

# EKOLOGI

## **Biosfär, Ekosystem, Producenter, Näringskedjor Vegetation, Nedbrytning, Biotoper, Sjöar, Hav Art, Population, Ekoton, Succession, Ekologisk kemi**

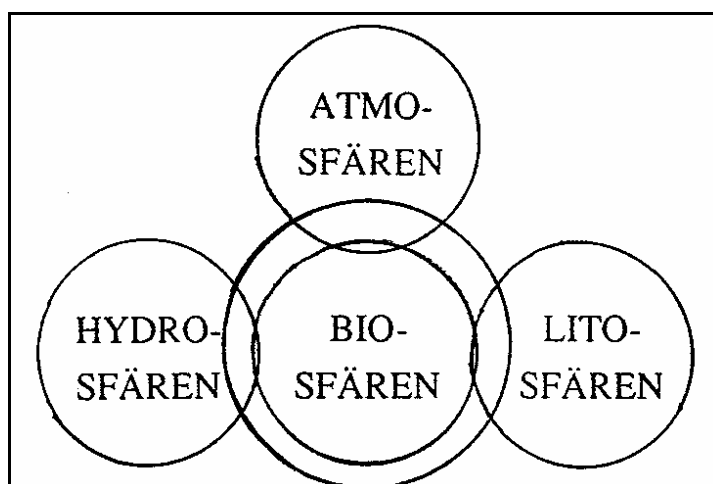
Miljövetenskap bygger på en ekologisk grundsyn vilket förutsätter ekologiska baskunskaper. Detta avsnitt ger i koncentrerad form en ekologisk bas för den som inte läst specialkurser i biologi och ekologi.

Dokumentet svarar mot kap 1 (15 s) och 8 (4 s) i kursboken Kemisk Miljövetenskap. Boken publiceras under 2008 på nätet i tolv delar som alla nås via denna översiktslänk.

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/72639.pdf>

Göran Petersson, Professor i Kemisk Miljövetenskap  
Kemi- och Bioteknik, Chalmers, 2008

## EKOLOGISKA GRUNDER



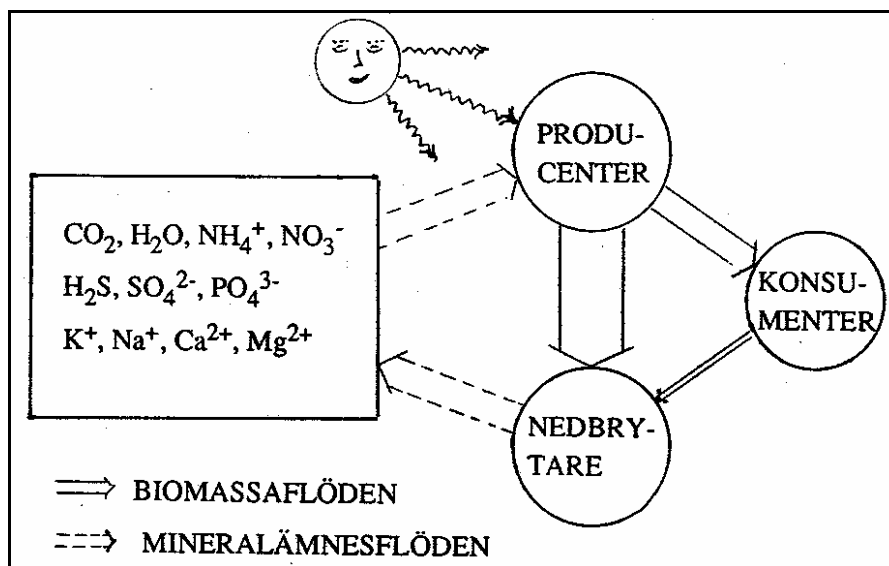
### Biosfären och ekosystemen

**Ekologi:** Traditionellt avses med ekologi läran om samspelet i naturen (mellan de levande organismerna inbördes och mellan organismerna och deras miljö). Internationellt har ekologi alltmer kommit att användas synonymt med miljövetenskap.

**Biosfären:** Organismerna utgör den levande (*biotiska*) delen av ekosystemen. Med biosfären avses i strikt mening just de levande organismerna tillsammans. Ofta får dock biosfären beteckna hela det tunna skikt runt jorden där allt levande finns. Med *biomassa* avses i strikt mening massan av levande organismer. I allmänt språkbruk avses massan av såväl levande som dött biologiskt material.

**Abiotisk miljö:** Den icke-levande (*abiotiska*) miljön delas ofta upp i *atmosfären* (lufthavet), *hydrosfären* (vattenmiljöerna) och *litosfären* (berggrund och mineraljord).

**Ekosystem:** Ett ekosystem innehåller delar av de olika ekologiska sfärerna i ett komplicerat samspel. Ett ekosystem kan avgränsas på olika sätt beroende på vad som studeras. Viktiga huvudgrupper är landekosystem (*terrestra ekosystem*), havsekosystem (*marina ekosystem*) och sötvattensystem (*limniska ekosystem*).



## Organismgrupper och mineralämnes-cirkulation

**Producenter:** Via *fotosyntes* bygger producenter, dvs de gröna växterna, upp biomassa från oorganiska mineralämnen.

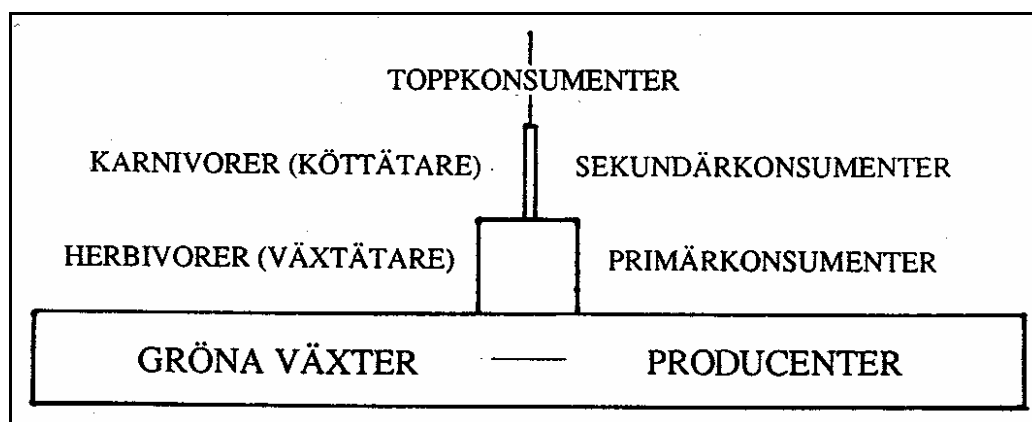
**Nedbrytare (destruenter):** Med nedbrytare avses i första hand mikroorganismgrupperna *bakterier* och *svampar*. Dessa svarar för *mineralisering* av organiskt material till oorganiska mineralämnen. Nedbrytningen sker i landekosystemen främst i markens *humusskikt* och i vattenekosystemen främst i *bottensediment*.

**Konsumenterna:** Konsumenterna utgörs av djuren inklusive människan och är för sin existens helt beroende av den biomassa producenterna bygger upp.

**Makronäringsämnen:** I figuren listas mängdmässigt viktiga mineralnäringsämnen som producenterna bygger upp biomassa av och som nedbrytarna efterhand åter mineraliserar.

