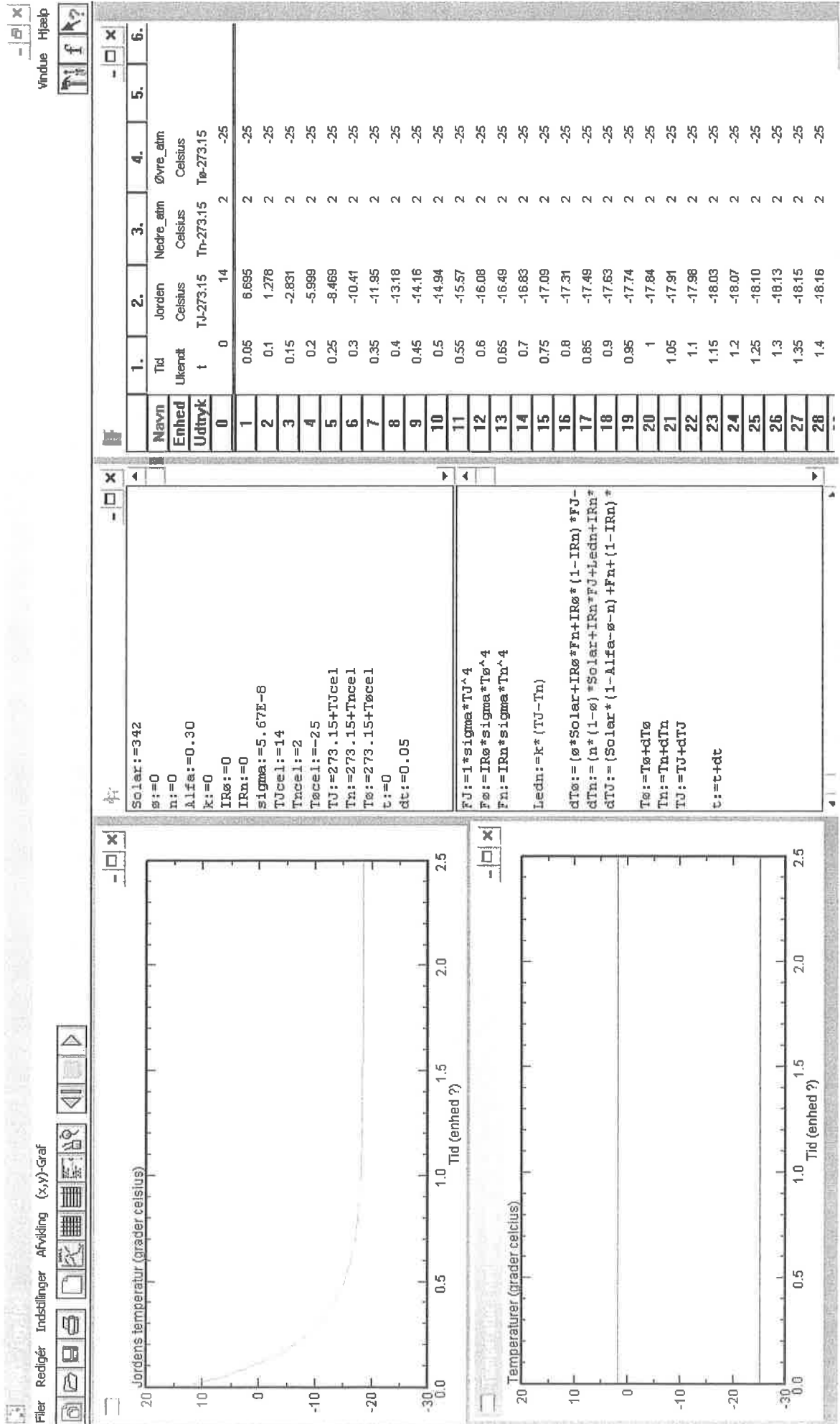
T_{J} :=273.15+ T_{Jcel}
 T_{n} :=273.15+ T_{ncl}
 $T_{\emptyset}$:=273.15+ $T_{\emptyset\text{cel}}$

