

MATERIALESAMLING

BIOGAS – ENERGI OG BÆREDYGTIGHED?

INDHOLD

Introduktion – Hvorfor biogas?	2
Modul 1: Kulstofkredsløbet.....	3
Modul 2: Stofstrømme i land og by.....	7
Modul 3: Metan – energikilde og drivhusgas.....	13
Modul 4: Processer på biogasanlæg	16
Modul 5: Besøg på biogasanlæg.....	23
Modul 6: Opsamling	24
Bilag 1: Øvelsesvejledning til fremstilling af biogas.....	25
Bilag 2: Guide til SDFI's kortviser	28
Referencer:	34

Materialet er udviklet af
Niels Christian Nielsen, Rybners Gymnasium
og DA Åben Virksomhed

Forberedelse til modul 1: Introduktion – Hvorfor biogas?

Læs nedenstående introduktion og overvej følgende to spørgsmål:

- a) Hvilke fossile energikilder kender du til?
- b) Hvorfor er det nødvendigt at udvikle vedvarende energikilder?

Introduktion – Hvorfor biogas?

Der er her i Danmark stort fokus på at reducere vores udledninger af drivhusgasser, specielt kuldioxid, CO₂. Der er politisk enighed om, at det skal gå stærkt, Klimaloven fra 2020 har et mål for 2030 på en 70% reduktion i forhold til udledningerne i 1990. Det vigtigste middel hertil er at erstatte fossile energikilder som kul, olie og gas med vedvarende energikilder. De fleste vil nævne ”sol og vind” som de vedvarende energikilder, der i dag bidrager til vores el-system, og som skal udbygges i de kommende år, men faktisk bidrager biogas allerede pænt til energiproduktionen og forventes også at blive langt mere udbredt i de kommende år – tæt integreret med det øvrige energisystem.

Der er flere gode grunde til at benytte biogas som en del af et energisystem med vedvarende energi. Biogas dannes ved *nedbrydning* af organisk materiale, såsom gylle og planterester fra landbruget, fødevarer og andet organisk affald fra husholdninger og virksomheder. Disse materialer indgår allerede i kredsløbet i det overordnede økosystem, som vi mennesker er en del af, og biogas kan derfor ses som en smart måde at håndtere dem i dette kredsløb. Samtidig udtømmes disse materialer ikke på samme måde som fossile brændstoffer. Biogassen produceres ved *anaerob* nedbrydning, hvor de organiske materialer nedbrydes uden ilt. Disse processer frigiver metan, CH₄, som er en meget kraftig drivhusgas hvis den slipper ud i atmosfæren. Ved at indfange metanen fra en kontrolleret nedbrydning af organiske materiale og bruge den som energikilde, kan vi reducere udledningen af drivhusgasser og dermed mindske vores klimaaftryk.

Her i Danmark er landbruget primært hovedleverandør af den biomasse, som biogassen produceres fra. Det er vigtigt, at biogasanlæggene indgår på en meningsfuld og sikker måde i landbrugets (store) stofstrømme, så næringsstofferne kommer hen, hvor der er brug for dem. Derfor vil vi i dette forløb også se på landbrugets stofstrømme før og nu, og hvordan biogasanlæg indgår i dem. Vi skal også se på, hvad der sker med bioaffaldet fra vores køkkener, og hvordan der også kan hentes energi ud af det. Hvis der er tid til det og mulighed for det på jeres skole, så kan I også lave øvelsen med selv at producere biogas ud fra grønsagsrester. Der vil gennem hele forløbet være mulighed for at diskutere bæredygtighed og ressourceforvaltning, noget som I formodentlig allerede har været inde på, eller kommer ind på i andre temaer.

Som en del af forløbet skal I besøge et biogasanlæg, hvor I vil få lejlighed til at se, hvordan produktionen foregår.

Modul 1: Kulstofkredsløbet

Gruppearbejde:

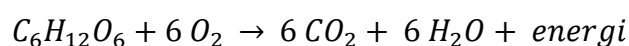
- c) Læs nedenstående tekst og forklar den rolle som henholdsvis fotosyntese og respiration spiller i kulstofkredsløbet.

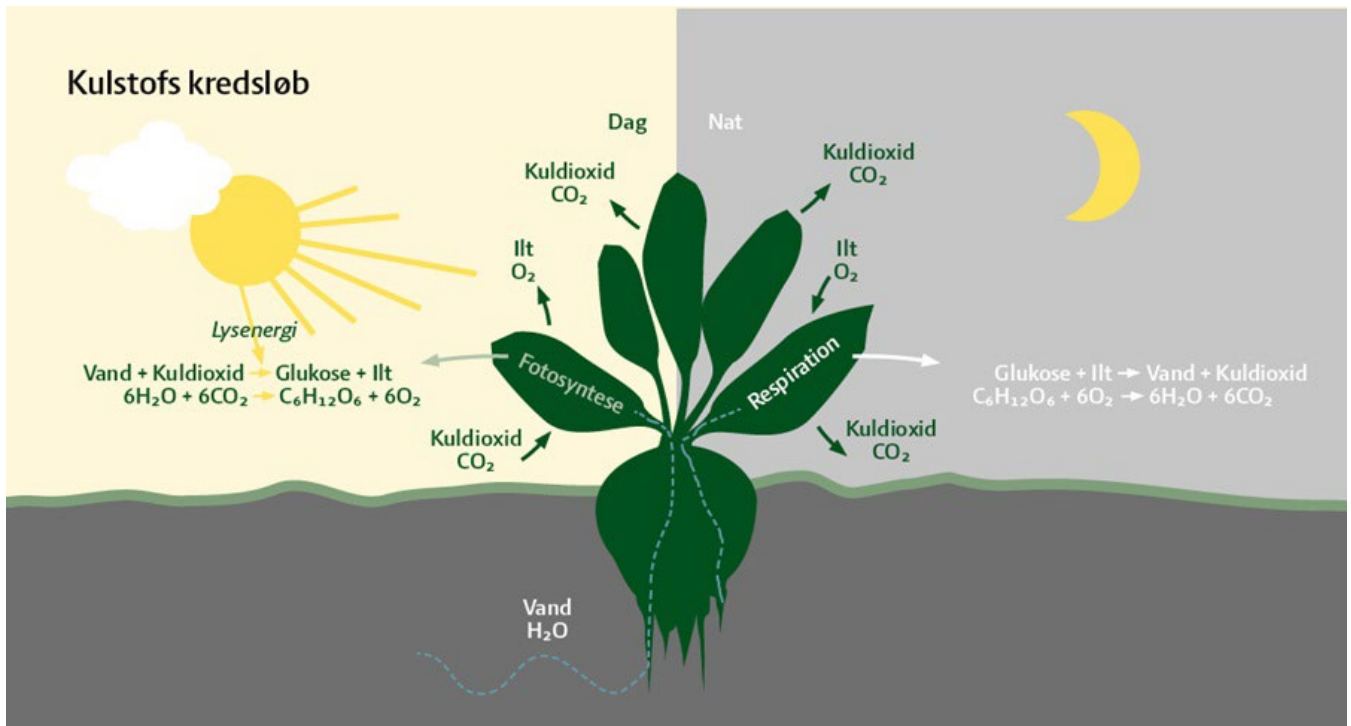
Da CO₂ er hovedkilden til den øgede mængde af kulstof i atmosfæren OG dannes ud fra mineralske og organiske stoffer i jordskorpen og biosfæren, er det relevant at se på kulstofkredsløbet, både fra et geologisk (meget langt) tidsperspektiv og fra et økologisk/organisk perspektiv (med et kortere tidsperspektiv).

Der er ikke længere tvivl om, at vi mennesker påvirker Jordens klima, og at vi først og fremmest gør det ved at udlede store mængder af drivhusgassen kuldioxid til atmosfæren, hovedsagelig ved brug af fossile brændstoffer til opvarmning, transportmidler og fremstilling af elektricitet. Verdens lande har indset alvoren og de alvorlige konsekvenser, som kan følge af ukontrolleret global opvarmning og indgik i 2015 Paris-aftalen om begrænsning af udledning af drivhusgasser, med det mål at holde Jordens gennemsnitlige temperaturstigning under 1,5 grader. Det vigtigste middel til begrænsning af drivhusgasser er en omstilling til brug af vedvarende energikilder. I øjeblikket er vandkraft den mest anvendte vedvarende energikilde, fulgt af solceller og vindkraft, alle hovedsagelig til fremstilling af elektricitet. Andre energikilder er også i spil, herunder geotermisk energi og forskellige former for udnyttelse af biomasse, enten fra afgrøder der dyrkes til formålet eller restprodukter fra land- og skovbrug. Det særligt interessante ved energikilder der bruger biomasse er, at de indgår direkte i kulstofkredsløbet, faktisk i den hurtige del, hvor der hvert år udveksles store mængder kulstof mellem jorden, havet, biosfæren (alt levende) og atmosfæren. De centrale processer er her fotosyntesen, hvor kuldioxid og vand ved tilførsel af energi fra Solen danner sukkerstoffer, som bliver til byggesten for planter og alger. Kemisk set opskrives det således:



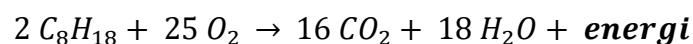
I et system i ligevægt, vil der ske en lige så stor nedbrydning af stof, når Jordens organismer bruger energi, altså ved processen respiration, der kemisk kan opskrives således:





Figur 1: Fotosyntese og respiration er som dag og nat. Fra Landbrug og Fødevarers undervisningsmateriale om økologi for gymnasieelever.