**Kretslopp:** För att mineralämnenas kretslopp i olika ekosystem skall fungera krävs aktiva producenter och nedbrytare. Konsumenterna är mindre viktiga.

**Biomassaflöden:** Särskilt i landekosystem går huvuddelen av producenternas biomassa som nedfallande dött material (*förna*) direkt till nedbrytning. Biomassaflödet till konsumenter är på grund av energiförluster mycket större än flödet från konsumenter till nedbrytare.



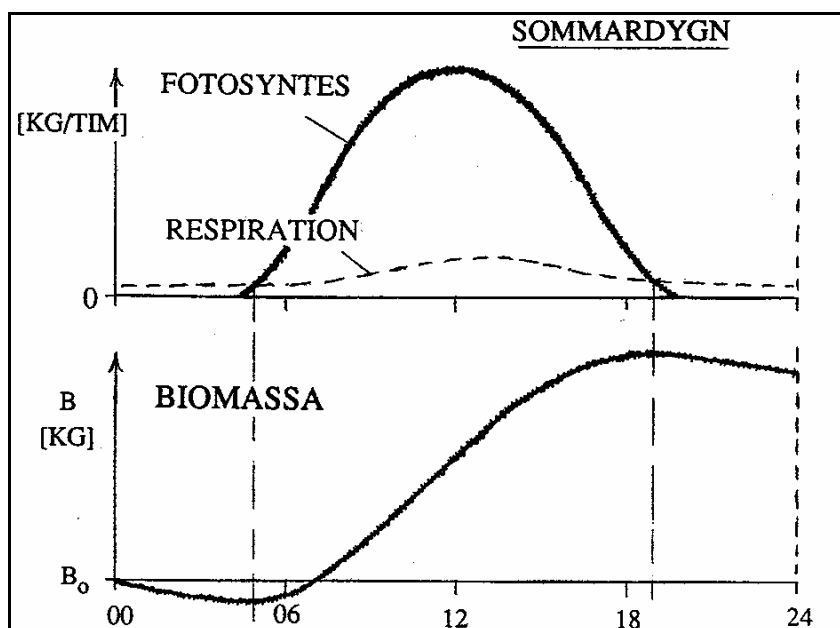
## Näringskedjor och trofiska nivåer

**Näringspyramiden:** Biomassa från producenter används i näringskedjor till uppbyggnad av biomassa hos konsumenter. På grund av energiförluster, främst som värme, går grovt räknat 90 % av biomassan förlorad för varje näringsnivå (*trofisk nivå*) i pyramiden (illustreras av figuren). Näringskedjor har därför normalt endast tre eller fyra nivåer (t ex gräs - hare - räv), och växtätare (herbivorer) utgör en större grupp än rovdjur (karnivorer). Toppkonsumenter säkrar ofta sin födotillgång genom att utnyttja flera trofiska nivåer.

**Biomassarelationer:** Ofta konsumeras bara en liten del av den totalt tillgängliga biomassan på en viss trofisk nivå. Biomassarelationen mellan de två nivåerna blir då i motsvarande grad större än kvoten (~10:1) för det som konsumeras. Den totala biomassan på varje trofisk nivå vid en viss tidpunkt är också proportionell mot biomassans genomsnittliga livslängd på denna trofiska nivå.

**Näringsvävar:** Mer komplexa födorelationer mellan olika arter i ett ekosystem kallas ofta näringsvävar.

**Människan i pyramiden:** Människan kan välja föda från flera olika nivåer i pyramiden. Om den lägsta nivån (växtföda) utnyttjas räcker en viss livsmedelsproduktion åt många gånger fler människor jämfört med om övriga nivåer (animalisk föda) utnyttjas. Nötkreatur och alla andra idisslare kan dock till skillnad från människan utnyttja svårspjälkade kolhydrater som cellulosa från gräs och andra växter. Animaliska livsmedel från sådana djur kan därför i bästa fall vara jämförelsevis resurssnåla.



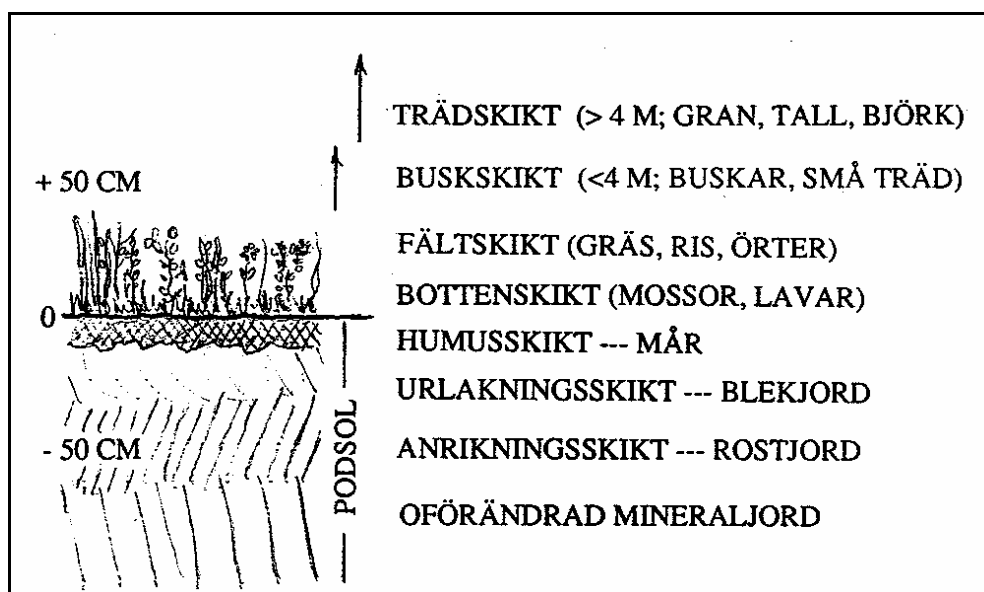
## Produktion

**Bruttoproduktion:** Den biomassa som fotosyntesen bygger upp kallas bruttoproduktion och anges oftast som mängd per tidsenhet. Fotosyntesen sker i producenternas gröna klorofyllrika delar under dygnets ljusa timmar. Den upphör eller går på sparlåga under den nordiska mörka vinterns köldperioder.

**Respiration:** De levande organismerna (producenter, konsumenter och nedbrytare) kräver för sina ständigt pågående livsprocesser energi som de får genom omsättning av biomassa. Då fotosyntesen är större än respirationen ökar ekosystemets biomassa (levande + död). Då respirationen är större än fotosyntesen minskar biomassan.

**Nettoproduktion:** Bruttoproduktion minus respirationsförluster svarar mot nettoproduktion. Denna är i svenska jordbruks- och skogsbruksekosystem av storleksordningen 10 ton per hektar och år och tas till stor del ut av näringarna. Förändringen i biomassa kan ses som den integrerade nettoproduktionen, dvs den tidsintegrerade skillnaden mellan bruttoproduktion (fotosyntes) och respiration.

**Sekundärproduktion:** Konsumenternas och nedbrytarens omsättning av biomassa från bruttoproduktionen går huvudsakligen till respiration. En mindre del (~10 %, jämför med näringspyramiden) används för att bygga upp konsumenternas och nedbrytarens biomassa. Detta betecknas ibland som sekundärproduktion.