dt :=0.05
 t :=0

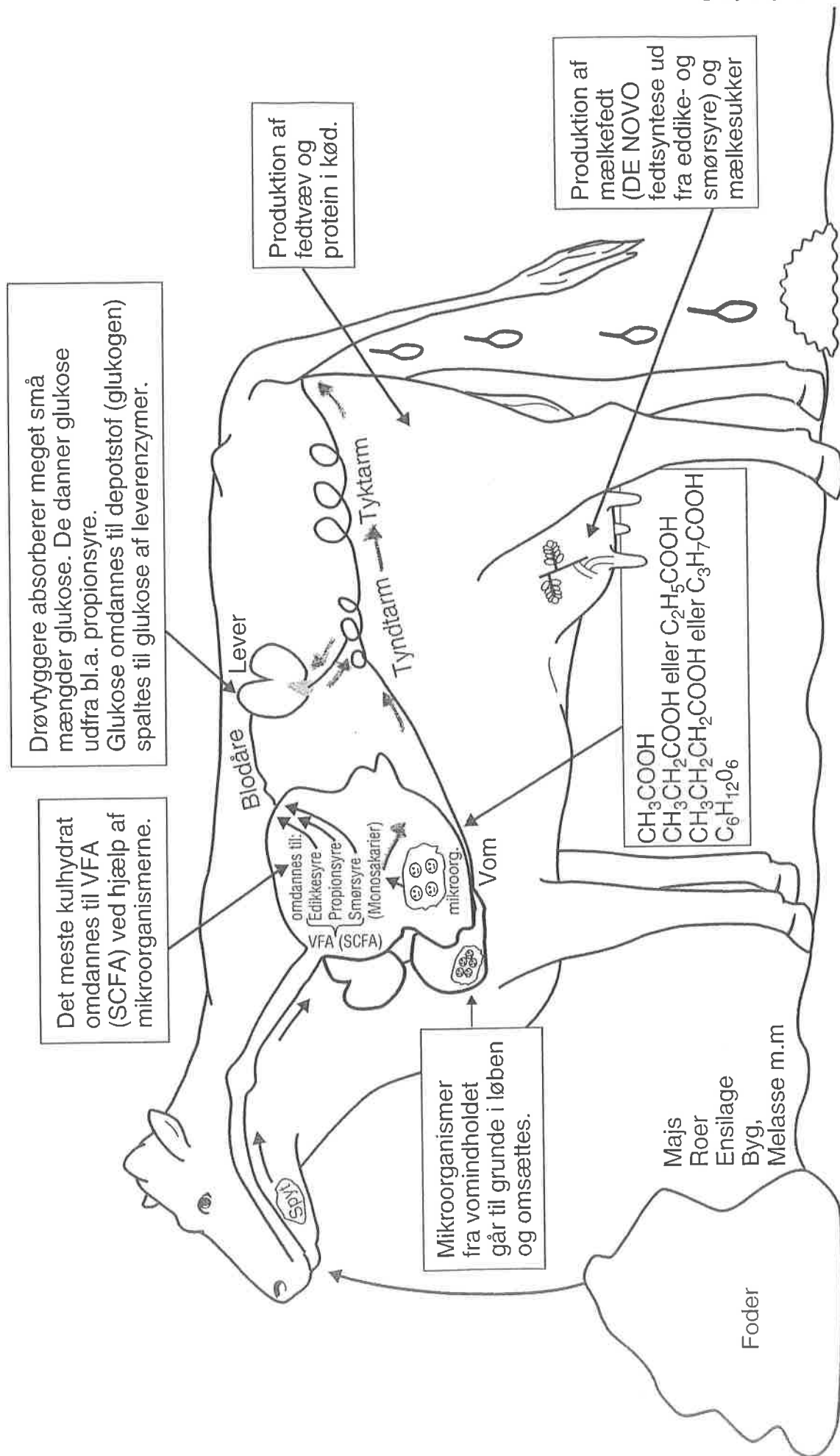
I Klar-vinduet tildeles hver af parametrene i modellen en startværdi.