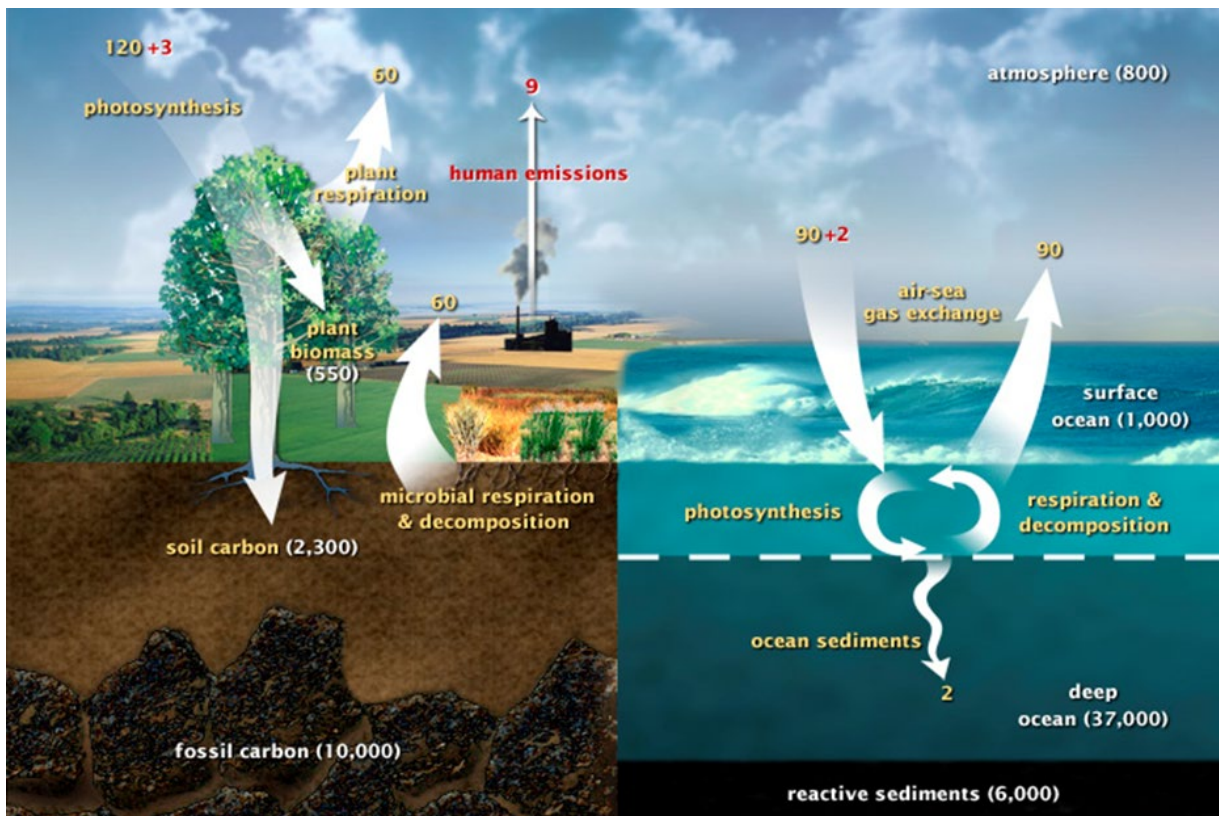
Bemærk, at der også frigives kuldioxid til atmosfæren, når orme og mikroorganismer nedbryder dødt plantemateriale under tilstedeværelse af ilt (aerobe forhold), som når blade fra skovens træer eller på græsplæner efterhånden forsvinder. Nu går vi mennesker imidlertid ind og påvirker systemet, specielt med afbrænding af fossile brændstoffer som f.eks. oktan, der er en af kulbrinterne (alkanerne) i den benzin som vores biler kører på:



I eksemplet her antog vi for enkeltheds skyld at der var tale om en fuldstændig forbrænding.

Det organiske kredsløb, der er beskrevet her, omsætter store mængder af kulstof hvert år, faktisk en stor del af den pulje af kulstof, der befinder sig i atmosfæren.

- d) Forklar det hurtige kulstofkredsløb ud fra figuren fra NASA herunder:
- hvor befinder de største mængder af kulstof sig?
 - hvor sker den største årlige omsætning?
 - hvor ser man menneskets påvirkning af den naturlige balance?



Figur 2: Det "hurtige" organiske kulstofkredsløb, fra NASA Earth Observatory. Tallene i gult er flow per år, tallene i hvidt er mængden eller puljen af kulstof i de forskellige dele af geosfæren, og tallene i rødt er de mængder, der årligt følger af menneskelig aktivitet. Enheden er gigaton, altså milliarder ton rent kulstof. Fra: NASA

- e) Hvad ved I på forhånd om pladetektonik og bjergarternes kredsløb? Hvis I lige har behov for en genopfriskning, så besøg læringsmodulet her og gå til afsnittene "Pladetektonik" og "Bjergarternes kredsløb" https://nbvm.no/dk/rocks1_dk.html Husk at trykke START 😊
- f) Forklar det langsomme, geologiske kredsløb ved brug af dette link:
- Interaktiv grafik på GeoVidens tema om CO₂-kredsløbet: link <https://view.genial.ly/5fe1d6e5fa68050cfca3fa0a>

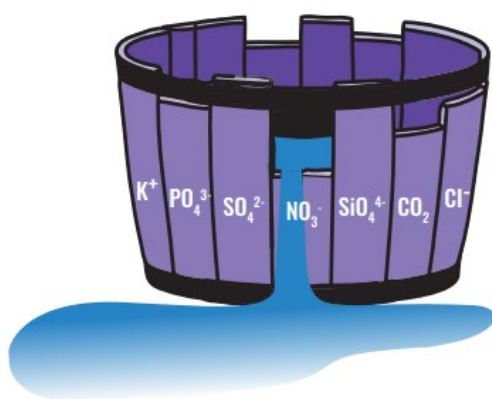
Forberedelse til modul 2: Liebig's minimumslov

Læs nedenstående tekst om og svar på følgende spørgsmål:

- a) Forklar *Liebig's minimumslov* og dens betydning for produktionen af afgrøder i landbruget ud fra "tøndemodellen". Hvad er de vigtigste grundstoffer for planterne?

Kulstof fra atmosfærens kuldioxid er sammen med sollys og vand nødvendigt for at planter kan vokse, men det er langt fra det eneste nødvendige grundstof eller mineral. Planter skal især bruge kvælstof (Nitrogen), svovl, fosfor, kalcium, kalium og magnesium – disse stoffer kaldes *makro-næringsstoffer*. Andre grundstoffer der også er nødvendige, bare i mindre mængder kaldes *mikro-næringsstoffer* og omfatter blandt andet jern og klor. Disse stoffer findes i jorden, hvor de blandt andet dannes ved den langsomme nedbrydning (forvitring) af mineraler i jordbundens sand- og lerpartikler, og planterne får dem via rødderne som optager de stoffer der er opløst i jordvandet. Når planter høstes for at blive mad for mennesker eller dyr, fjernes der næringsstoffer som ellers ville komme tilbage til jorden, hvis planterne blev nedbrudt på stedet. De landmænd der dyrker jorden er derfor nødt til at være opmærksom på, om der er næringsstoffer nok i jordbunden.

Figuren herunder illustrerer Liebig's minimumslov, også kendt som loven om den begrænsende faktor, der siger, at planter vækst vil blive begrænset af den faktor, der er mindst tilgængelig for planten. Planter kan altså kun vokse så hurtigt, som den faktor tillader, der er mindst af i deres miljø, i forhold til behovet – hvis en plante mangler et bestemt næringsstof, vil dens vækst blive hæmmet, selvom alle andre næringsstoffer er til stede i overflod. Denne lov er vigtig i landbruget, fordi den hjælper med at identificere, hvilke næringsstoffer der er nødvendige for at opnå optimal vækst af en bestemt planteart. Så ved at sikre, at alle nødvendige næringsstoffer er tilgængelige i passende mængder, kan bønderne øge udbyttet og kvaliteten af deres afgrøder. Og det er her, biogasanlæg med råmaterialer fra forskellige kilder kommer ind i billedet.



Figur 3: Den begrænsende faktor: Illustration Anders Brinckmeyer

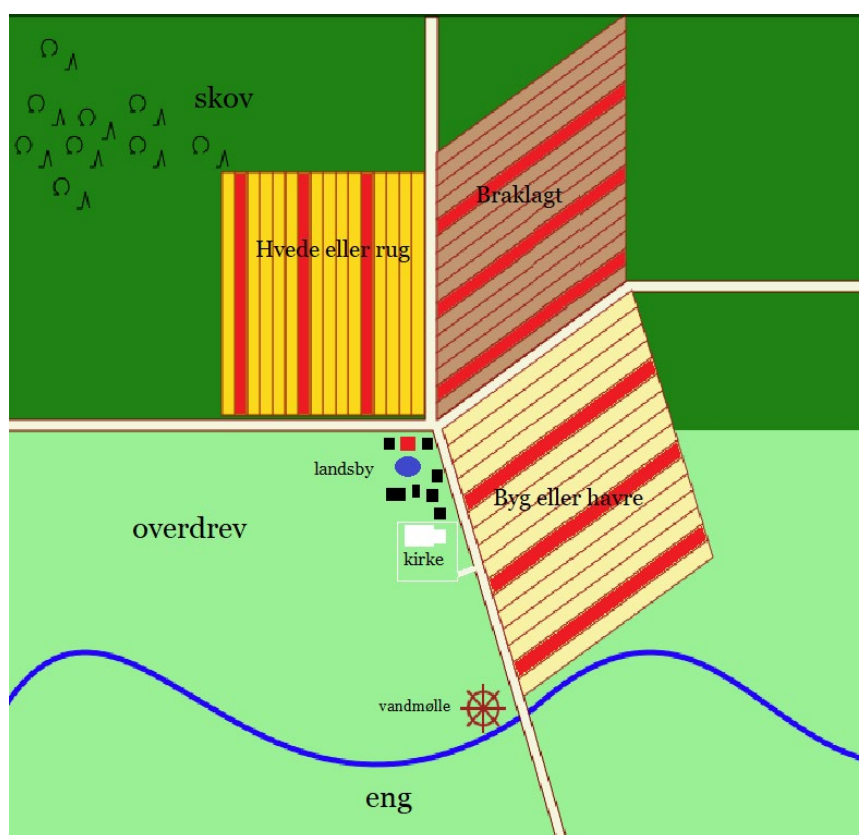
Modul 2: Stofstrømme i land og by

Gruppearbejde:

- b) Læs nedenstående tekst og kig på figuren herunder. Beskriv en dansk landsby og en bondegård som de var i 1700-tallet. Hvilken rolle spillede husdyrene for korndyrkningen?

