

næste. Dette gælder for vores hjemlige tempererede terrestriske og akvatiske økosystemer såvel som for polare, subtropiske og tropiske økosystemer.

Primærproduktiviteten i et samfund er den rate hvorved biomasse bliver produceret af planter, dvs. primærproducenterne. **Biomassen** kan fx måles i energienheden joule \cdot m⁻² \cdot dag⁻¹ eller som tørt organisk materiale, fx kg \cdot ha⁻¹ \cdot år⁻¹, eller som carbon, fx g carbon \cdot m⁻² \cdot år⁻¹. Carbon har den kemiske betegnelse C og kaldes også for kulstof. Den totale fotosynteseproduktion kaldes for *bruttoprimerproduktionen* (BPP). En del af denne produktion forbruges ved planternes respiration – denne del tabes i økosystemet som respiratorisk varme

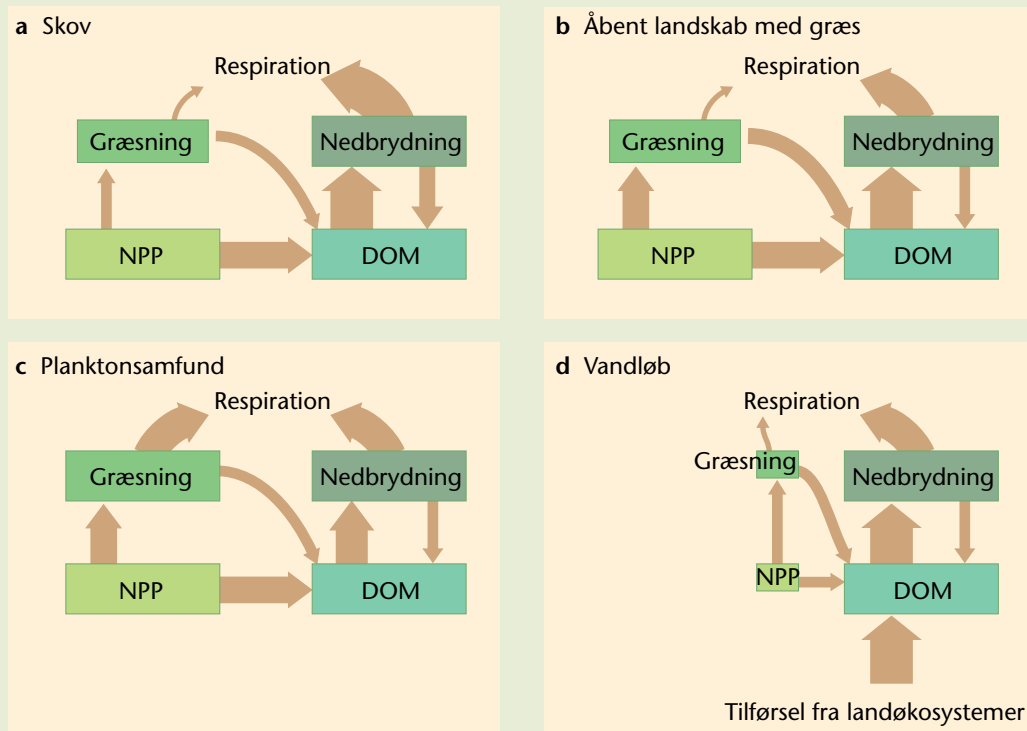
(R). Forskellen mellem BPP og R kaldes for *nettoprimærproduktionen* (NPP), og den udgør den reelle nye biomasseproduktion der er til rådighed for heterotrofe organismer, dvs. dyr, svampe og de fleste bakterier.

I vandområder foregår fotosyntesen så langt sollyset rækker ned. Al energi længere nede, og det er især dybhavet vi taler om, kommer fra den øverste del af havet hvor sollyset når ned.