### Jordmånsprofil och vegetationsskikt

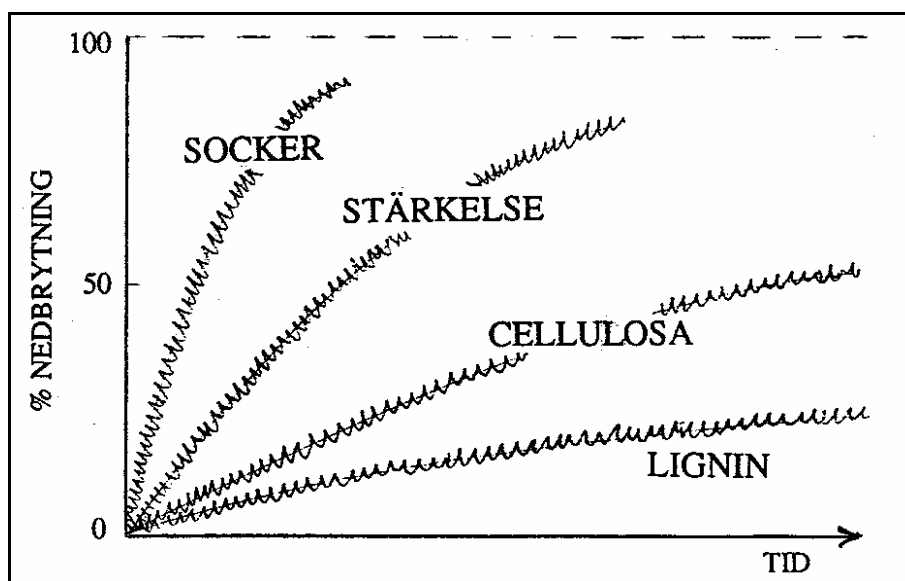
Figuren visar skiktningen för den jordmånsprofil, *podsol*, som karakteriserar näringsfattiga skogsbevuxna moränjor. Jordmånen styr i hög grad vegetationens sammansättning.

**Podsolens skiktning:** Överst finns ett decimetertjockt surt (pH 4-5) och segt sammanhållet humusskikt som kallas *mår*. Humusskiktet består av delvis nedbrutet dött organiskt material. För nedbrytningen svarar mest *svampar* som med sitt mycel genomväver hela humusskiktet. Därunder finns ett askgrått urlakat mineraljordsskikt som kallas *blekjord*. Under detta följer ett av utfällda järnoxider rostfärgat anrikningsskikt (*rostjord*).

**Brunjord:** Motpolen till podsol är den jordmån som utbildas på mineralnäingsrika jordar med pH 6-7 och med *bakterier* som dominerande nedbrytare. I brunjord blandas humus och mineraljord av *daggmaskar* till ett mycket näringsrikt skikt som kallas *mull*.

**Vegetationsskiktning:** Vegetationen ovan jord brukar ekologiskt delas in i de fyra skikt som figuren anger. Dött nedfallande material, *förna*, blandas ofta in i bottenskiktet och övergår till humus när nedbrytningen suddat ut materialets konturer.

**Skogar:** Skogar på podsol brukar kallas *hedskogar* och på brunjord *ängskogar*. Samtliga fyra vegetationsskikt har mycket olika artsammansättning i en tallskog eller en näringsfattig granskog (hedskogar) jämfört med t ex en ädellövskog (ängskog).



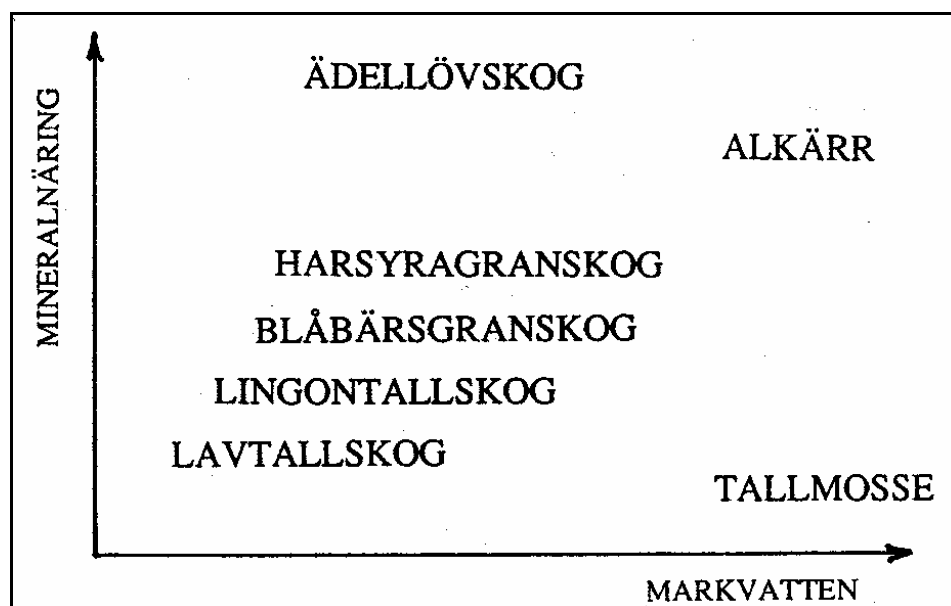
## Nedbrytning

**Lignin och cellulosa:** Dessa makromolekylära komponenter utgör stödjestrukturer i träd och andra växter. Nedbrytningen av ved kräver flera år (motsvarande humusskiktets livslängd) och är beroende av olika arter av *rötsvampar*.

**Gröna växtdelar:** Växternas gröna delar innehåller mycket av lättnedbrytbara sockerarter och andra komponenter från de levande cellerna. Nedbrytning med *bakterier* sker ofta på några få dagar. Nedbrytningen underlättas av att bakterierna kan täcka sitt kvävebehov från de kväverika gröna växtdelarna.

**Aerob nedbrytning:** Den normala oxidativa nedbrytningen kräver tillgång till luftsyre och ger koldioxid som en huvudprodukt. Processen som främst sker i markens humusskikt brukar betecknas som *markandning*. Denna leder till mätbart förhöjda koldioxidhalter strax ovan mark, särskilt vindstilla nätter med svag luftombländning. Mängden nedbrutet material är stor i förhållande till de aeroba nedbrytarnas biomassa.

**Anaerob nedbrytning:** I *våtmarker* och i vattensystemens *sediment* förhindrar vatten lufttillträde och nedbrytningen blir anaerob. De anaeroba nedbrytningsprocesserna som *metanjäsning* är långsamma och ofullständiga. Resultatet blir uppbyggnad av torvmossor med djupa torvskikt och uppgrundning av sjöar allteftersom sedimenttjockleken ökar. De anaeroba nedbrytarnas biomassa är stor i förhållande till mängden omsatt dött material.