Læs evt. om dansk landbrugs historiske udvikling på her: <https://danmarkshistorien.dk/vis/materiale/landboreformer>

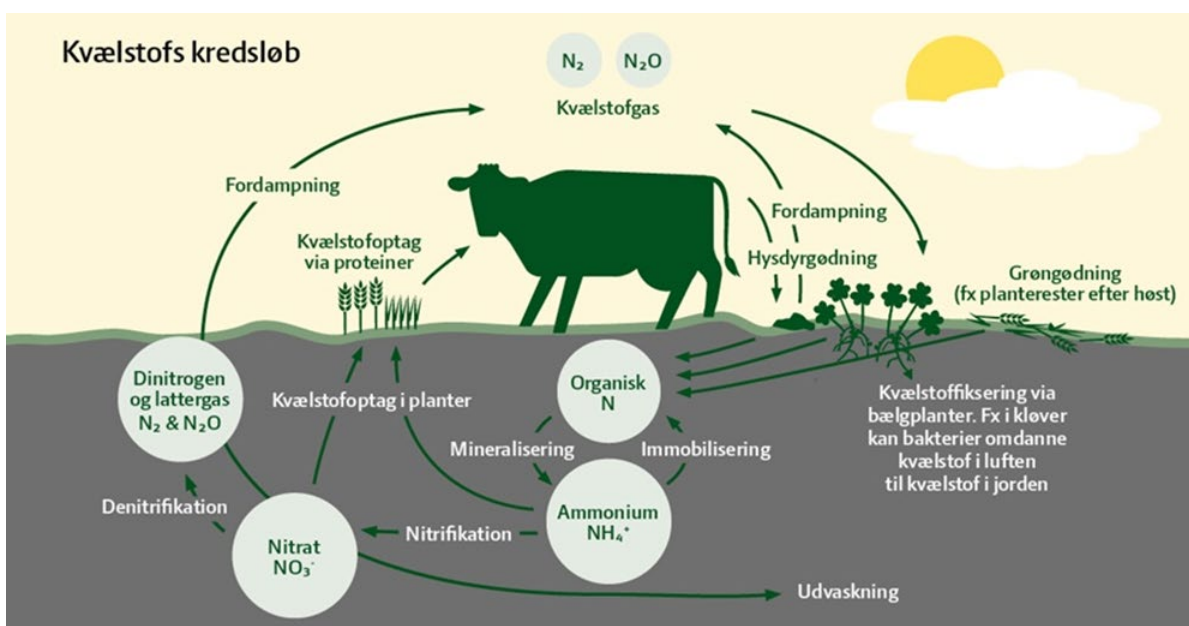
I det traditionelle landbrug som blev drevet i Danmark frem til de store reformer omkring år 1800, var der kun begrænsede stofstrømme ind og ud af det system, som udgjordes af en landsby og dens omgivende marker og enge. Kortet og figuren med stofstrømme herunder viser strukturen i sådan et system, hvor man lod dyrene græsse på engene og i skovene og brugte deres gødning på markerne (fra når de stod på stald om natten, eller hele vinteren, hvor de blev fodret med hør fra engene). Hvis der var overskud af korn eller mælkeprodukter, kunne man sælge det, men mængdemæssigt var det ikke det store.



Figur 4: Typisk dyrkningsmønster omkring dansk landsby i tiden frem til slutningen af 1700-tallet, her det såkaldte Trevangsbrug. Udarbejdet af Sten Porse, stillet til rådighed under Creative Commons 4.0.

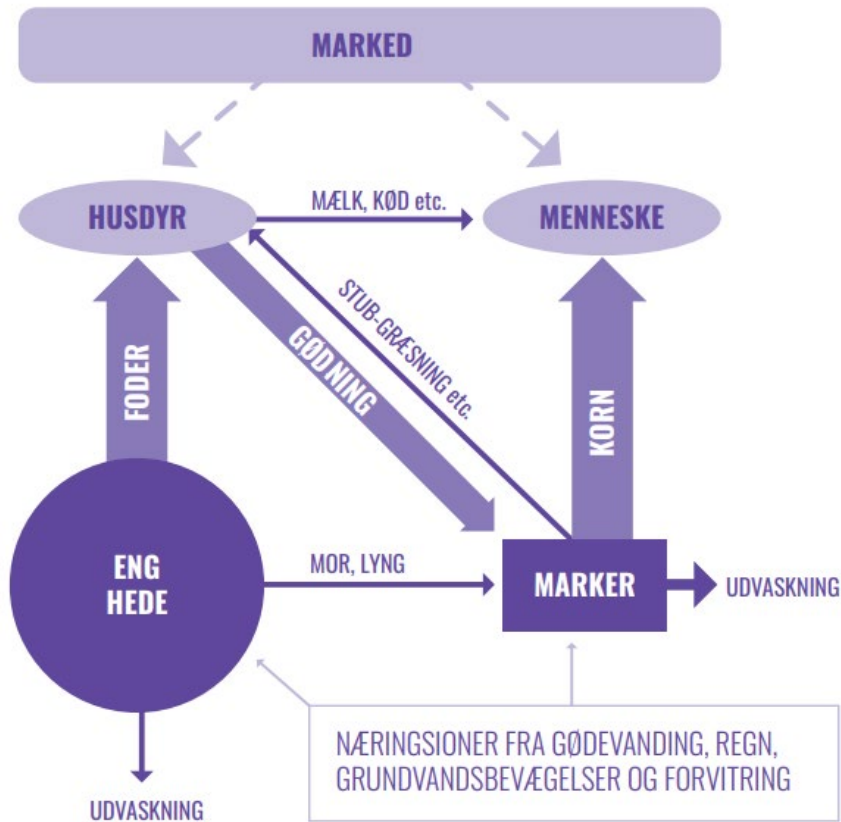
- c) Læs "Introduktion til økologien – principper og værdier" [Økologiens værdier og principper | ØKO-Portalen](#) og besvar disse spørgsmål:
- Hvad er der særligt ved økologisk jordbrug, som det drives i Danmark i dag?
 - Hvilke udfordringer har man her i forhold til det konventionelle (almindelige) landbrug?
 - Stemmer de fire økologiske principper der nævnes sidst i afsnittet med begrebet bæredygtighed, sådan som I forstår det?
- d) Hvad kendetegner dansk landbrug i dag? Find ud af, hvor stor den gennemsnitlige gård er (areal i hektar), og hvor mange husdyr der er. Bemærk, at de fleste gårde kun har en slags dyr, da de er specialiserede i en bestemt produktionsform.
- e) Hvorfor er det svært at holde styr på kvælstoffet (Nitrogenen) i et landbrugssystem, og sørg for, at planterne har den rette mængde kvælstof til rådighed?

Næringsstoffer befinder sig i jordbunden og planterne på enge, i skove og på heder, og flyttes via foder til dyrene til markerne, hvor der dyrkes korn til menneskeføde. Systemet minder på nogle måder om nutidens økologiske jordbrug, hvor man afholder sig fra at bruge kunstgødning (gødning udefra) og er afhængig af især køer, hvis afføring skal bruges som gødning på markerne. Bemærk, at udvaskning er når næringsstoffer, især kvælstof forlader systemet uden at være blevet optaget af planter. Hvis det sker i for stort omfang, kan det føre til forurening af grundvand, vandløb og farvande. Bemærk også, at kvælstofs kredsløb er ekstra kompliceret fordi det kan optages fra luften af bakterier, som lever i bestemte planters rodknolde og under de rette betingelser nedbrydes i jorden til en uskadelig gas og sendes tilbage i atmosfæren.

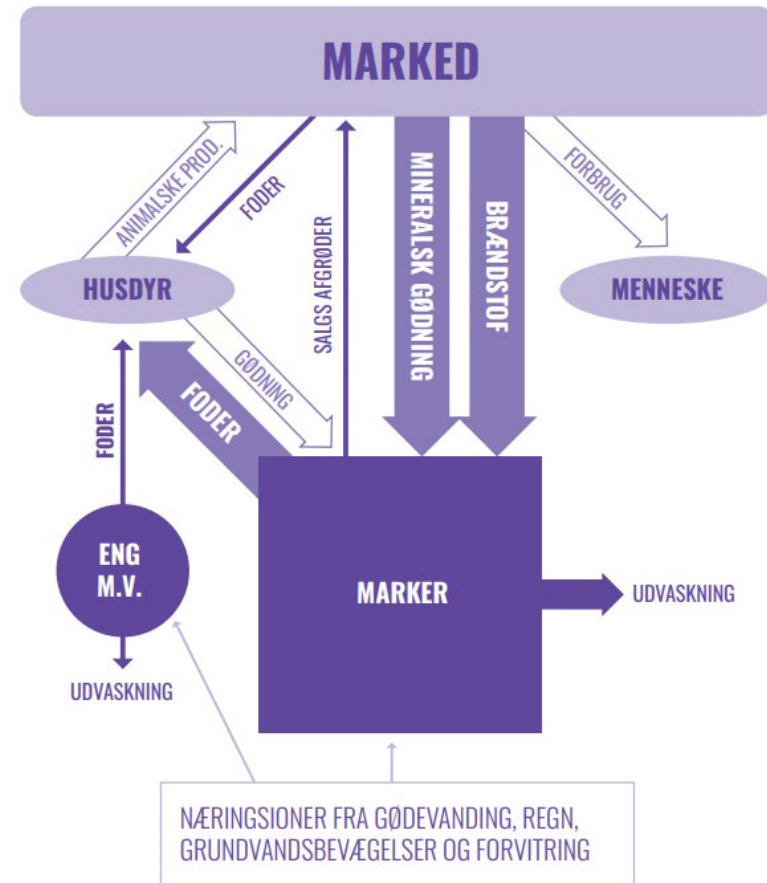


Figur 5: Kvælstofs kredsløb. Fra Økologi for gymnasiet.

f) Forklar forskellene på stof- og energistrømme i dansk landbrug for 250 år siden og i dag ved hjælp af figur 7 og 8.



Figur 6: Det traditionelle landbrug. Illustration Anders Brinckmeyer.



Figur 7: Det moderne landbrug. Illustration Anders Brinckmeyer.

Skema til notering af bio-affald fra husholdning

Antages at gå til Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD)

Antal personer i husholdningen:

	Mængde (gram)	Materiale:
DAG 1		
DAG 2		
DAG 3		
DAG 4		
DAG 5		

I alt		
-------	--	--

Mængde per husholdning per dag, angiv i kg:

Mængde per person per dag:

Et kg organisk materiale fra husholdningerne kan give mellem 0,05 og 0,2 m³ metan, vi regner her med 0,1 m³ per kg.

- Beregn hvor meget metan, der kan udvindes fra jeres bio-affald.

Metan har et energiindhold på 40 MJ per m³.

- Beregn hvor meget energi, der kan genereres ud fra jeres bio-affald.

En gennemsnitlig dansk husholdning leverer ifølge en rapport fra Miljøstyrelsen (2019) 0,45 kg organisk affald per dag.

- Ligger den mængde, som I fandt her over eller under denne værdi?

En bageovn har typisk en effekt på 2500 Watt, det vil, at der bruges 2500 Joule i sekundet, mens der bages. Det svarer til 0,15 MJ i minuttet.

