

# Økologi - danske naturtyper

## Bidstrup et. al. Nucleus 2023

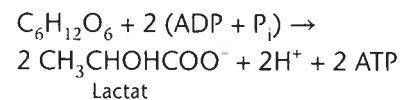
### Anaerob energiproduktion

Nogle organismer kan leve under anaerobe forhold, det vil sige uden at få tilført ilt. Under disse forhold kan den almindelige respiration ikke udføres, og organismerne kan i stedet producere energi anaerobt.

Eksempelvis kan nogle mikroorganismer skaffe sig ilt fra andre uorganiske forbindelser, fx nitrat,  $\text{NO}_3^-$ , eller sulfat,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Processen kaldes for **anaerob respiration**. Det gælder fx bakterier der kan lave denitrifikation. Læs om denitrifikation side 49 og om forskellige former for anaerob respiration i havbunden i kapitlet om havet side 169.

En anden måde at producere energi på under anaerobe forhold er ved gæring. **Gæring** er delvis nedbrydning af organisk stof, og her frigives ikke så meget energi som ved respiration. Grunden til den lavere energifrigivelse er, at der efter gæringsprocessen er dannet et nyt organisk stof der stadig indeholder energi. Denne energi kan frigives hvis der efterfølgende sker en fuldstændig nedbrydning.

Et eksempel på en anaerob gæring er mælkesyregæring der også kaldes lactatgæring. I processen omdannes glucose til pyruvat og videre til mælkesyre og carbondioxid. I en celle, hvor pH er i det neutrale område, vil mælkesyre være omdannet til lactat, og den overordnede reaktion kan beskrives ved følgende reaktionsskema:



Som det kan ses i reaktionsskemaet, dannes der 2 ATP for hvert omdannet glucos molekyle. Det er noget mindre end de 30 ATP der dannes ved omdannelse af glucose i respirationsprocessen. Men hvis der ikke er tilstrækkeligt med ilt til stede, kan forskellige organismer der ellers laver respiration, i stedet danne ATP ved hjælp af glycolysen.

Fx kan mælkesyrebakteriers produktion af lactat udnyttes ved produktion af yoghurt og andre surmælksprodukter.

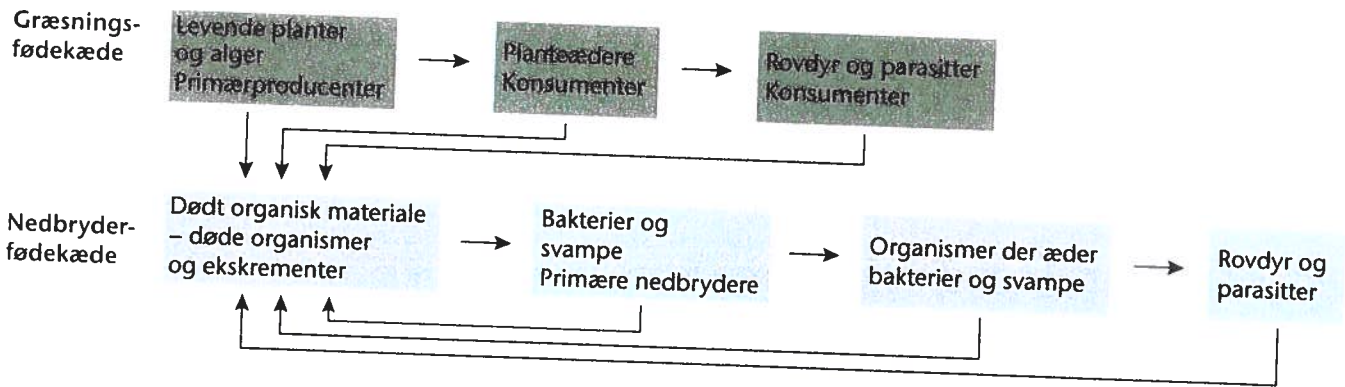
### Fødekæder og energistrømme

Heterotrofe organismer skaffer sig energi gennem føden, og derfor er de heterotrofe organismer i et økosystem afhængige af andre organismer som fødegrundlag. Man beskriver hvem der spiser hvem i et økosystem ved hjælp af en fødekæde eller et fødenet.

#### Fødekæder

I et økosystem sker der hele tiden opbygning og nedbrydning af organisk stof via økosystemets **græsningsfødekæde** og **nedbryderfødekæde**. Figur 34 viser en oversigt over sammenhængen mellem de to typer fødekæder.