Løkke-vinduet

Linje 01	$F_{\text{J}}:=1*\text{sigma}*T_{\text{J}}^4$
Linje 02	$F_{\emptyset}:=\text{IR}\emptyset*\text{sigma}*T_{\emptyset}^4$
Linje 03	$F_{\text{n}}:=\text{IRn}*\text{sigma}*T_{\text{n}}^4$
Linje 04	$\text{Ledn}:=k*(T_{\text{J}}-T_{\text{n}})$
Linje 05	$dT_{\emptyset}:=(\emptyset*\text{Solar}+\text{IR}\emptyset*F_{\text{n}}+\text{IR}\emptyset*(1-\text{IRn})*F_{\text{J}}-2*F_{\emptyset})*dt$
Linje 06	$dT_{\text{n}}:=(n*(1-\emptyset)*\text{Solar}+\text{IRn}*F_{\text{J}}+\text{Ledn}+\text{IRn}*F_{\emptyset}-2*F_{\text{n}})*dt$
Linje 07	$dT_{\text{J}}:=(\text{Solar}*(1-\text{Alfa})*(1-\emptyset)*(1-n)+F_{\text{n}}+(1-\text{IRn})*F_{\emptyset}-F_{\text{J}}-\text{Ledn})*dt$
Linje 08	$T_{\emptyset}:=T_{\emptyset}+dT_{\emptyset}$
Linje 09	$T_{\text{n}}:=T_{\text{n}}+dT_{\text{n}}$
Linje 10	$T_{\text{J}}:=T_{\text{J}}+dT_{\text{J}}$
Linje 11	$t:=t+dt$



Kulhydratomsætningen hos drøvtyggere



Efter Birgitte Buhl og K. B. Jensen

BILAG 3
Olivier Mulvad

LANDBRUGSFORLAGET

Trådløs In-vitro gas produktion teknikken (IVGPT)

Dag -1 Udføres af laboratorieteknikeren

Modulerne testes, forberede opløsningerne, afveje prøverne, som placeres i varmeskabet og opvarmes natten over ved 39,5°C mens der måles for hvert minut.

Test af modul enhederne før inkubation

1. Fyld modulerne med omkring 5 psi luft.
2. Lad luften blive i modulerne i to timer.
3. Tjek data og kontroller at alle moduler er tætte.
4. Åben udluftningsventilerne efter tre timer og tjek på computeren at alle glas/moduler åbner med det samme.
5. Gem pre-testen på computeren.

Forberedelse af glaskolberne

1. Brug rene og tørre glaskolber.
2. Afvej 0,5 g af prøven (i intervallet 0,500 g-0.550 g)
3. Nedskriv den nøjagtige vægt
4. Anbring glaskolberne i varmeskabet med modul hovederne monteret og lukkede udluftningsventiler og bring temperaturen til 39,5°C natten over.
5. Computer indstillinger:
 - a. "Live intervallet" 60 sek
 - b. Optagelse interval 1 time
 - c. Gas release 1 psi
6. Tryk record. Trykket skal stige i løbet af natten.

Forberedelse af medium:

Mediet består af 5 komponent løsninger (Mikromineral opløsning (A), Makromineral opløsning (B), Bufferopløsning (C), Redox indikator (D), Reduktion agent (E)), som hver er individuelt forberedt. Alle opløsninger, bortset fra reduktions agenten, kan gemmes som lageropløsning og derefter blandes til at give den endelige buffer. Bufferen er baseret på protokollen af Menke og Steingass (1988).

A. Mikromineral opløsning

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand

- 13,0 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (Calciumklorid dehydrat)
 10,0 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (Mangan (II) klorid tetrahydrat)
 1,0 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (Kobaltchlorid hexahydrat)
 0,8 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ (Jern (III) klorid heptahydrat)

B. Makromineral opløsning

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand

- 5,70 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ (di-Natriumhydrogenphosphat dihydrat)
 6,20 g KH_2PO_4 (Kaliumdihydrogenphosphat)
 0,60 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (Magnesiumsulfat heptahydrat)

C. Buffer opløsning

Opløs i et glas ved at fylde op til 1 L med destilleret vand

- 35,0 g NaHCO_3 (Natriumhydrogencarbonat)
 4,0 g $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ (Ammoniumhydrogencarbonat)

D. Redox indikator

Opløs i et glas ved at fylde op til 100 ml med destilleret vand

100 mg resazurin

Dag 1

Blanding af opløsningerne til medium (gøres 2 timer før inkubationen):

1. Bland deioniseret vand, mikromineral opløsning, buffer, makromineral opløsning, redox indikator mens der flushes med CO₂ (se tabel 1). **(Vigtigt: Følg rækkefølgen i tabellen for at undgå udfældning)**
2. Forbered reduktions agenten **(Skal være frisklavet kort for vomvæsken indsamles)**
3. Klip ostelærred, (2 stykker) så de er store nok til at dække tragten, der bruges til at si og afmåle inoculum.