- Beregn hvor mange minutter ovnen kan køre på energien fra jeres bio-affald. Er det nok til at bage f.eks. en drømmekage eller et rugbrød?

Bemærk, at der i disse beregninger antages, at der ikke går energi til spilde – det gør der dog i virkeligheden ved fremstilling af elektricitet ved afbrænding af gas.

Modul 3: Metan – energikilde og drivhusgas

Parvis/Gruppearbejde: Læs nedenstående tekst og besvar spørgsmålene.

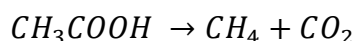
I dette modul er fokus på gasarten metan (CH_4), der er den energikilde som et biogasanlæg kan levere. I har nu regnet på, hvor meget metan, der kan genereres ud fra organisk husholdningsaffald, og inden vi går til metan fra andre kilder, skal vi se på det metan, som er i naturen, der stadig udgør størstedelen af vores gasforbrug.

Når metan befinder sig i atmosfæren, fungerer den som en drivhusgas og bidrager dermed til global opvarmning via drivhuseffekten. Den mest kendte drivhusgas, og den der bidrager mest til den globale opvarmning, er kuldioxid (CO_2), men ud over vanddamp, der også virker som en drivhusgas, er der en række stoffer som faktisk er mere ”effektive” drivhusgasser. Deres drivhuspotentiale eller GWP, som står for Global Warming Potential, er vist i tabellen herunder, som bygger på beregninger fra en arbejdsgruppe under FN’s klimapanel IPCC. Overordnet kan man sige, at når man har metan på gas-form er det bedre at brænde det af og udlede kuldioxid end at lade det slippe ud i atmosfæren. Den dimensionsløse faktor GWP kan altså bruges til at omregne, hvor meget kuldioxid en vis mængde af en anden drivhusgas svarer til. Man siges da at regne i CO_2 -ækvivalenter. Det kan være praktisk når man f.eks. skal sammenligne landes bidrag til global opvarmning eller vurdere, hvornår et land, en virksomhed eller en by er klimaneutral.

Drivhusgas	Levetid (år)	Drivhuspotentiale GWP (dimensionsløs faktor)	
		20 år	100 år
Kuldioxid (CO_2)		1	1
Metan (CH_4)	12,4	86	34
HFC-134a (Hydrofluorocarbon)	13,4	3.790	1.550
CFC-11 (CFC-gas)	45	7.020	5350
Lattergas (N_2O)	121	268	298
Tetrafluorkulstof (CF_4)	50.000	4.950	7.350

Figur 9: Forskellige gassers bidrag til global opvarmning, altså deres ”drivhuspotentiale” i forhold til kuldioxid. Bemærk at jo længere levetid i atmosfæren, desto større bidrag. Fra IPCC, Work Group 1, Assessment Report 5, 2013.

Metan dannes i naturen som ”sumpgas” ved biologiske processer under anaerobe forhold, det vil sige uden adgang til ilt (O₂) fra atmosfæren. Når der f.eks. er stillestående vand i en mose, kan der opstå mangel på ilt, og så er der gode betingelser for bakterier, der kan skaffe sig energi ved respiration, altså nedbrydning eller forbrænding af organisk materiale uden ilt, her vist med eddikesyre (ethansyre) som det organiske materiale, dette trin i omdannelsen ses også i Figur 11.



I virkeligheden er det mere komplekse organiske materialer som kulhydrater og fedtstoffer, der nedbrydes, og bakterierne udskiller enzymer, der klipper dem i mindre stykker. Dannelse af metan kan altså kun foregå, hvor der ikke er ilt, med de rigtige bakterier og enzymer til stede. Hvis man er heldig, kan man i en mose med stillestående vand se bobler på overfladen, der er ”sumpgassen” metan. Samme slags metanogene bakterier som findes i moserne og på havbunden lever i maverne på køer og andre drøvtyggende dyr. Her hjælper de dyrenes fordøjelse ved at nedbryde f.eks. græs og hø som ellers ikke kan fordøjes. Det er også derfor køer bøvser metan ud. Der findes også metanogene bakterier i rismarker og på gamle lossepladser, så de kan også være kilder til metanforurening.

Spørgsmål:

Benyt læringsmodulet om Olie og Gas https://www.nbvm.no/dk/oil_gas_dk.html og læs de to afsnit: Kulbrinter og Fra plankton til olie og gas. Svar derefter på spørgsmål a-e:

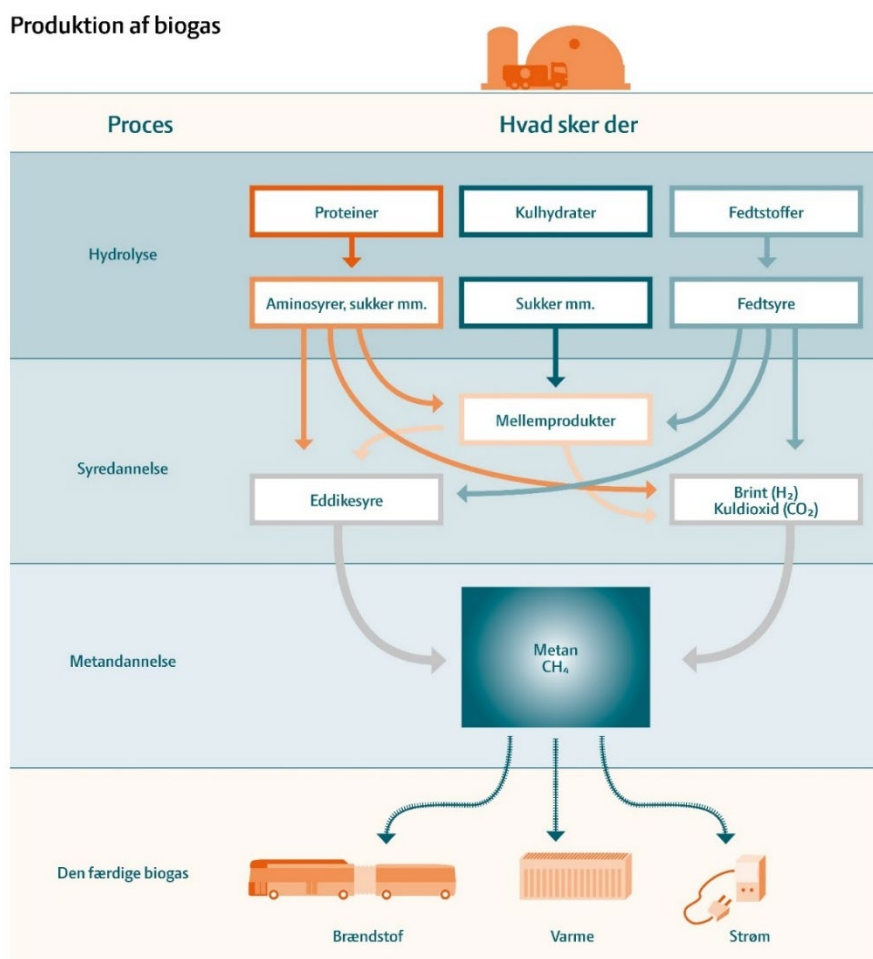
- a) Hvad er metan for et stof, hvilke grundstoffer består det af? Hvilke andre gasser findes som energikilder – hvad består f.eks. lightergas af?
- b) Hvor dannes metan naturligt?
- c) Hvilke betingelser skal være opfyldt for, at der kan dannes metan ud fra organisk materiale?
- d) Dannes metan i biogas på samme måde som i naturgas fra undergrunden? Forklar eventuelle forskelle.
- e) Metan er også en drivhusgas, forklar hvorfor den kan være mere problematisk end kul-dioxid, benyt begrebet CO₂-ækvivalenter.
- f) Hvis relevant: Forklar hvad en drivhusgas er, og hvordan drivhuseffekten i det hele taget fungerer. Hvad ville Jordens temperatur være, hvis der ikke var nogen drivhuseffekt?
- g) Undersøg atmosfærens metanindhold og udviklingen i det, så langt tilbage som I kan finde data. Hvor meget metan har der tidligere været i Jordens atmosfære, og hvor

meget er der i dag? Benyt eventuelt de to grafer øverst på denne side:

https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/

Fælles:

- h) Læs nyheden <https://www.dlg.dk/Om-DLG/Presse/Nyheder/2019/09/tang-i-kvaegfoder>
- Hvordan kan tang medvirke til at reducere problemet med landbrugets udledning af metan?
 - Hvad kræves der af henholdsvis forbrugere og landmænd for at mulige resultater fra forskningen kan føre til miljø-gevinster?
- i) Bonus-opgave: Benyt figuren herunder til at forklare de forskellige trin i nedbrydningen af det organiske materiale og dannelsen af metan.



Figur 10: Produktion af biogas. Fra Økologi for Gymnasiet.

Modul 4: Processer på biogasanlæg

Gruppearbejde:

Læs nedenstående tekst og svar på spørgsmålene:

I biogasanlæg bruges først og fremmest affald fra landbrugets husdyrproduktion, på Nature Energys anlæg cirka 80% af den samlede biomasse. Dette affald er mest husdyrenes gylle blandet med halm. Råmaterialet til biogasanlæg kan som vist i figur 12 herunder også være affald fra mejerier, organisk husholdningsaffald, fiskeaffald og biologisk nedbrydeligt industriaffald. Denne industrielle biomasse har dog et meget større gaspotentiale, så den ender med at give op mod 80% af den gas der fremstilles. Desuden har man længe brugt slam fra rensningsanlæg med højt indhold af organiske materiale til at lave biogas – det kan faktisk føre til at hele sektoren med vandforsyning og -rensning bliver selvforsynende med energi. Det kan desuden være praktisk at tilsætte forskellige energiafgrøder, der er dyrket direkte for at blive brugt til biogas, majs er en typisk sådan afgrøde. Gassen i et biogasanlæg dannes i store, lufttætte tanke, hvor det er muligt at opretholde et miljø, som giver de *metanogene* bakterier de bedst mulige betingelser. Det er samme slags bakterier som i naturen laver sumpgas. Temperaturen i tanken skal være fra 40 til 50° C, surhedsgraden skal være stabil, og forgasningen skal ske under anaerobe forhold, altså uden ilt.