## Biotoper

**Biotop:** En biotop är ett naturavsnitt med relativt enhetlig miljö och artsammansättning.

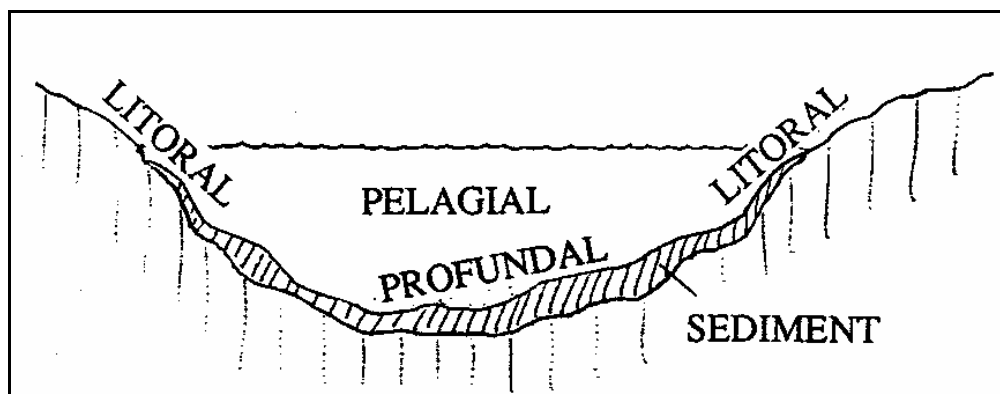
**Skogsbiotoper:** Som framgår av figurens exempel på särskilt viktiga svenska skogsbiotoper namnges de ofta efter framträdande *karaktärsarter*.

**Myrbiotoper:** Myr är ett samlingsnamn för våtmarksbiotoper. Näringsfattiga varianter kallas *mossar* där olika arter av vitmossor bygger upp mossarnas torv. Näringsrika varianter med mineralnäringstillskott från omgivande fastmarker kallas *kärr*. Kärren tillhör våra biologiskt mest artrika och värdefulla biotoper. De hotades tidigare av utdikning och skogsplantering men skyddas nu med hänvisning till värdet av biologisk mångfald.

**Kulturbiotoper:** Biotoper som starkt påverkats av människan via jordbruk, boskapsskötsel, skogsbruk och andra verksamheter kallas kulturbiotoper. Vissa värdefulla kulturbiotoper som slåtterängar har försvunnit och andra som betesängar är hotade på grund av förändringar av jordbruket.

**Hotade arter:** Ett av de största ekologiska hoten anses vara att arter utrotas i allt snabbare takt på grund av att deras naturliga biotoper försvinner. Det bästa sättet att rädda arterna är att rädda deras biotoper. Det gäller inte bara tropiska regnskogar utan även svenska betesängar, alkärr och fjällnära urskogar.





## Limniska ekosystem

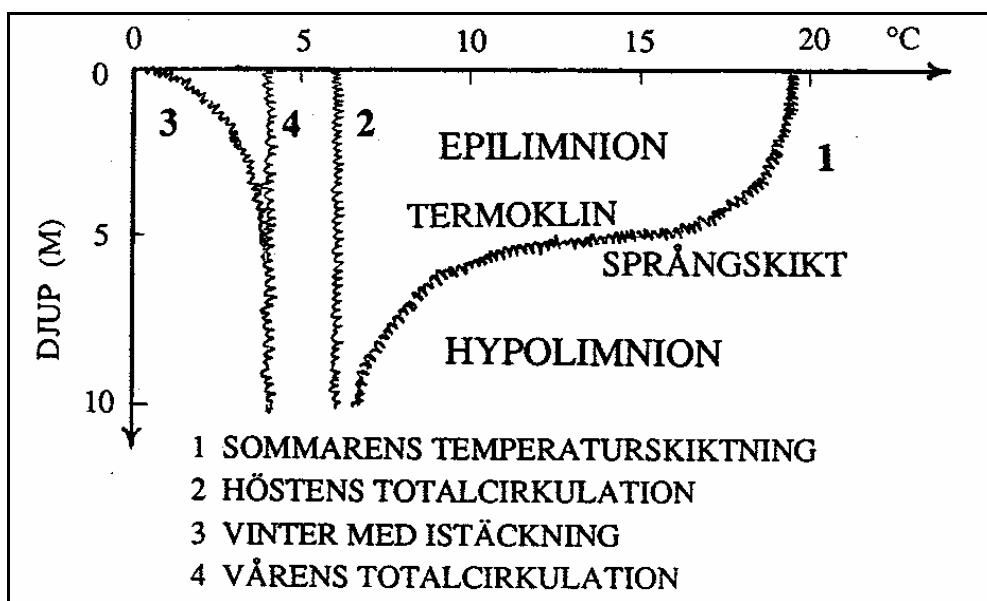
**Sjöns delekosystem:** En sjö uppdelas ekologiskt ofta i den fria vattenmassan (*pelagialen*), stranden (*litoral*) från den högsta sjöpåverkade landnivån till den lägsta undervattensnivån där ljuset räcker till för fotosyntes, samt sjöbotten (*profundalen*) under denna nivå.

**Produktion och nedbrytning:** För produktionen svarar i den övre pelagialen fritt svävande växtplankton (*fytoplankton*), och i litoralen olika över- och undervattensväxter. Fytoplankton konsumeras i hög grad av djurplankton (*zooplankton*). Dött organiskt material som sjunker mot botten kallas *detritus* i vattenekosystem. Detritus bryts delvis ned av bakterier redan i pelagialen. I sedimenten förbrukar nedbrytningen snabbt tillgängligt syre och nedbrytningen blir anaerob och går långsamt.

**Oligotrofa (närlingsfattiga) sjöar:** Denna typ av sjöar återfinns i urbergsområden över den nivå dit havet nått efter istiden (*högsta kustlinjen*). De har en låg produktion och de drabbas sällan av syrebrist men är försurningskänsliga.

**Eutrofa (närlingsrika) sjöar:** Dessa sjöar återfinns i sedimentrika jordbruksbygder under högsta kustlinjen. De är oftast grunda, har en hög produktion och ett rikt biologiskt liv men drabbas lätt av övergödning (*eutrofiering*) som medför syrebrist och igenväxning.

**Humösa (humusrika) sjöar:** I barrskogsområden transporteras svårnedbrytbara och sura humusämnen med avrinningsvatten ut till sjöar och gölar som därigenom blir naturligt sura och får botten täckta av humusrik *dy*.



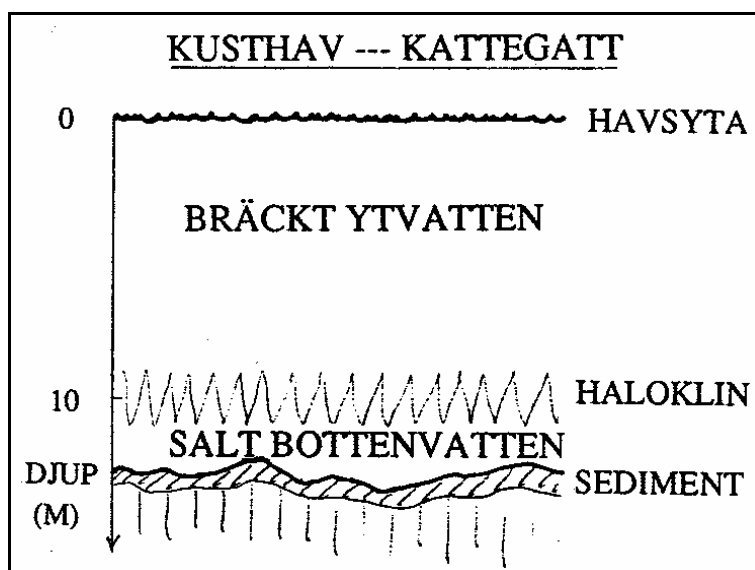
### Sjöars temperaturskiktning

**Vattnets densitet:** Vattnets densitetsmaximum vid ca +4°C leder till att vatten av denna temperatur har en tendens att sjunka mot botten och ligga kvar där.