Udføres af gymnasieeleverne:

E. Reduktions agent

47,5 ml deioniseret vand

2,0 ml 1-n- NaOH

285 mg Na₂S * (7-9 H₂O)* (di-Natirumsulfid hepta-nona hydrat)

Tabel 1: Færdigt medium inkl. reduktions agent og vomvæske (inoculum)

	25 kolber
Deioniseret vand	474 ml
Mikromineral opløsning	0,12 ml
Buffer opløsning	237 ml
Makromineral opløsning	237 ml
Redox indikator	1,22 ml
Reduktions agent	49,5 ml
Vomvæske	499,7 ml
TOTAL	1498,5 ml

4. Reduktions agenten tilsættes når vomvæsken ankommer til laboratoriet.
5. Mediet skifter farve fra blå til lyserød til farveløs.
6. 1 L af vomvæsken inkl. en knytnæve fuld af fast materiale fra vommen filtreres gennem to lag ostelærred mens man lader CO₂ boble gennem opløsningen (flushing). **Vigtigt: Sørg for, at mikroorganismer, som sidder fast på det faste materiale, medtages ved at klemme det faste materiale i ostelærredet.**
7. Når opløsningen er farveløs tilsættes det nøjagtige volumen af vomvæske (se tabel 2).
8. Bliv ved med at flushe det endelige medium med CO₂ i 15 minutter.
9. Skriv pH og temperatur ned efter 15 minutter.
10. Skift optagelse intervallet på computeren fra 1 time til 1 minut.
11. Åbn udluftningsventilerne på de første fire moduler.
12. Tage disse fire moduler ud af varmeskabet på én gang.
13. Flush det åbne rum i kolben (headspace) med CO₂ og tilføj samtidigt to gange 30 ml medium. Sørg for at prøve og medium blandes godt, men ryst ikke glasset. Tilføjelse af medium til kolbe bør ikke tage mere end 20 sek. Flush 10 sek. yderligere med CO₂.
14. Luk kolben med modul hovedet, mens udluftningsventilen er åben.
15. Luk udluftningsventilen.
16. Gentag trin 13.-15. med alle fire kolber og sæt dem tilbage i varmeskabet på én gang.
17. Tag de næste fire kolber og gentag trin 10. - 14.

Dag 2 Gem data. Oprydning

Reference:

SRP uge	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Module no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fodermiddel	Blank	Byg	Hø	Byghalm	Byg	Hø	Blank	Byghalm	Byg	Blank
g afvejet	0	0.5041	0.505	0.5023	0.5018	0.5022	0	0.5001	0.504	0
Pressure release	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:30:00	1.97	1.75	1.38	1.93	1.78	1.46	2.00	1.89	1.71	1.82
1:00:00	0.15	0.33	0.25	0.22	0.18	0.07	0.11	0.04	0.04	0.33
1:30:00	0.25	0.36	0.33	0.25	0.29	0.25	0.22	0.25	0.36	0.18
2:00:01	0.22	0.33	0.25	0.22	0.29	0.25	0.18	0.22	0.29	0.18
2:30:01	0.18	0.25	0.22	0.18	0.25	0.25	0.15	0.18	0.25	0.15
3:00:01	0.15	0.25	0.22	0.18	0.22	0.18	0.15	0.15	0.22	0.11
3:30:01	0.11	0.22	0.18	0.15	0.22	0.15	0.11	0.15	0.22	0.11
4:00:01	0.11	0.22	0.15	0.15	0.18	0.15	0.07	0.15	0.18	0.07
4:30:01	0.07	0.18	0.18	0.15	0.18	0.15	0.07	0.11	0.18	0.07
5:00:01	0.07	0.22	0.18	0.11	0.15	0.15	0.07	0.11	0.18	0.07
5:30:01	0.07	0.29	0.18	0.15	0.18	0.11	0.07	0.15	0.18	0.04
6:00:01	0.07	0.25	0.18	0.11	0.22	0.11	0.04	0.11	0.18	0.07
6:30:01	0.04	0.25	0.15	0.11	0.18	0.15	0.07	0.11	0.18	0.04
7:00:01	0.04	0.25	0.18	0.15	0.22	0.15	0.04	0.11	0.22	0.04
7:30:01	0.04	0.29	0.15	0.11	0.25	0.15	0.04	0.11	0.22	0.04
8:00:01	0.04	0.29	0.15	0.15	0.25	0.11	0.04	0.15	0.29	0.04
8:30:01	0.07	0.33	0.18	0.15	0.29	0.15	0.04	0.11	0.29	0.04
9:00:01	0.00	0.33	0.15	0.15	0.33	0.15	0.04	0.15	0.33	0.04
9:30:01	0.07	0.44	0.15	0.18	0.36	0.15	0.04	0.15	0.36	0.00
10:00:01	0.04	0.44	0.18	0.18	0.44	0.15	0.04	0.18	0.44	0.04
10:30:01	0.00	0.47	0.15	0.18	0.40	0.15	0.04	0.15	0.47	0.04
11:00:01	0.04	0.40	0.15	0.15	0.47	0.15	0.04	0.18	0.44	0.04
11:30:01	0.04	0.36	0.15	0.18	0.44	0.11	0.04	0.15	0.47	0.00
12:00:01	0.04	0.33	0.15	0.15	0.36	0.18	0.04	0.18	0.40	0.04
12:30:01	0.04	0.36	0.15	0.15	0.36	0.07	0.00	0.15	0.36	0.04
13:00:01	0.00	0.25	0.15	0.15	0.29	0.15	0.04	0.18	0.33	0.00
13:30:01	0.04	0.18	0.15	0.15	0.22	0.15	0.04	0.15	0.29	0.04
14:00:01	0.04	0.18	0.11	0.18	0.22	0.11	0.04	0.15	0.22	0.04
14:30:01	0.04	0.15	0.15	0.15	0.18	0.11	0.00	0.15	0.18	0.00
15:00:01	0.00	0.18	0.15	0.18	0.18	0.15	0.04	0.11	0.18	0.04
15:30:01	0.04	0.15	0.11	0.15	0.15	0.11	0.00	0.15	0.18	0.00
16:00:01	0.00	0.11	0.11	0.18	0.11	0.11	0.04	0.11	0.15	0.04
16:30:01	0.04	0.15	0.15	0.11	0.11	0.11	0.00	0.15	0.11	0.00
17:00:01	0.04	0.11	0.07	0.15	0.15	0.11	0.04	0.15	0.11	0.04
17:30:01	0.00	0.15	0.15	0.18	0.07	0.11	0.00	0.11	0.15	0.00
18:00:01	0.00	0.11	0.07	0.15	0.11	0.07	0.04	0.11	0.11	0.04
18:30:01	0.04	0.11	0.11	0.11	0.11	0.15	0.00	0.15	0.11	0.00
19:00:01	0.00	0.15	0.15	0.11	0.07	0.11	0.04	0.11	0.07	0.00
19:30:01	0.00	0.07	0.07	0.15	0.11	0.07	0.00	0.11	0.11	0.04
20:00:01	0.04	0.15	0.11	0.18	0.11	0.11	0.04	0.15	0.11	0.00
20:30:01	0.00	0.07	0.11	0.07	0.07	0.07	0.00	0.11	0.11	0.04
21:00:01	0.04	0.11	0.11	0.15	0.07	0.15	0.04	0.11	0.07	0.00
21:30:01	0.04	0.07	0.07	0.15	0.07	0.07	0.00	0.11	0.07	0.04
22:00:01	0.00	0.11	0.11	0.15	0.07	0.15	0.04	0.07	0.07	0.00
22:30:01	0.04	0.07	0.07	0.07	0.11	0.07	0.04	0.15	0.11	0.04
23:00:01	0.00	0.11	0.11	0.15	0.07	0.07	0.00	0.15	0.07	0.00
23:30:01	0.04	0.07	0.07	0.11	0.07	0.07	0.04	0.11	0.07	0.04
24:00:01	0.04	0.07	0.11	0.11	0.07	0.11	0.00	0.11	0.07	0.00