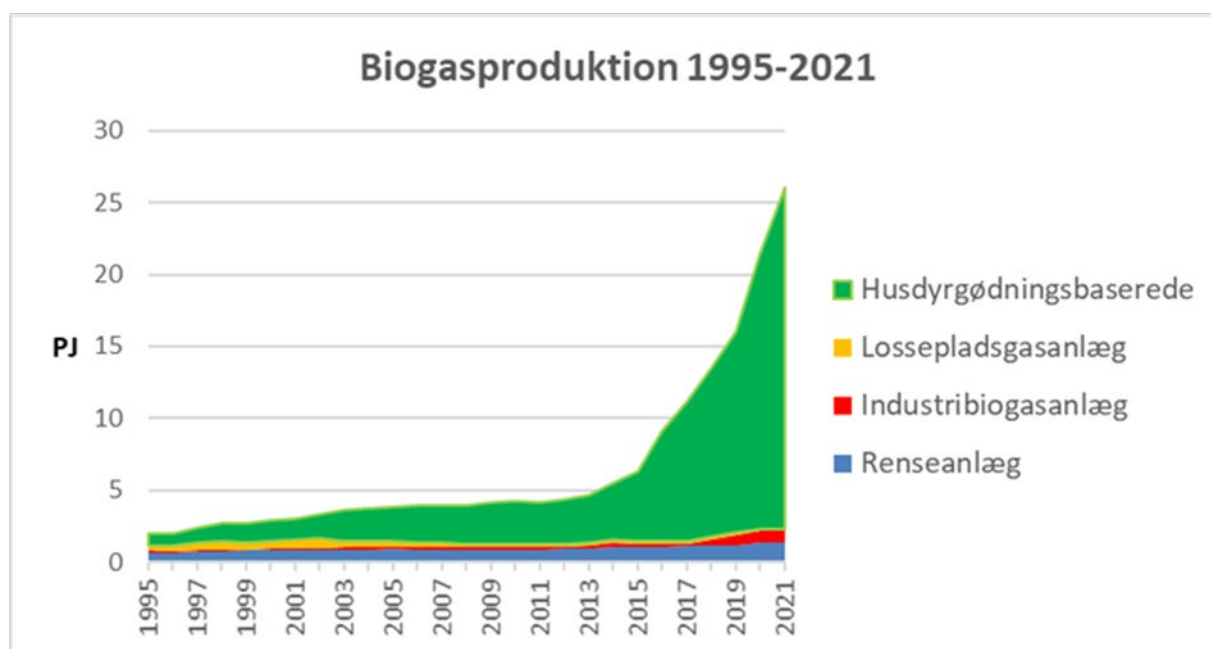
Figur 11: Principper i et biogasanlæg. Fra Nature Energy.

Et biogasanlæg består i hovedreglen af en række tanke, bl.a. en såkaldt fortank og en reaktor-tank. I fortanken bliver husdyrgødning (gylle), halm (enten tilsat eller fra stalde med dybstrøelse) og organisk affald blandet sammen for at opnå den rette substans.

Herefter sendes det ind i reaktor- eller rådnetanken og varmes op til enten ca. 35-37 grader (mesofil proces) eller ca. 52-54 grader (termofil proces), hvilket har betydning for nedbrydningsprocessens fart og følsomhed. Energikilden til opvarmningen er gas fra anlægget selv!

Temperaturen ved den mesofile proces er som vores kropstemperatur, så her skal man passe på, at der ikke sker opblomstring af skadelige bakterier som salmonella. Den termofile drift er hurtigere end den mesofile, da en højere temperatur fremskynder nedbrydningen, men den er samtidig mere følsom over for kvælstofindholdet. På Nature Energys anlæg benyttes en termofil proces med en temperatur på cirka 50 grader.

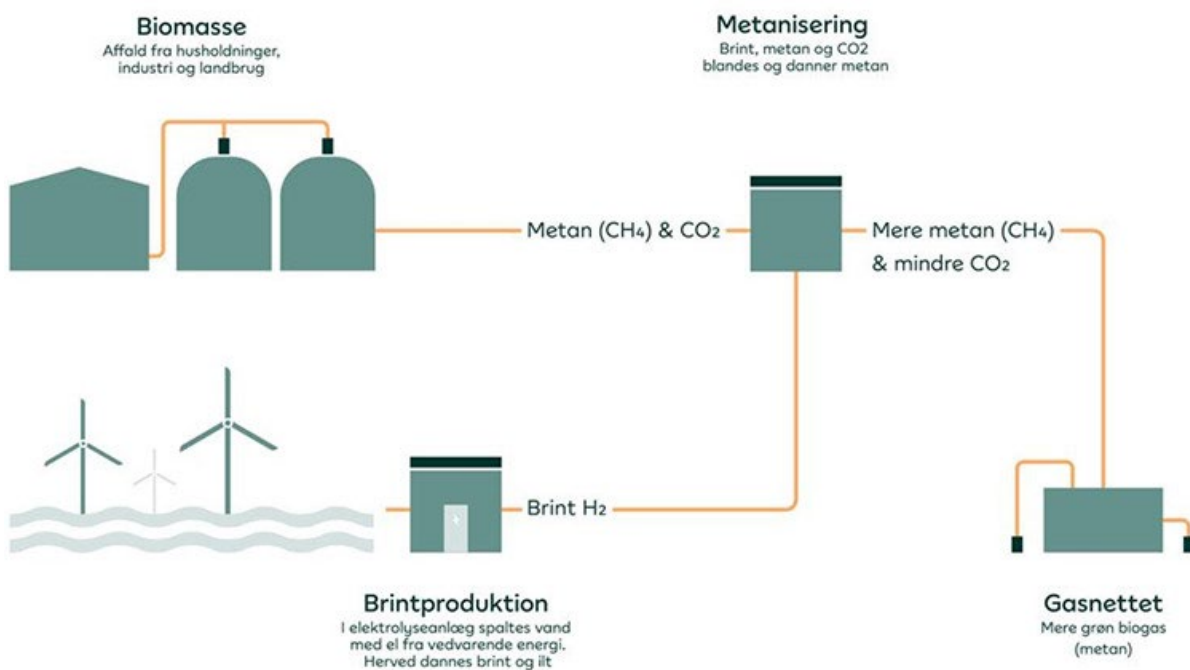
Fremstillingen af biogas kan sammenlignes med bagning af surdejsbrød, hvor det er vigtigt at have en god surdej til start – det vil sige en god bakteriekultur som kan tygge sig igennem nogle af kulhydraterne i dejen. I et biogasanlæg er det også vigtigt at have den rigtige bakteriekultur, så når et nyt anlæg startes op sker det typisk med et par tusind tons materiale fra en reaktortank på et eksisterende anlæg. F.eks. har det nye kommende biogasanlæg i Anaergia Tønder har netop hentet 1700 tons podning i Ribe til opstart af deres nye store anlæg (nyhed her: <https://ribebiogas.dk/ribe-biogas-a-s-leverer-podemateriale-til-endnu-et-nyt-biogasanlaeg/>)



Figur 12: Danmarks biogasproduktion vokser, og udgjorde i 2021 knapt 4% af det samlede energiforbrug på 703 PJ. Fra Landbrug og Fødevarer.

Den biogas der kommer ud fra nedbrydningsprocesserne, vil typisk bestå af 60% metan og 40% kuldioxid. Hidtil har man betragtet kuldioxiden som et spildprodukt, men den kan faktisk også ses som et råstof, da den kan indgå i fremstillingen af forskellige brændstoffer ved Power-to-X metoder. Her bruges elektricitet (helst når den er billig fordi solen skinner og vinden blæser) til at lave brint ved *elektrolyse* hvor vand ved hjælp af el spaltes i ilt og brint. For at denne brint kan bruges i eksisterende forbrændingsmotorer, skal den indgå i kulbrinter som f.eks. metan, og kulstoffet til dette kan sagtens komme fra kuldioxiden fra et biogasanlæg. Processen kaldes så *metanisering*, da CO₂'en omdannes til CH₄ ved reaktion med brint (H₂). Kemisk set: $4 H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

Herved kan biogas via en omvej gøre el fra vindmøller lagerbar i form af metan i gasnettet.



Figur 13: Princippet i metanisering. Fra Nature Energy

Biogassen kan bruges lokalt, hvor den produceres til at lave elektricitet, som kan sælges via el-nettet på samme måde som el-produktion fra vindmøller eller solceller. Hermed udnytter man dog kun en del af energien, da den varme der dannes ved forbrænding, vil gå til spilde, hvis ikke er der behov for varmt vand nær ved, typisk til fjernvarme. En løsning er et sende metanen ud i det nationale naturgasnet, noget der allerede sker i stort omfang, i 12 måneder frem til februar 2023 dækkede biogas 36% af det danske gasforbrug, målt i energienheder (se aktuelle tal her <https://energinet.dk/gas/biogas/>). Det forudsætter dog, at gassen renses, så den lever op til nogle skrappe kvalitetskrav til det, der sendes ind i naturgasnettet.

Restproduktet fra rådnetanken, det afgassede materiale gemmes indtil det kan bringes tilbage til markerne, hvor nogle af planterne vokse. Herved sendes næringsstoffer retur til den jord, som de blev hentet fra. Restproduktet er lige så flydende som den gylle, der kom til anlægget, så det siver hurtigt et stykke ned i jorden, hvor det kan fungere som gødning.

Spørgsmål:

- a) Hvilke materialer/råstoffer indgår i produktionen på et biogasanlæg?
- b) Hvilken slags organismer bidrager til de processer, der danner metan på anlægget?
- c) Hvorfor er det vigtigt at have en konstant, ret høj temperatur i reaktortankene på et biogasanlæg?
- d) Hvad sker der med den kuldioxid, der kommer som et biprodukt i biogasanlæg? Hvad kan man frem over bruge denne gas til?
- e) Benyt figur 12 til at forklare processerne og stofstrømmene på et typisk biogasanlæg.

Paropgave:

Lav en eller begge

- f) Regneøvelser herunder. Kommer der mest energi fra en kvæg- eller et svinebrug?

Et gennemsnitligt landbrug med **malkekvæg** har i dag lidt over 200 køer, så vi regner med 200.

En typisk dansk malkeko spiser i dag cirka 60 kg foder (op til 80 kg hvis den er på græs) drikker 100 liter vand og producerer 30 liter råmælk i døgnet. Hvis koen ikke skal tage på, så skal der noget ud i den anden ende, dog ikke det hele, da en vis del fordamper, så der er cirka 40 kg gylle per ko per dag tilbage. Indtil nu har det mest almindelige været at samle denne gylle i en gyllebeholder på gården og køre den ud som gødning, når der var brug for det på markerne. Nu indgår den i større omfang i produktionen af biogas.