Modsat planter kan *heterotrofe* bakterier, svampe og dyr ikke selv danne de komplekse organiske stoffer som de behøver for at fungere, de er nødt til at optage dem eller æde dem. De heterotrofe organismer bruger selvfølgelig også en del til respirati-

'Biomassen' erstattes af 'Produktionen'

Figur 10. Generelle energistrømsmønstre gennem forskellige økosystemer og samfund. Pilenes og bokses størrelse viser mængden af energi der overføres til næste led. DOM = opløst organisk materiale, NPP = nettoprimærproduktion.



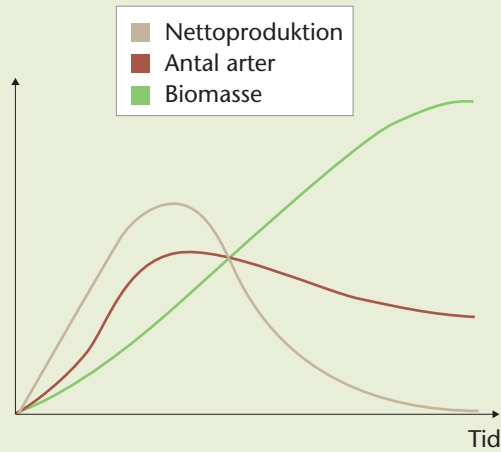
Del- figur- nr.	Kemisk proces, (betydningsfulde stoffer i nitrogenets kredsløb er markeret med fed)	Navn	Beskrivelse	Biologisk proces der udføres af fx: (Organismens iltkrav er angivet i parentes)	Hvad får organismen ud af at udføre processen? (Ernæringsmåde er angivet i parentes)
a	$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NO}(\text{g})$	Nitrogenfiksering	Proces i atmosfæren	Ingen organisme kun kemisk proces	Ikke relevant
b	$2 \text{N}_2(\text{g}) + 9 \text{CH}_2\text{O}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow$ $4 \text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2\text{N}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	Nitrogenfiksering	Ikke symbiotisk fiksering	Cyanobakterier <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> (Obligat aerob)	Nitrogen til opbygning af aminosyrer
c	$2 \text{N}_2(\text{g}) + 9 \text{CH}_2\text{O}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow$ $4 \text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2\text{N}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	Nitrogenfiksering	Symbiotisk fiksering	Knoldbakterier <i>Rhizobium</i> (Obligat aerob)	Nitrogen til opbygning af aminosyrer (Heterotrof)
d	$2 \text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2\text{N}(\text{s}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow$ $2 \text{NH}_4^+(\text{aq}) + 2 \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{aq})$	Ammonifikation / mineralisering	Omdannelse fra organisk form til uorganisk form (respiration)	Forrådnelsesbakterier	(Heterotrof)
e	$2 \text{NH}_4^+(\text{g}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow$ $2 \text{NO}_2^-(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	Nitrifikation	Oxidation (kemosyntese)	Nitritbakterier <i>Nitrosomonas</i> (Obligat aerob)	Kemisk energi bundet i uorganiske forbindelser omdannes til energi for bakteriens livsprocesser (Kemoautotrof)
f	$2 \text{NO}_2^-(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NO}_3^-(\text{aq})$	Nitrifikation	Oxidation (kemosyntese)	Nitratbakterier <i>Nitrospira</i> (Obligat aerob)	Kemisk energi bundet i uorganiske forbindelser omdannes til energi for bakteriens livsprocesser (Kemoautotrof)
g	$5 (\text{CH}_2\text{O})\text{n}(\text{s}) + 4 \text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow$ $5 \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{N}_2(\text{g}) + 7 \text{H}_2\text{O}$	Denitrifikation	Bakterierne spalter nitrat og der dannes dinitrogen (respiration)	Denitrificerende bakterier <i>Micrococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> m.fl. (Obligat anaerob)	Bakterierne udnytter ilten fra nitrat til respiration af organisk stof
h	$\text{NO}_2^-(\text{aq}) + \text{NH}_4^+(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{N}_2(\text{g})$	Anammox	Anaerob ammonium- oxidation	Anammox-bakterier <i>Brocadia</i> , <i>Kuenenia</i> , <i>Anammoxoglobus</i> (ferskvandsarter), <i>Scalindua</i> (marine arter) (Obligat anaerob)	Anammox-bakterier bruger nitrogenforbin- delsen ammonium i stedet for carbohydrat og nitrit i stedet for nitrat

Tilstandsformer tilføjet i række h, 1. celle.