**Vattenomblandning:** Vinden driver vattenomblandningen i en sjö ned till ca 5 m djup. I djupare sjöar sker en totalomblandning endast då ytvattentemperaturen ligger inom ett par grader från densitetsmaximum. Resultatet blir den säsongsvariation som figuren illustrerar.

**Sommarskiktningens betydelse:** Ljusets ökning på våren medför ett produktionsmaximum. När temperaturen stiger och vattnet skiktas förbrukas snabbt tillgänglig näring i epilimnion och produktionen avtar. I hypolimnion bryts detritus ned och näringsämnen frigörs. Eftersom syre förbrukas vid nedbrytningen uppstår ofta syrebrist i de produktiva eutrofa sjöarnas hypolimnion. Höstens totalcirkulation för upp näringsämnen till ytvattnet igen vilket ofta ger ett mindre markant produktionsmaximum även på hösten trots den då lägre ljusstillgången.

**Grunda sjöar:** Avsaknaden av sommarskiktning medför att grunda eutrofa sjöar har en hög produktion under hela sommaren.



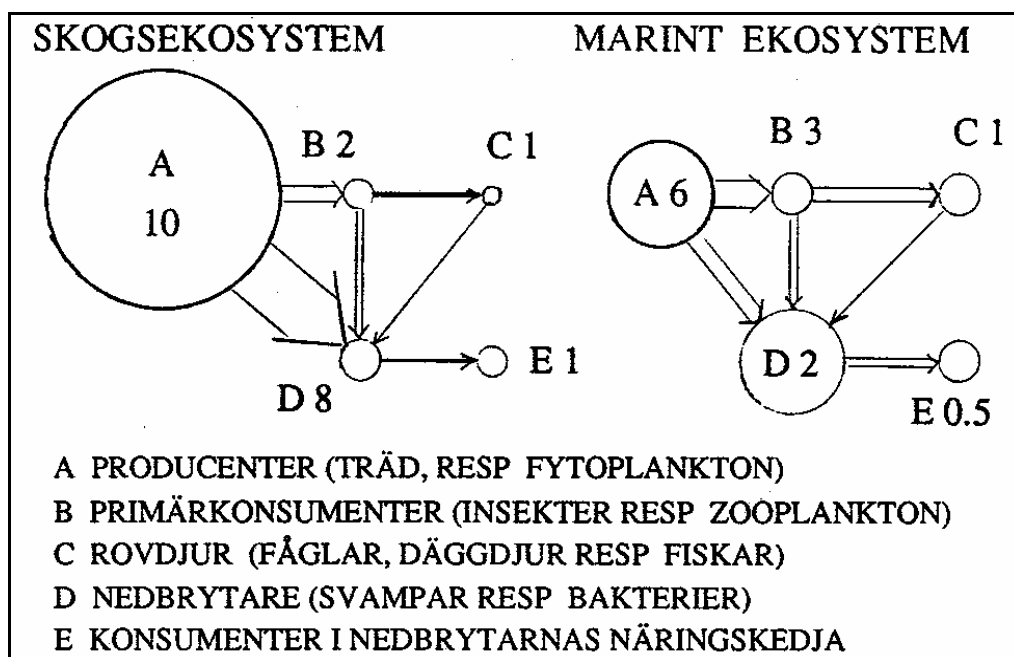
### Marina ekosystem

**Världshaven:** De öppna världshaven skiljer sig från limniska ekosystem främst genom den höga salthalten på ca 35 promille. De erbjuder en jämförelsevis konstant miljö. Produktionen är högst i områden med uppströmmar och i kustområden utanför flodmynningar (*estuarier*) där näringstillförseln är hög.

**Östersjön:** Detta unga innanhav har *bräckt vatten* vars salthalt avtar från söder mot norr där sötvattentillförseln från älvar är stor. Jämförelsevis få arter är väl anpassade till Östersjöns speciella miljö.

**Kattegatt:** Utefter den svenska västkusten strömmar salt och tungt Nordsjövatten söderut längs havsbotten och bräckt lättare ytvatten från Östersjön norrut. Mellan dessa båda vattenmassor uppstår en skarp salthaltsgradient som kallas *haloklin* och som förhindrar omblandning mellan bottenvatten och ytvatten. I områden som Laholmsbukten med ett tunt saltvattenskikt medför detritusregnet i samband med algbloomingar lätt syrebrist med åtföljande bottendöd.

**Öresund och Östersjön:** I Östersjöns djupare delar finns halokliner och salt bottenvatten. Östersjöns djupområden drabbas därför av syrebrist på liknande sätt som Kattegatt. Detta motverkas av de inbrott av syrerikt saltvatten som ibland sker genom Öresund och de danska sunden. Inverkan på vattenutbytet genom Öresund togs upp som en ekologisk nyckelfråga vid planeringen av Öresundsbron.

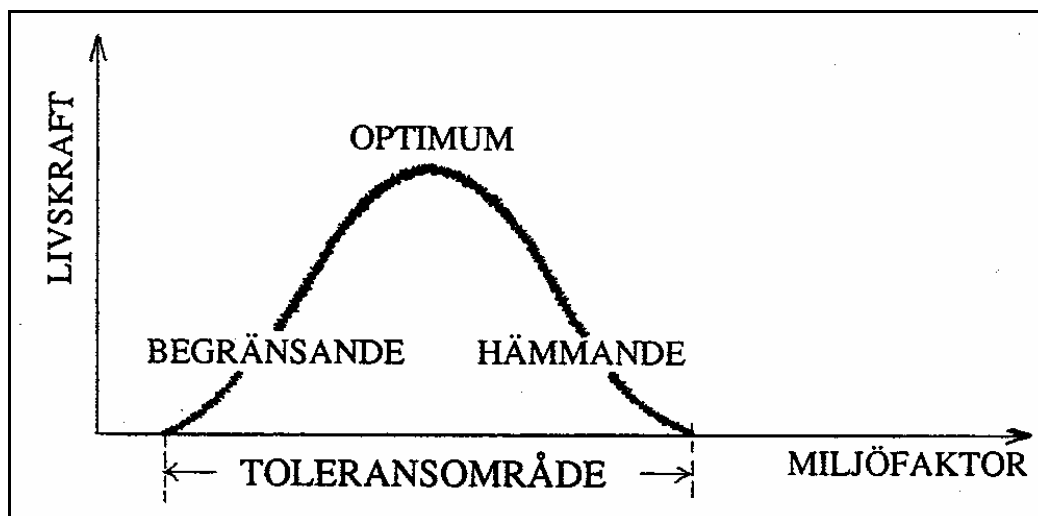


### Energi i ekosystemet

**Biomassaenergi och energiflöden:** Figuren illustrerar en inom ekologin ofta grundläggande energianalytisk jämförelse mellan två typer av ekosystem. De inringade ytorna motsvarar biomassaenergin för de olika grupperna av organismer. Siffrorna anger den relativa storleken av frigjord respirationsenergi.

**Betarnas näringskedja:** Den egentliga näringskedjan som startar med att växtätare (betare) äter (betar) av levande växter kallas betarnas näringskedja. Biomassaförhållandet mellan träd och betare i en skog blir mycket stort (>10 000) på grund av att betarna där konsumerar en mycket liten del av träden och även på grund av att träden har lång livslängd. I det marina ekosystemet blir förhållandet lågt (<10) på grund av att fytoplankton har kort livslängd och till stor del konsumeras. Biomassan av rovdjur i den marina miljön blir ungefär lika stor som av betare på grund av fiskarnas långa livslängd jämfört med zooplankton.