- a) Beregn hvor mange ton (1000 kg) gylle en gennemsnitlig gård kan levere på et år.

Det antages, at et ton af denne gylle kan give 15 kubikmeter metan.

- b) Beregn hvor meget metan gyllen fra gården kan give.

Det vides, at en kubikmeter metan har et energiindhold på 10 kWh.

- c) Beregn hvor meget energi, der kan trækkes ud af gyllen fra gården.

Hvis dette metan bruges til at producere elektricitet, sker det typisk med en virkningsgrad på 45%.

- d) Hvor meget energi i form af elektricitet kan der produceres?

En typisk dansk husstand bruger 5000 kWh elektricitet om året.

- e) Hvor mange husstande kan gården forsyne med elektricitet via biogas?

Et gennemsnitligt landbrug med **svin** har i dag omkring 3000 dyr.

En typisk dansk gris til slagting spiser i dag cirka 2,5 kg foder per dag og drikker cirka 3 liter vand. Så grisen leverer cirka 5 kg gylle per dag. Indtil nu har det mest almindelige været at samle denne gylle i en gyllebeholder på gården og køre den ud som gødning, når der var brug for det på markerne. Nu indgår den i større omfang i produktionen af biogas.

- a) Beregn hvor mange ton (1000 kg) gylle en gennemsnitlig gård kan levere på et år.

Det antages, at et ton af denne gylle kan give 14 kubikmeter metan.

- b) Beregn hvor meget metan gyllen fra gården kan give.

Det vides, at en kubikmeter metan har et energiindhold på knapt 40 MJ eller 10 kWh.

- c) Beregn hvor meget energi, der kan trækkes ud af gyllen fra gården.

Hvis dette metan bruges til at producere elektricitet, sker det typisk med en virkningsgrad på 45%.

- d) Hvor meget energi i form af elektricitet kan der produceres?

En typisk dansk husstand bruger 5000 kWh elektricitet om året.

- e) Hvor mange husstande kan gården forsyne med elektricitet via biogas?
f) Hvordan kan man øge virkningsgraden, altså trække mere energi ud af naturen end de cirka 45%, som man får ved at generere elektricitet?

- g) Se denne video om et mindre anlæg ved den dansk provinsby

<https://youtu.be/kqZPgSR2c9s>

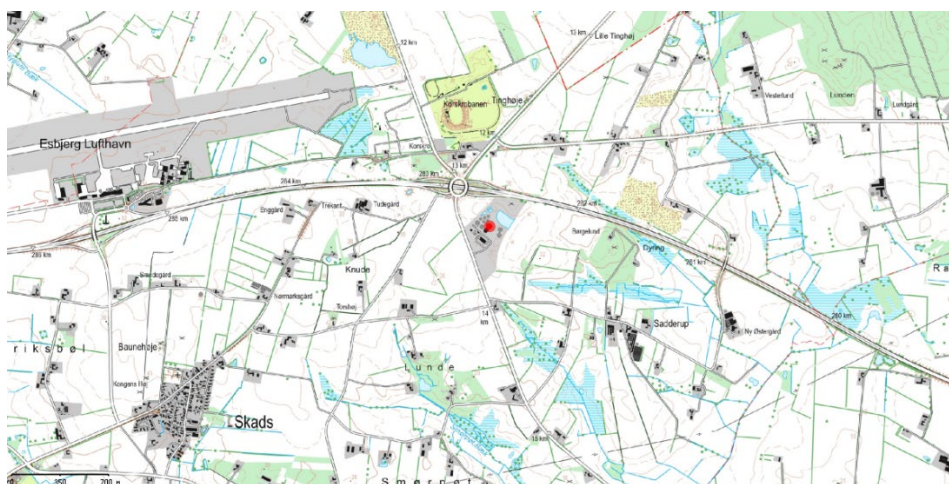
- Stemmer det, der siges i videoen med det, som I har lært hidtil? Hvor ligger Spjald, hvor mange indbyggere er der?

- Kan man forestille sig tilsvarende løsninger i alle danske byer?

Forberedelse til virksomhedsbesøg:

Find det anlæg som I skal besøge på kort, benyt f.eks. <https://sdfikort.dk/spatialmap>. Se guide til anvendelse i bilag 2.

- Markér anlæggets placering.
- Find de fem største gårde, der ligger tættest på og marker disse
- Ligger anlægget godt/centralt i forhold til disse gårde?
- Lav evt. et "luftfoto" af det anlæg, som I skal besøge ved hjælp af SDFI's skråfoto.



Figur 14: Eksempel på kort (1:25.000 layout), der viser placeringen af det store biogasanlæg ved Korskroen udenfor Esbjerg. Man kan f.eks. markere anlægget med en rød cirkel og de gårde der leverer råmateriale med grønne prikker. Fra SDFI-kort.



Figur 15: Eksempel på skråfoto af det store biogasanlæg ved Korskroen udenfor Esbjerg. Der er adgang til skråfoto i kortviseren fra figuren ovenfor, så I har mulighed for at have et tilsvarende billede af det anlæg, som I skal besøge. Fra SDFI-kort.

Modul 5: Besøg på biogasanlæg

HUSK:

- Sørg for at få stillet dine forberedte spørgsmål
- Tag noter
- Tag billeder, der hvor det er tilladt (husk at spørge om lov).
- Husk påklædning efter vejret og fornuftigt fodtøj.

Modul 6: Opsamling

I skal her arbejde med en sammenfatning af det stof, som er blevet gennemgået i forløbet og jeres egne observationer. En afsluttende opgave kan have dette indhold, opgaven defineres nærmere af jeres lærer:

- Hvordan indgår biogasproduktion i kredsløbet af kulstof (kuldioxid) og af næringsstoffer som kvælstof og fosfor? I kan her inddrage data fra noteringen af jeres egne husholdningers bidrag til kildesorteret organisk renovation (lektionen fra Modul 2).
- Beskriv opbygningen af et biogasanlæg og de processer der foregår der – illustrer med billeder fra jeres besøg på et anlæg. I kan her inddrage observationer og billeder fra øvelsen med at lave jeres egne biogas.
- Indsæt kort der viser anlæggets og leverandørernes beliggenhed og skråfoto, der viser anlægget set oppefra.
- Diskutér mulighederne for at biogas kan give et væsentlig bidrag til Danmarks energiforsyning og hjælpe med at opfylde målet om klimaneutralitet i 2050, og i så fald på hvilken måde.

Da fokus i dette undervisningsforløb er naturgeografi/geovidenskab, så forventes det, at I forholder jer til følgende i besvarelsen: Kulstofkredsløbet, fossile og vedvarende energikilder, stofstrømme i forbindelse med landbrug og fødevarer, herunder planternes behov for næringsstoffer og naturligvis med dannelse af metan under naturlige og industrielle forhold.

Bilag 1: Øvelsesvejledning til fremstilling af biogas¹

Formål: At undersøge produktionen af biogas fra kartofler

Materialeliste:

- 150 g uvaskede kartofler
- Vægt
- Tændstikker
- Målebånd/lineal
- 2 laboratoriestativer
- 2 stk. cylinderrør (Ø 34 mm, L 30 cm)
- Konisk kolbe 500 ml
- Hoffmann slangeklemme
- Pipetteglas 150 mm
- Gummiprop med 2 huller
- 3 gummipropper med 1 hul
- 3 gummislanger
- 4 korte glasrør (Ø 6 mm, L 10 cm)
- Langt glasrør (Ø 6 mm, L 30 cm)



Figur 16: Opstilling af biogasanlæg

¹ Kilde: [122000_biogasanlg_-_velsesvejledning_-_gymnasie\(1\).pdf](#). Scandidact.

Opstilling af biogasanlæg:

Se figur 17

Sektion 1:

- 150 g kartofler med jord skæres i små tern og fyldes i kolben (OBS: de skal ikke vaskes først!).
- Fyld med vand til 500 mL-mærket og rør rundt i kolben.
- Sæt et kort glasrør i en prop med 1 hul og sæt en lang slange herpå.
- Sæt proppen i kolben.

Sektion 2:

- Sæt et kort glasrør i en gummiprop med 1 hul og sæt slangen fra kolben (del 1) herpå.
- Sæt gummiproppen i et cylinderrør.
- Sæt cylinderrøret fast i et laboratoriestativ med proppen nedad.
- Fyld cylinderrøret med vand.
- Saml en gummiprop med 2 huller med et kort og et langt glasrør. Det lange rør skal kunne nå ned til bunden af cylinderrøret.
- Sæt en kort slange med en glaspipette på det korte glasrør.
- Luk slangen med en klemme.
- Sæt en lang slange på det lange glasrør.
- Sæt proppen på det store glasrør.

Sektion 3:

- Sæt et kort glasrør i en prop med 1 hul.
- Sæt proppen i bunden af et cylinderrør (gerne med mL-mål på siden).
- Sæt cylinderrøret op i et laboratoriestativ med proppen nedad.

- Den lange slange fra del 2 sættes på det korte glasrør i bunden.

Sæt opstillingen så kolben står over en radiator eller i et 37 graders varmeskab i 1-2 uger. Det er en god idé at stille opstillingen et sted, hvor der er god udluftning for at undgå lugtgener.

Test af biogasanlæg:

Efter 1-2 uger kan bakterier fra jorden på de uvaskede kartofler have dannet biogas. Der skulle gerne være vand i cylinderrøret i Sektion 3. Vandet kommer fra cylinderrøret i Sektion 2, fordi biogassen i kolben i Sektion 1 har skubbet vandet videre.

- Mål hvor meget gas, der er dannet ved at måle, hvor meget vand der er flyttet over i cylinderrøret i Sektion 3. Mål det enten med mL mål på røret eller med en lineal.
- I har kun ét forsøg til at teste den producerede gas, så vær klar med en tændt tændstik foran glaspipetten i Sektion 2, når I forsigtigt åbner for klemmen.
- Hvis flammen slukker, har I produceret kuldioxid (CO₂)
- Hvis gassen brænder med en lille blå flamme, har I produceret biogas (metan)

I kan eventuelt teste, om der er bakterier i kolben i Sektion 1, ved at undersøge vandet under et mikroskop.

Arbejdsspørgsmål:

1. Hvilken farve har flammen, og hvor længe brænder den?
2. Omregn mængden af produceret gas til kubikcentimeter (cm³).
3. Lav en graf der viser biogasproduktionen som funktion af tid, dvs. med biogasproduktionen i cm³ på 2. akse og tiden i dage på 1. akse
4. Hvorfor kan biogas defineres som biobrændsel?
5. Diskuter effekten af at bruge biogas i stedet for naturgas til afbrænding i produktionen af varme og elektricitet ift. kulstofkredsløbet, landbruget og drivhuseffekten.
6. Hvilke næringsstoffer er tilbage i gødningen, når biogassen er udvundet?

