

EKOTOXIKOLOGI

Miljögifter, Spridning, Omvandling, Effekter Reproduktion, Populationer, Biocider Synergism, Homeostas, Miljöfarlighet Giftfri Miljö

Antalet kemiska ämnen i miljön är så många och de kemiska miljöproblemen så komplexa att det är nödvändigt att använda ekotoxikologiska grundprinciper för att eliminera och förebygga problem. En tidig version av avsnittet publicerades i Kemisk Tidskrift i mitten av 1980-talet.

Dokumentet svarar mot kap 10 (12 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

EKOTOXIKOLOGI

**Läran om kemiska ämnens
spridning, omvandling och effekter i ekosystemen
och deras organismer**

Biokemisk miljövetenskap

Ekotoxikologi kan förenklat översättas med biokemisk miljövetenskap. Det är en vetenskap som vuxit fram i spåren av de senaste 40-50 årens ökande insikter om miljökonsekvenserna av nutidens kemikalieanvändning.

Biologer och kemister: Fokus ligger ofta på effekter som studeras främst av biologer. För kemister och biokemister är spridning och kemisk omvandling mer centrala aspekter som därför betonas i detta kapitel. Tyngdpunkten läggs vid grundprinciper som kan ge en allmän förståelse av miljöaspekter på kemiska ämnen.

Miljögifter: Ekotoxikologi kopplas ofta till miljögifter. Ett miljögift kan allmänt definieras som ett *kemiskt ämne med skadlig effekt* på miljön. Denna alltmer använda innebörd gör det lättare att tillämpa systematiska principer för hur miljöproblemen med kemikalier skall kunna minskas. Miljödebatten handlade länge på ett inskränkt sätt om ett fåtal uppmärksammade miljögifter som betecknades biocider (livsdödare). I dagens läge handlar det om att bemästra miljö- och hälsorisker med tiotusentals vardagskemikalier och med mängder av syntetiska nya ämnen.

Framförhållning: Debatt, forskning och åtgärder på området kemi, miljö och hälsa hamnar lätt på efterkälken i denna komplexa verklighet. Därför är det väsentligt att utgå från centrala *förebyggande principer* och inte bara från slumpvis påvisade skadeeffekter och från tester som aldrig kan bli heltäckande.

Kemiska ämnens spridning

Spridning i luft: Spridning sker mycket snabbare i atmosfären än i andra medier. Ett ämne av typ svaveldioxid som släpps ut till luft sprids därför som regel snabbt över stora avstånd. Utsläpp till vatten och mark får en långsammare och i gynnsamma fall lokalt begränsad spridning. Ju lägre ett ämnens kokpunkt är desto större tendens har det att avdunsta och spridas i gasform i atmosfären. Långdistansspridning sker dock också av partiklar med liten diameter i form av svävande stoft. Långdistansspridda partiklar för ofta med sig svårflyktiga, miljöfarliga ämnen som har adsorberats på partikelytan. Atmosfärisk regional och global spridning är därför möjlig för de flesta typer av miljöfarliga ämnen.

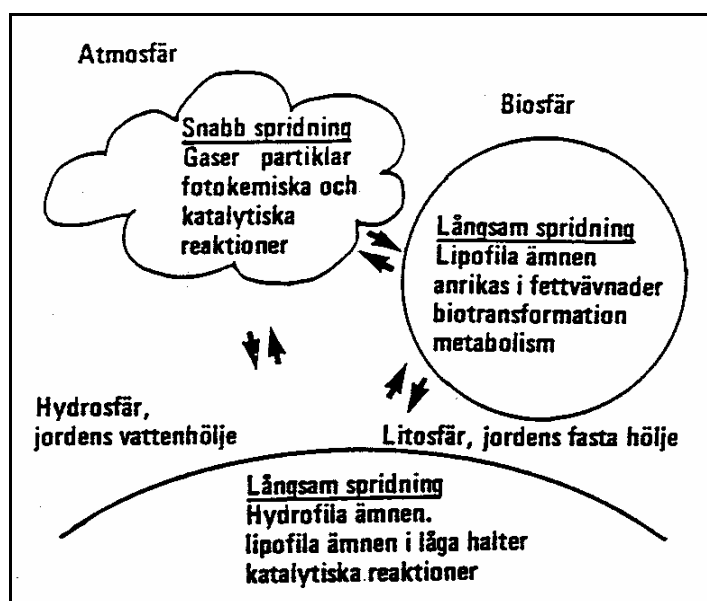
Löslighet: Hur ett ämne sprids såväl utanför som inuti organismer bestäms i hög grad av dess löslighetsegenskaper. En förening karakteriseras med avseende på dessa vanligen som hydrofil, vattenlöslig, eller lipofil, fettlöslig.

Hydrofila ämnen: Föreningar som innehåller syre eller kväve har mer eller mindre hydrofil karaktär. Hydrofila egenskaper minskar ett ämnens flyktighet. Även en gas som svaveldioxid är dock hydrofil. Metalljoner och andra joner är mycket hydrofila. Särskilt tungmetalljoner binds hårt till humus vilket fördröjer utlösning till vatten.

Lipofila ämnen: Fettlösliga är i första hand de mycket stora grupperna av kolväten (C + H) och klorkolväten (C + H + Cl). Råolja och alla petroleumprodukter såsom bensin, dieselolja och eldningsolja utgörs av komplicerade lipofila kolväteblandningar.