**Nedbrytarnas näringskedja:** Den näringskedja (i humusskikt respektive sediment) som utgår från svampar och bakterier som mineraliserar dött material kallas ofta nedbrytarnas näringskedja. På grund av den anaeroba nedbrytningen i sediment gentemot den aeroba i skogsmark är kvoten mellan nedbrytarnas biomassa och frigjord respirationsenergi mycket hög i sediment men låg i skogsmark.



### Arten och dess miljö

**Optimumkurvan:** Figurens optimumkurva beskriver hur en viss art kan klara sig inom vissa gränser för var och en av många abiotiska miljöfaktorer (ljus, temperatur, vatten och enskilda mineralnäringsämnen).

**Ekologisk nisch:** Optimumkurvorna för samtliga miljöfaktorer definierar den abiotiska delen av en arts ekologiska nisch. I nischen ingår även biotiska krav och egenskaper (fortplantning, symbios, födoval, ståndort och habitat).

**Ståndort och habitat:** En arts lokalisering i miljön betecknas ståndort för växter och habitat för djur. En djurarts habitat utgörs alltså av summan av de specifika miljöer där arten normalt finns.

**Konkurrens:** I ekosystemets konkurrens mellan olika arter förskjuts ofta optimumkurvan för enskilda arter kraftigt. Ett exempel är att tallen vanligen konkurreras ut av granen utom för särskilt våta biotoper (tallmossar) och särskilt torra biotoper (lingontallskog, lavtallskog och hållmarkstallskog). I konkurrens med granen får alltså tallens optimumkurva för tillgång på vatten två maxima.

**Eurytopa och stenotopa arter:** Arter med ett brett toleransområde med avseende på en viss miljöfaktor kallas eurytopa, medan arter med ett smalt toleransområde kallas stenotopa.

Populationstyp	r-Strateg	K-Strateg
Karaktär	snabb tillväxt	jämvikt
Beteckning	r för reproduktion	K för konstans
Tillväxtkurva	J-formad	S-formad
Reproduktion	hög	låg
Könsmognad	tidig	sen
Livslängd	ofta < 1 år	ofta > 1 år
Mortalitet (tidig)	hög	låg
Individer	små	ofta stora
Konkurrenskraft	ofta svag	ofta stark
Livsmiljö	variabel	relativt konstant
Artexempel (djur)	insekter	stora däggdjur
Artexempel (växter)	"ogräs"	träd

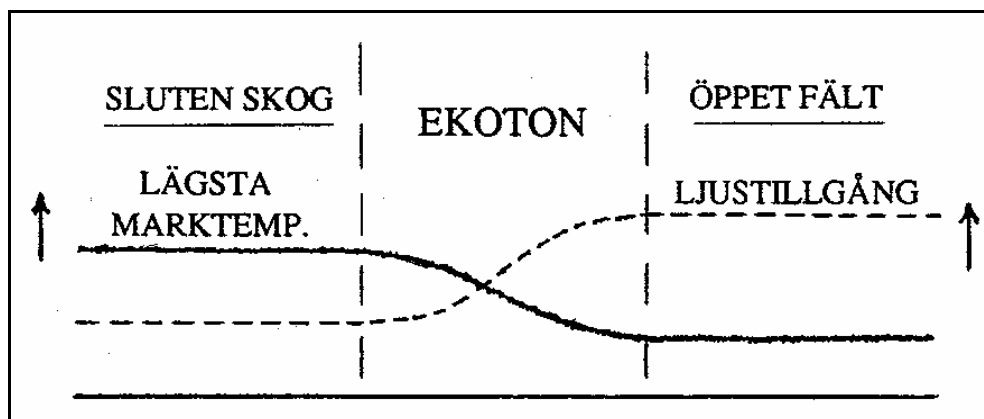
## Populationsdynamik

**Population:** En avgränsad grupp individer av samma art kallas en population.

**Populationstäthet:** Populationstätheten är främst beroende av *reproduktion* (förökning), *mortalitet* (avdöende), *immigration* (invandring) och *emigration* (utvandring).

**Populationstyper:** I varje arts ekologiska nisch ingår en mängd karaktärer som hänför sig till populationen. Tabellen ger egenskaper hos två huvudtyper av populationer som väl belyser de stora skillnader som finns.

**Populationsreglering:** En population regleras inte bara av abiotiska faktorer utan också av biotiska faktorer. Bland dessa kan nämnas *konkurrens* (inom arten och mellan arter) och *symbios* (samverkan mellan arter till ömsesidig nytta). Ett viktigt exempel på symbios är *mykorrhiza* (svamprot) som innebär att svampen får organisk näring från ett träd och trädet får förbättrat mineralnäringssupptag via svampens med trädets finrötter hopkopplade mycel. Djurpopulationer regleras i hög grad av födotillgången och populationen för en *predator* (rovdjur, bytestagare) följer i många fall bytets populationssvängningar. Faktorer kopplade till djurens beteende (*etologi*), t ex många djurarters hävdande av *revir*, är också viktiga för populationen.



## Ekotoner

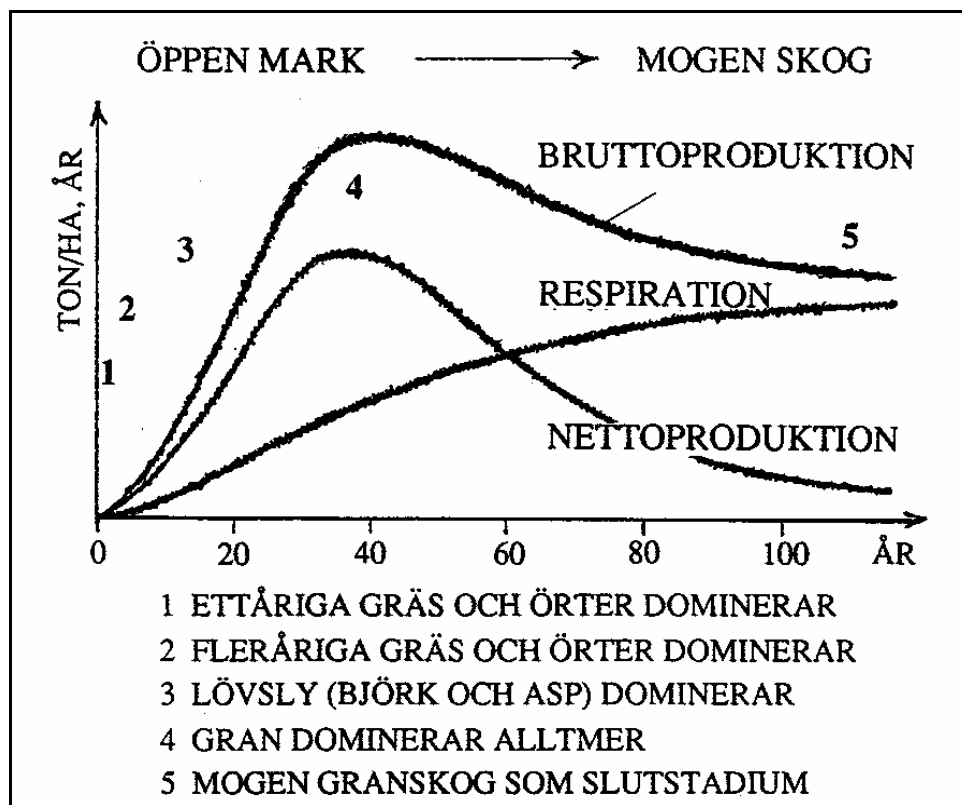
**Ekoton:** En ekologisk övergångszon (mellan två mer enhetliga miljöer) betecknas ekoton eller *kantzon*.