BILAG 5

Olivia Mulvad

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Byghalm	Hø	Hø	Byghalm	Blank	Byg	Byghalm	Hø	Byg	Blank
0.5041	0.5	0.5006	0.5008	0	0.5	0.503	0.5037	0.5019	0
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	1.38	1.56	1.60	1.31	1.27	1.06	0.95	0.91	0.95
0.04	0.07	0.29	0.25	0.76	0.25	1.06	0.47	0.51	0.91
0.22	0.29	0.36	0.25	0.15	0.33	0.15	0.29	0.29	0.25
0.18	0.22	0.29	0.25	0.18	0.25	0.18	0.25	0.25	0.25
0.18	0.25	0.25	0.18	0.15	0.25	0.18	0.25	0.22	0.18
0.18	0.18	0.25	0.18	0.15	0.22	0.18	0.22	0.22	0.15
0.15	0.15	0.18	0.15	0.11	0.18	0.15	0.15	0.18	0.11
0.11	0.15	0.15	0.11	0.07	0.18	0.11	0.18	0.18	0.07
0.11	0.11	0.15	0.11	0.04	0.18	0.11	0.15	0.15	0.11
0.11	0.11	0.15	0.11	0.07	0.15	0.11	0.11	0.15	0.04
0.11	0.15	0.11	0.11	0.04	0.15	0.11	0.15	0.15	0.07
0.11	0.11	0.11	0.11	0.04	0.18	0.11	0.11	0.18	0.07
0.15	0.11	0.11	0.11	0.04	0.18	0.07	0.11	0.15	0.04
0.11	0.07	0.11	0.11	0.04	0.22	0.11	0.15	0.18	0.07
0.11	0.15	0.15	0.11	0.04	0.18	0.11	0.11	0.18	0.04
0.15	0.11	0.11	0.15	0.00	0.22	0.11	0.15	0.22	0.04
0.15	0.11	0.15	0.15	0.04	0.29	0.11	0.15	0.25	0.04
0.15	0.11	0.15	0.11	0.04	0.25	0.11	0.11	0.25	0.04
0.18	0.11	0.18	0.18	0.04	0.33	0.15	0.15	0.29	0.04
0.22	0.11	0.07	0.22	0.00	0.40	0.11	0.15	0.33	0.04
0.18	0.11	0.18	0.18	0.00	0.40	0.11	0.11	0.36	0.04
0.18	0.11	0.11	0.18	0.04	0.44	0.11	0.15	0.40	0.04
0.15	0.11	0.11	0.18	0.04	0.40	0.11	0.11	0.36	0.04
0.22	0.11	0.11	0.18	0.00	0.40	0.18	0.15	0.40	0.04
0.18	0.11	0.11	0.18	0.00	0.33	0.15	0.15	0.33	0.04
0.18	0.11	0.11	0.18	0.04	0.33	0.15	0.15	0.29	0.04
0.18	0.15	0.11	0.18	0.00	0.33	0.11	0.11	0.29	0.00
0.18	0.07	0.11	0.18	0.00	0.22	0.15	0.15	0.22	0.04
0.18	0.15	0.11	0.15	0.04	0.22	0.15	0.11	0.22	0.04
0.11	0.15	0.15	0.15	0.00	0.18	0.15	0.11	0.15	0.04
0.18	0.07	0.11	0.18	0.00	0.18	0.07	0.11	0.15	0.04
0.18	0.15	0.11	0.15	0.00	0.11	0.15	0.15	0.15	0.00
0.15	0.07	0.15	0.11	0.04	0.15	0.07	0.11	0.11	0.04
0.15	0.07	0.11	0.15	0.00	0.15	0.15	0.11	0.11	0.04
0.18	0.15	0.11	0.15	0.04	0.07	0.15	0.11	0.07	0.04
0.15	0.07	0.11	0.07	0.04	0.11	0.07	0.11	0.11	0.00
0.11	0.11	0.15	0.15	0.04	0.11	0.11	0.11	0.11	0.04
0.15	0.07	0.07	0.15	0.00	0.07	0.15	0.11	0.07	0.04
0.15	0.11	0.11	0.11	0.04	0.15	0.07	0.15	0.07	0.04
0.15	0.07	0.11	0.11	0.00	0.07	0.15	0.07	0.11	0.00
0.11	0.11	0.11	0.15	0.00	0.04	0.07	0.11	0.07	0.04
0.15	0.07	0.07	0.07	0.04	0.11	0.11	0.11	0.07	0.00
0.11	0.11	0.11	0.11	0.00	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04
0.11	0.07	0.07	0.11	0.04	0.11	0.11	0.11	0.07	0.04
0.11	0.11	0.11	0.11	0.00	0.04	0.11	0.11	0.07	0.04
0.15	0.04	0.07	0.11	0.00	0.11	0.07	0.07	0.04	0.00
0.07	0.11	0.11	0.07	0.04	0.04	0.15	0.11	0.07	0.07
0.15	0.07	0.04	0.11	0.00	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04