I en græsningsfødekæde er første led levende primærproducenter som planter og alger, altså autotrofe organismer. Næste led i græsningsfødekæden er plante-



ædere der æder eller græsser levende planter eller alger.

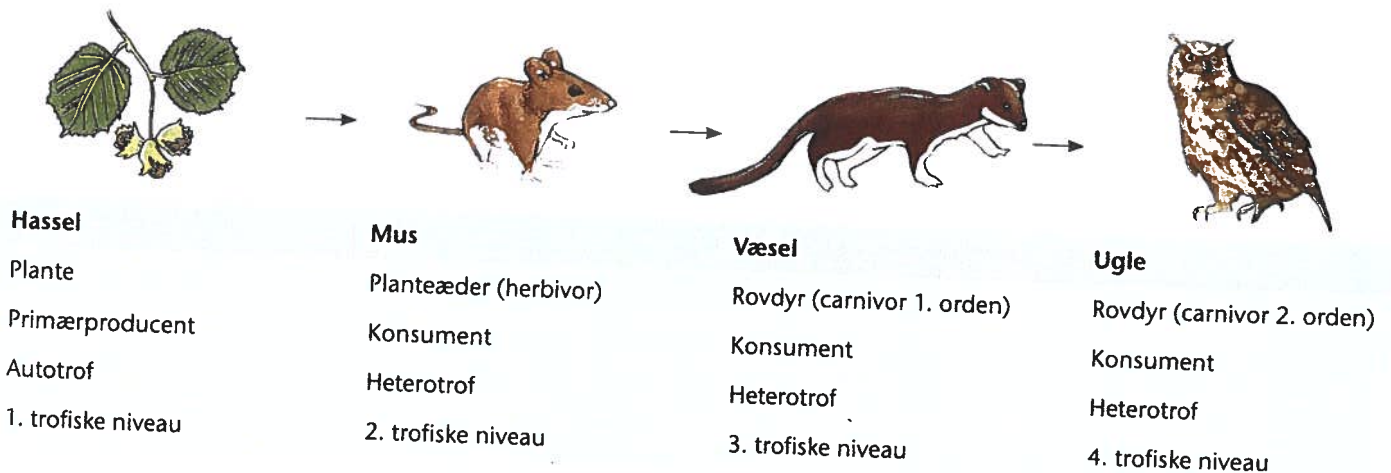
Første led i nedbryderfødekæden er dødt organisk materiale som døde planter og plantedele, andre døde organismer samt ekskrementer. Næste led er organismer der optager og nedbryder det døde organiske materiale. Disse organismer er først og fremmest bakterier og svampe der udgør de primære nedbrydere. Læs mere om nedbrydning og mineralisering på side 42.

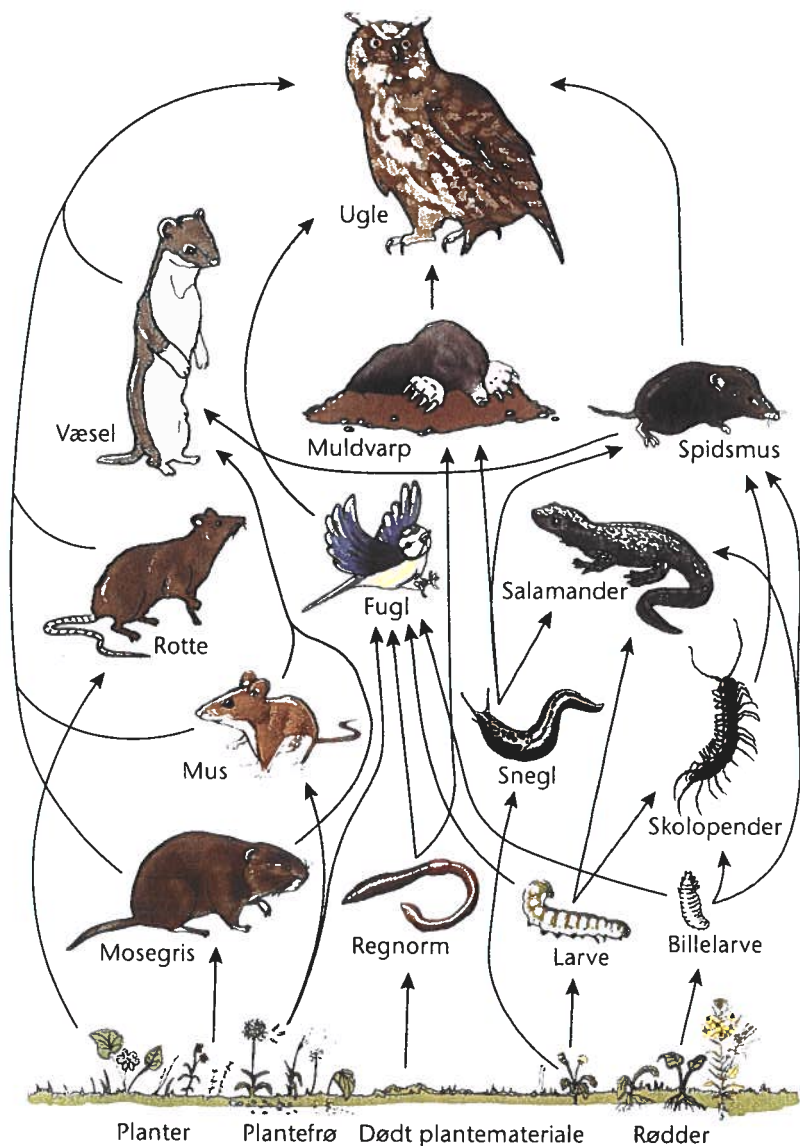
Figur 35 viser en græsningsfødekæde hvor første led er en hasselbusk. Dette led kaldes også det første trofiske niveau. Trofisk niveau betyder ernæringstrin. Det første trofiske niveau indeholder langt større biomasse og dermed mere energi end de næste, idet der mistes energi via respiration fra hvert fødekædeled.