**Gradienter för miljöfaktorer:** Som framgår av figuren karakteriseras en ekoton av att olika miljöfaktorer värden ändras markant över den. Välkända viktiga faktorer är ljus, temperatur, vattentillgång och tillgång på kväve och andra näringsämnen.

**Många ekologiska nischer:** Det stora antalet olika kombinationer av miljöfaktorer innebär att en ekoton erbjuder många ekologiska nischer och därmed en stor artrikedom. Ekotoner som illustrerar detta är *stränder*, *diken*, *skogsbryn* och *vägkanter*. Om man vill lyssna på många fåglar eller se många arter av andra djur eller växter är det lämpligt att välja miljöer med ekotoner av dessa och andra slag.

**Naturen uppbyggd av ekotoner:** Ekotoner kan vara hundratals mil breda övergångszoner mellan olika *biom* som regnskog över savann till öken, och tempererade lövskogar över barrskogar till tundra. De kan också vara millimeterbreda övergångar mellan olika kulturer av mikroorganismer. Miljön kan betraktas som ett nätverk av överlappande ekotoner som erbjuder ett närmast oändligt antal kombinationer av miljöfaktorer och ekologiska nischer. Detta är förutsättningen för jordens stora artrikedom.

**Artfattiga ekotoner undantag:** Ekotoner som har någon miljöfaktor utanför de flesta arters toleransområden kan bli artfattiga. Ett exempel är Östersjön med dess bräckta vatten som är för salt för sötvattenorganismer och har för låg salthalt för stenotopa marina organismer.



## Succession

**Succession:** En gradvis förändring i tiden av ett ekosystem kallas en ekologisk succession.

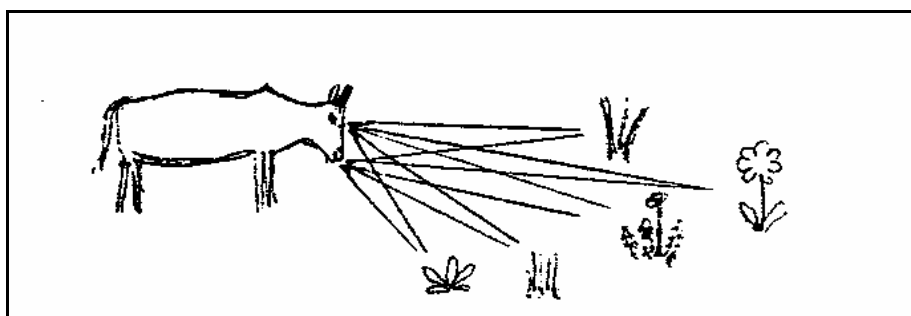
**Primär succession:** Med primär succession avses en *långtidssuccession* som utgår från en helt abiotisk miljö. Ett exempel är kolonisation av kala klippor via successiva växtsamhällen dominerade av i tur och ordning lavar, mossor, gräs och örter, buskar och slutligen träd. Ett annat exempel är successionen för en av inlandsisen formad sjö som under årtusendenas lopp sedimenterar och växer igen och via myrbiotoper till slut blir till en skogsbiotop.

**Sekundär succession:** En sekundär succession är en *korttidssuccession* som utgår från en instabil och delvis biotisk miljö som ofta åstadkommit av människan. Figuren illustrerar den sekundära successionen från en åker med humusrik jord till ett slutstadium som i detta fall utgörs av mogen granskog. Successionen från ett kalhygge till avverkningsmogen skog är likartad men utgår från en annorlunda jordmån och från delvis etablerade bottenskikt och fältskikt.



## EKOLOGISK KEMI

Alla organismer liksom allt abiotiskt material är uppbyggt av atomer och molekyler, dvs kemiska ämnen. Den vetenskap som inriktas på studier av det mycket komplexa kemiska samspelet i ekosystemen brukar kallas ekologisk kemi.



### Producenter och konsumenter

**Populationsreglering:** Samspelet mellan predator och byte har utvecklat möjligheter för bytesdjuren till aktivt försvar, flykt och kamouflage. Dessa försvarsmöjligheter är begränsade för växterna gentemot herbivorer. Kamouflage utnyttjas dock av många småvuxna arter. Andra växter skyddar sig i stället med t ex taggar. Men även lättupptäckta och lättillgängliga växter konsumeras oftast bara av ett fåtal herbivorarter och bara i begränsad utsträckning. Förklaringen är det kemiska försvar som växterna utvecklat gentemot primärkonsumenterna.

**Växternas kemi:** Producenterna är naturens stora kemister och de ca 10 000 kemiska ämnen som identifierats från växter anses utgöra endast en liten del av det verkliga antalet. I växternas liksom i djurens livsnödvändiga metabolism är ett jämförelsevis begränsat antal kemiska ämnen inblandade. Merparten fyller i stället olika funktioner i växtens kemiska försvar och i dess ekologiska samspel som helhet med övriga organismer i ekosystemet.

**Pollinationsekologi och spridningsekologi:** Växterna utnyttjar kemiska ämnen inte bara för skydd mot vissa konsumenter utan också för att attrahera andra konsumenter. För den viktiga pollineringen erbjuder blommor konsumentanpassad nektar och samtidigt kemiska doft- och färgsignaler som vägledning. För att få hjälp med fröspridning erbjuder många växter goda och näringsrika frukter för lämpliga konsumenter.

## Växternas kemiska försvar

**Flera försvarslinjer:** En växtarts kemiska försvar mot insekter m fl hotande herbivorer kan ha flera försvarslinjer.

- ✓ ämnen som avges till luften (doftämnen)
- ✓ ämnen som finns på växtens yta (ofta smakämnen)
- ✓ ämnen som finns i själva växten (ofta giftiga ämnen och smakämnen)
- ✓ ämnen av olika slag som bildas när växten skadas av t ex växtätaren

Skyddet kan också bestå i att växten eller dess delar är svårsmältbara eller näringsmässigt obalanserade för växtätaren. Lättopptäckta träd och andra högvuxna växter består ofta till stora delar av sådana ämnen i form av t ex cellulosa, lignin och garvämmen. Svårupptäckta örter och unga stadier av högvuxna växter har oftast ett mindre välutvecklat kemiskt försvar.