STUDIERETNINGSPROJEKT 2009

Module no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fodermiddel	Blank	Byg	Hø	Byghalm	Byg	Hø	Blank	Byghalm	Byg
foder afvejet, g	0	0.5041	0.505	0.5023	0.5018	0.5022	0	0.5001	0.504
Pressure release, psi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
% sukker af total toerstoff	0.0	2	8	0	2	8	0.0	0	2
% stivelse af total toerstoff	0.0	60	0	0	60	0	0.0	0	60
% fordøjelige cellevæagge af total toerstoff (fra fodermiddeltabel)	0.0	10.8	42	40.5	10.8	42	0.0	40.5	10.8

(1) Formlen fra Johnson and Ward: $Y (\text{Mcal CH}_4/\text{d}) = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$
 sugar (kg/d) + 0.08 * digestible
 starch (kg/d) + 0.68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)

(2) Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668) (3)	60.83	60.83	60.84	60.84	60.83	60.84	60.83	60.84	60.83
Formlen fra Johnson and Ward: $Y (\text{Mcal CH}_4/\text{d}) = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$ sugar (kg/d) + 0.08 * digestible starch (kg/d) + 0.68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)	0.00000	0.00007	0.00016	0.00014	0.00006	0.00016	0.00000	0.00014	0.00007
Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	0.0000	0.0049	0.0120	0.0104	0.0049	0.0120	0.0000	0.0104	0.0049
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668)	0.0000	0.0073	0.0180	0.0156	0.0073	0.0179	0.0000	0.0155	0.0073
Omregning fra L til mL	0.0000	7.3386	18.0210	15.5822	7.3051	17.9210	0.0000	15.5139	7.3372

sluttrykket for gassen i psi ved 24 timer (her indtastes DINE resultater)
 samlede gasproduktion i mL

% CH ₄ af total gas	0.0	5.8	21.4	18.0	6.1	23.5	0.0	19.3	5.9
--------------------------------	-----	-----	------	------	-----	------	-----	------	-----

BILAG 6
 Olivia Mulvad

STUDIERETNINGSPROJEKT 2009

Module no.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fodermiddel	Blank	Byghalm	Hø	Hø	Byghalm	Blank	Byg	Byghalm	Hø
foder afvejet, g	0	0.5041	0.5	0.5006	0.5008	0	0.5	0.503	0.5037
Pressure release, psi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
% sukker af total toerstoff	0.0	0	8	8	0	0.0	2	0	8
% stivelse af total toerstoff	0.0	0	0	0	0	0.0	60	0	0
% fordøjelige cellevæge af total toerstoff (fra fodermiddeltabel)	0.0	40.5	42	42	40.5	0.0	10.8	40.5	42

(1) Formlen fra Johnson and Ward: $Y \text{ (Mcal CH}_4\text{/d)} = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$
 sugar (kg/d) + 0.08 * digestible
 starch (kg/d) + 0.68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)

(2) Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668) (3)	60.83	60.84	60.84	60.84	60.84	60.83	60.83	60.84	60.84
Formlen fra Johnson and Ward: $Y \text{ (Mcal CH}_4\text{/d)} = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$ sugar (kg/d) + 0.08 * digestible starch (kg/d) + 0.68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)	0.00000	0.00014	0.00016	0.00016	0.00014	0.00000	0.00006	0.00014	0.00016
Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	0.0000	0.0104	0.0119	0.0119	0.0104	0.0000	0.0049	0.0104	0.0120
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668)	0.0000	0.0156	0.0178	0.0179	0.0155	0.0000	0.0073	0.0156	0.0180
Omregning fra L til ml	0.0000	15.6380	17.8425	17.8639	15.5357	0.0000	7.2789	15.6039	17.9746
sluttrykket for gassen i psi ved 24 timer (her indtastes DINE resultater)	1.86	6.88	5.39	6.04	6.59	1.64	9.13	5.49	6.08
samlende gasproduktion i mL	23.6	87.5	68.5	76.9	83.8	20.8	116.2	69.9	77.3
% CH ₄ af total gas	0.0	17.9	26.0	23.2	18.5	0.0	6.3	22.3	23.2