Figur 32. Oversigt over de kemiske reaktioner i nitrogens kredsløb. Parentes angiver tilstandsforkortelsen kendt fra kemi: gas (g), væske (l), fast form (s), stof i opløsning (aq).

Figur 48. Variation i nogle økologiske forhold efterhånden som en succession skrider frem imod skov.

Figuren er rettet.



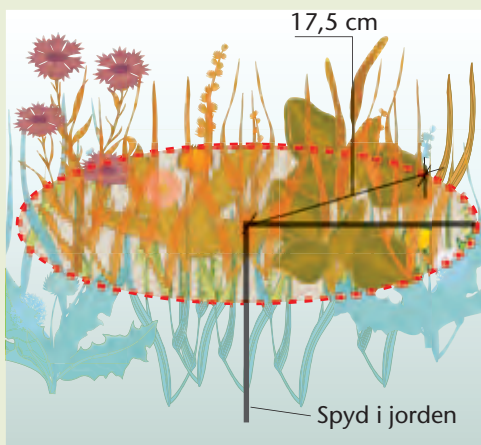
karakteristika med hensyn til antal arter, biomasse og nettoproduktion, se figur 48. Den tid det tager at gennemløbe disse faser afhænger af klima og jordbund. I starten er der få arter, lidt biomasse og lille nettoproduktion. Midt i forløbet er der mange arter, dvs. stor diversitet og høj nettoproduktion, mens der i klimakstilstanden er lille artsantal og høj biomasse.

Her er succession beskrevet på baggrund af plantelivet, men der sker også succession fx når dyr indvandrer i en ny sø, når svampe nedbryder en træstub, og når artssammensætningen af alger i en sø ændres når man leder spildevand til.

nødvendigt at metoden er helt konstant fra år til år, hvis man skal kunne bruge resultaterne til analyse af udvikling over tid.

Vegetationsanalyser

Cirkelmetoden er brugt verden over, og den er opfundet af danskeren Christen Christiansen Raunkiær der levede fra 1860-1938. Med metoden kan man få objektive tal for hyppigheden af planter i et område, også kaldet *frekvens*. Det foregår i princippet på den måde at man tilfældigt udlægger et antal cirkler på 0,1 m². For at få en cirkel med dette præcise areal bruger man en metalpind der er bøjet i vinkel på 90°, den ene ende stikkes i jorden og den anden ende er præcis 17,5 cm. Denne ende drejes rundt som radius i en cirkel, og hver eneste rodfæstede plante inden for cirklen artsbestemmes. Se figur 55. For hver cirkel laves en liste over antal fundne arter. Hvis man undersøger 10 cirkler og en given art forekommer i 8 ud af de 10, så har den en dækningsgrad på 8 og er dominerende. Figur 56 er et eksempel



Figur 55. Raunkiærs cirkel-metode som anvendes ved frekvensanalyse.

Begrebet 'dækningsgrad' er rettet til 'frekvens' i teksten og i figur 55 og 56.

på en vegetationsundersøgelse på et hedeareal.

Linietaksering kan bruges hvis man vil undersøge fordelingen af planter langs en gradient. Hvis det fx drejer sig om planters tilpasning til saltpåvirkning, så lægger man en linje vinkelret på kystlinjen. Det letteste er at lægge et langt målebånd, og for hver meter man går ind i land langs målebåndet, lægger man et antal Raunkiær-cirkler parallelt med

Planter rodfæstet inden for cirkelnr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Frekvens
Hedelyng	x	x	x	x	x	x	x	x		x	9
Harestar	x	x	x	x	x	x		x		x	8
Bølget bunke	x		x			x	x	x	x		6
Almindelig engelsød	x	x		x			x			x	5
Revling			x	x			x	x			4
Pil									x		1
Håret høgeurt									x		1
Rapgræs									x		1
Græsplæne	x	x									2

Figur 56. Frekvensanalyse med indeks-tal ≥ 8 medfører at planten kaldes dominant.