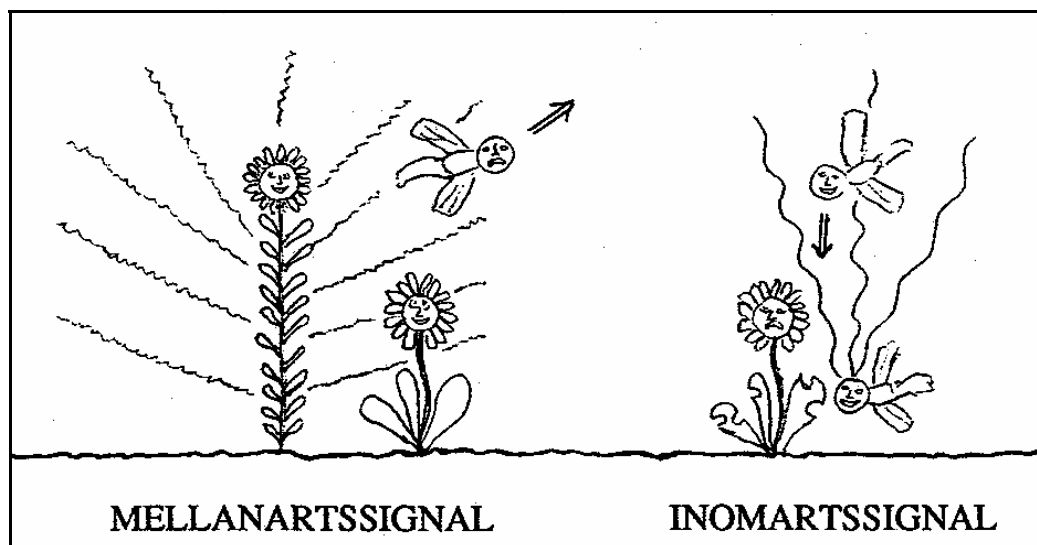
**Föränderligt försvar:** De i långa tidsperspektiv framgångsrika växtarterna måste också ha ett *skydd mot herbivorerens motanpassning*. Särskilt insekterna har på grund av sin korta generationstid och höga reproduktion god anpassningsförmåga. Även här har växten flera försvarsmöjligheter:

- ✓ flera olika kemiska försvarsmekanismer som angriparen måste övervinna
- ✓ ovanlig typ av kemiskt försvar så att angriparen måste specialanpassa sig
- ✓ förmåga att snabbt förnya och förändra kemiförsvaret om det kringgåtts

Vilda växter är oftast väl rustade i ovan nämnda avseenden. Den *samevolution*, innebärande genetisk ömsesidig anpassning, som skett under årtusendenas lopp har finslipat det kemiska samspelet i ekosystemen och eliminerat arter som varit mindre väl rustade.

**Resistensförädling:** Människans kulturväxter har förädlats fram snabbt under skyddade förhållanden och med tanke främst på produktivitet. Först nyligen har man börjat inse vikten av att söka bibehålla eller återinföra ett effektivt kemiskt försvar vid förädling. Detta kan ske genom att resistensförädling samordnas med kemiska analyser av växtens försvarssubstanser. Denna form av hjälp till självhjälp för kulturväxterna kan bidra till minskad användning av bekämpningsmedel. De naturliga försvarssubstanserna kan påverka även människan men inte alltid negativt.

**Monokulturer känsliga:** I ett växtsamhälle skyddas en art ofta också av grannarnas kemiska försvar genom s k *associationell resistens*. Detta är en av anledningarna till att monokulturer är speciellt känsliga mot angrepp av växtätare. Samodling av valda växtarter är ett av de biologiska alternativen till bekämpningsmedel vid trädgårdsodling och i jordbruk. Bland många redan tillämpade exempel kan nämnas samodling av morötter och lök för att minska angrepp av morotsflugan.



### Kemiska signaler

**Hormoner:** Specifika kemiska *inomindividsignaler* hos människor, djur och växter kallas hormoner. Könshormoner och tillväxthormoner har stor betydelse och ofta komplicerade och specifika kemiska strukturer. Trots detta är eten ett viktigt tillväxthormon för växter.

**Feromoner:** Samspelet mellan individerna i en population bygger särskilt i djurvärden ofta på kemiska *inomartssignaler* eller feromoner. Sådana doftämnen är speciellt välkända bland insekterna, men finns också hos t ex däggdjuren. Den kemiska strukturen är specifik för olika arter. Receptororganen hos insekter medger att förekomsten av feromonet uppfattas vid extremt låga koncentrationer. Feromonerna är viktiga för etologiska (beteendekopplade) funktioner. De fungerar som sexualattrahenter både för insekter och högre djur. Av däggdjur används feromoner för revirmarkering.

**Insekter:** För samhällsbyggande insekter styrs många sociala beteenden av motsvarande feromoner. Hos bin avsesöndras de främst av bidrottningen som är nödvändig för samhällets funktion. I Sverige har feromonbegreppet framför allt blivit känt genom att feromonfällor använts i relativt stor skala för att begränsa alltför stora och skadegörande populationer av granbarkborrar.

**Kemiska mellanartssignaler:** Kemiska ämnen som i vid mening fungerar som signaler mellan olika arter finns i stort antal och har mycket varierande ekologiska funktioner. Stora grupper är doftämnen och smakämnen, men även färgämnen har ofta signalfunktioner.

## Kemiskt samspel

**Kemisk komplexitet:** Det kemiska samspelet mellan olika arter i ekosystemet är ytterst fragmentariskt känt men mångfalden kan belysas med exempel.

**Mikroorganismer:** I en fingerborg med jord finns ca 10 miljarder bakterier och ca 20 km svamphyfer. I denna extrema konkurrenssituation utsöndrar många arter kemiska ämnen som hämmar andra arter. Dessa ämnen brukar kallas antibiotika, och deras egenskaper har utnyttjats av människan mot patogena mikroorganismer.

**Växter:** Många växter kan utsöndra kemiska ämnen som verkar groningenshämmande på frön. Därigenom ökar dessa växters konkurrensförmåga. Flugblomster är en svensk orkidé, vars blomma liknar en viss stekelart. Den utvecklas strax före stekelns parningstid och avsöndrar då också just det feromon som stekelhonan använder för att locka hannen. Pollinationen blir därigenom effektivt ombesörjd. Liknande exempel på samevolution finns för andra orkidéer.

**Insekter:** Ätbeteende och äggläggingsbeteende hos insekter styrs i hög grad av kemiska signaler. De har då anpassat sig så att kemiska ämnen från lämpliga värdväxter utlöser dessa beteenden. Många växter har i sin tur utvecklat andra kemiska ämnen som förhindrar att dessa beteenden utlöses.

**Däggdjur:** Människans och djurens effektiva bildning av antikroppar mot bl a inträngande mikroorganismer kan sägas vara en typ av kemiskt försvar. Dess betydelse belyses av att systemet tar en stor del av människans arvsmassa i anspråk.

**Gemensamma atomer:** Det kemiska samspelet mellan organismerna innebär i vissa fall en kemisk kamp och i andra en kemisk samverkan. Framför allt gäller dock att organismerna är dramatiskt knutna till varandra och beroende av varandra kemiskt sett. Klarast inser man kanske detta när man betänker det ständiga utbytet av atomer mellan olika organismer via deras metaboliska reaktioner. En atom som ingår i läsaren av detta kan nästa dag utgöra en byggsten i en annan levande varelse eller ingå i den abiotiska miljön.

**Finstämt samspel:** Sammanfattningsvis fungerar det kemiska samspelet i ekosystemen på ett oerhört komplext och välavvägt sätt. Det har utvecklats och finstipats genom organismernas inbördes påverkan under långa tidsepoker. I detta finstämda kemiska system har människan nu på kort tid gått in som syntetisk kemist och effektiv spridare av kemiska ämnen. Det är knappast förvånande att detta orsakat svåra miljöstörningar.