BILAG 6
 Olivia Mulvad

STUDIERETNINGPROJEKT 2009

Module no.	19	20				
Fodermiddel	Byg	Blank	Blank	Byg	Hø	Halm
foder afvejet, g	0.5019	0	0.0000	0.5024	0.5023	0.5021
Pressure release, psi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
% sukker af total toerstoff	2	0.0	0.0	2.0	8.0	0.0
% stivelse af total toerstoff	60	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0
% fordøjelige cellevæge af total toerstoff (fra fodermiddeltabel)	10.8	0.0	0.0	10.8	42.0	40.5
(1) Formlen fra Johnson and Ward: $Y \text{ (Mcal CH}_4\text{/d)} = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$						
sugar (kg/d) + 0,08 * digestible	0.54006	0.54000				
starch (kg/d) + 0,68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)			0.5	0.5	0.5	0.5
(2) Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668) (3)	60.83	60.83	60.8	60.8	60.8	60.8
Formlen fra Johnson and Ward: $Y \text{ (Mcal CH}_4\text{/d)} = 0.54 + 0.39 * \text{digestible}$						
sugar (kg/d) + 0,08 * digestible	0.00006	0.00000				
starch (kg/d) + 0,68 * digestible cell wall carbohydrates (kg/d)			0.000000	0.000065	0.000159	0.000138
Omregning fra Mcal til g (Metan, g/Mcal = 75.24454477)	0.0049	0.0000	0.0	0.0049	0.0120	0.0104
Omregning fra g til L (Metan, L/g = 1/0.668)	0.0073	0.0000	0.0	0.0073	0.0179	0.0156
Omregning fra L til mL	7.3066	0.0000	0.0	7.31	17.92	15.57
sluttrykket for gassen i psi ved 24 timer (her indtastes DINE resultater)	8.44	2.47	2.1	9.3	6.0	6.4
samlede gasproduktion i mL	107.4	31.5	26.2	118.9	76.7	81.7
% CH ₄ af total gas	6.8	0.0	0.0	6.2	23.5	19.2

BILAG 6
Olivia Mulvad

$$dT_{\emptyset} := (\emptyset * Solar + IR_{\emptyset} * F_n + IR_{\emptyset} * (1 - IR_n) * F_J - 2 * F_{\emptyset}) * dt$$

$$dT_n := (n * (1 - \emptyset) * Solar + IR_n * F_J + Led_n + IR_n * F_{\emptyset} - 2 * F_n) * dt$$

$$dT_J := (Solar * (1 - Alfa) * (1 - \emptyset) * (1 - n) + F_n + (1 - IR_n) * F_{\emptyset} - F_J - Led_n) * dt$$

De led som bliver adderet repræsenterer den indkommende stråling hvorimod de led, der bliver subtraheret repræsenterer den udkommende stråling i energibalancen.

Anden linje		
Første led	$n * (1 - \emptyset) * Solar$	Betegner nedre atmosfæres absorption af solindstrålingen fratrasket øvre atmosfæres absorption.
Andet led	$IR_n * F_J$	Betegner nedre atmosfæres absorption af IR-strålingsintensiteten fra Jorden.
Tredje led	Led_n	Varmedledning og fordampning fra Jorden til den nedre atmosfære.
Fjerde led	$IR_n * F_{\emptyset}$	Betegner nedre atmosfæres absorption af IR-strålingsintensiteten fra øvre atmosfære.
Femte led	$2 * F_n$	Betegner den strålingsintensitet, som den nedre atmosfære udstråler både i retning af verdensrummet og i retning af Jorden.

Tredje linje		
Første led	$Solar * (1 - Alfa) * (1 - \emptyset) * (1 - n)$	Jordens absorption af solindstrålingen fratrasket øvre atmosfæres absorption og nedre atmosfæres absorption og den del, som reflekteres af jordoverfladen
Andet led	F_n	Den strålingsintensitet Jorden modtager fra nedre atmosfære absorberes fuldstændig da Jorden kan betegnes som et absolut sort legeme i forhold til dens absorption.
Tredje led	$(1 - IR_n) * F_{\emptyset}$	Jordens absorption af IR-strålingsintensiteten fra øvre atmosfære fratrasket nedre atmosfæres absorption.
Fjerde led	F_J	Jordens varmestråling, som kun udsendes i retning mod verdensrummet.
Femte led	Led_n	Varmedledning og fordampning fra Jorden til den nedre atmosfære