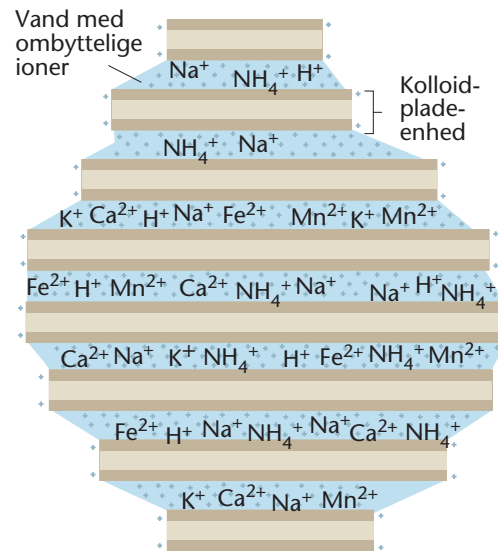
Skovbundens økologi

Jordbundens sammensætning har afgørende betydning for hvordan planterne trives. Ved første øjekast er det tydeligt at se forskel på fx sandjord og lerjord, og i det følgende skal vi se nærmere på de forskellige jordtypers egenskaber og betydning for plantevæksten. Jord indeholder en blanding af mineraljord, humus, vand og luft. Mineraljorden er det geologiske udgangsmateriale, og det defineres ud fra kornstørrelse hvor sand har den største kornstørrelse og ler den mindste, se figur 69. Humusstoffer er delvis nedbrudt organisk materiale.

Planternes næringsstoffer

Lerpartikler og humus har en bedre evne til at holde på næringsstofferne end sandpartikler. Partiklernes overflade er negativ ladet og kan derfor binde de positive næringsioner, som fx ammonium (NH_4^+) til sig. Lerpartiklerne ligger ordnet i plader, og mellemrummet mel-

lem pladerne holder på vandet. Dette vand har en betydning for ionbytningen således at de positive ioner knyttes til partiklen, se figur 70. Når planterne skal optage de positive næringsioner, udsender planteroden positive H^+ -ioner som fortrænger de positive næringsio-



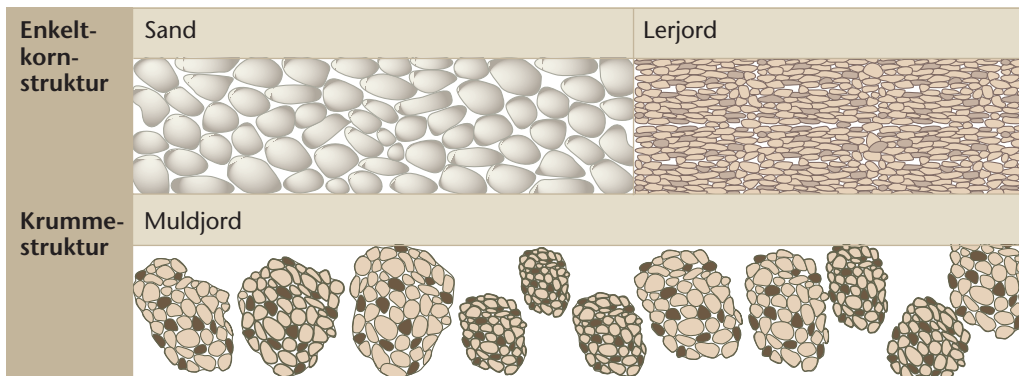
Figur 70. Lerkolloider er opbygget af tynde plader der holder på både vand og ioner.