Bilag 2: Guide til SDFI's kortviser

Lav et kortudsnit og markér en eller flere positioner

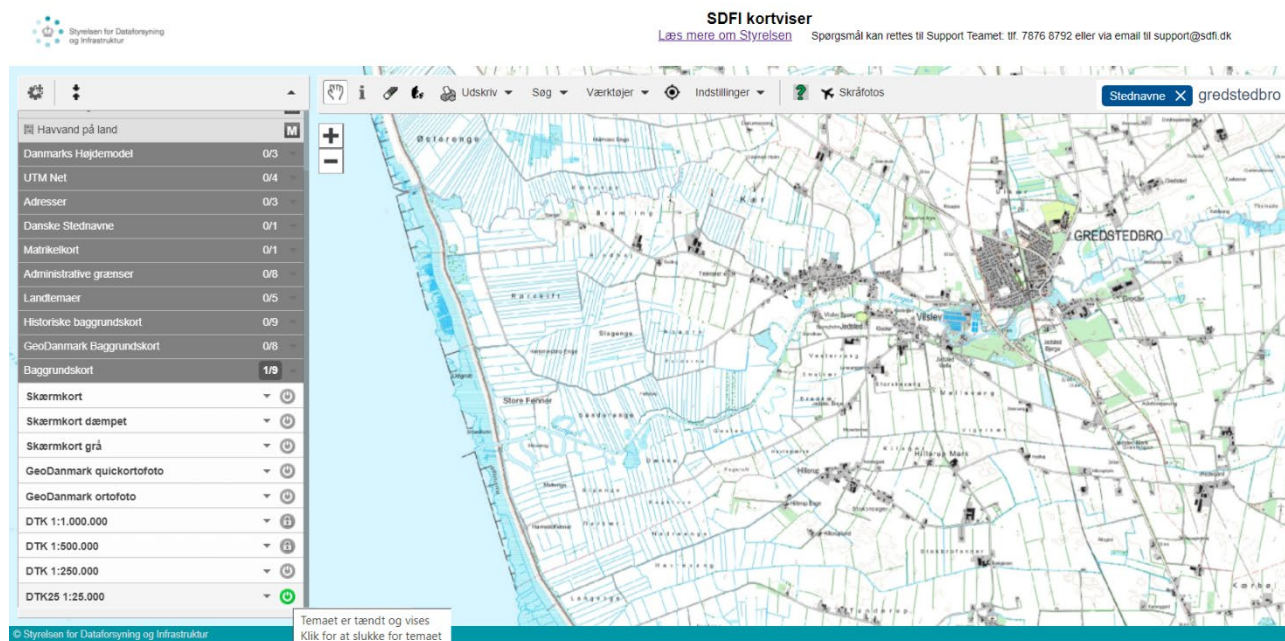
Åbn siden <https://sdfikort.dk/spatialmap>

Find det område som du vil arbejde med.

Zoom ind og ud ved hjælp af plus- og minus-symbolerne eller musen og panorér rundt i kortet med hånd-symbolet.

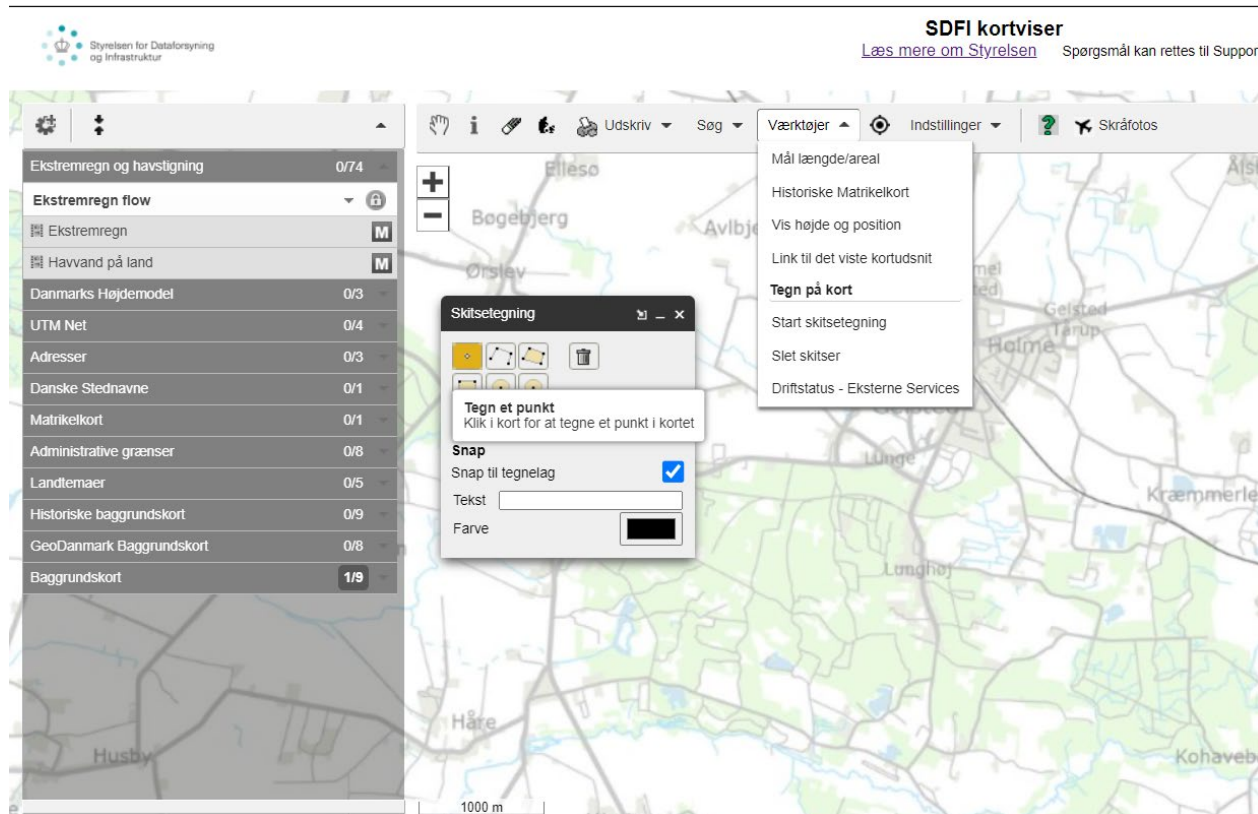
Søg evt. på stednavn og adresser i feltet øverst til højre. Her kan det ofte svare sig at folde gruppen Stednavne ud, hvis man f.eks. skal finde en bestemt by. Fremhævede elementer på kortet ”slukkes” ved at trykke på viskelæder/tryllestav-ikonet (indsætte figur, der også viser dette?).

Brug venstre side af skærmen til at folde den temagruppe ud, som du vil vise et kort fra – her er valgt Baggrundskort. Klik på den type kort som skal vises, her 1:25.000 (4 cm) -kortet.



Tegn og afsæt symboler på kortet via menupunktet Værktøjer – Tegn på kort.

Gå til Start skitsetegning og vælg om, der skal tegnes punkter, linjer eller polygoner (markering af områder):



Klik på kortet for at afsætte punkter eller tegne linjer mm. Bemærk, at det er muligt at skifte farve undervejs og at kombinere f.eks. punkter og linjer.

Lav et kortudsnit til brug i rapport eller præsentation ved at vælge menupunktet Udskriv og Eksportér kortudsnit.

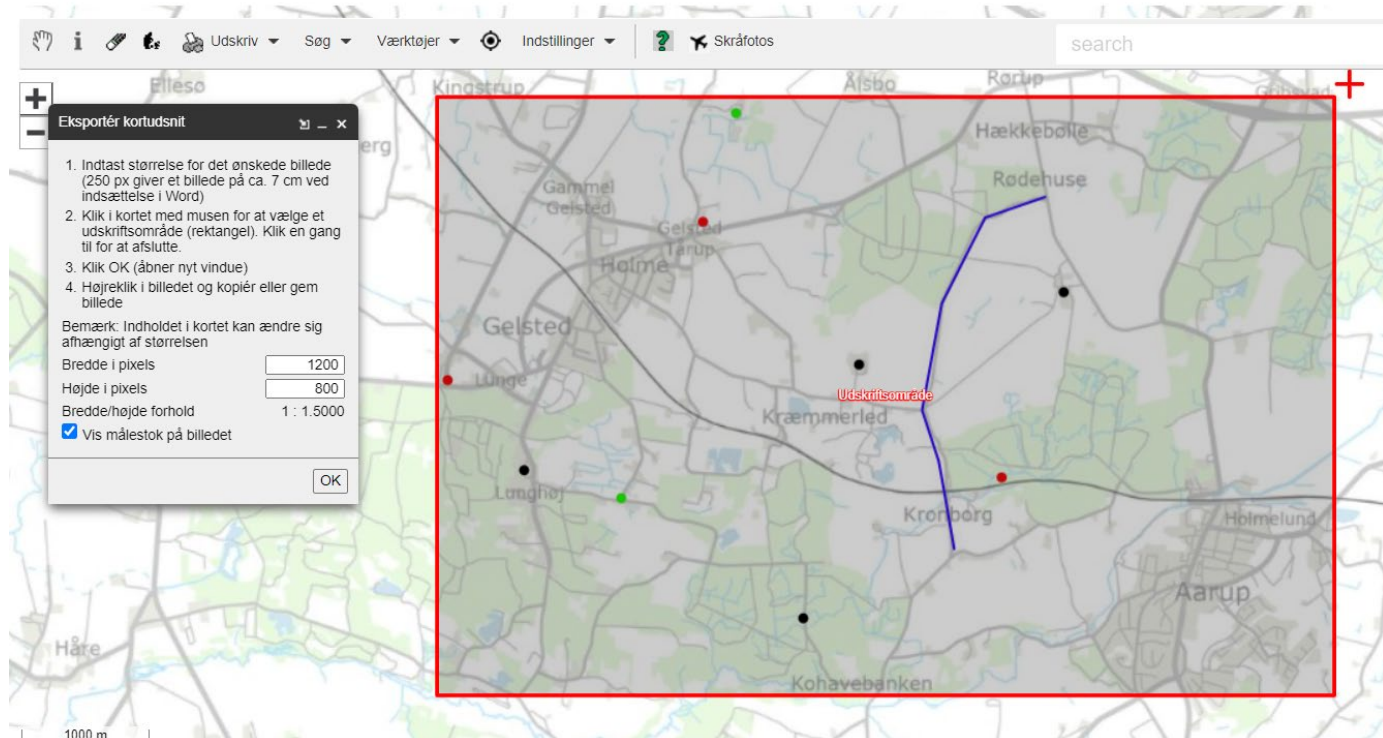
Angiv størrelsen af udsnittet (bredde og højde i pixels) og afgræns det ved at klikke på to ønskede hjørner i kortet:

Tryk OK og det valgte kortudsnit åbnes som et billede på et ny faneblad i browseren.