Det andet led på figuren er eksemplificeret med en mus. Dette led i græsningsfødekæden udgøres af planteædere, de kaldes også **herbivorer**. Dette led er det andet trofiske niveau.

Figur 34. Græsningsfødekæde og nedbryderfødekæde. Det første led i græsningsfødekæden er levende planter og alger som laver fotosyntese. Alle organismer dør på et tidspunkt og ender i nedbryderfødekædens første led.

Figur 35. Græsningsfødekæde.





Figur 36. Fødenet.

Det tredje trofiske niveau i græsningsfødekæden er rovdyr af 1. orden, fx væsel. Rovdyr af 1. orden æder herbivorer.

Uglen repræsenterer rovdyr af 2. orden som æder andre, mindre rovdyr. Dette led udgør det fjerde trofiske niveau. Nogle fødekæder kan have et par led mere

hvor det sidste led udgøres af toprovdyrene. Alle organismene, udover dem på første trofiske niveau, er heterotrofe, de kaldes også for konsumenter.

Det gælder ofte at der er mange små individer i de nederste led i fødekæden og få større i de øverste. Eksempelvis har musen mange fjender eller prædatorer, mens uglen har få. Derfor får små mus langt flere unger end store rovfugle som ugler. Rovdyr kaldes også for **carnivorer** som direkte oversat betyder kødædere.

I de forskellige økosystemer æder organismene hinanden på kryds og tværs, og fødekæderne kobles sammen i fødenet som det kan ses på figur 36.

### Energistrømme

Energi strømmer gennem fødekæder. Planter er primærproducenter og dermed grundlag for alle andre levende organismer i et økosystem. Når en mus fx spiser en hasselnød, overføres energi fra nødden til musen. På den måde flyttes energi fra et led i en fødekæde til et andet.

Heterotrofe organismers produktion kaldes for sekundærproduktion, og man taler også her om bruttoproduktion og nettoproduktion. Sammenhængen mellem bruttoproduktion, nettoproduktion og respiration kan skrives på samme måde som for primærproducenterne:

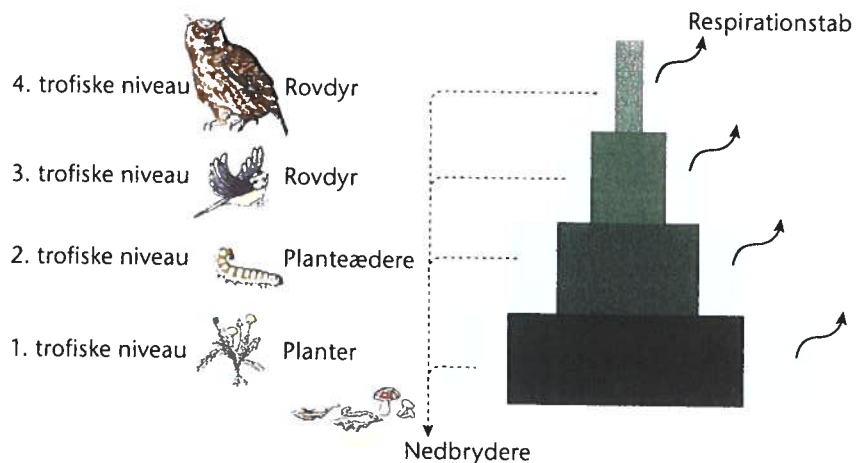
$$BP = NP + R$$

Alle organismer anvender en stor del af den energi de indtager fra føden til respi-

rationsprocessen. På den måde skaffer de sig energi til de energikrævende processer som de skal udføre for at leve. Derfor er det kun en lille del af den energi de får fra føden, som er til rådighed for næste led i fødekæden. Desuden omdannes en del af energien i respirationsprocessen til varmeenergi der afgives til omgivelserne, når energi omdannes fra en form til en anden, fx når den flyttes fra et led i fødekæden til et andet. Energien strømmer på den måde gennem fødekæderne. Den tilføres som lysenergi når planterne laver fotosyntese, og forlader systemet igen som varmeenergi.

På figur 37 ses et eksempel på en **energi-pyramide** for en græsningsfødekæde. Pyramiden viser at der sker et energitab gennem en fødekæde. I hvert trofisk niveau anvendes en stor del af bruttoproduktionen til respiration, og derudover mistes en del til nedbryderfødekæder i form af ekskrementer og dødt organisk materiale. Den energi der er tilbage, er nettoproduktionen, det er den energi som individerne i det pågældende trofiske niveau kan bruge til vækst og formering. På den måde producerer de føde til næste trofiske niveau.

I gennemsnit bliver ca. 10% af energien fra bruttoproduktionen til nettoproduktion, og dermed flyttes ca. 10% energi fra et trofisk niveau til det næste, og den gennemsnitlige **fødekædeeffektivitet** bliver 10%.



I praksis er der store forskelle på fødekædeeffektiviteten i forskellige økosystemer alt efter hvilke organismer der er tale om, og hvilke forhold de lever under. Fx vil mange afgrøder have stor NPP fordi de netop er avlet til at give et stort udbytte, og dyr, der bruger energi på bevægelse, vil bruge mere energi på respiration end planter. På figur 38 ses eksempler på hvor stor en andel af bruttoproduktionen forskellige organismer anvender til nettoproduktion.

Figur 37. Energi-pyramide for en græsningsfødekæde. Organismer der er placeret på samme trin i forhold til primærproducenterne i en fødekæde, siges at være på samme trofiske niveau. Det betyder at de samme arter kan være placeret på flere trofiske niveauer afhængigt af fødevalg.

Figur 38. Fødekædeeffektivitet for forskellige organismer.

Organisme	Fødekædeeffektivitet i %
Planter i agerbrug	Op i mod 90
Planter i naturlige økosystemer, gennemsnit	50
Bakterier	15-65
Gærceller, gennemsnit	45
Forskellige insekter	10-50
Firben	15-20
Fugle	0,5-2
Pattedyr	0,5-3

Makronæringsstoffer		
Grundstof	Optages af planter som	Vigtige funktioner
Carbon, C	CO <sub>2</sub>	Indgår i organiske molekyler som carbohydrater, proteiner, fedtstoffer, nucleinsyrer osv.
Oxygen, O	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	
Hydrogen, H	H <sub>2</sub> O	
Nitrogen, N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>3</sub>	
Svovl, S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Indgår i enkelte aminosyrer (cystein og methionin) og coenzym A
Kalium, K	K <sup>+</sup>	Indgår som cofaktor ved enzymreaktioner
Calcium, Ca	Ca <sup>2+</sup>	Indgår i cellevægge og cellemembraner
Phosphor, P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Indgår i DNA, RNA og phospholipider
Magnesium, Mg	Mg <sup>2+</sup>	Centralt i klorofyl
Mikronæringsstoffer		
Grundstof	Optages af planter som	Vigtige funktioner
Jern, Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Indgår i molekyler som cytochromer og leghæmoglobin
Mangan, Mn	Mn <sup>2+</sup>	
Bor, B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Indgår i forskellige enzymer
Zink, Zn	Zn <sup>2+</sup>	
Kobber, Cu	Cu <sup>2+</sup>	
Molybdæn, Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Chlor, Cl	Cl <sup>-</sup>	
Natrium, Na	Na <sup>+</sup>	

Figur 39. Planter's makronæringsstoffer og udvalgte mikronæringsstoffer, den form de optages på af planter og eksempler på deres funktion.