Figur 70.
For NH_4^+ er 4-taller sænket.

a

Partikel	Sten	Småsten	Grus	Sand	Silt	Ler
Partikelstørrelse	> 70 mm	70-20 mm	20-2 mm	2-0,06 mm	0,06-0,002 mm	< 0,002 mm

b



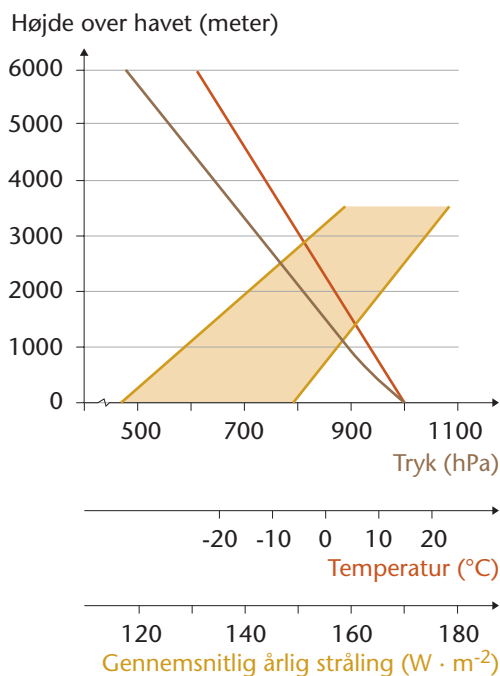
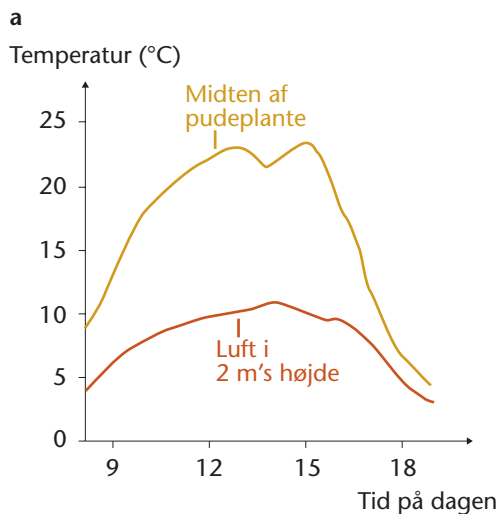
Figur 69. a. Jordpartikler defineret efter størrelse. b. Jordpartikler defineret efter struktur.

bjerge som regel er skyfrie og eftermiddagene er overskyede. Derfor opvarmes de nordvendte skråninger af en tidlig morgensol, mens sydskråningerne skygges om eftermiddagen.

Bjergsidernes struktur, deres hældning og eksponering betyder noget for hvordan sneen fordeles. Mængden af sne og det tidspunkt hvor den smelter, kan variere fra år til år, men sneen ligger de samme steder i snelejerne.

Vegetation skaber livsbetingelser

Planter giver læ, og med den høje indstråling i alpine områder kan temperaturen i bladdækket blive høj. Det forekommer ironisk at planterne skal været tilpasset til at tåle ekstremt høje temperaturer i bladene, mens rødderne står i næsten frossen jord. Planter der er så tætte at de danner en pude, er specielt effektive til at holde på varmen. Ved middagstid kan temperaturen midt i puden (mikroklimaet) være mere end dobbelt så høj som temperaturen i den omgivende luft i 2 m's højde (makroklimaet), se figur 126.



Figur 125. Ændring i atmosfærisk tryk, temperatur og gennemsnitlig global indstråling i forhold til stigende højde. Bemærk at indstråling varierer og at der er større indstråling fx i 2500 m's højde end ved havoverfladen.

I figur 125 er 'jordoverfladen' rettet til 'havoverfladen'.



Figur 126. a. Daglig variation i overfladetemperatur i en kugleformet art af en pudeplante, almindelig tue-limurt, målt på en klar dag i 2300 m's højde i Alperne. Lufttemperaturen i atmosfæren i 2 m's højde er angivet. Temperaturen er målt i august 1978.

b. Pudeplanten *Azorella compacta* i Andesbjergene i ca. 3700 m's højde.