Gem som en grafikfil eller kopier direkte over og indsæt, hvor det skal bruges.

SDFI kortviser

[Læs mere om Styrelsen](#) Spørgsmål kan rettes til Support Teamet: tlf. 7876 8792 eller via email til support@sdfi.dk



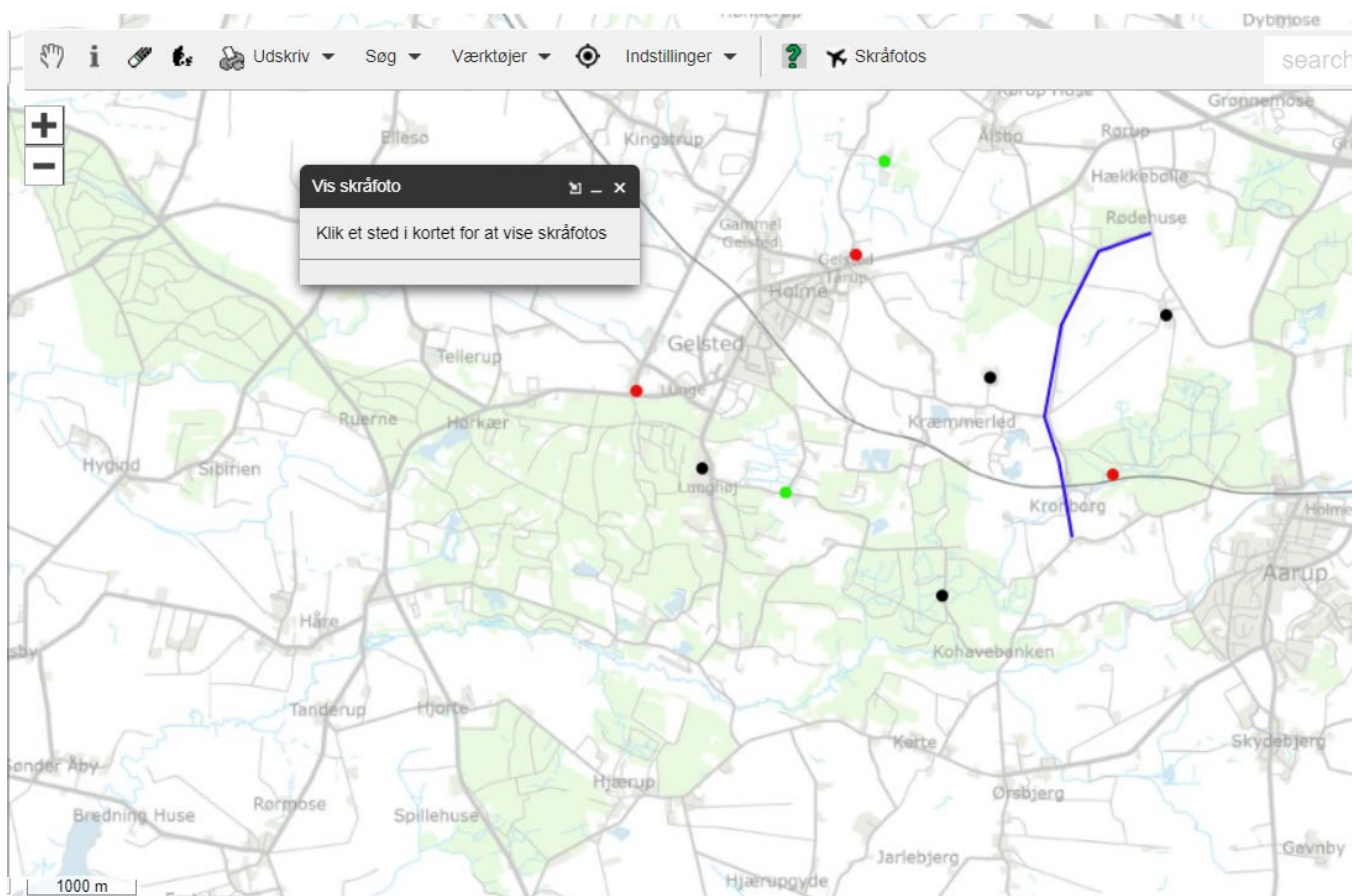
Hent skråfoto af udvalgt sted

Start kortviseren ved at vælge menupunktet skråfoto, det med fly-symbolet.

Klik på det sted i kortet, som du vil se skråfoto fra. En oversigt åbnes i et nyt faneblad (næste figur).

SDFI kortviser

[Læs mere om Styrelsen](#) Spørgsmål kan rettes til Support Teamet: tlf. 7876 8792 eller via email til :



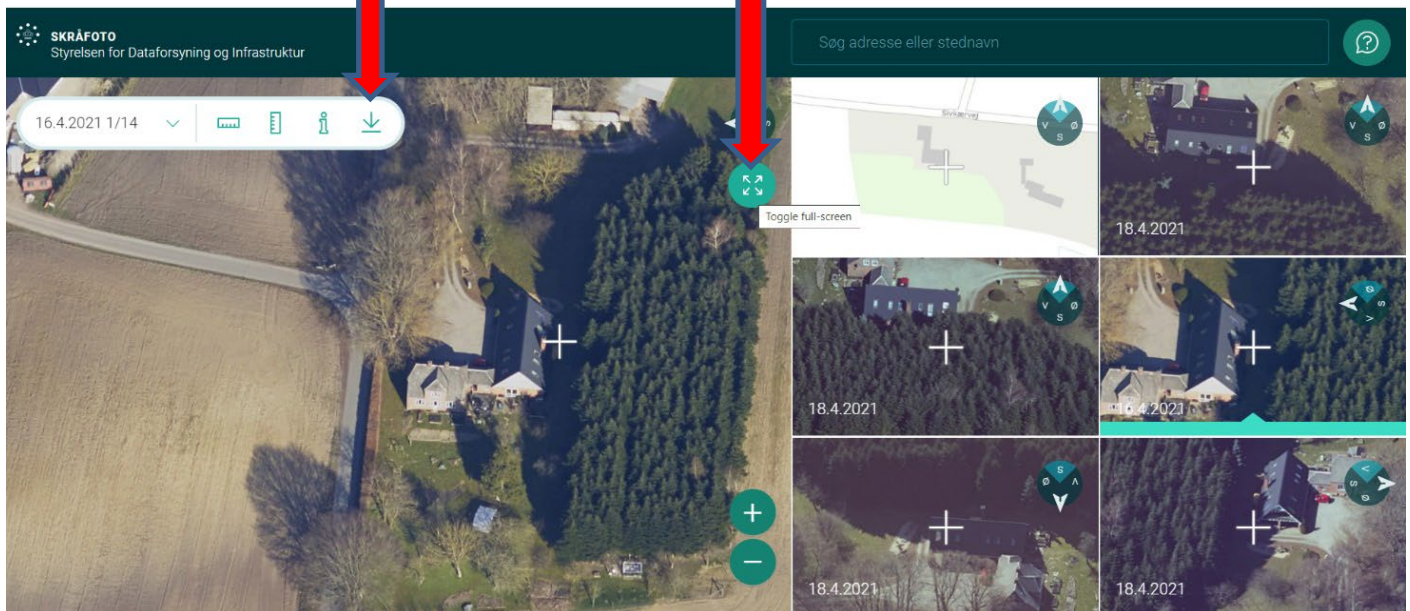
I eksemplet her er der klikket på den grønne prik cirka midt i kortet.

Vælg mellem forskellige synsvinkler og måske også mellem billeder fra forskellige datoer. Det valgte billede ses i vinduet til venstre på siden.

Download billede og brug et billedbehandlingsprogram til at lave det udsnit, som du skal bruge.

Tryk her for at downloade billedet
(det bliver en stor fil, typisk 25 til
35 MB)

Tryk her for fuldskræms-
visning



Hele det hentede skråfoto kan se sådan her ud:



Og det relevante udsnit sådan her:



Referencer:

Figur 1: <https://skole.lf.dk/oekologiforgymnasiet/oekologiforgymnasiet/biologi/naeringsstoffer-i-det-oekologiske-landbrug>

Figur 2: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

Figur 3: Illustration af Anders Brinckmeyer for DA Åben Virksomhed

Figur 4: <https://da.wikipedia.org/wiki/Trevangsbrug#/media/Fil:Trevangsbrug.png>

Figur 5: <https://skole.lf.dk/oekologiforgymnasiet/oekologiforgymnasiet/biologi/naeringsstoffer-i-det-oekologiske-landbrug>

Figur 6 & 7: Illustrationer af Anders Brinckmeyer for DA Åben Virksomhed, inspireret af kompendiet Dansk Landbrug, Udvikling i produktion og kulturlandskaber af K.M. Jensen og A. Reenberg 1980.

Figur 8: <https://skole.lf.dk/oekologiforgymnasiet/oekologiforgymnasiet/naturgeografi/recirkulering-af-ressourcer-i-oekologisk-produktion>

Figur 9: Myhre, G.; Shindell, D.; Bréon, F.-M.; Collins, W.; et al. (2013). "Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing" (PDF). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 659–740.

Figur 10: <https://skole.lf.dk/oekologiforgymnasiet/oekologiforgymnasiet/naturgeografi/recirkulering-af-ressourcer-i-oekologisk-produktion>

Figur 11: Udlånt af Nature Energy

Figur 12: <https://lf.dk/viden-om/klima/hvad-er-biogas>

Figur 13: Udlånt af Nature Energy

Figur 14: <https://sdfikort.dk/spatialmap>

Figur 15: <https://sdfikort.dk/spatialmap>

Figur 16: https://www.scandidact.dk/naturfag/aw_pd/file/download/hash/MDozOmlY-VjJ1Z05SUFVPampueGRL.WFNJL0IEY3d1STUwR1VsQUIMWmhOcytldz09/