Principperne i energipyramiden viser også at hvis man producerer planteføde (primærproducenter) i stedet for kød (sekundærproducenter), vil det være muligt at producere større mængder fødevarer på det samme areal fordi man undgår energitabet i de efterfølgende led.

### Grundstoffer cirkulerer i økosystemerne

Næringsstoffer er afgørende for at levende organismer kan vokse. Det organiske stof som primærproducenter laver i fotosyntesen, kan kun bruges til vækst hvis der er adgang til en række nødvendige grundstoffer.

Der er forskel på hvor stort et behov der er for de forskellige grundstoffer, men generelt kan man inddele de stoffer en plante har brug for i makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer efter størrelsen på planternes behov. Makronæringsstoffer er dem der skal bruges i de største mængder, det er bl.a. nitrogen, N, phosphor, P, og kalium, K. Mikronæringsstoffer skal bruges i langt mindre mængder, men de er ikke mindre vigtige for væksten af den grund. Det kan fx være jern, Fe, mangan, Mn, og kobber, Cu. Stofferne optages som ioner, fx nitrat, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Se en oversigt over makronæringsstoffer og udvalgte mikronæringsstoffer og deres funktion i celler på figur 39. Planter optager næringsioner gennem rødderne.

## Optagelse af næringsioner

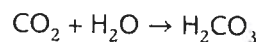
Når næringsioner skal optages fra jorden, er det af stor betydning hvilken ladning ionerne har.

Jord består af sand- og lerpartikler blandet med rester af organisk materiale. Man kalder det organiske materiale i jorden for humus når det er så nedbrudt, at man ikke længere kan se hvad udgangsmaterialet har været. Ler- og humuspartikler i jorden er negativt ladede på overfladen, og de kan derfor binde positive næringsioner som fx ammonium,  $\text{NH}_4^+$ , og magnesiumioner,  $\text{Mg}^{2+}$ . På den måde har jorden mulighed for at indeholde store mængder positive næringsioner.

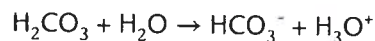
Der er forskel på, hvor kraftigt bundet de forskellige positive ioner er til de negative jordpartikler. Da oxoniumioner,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , er meget kraftigt bundet til jordpartiklerne, kan de fortrænge andre positive ioner som hermed frigives til jordvæsken. Processen hedder ionbytning og er vist på figur 40. Planter udnytter denne proces ved at pumpe oxonium ud i jordvæsken, for på den måde at få frigivet andre næringsioner som dermed kan optages af plantens rødder. Planterne optager næringsioner i rodhårene på rødderne. Rodhår er udvækster på rodcellerne som øger overfladen. Optagelsen af de positive næringsioner sker gennem ionkanaler der tillader bestemte ioner at trænge gennem rodhårenes cellemembran.

Ionbytningen hjælpes endnu mere på vej ved at rodcellerne udskiller carbon-

dioxid fra deres respiration til jordvæsken omkring rødderne. Når carbondioxid reagerer med vand i jorden, dannes carbon-syre,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , ved reaktionen:

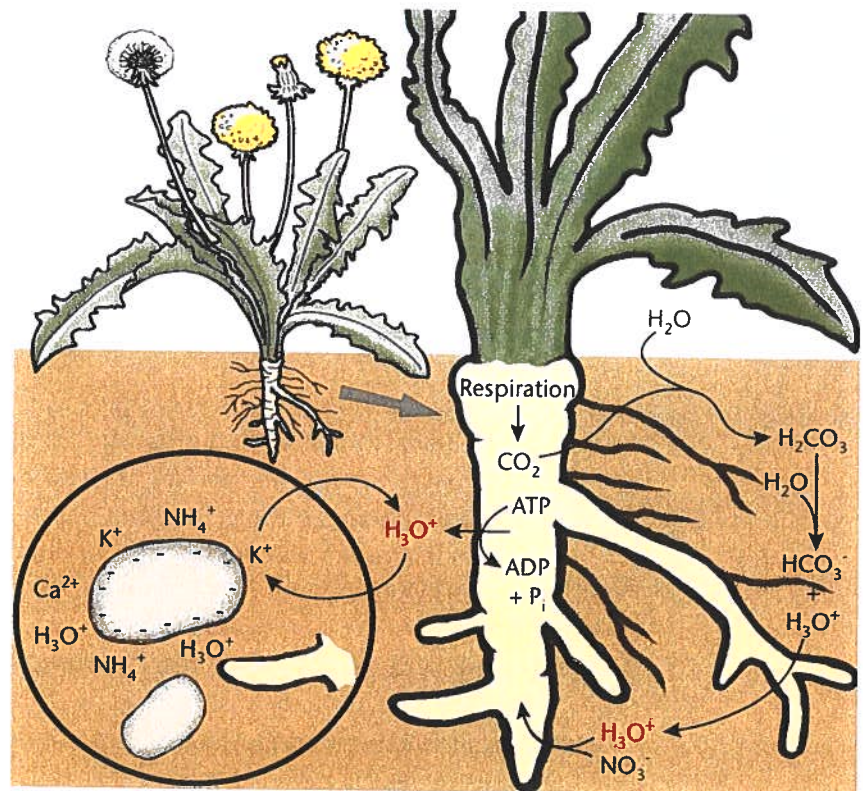


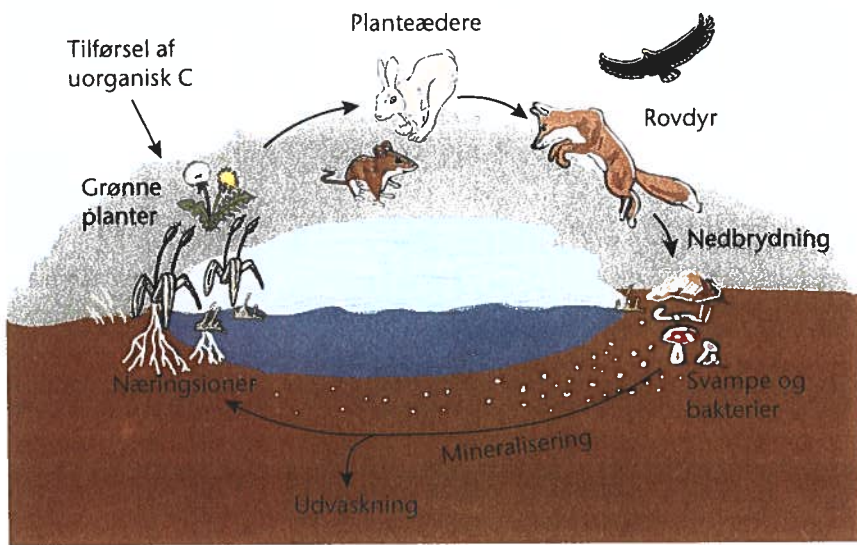
Carbonsyre reagerer med vandet, og der dannes endnu mere oxonium i jordvæsken:



Negative næringsioner som fx nitrat,  $\text{NO}_3^-$ , og sulfat,  $\text{SO}_4^{2-}$ , vil derimod ikke bindes til jordpartiklernes overflader,

Figur 40. Optagelse af næringsioner. Jordpartiklernes negative overflade tiltrækker positive næringsioner. Vha. ionbytning kan planterne øge frigivelsen af de positive næringsioner fra partiklerne, og dermed lette optagelsen af dem.





Figur 41. De generelle principper i et stofkredsløb der får næringsstofferne til at cirkulere i økosystemet.

og de kan derfor meget lettere udvaskes. Udvaskning betyder at næringsioner der er letopløselige i vand, føres med jordvæsken videre gennem jorden, fx når det regner. De negative næringsioner optages i rodhårene ved **symport**, det vil sige at de optages gennem en ionkanal sammen med en positiv ion, fx oxonium.

Nogle næringsioner laver tungtopløselige salte i jorden og vil derfor være svært tilgængelige for planter. Det gælder fx jern(III)ioner,  $\text{Fe}^{3+}$ , og fosfat,  $\text{PO}_4^{3-}$ , der tilsammen danner tungtopløseligt jern(III)fosfat.

I økosystemer cirkulerer grundstofferne, og de kan genbruges gang på gang. Når alger optager næringsioner gennem deres overflade, eller planter optager nærings-

ioner via rødder, bliver grundstofferne indbygget i større organiske molekyler i vævet. Dermed gøres stofferne tilgængelige for planteædere. Stofferne kan således fortsætte gennem fødekæderne når planteædere spises af rovdyr osv.

### Mineralisering

Dødt organisk materiale kaldes også for **detritus**. Når det døde organiske materiale nedbrydes, frigives uorganiske stoffer igen til jorden og luften. Processen hvor dødt organisk materiale nedbrydes til uorganiske stoffer som carbondioxid,  $\text{CO}_2$ , nitrat,  $\text{NO}_3^-$ , fosfat,  $\text{PO}_4^{3-}$ , sulfat  $\text{SO}_4^{2-}$  osv., hedder **mineralisering**. Mineraliseringen foregår ved hjælp af bakterier og svampe der udskiller enzymer, som sætter gang i nedbrydningen.

Mineraliseringen hjælpes på vej af dyr som fx regnorme og bænkebidere i jorden. De findeler materialet og gør det på den måde lettere at nedbryde da materialet får en meget større overflade, hvor enzymer kan komme i kontakt med de stoffer der skal nedbrydes. På den måde bliver grundstofferne igen tilgængelige for planterne i økosystemet. Man taler derfor om **stofkredsløb** hvor stofferne kan bruges igen og igen. Figur 41 viser de generelle principper i et stofkredsløb og de forskellige processer der medfører stoffernes cirkulation i systemet.

I praksis er der stor forskel på hvor stor en del af stofferne der genbruges i det enkelte økosystem – og hvor store mængder næringsstoffer der importeres og ekspor-

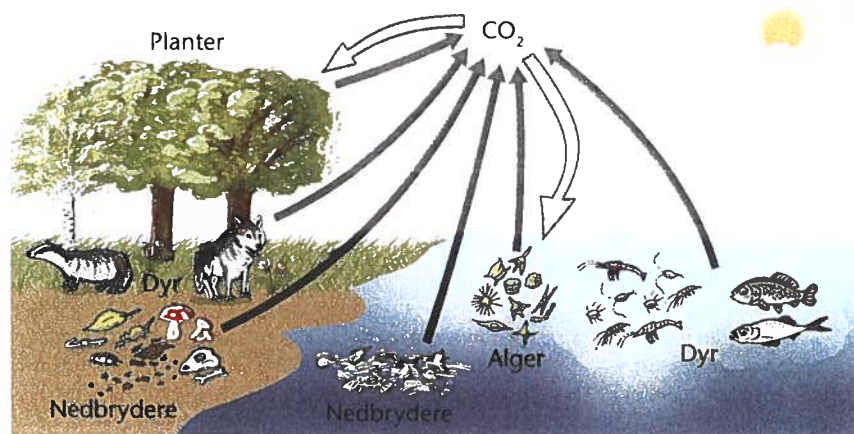
teres til og fra et økosystem. Der er også stor forskel på hvor store mængder næringsstoffer der cirkulerer i systemerne, det vil sige om økosystemer er næringsrige eller næringsfattige.

### Carbons kredsløb

Carbon indgår i alle organiske stoffer og er dermed en vigtig del af levende organismers biomasse. Udover at findes i biomassen, findes carbon også på andre former, fx som carbondioxid i atmosfæren og opløst i havet, og som kalksten, kul og olie i undergrunden. Figur 42 viser hvordan carbon cirkulerer mellem forskellige puljer i et økosystem.

Når planterne optager carbondioxid fra luften og omdanner det via fotosyntesen, flyttes carbon fra uorganiske  $\text{CO}_2$ -molekyler til organiske molekyler i plantevævet. En del af den glucose som planterne producerer, anvendes til respiration. Når planterne respirerer, forbruges glucose, og carbon flyttes på den måde igen til carbondioxid der udskilles til atmosfæren omkring planten. Udover til respiration bruger planten glucose til at opbygge plantevæv. På den måde omdannes carbon fra uorganiske molekyler til alle de forskellige organiske stoffer i planten, dvs. til plantens biomasse.

Når planteædere spiser af planterne, vil de anvende carbon fra plantens biomasse til at vokse og formere sig og til respiration. På den måde vil noget carbon fra plantevævet bruges til planteædernes



vækst, mens andet vil udledes til luften som carbondioxid fra planteædernes respiration. Rovdyr og nedbrydere anvender også organisk carbon til at danne mere biomasse og til respiration. På den måde vender carbon tilbage til atmosfæren som carbondioxid.

Figur 42. Carbons kredsløb.