Organismupptag: Hela den abiotiska miljön är i princip hydrofil, medan däremot delar av organismerna utgörs av fettinnehållande vävnader. En lipofil förening har därför oftast större tendens än en hydrofil att upptas av och anrikas i organismer. Särskilt djurens upptag av miljögifter är kopplat till den kemiska strukturen hos de biologiska membraner som omger varje cell och olika cellorganeller. Membranernas lipider har en hydrofil och en lipofil ända på liknande sätt som en långkedjig alkohol. Därför används ofta *fördelningskoefficienten mellan oktanol och vatten* (K_{OW}) för att få ett artificiellt mått på ett miljögifts tendens att upptas av organismer.

Biotisk spridning: Ämnen kan spridas via rörliga organismer som djuren men också via näringskedjorna. *Anrikning i näringskedjor* kan ske för en del svårnedbrytbara ämnen med lång livslängd i organismerna. Detta drabbar rovdjur, rovfåglar och andra organismer på de högsta trofiska nivåerna mycket hårt. Skadeeffekterna blir därigenom tydligt synliga. Detta är en del av förklaringen till att flera av de tidigast uppmärksamade miljögifterna såsom DDT och PCB tillhör denna grupp av ämnen med lipofila egenskaper.



Kemisk omvandling

Reaktivitet och persistens: Kemiska föreningar omvandlas i miljön genom mer eller mindre komplexa kemiska reaktioner. Ämnen karakteriseras av hög reaktionsbenägenhet, *reaktivitet*, eller av reaktionströghet, *persistens*. Komplicerat uppbyggda ämnen kan ge ett stort antal olika omvandlingsprodukter. Sannolikheten är då hög att en del av dessa är mer miljöfarliga än det ursprungliga ämnet.

Atmosfärkemi: Abiotisk omvandling sker i stor utsträckning atmosfärkemiskt. Under ljusets medverkan omvandlas de flesta föreningar direkt eller indirekt via *fotokemiska reaktioner*. Halveringstiden kan vara allt från minutkort till årslång beroende i första hand på ämnets kemiska struktur. Klorkolväten tenderar att brytas ned långsammare än egentliga kolväten. Komplicerade *katalytiska reaktioner* sker ofta på partiklar i såväl luft som mark och vatten.

Biotisk omvandling: I mark- och vattenmiljöer genomför mikroorganismer och vissa högre organismer enzymatiska kemiska omvandlingar. Sådan biotisk ämnesomsättning betecknas *metabolism* eller *biotransformation*. Reaktionerna och reaktionsprodukterna blir oftast helt annorlunda än vid abiotisk nedbrytning. Skillnaderna är stora även mellan olika organismer. För naturligt förekommande kemiska ämnen finns det mikroorganismer som till sin egen fördel genomför kemisk omvandling och nedbrytning. Naturfrämmande ämnen omvandlas slumpartat via enzymesystem som har andra funktioner i organismen. Sådana reaktioner ger ofta upphov till metaboliter som är farligare än utgångsämnet. Ett exempel är tensidgruppen nonylfenoletoxylater. Mikrobiell bildning av metylkvicksilver från oorganiskt kvicksilver i sjösediment är en annan typ av miljöfarlig biotransformation.

	Organisationsnivå	Skadeeffekter
toxikologi	molekyl	mutagenicitet, enzymhämmning
	cell	störd celldelning, störd metabolism
	individ	sterilitet, cancer, vävnadsskador
ekotoxikologi	population	låg reproduktion, snävare toleransområden
	organismsamhälle	minskad artdiversitet, nischkrämpningar
	ekosystem	primitivisering, minskad stabilitet

Effekter på olika organisationsnivåer

Organisationsnivåer: Ekotoxikologiska studier av skadeeffekter från kemiska ämnen görs med koppling till olika organisationsnivåer. Ovan upptas de viktigaste nivåerna med exempel på skadeeffekter. En ytterligare uppdelning av skadeeffekter kan på alla nivåer göras i sådana som berör respektive inte berör organismernas arvs massa.

Genotoxiska effekter: *Mutationer* betecknar kemiska förändringar i de jättemolekyler av deoxiribonukleinsyra, DNA, som utgör cellens arvs massa och gener. Bland de stora grupper av ämnen som kan orsaka mutationer märks många klorkolväten. Mutationer som drabbar köns celler kan leda till *ärflika genetiska defekter*. Mutationer som drabbar kroppsceller kan leda till *cancer*. Kemisk struktur och testning på speciella stammar av bakterier (Ames´ test) ger goda möjligheter att avgöra om ett ämne är mutagen och cancerogent. Förklaringen är att arvs massan har en likartad uppbyggnad för alla organismer. För DNA-skador orsakade av naturligt förekommande mutagena ämnen har organismer effektiva reparationsmekanismer.

Skador och skydd: Bland icke-genetiska effekter på molekylnivå märks *enzymhämmningar*. Sådana orsakas ofta av joner av tungmetaller som binds hårt till SH-grupper i enzymerna. Resultatet blir störningar i cellernas metabolism. Genomgående finns på såväl cellnivå som individnivå olika slag av biologiska membraner och andra skyddsmekanismer mot naturligt förekommande skadliga ämnen. Dessa ger ett visst men mer slumpbetonat skydd även mot många av de kemikalier som människan nu sprider.

Reproduktionsskador

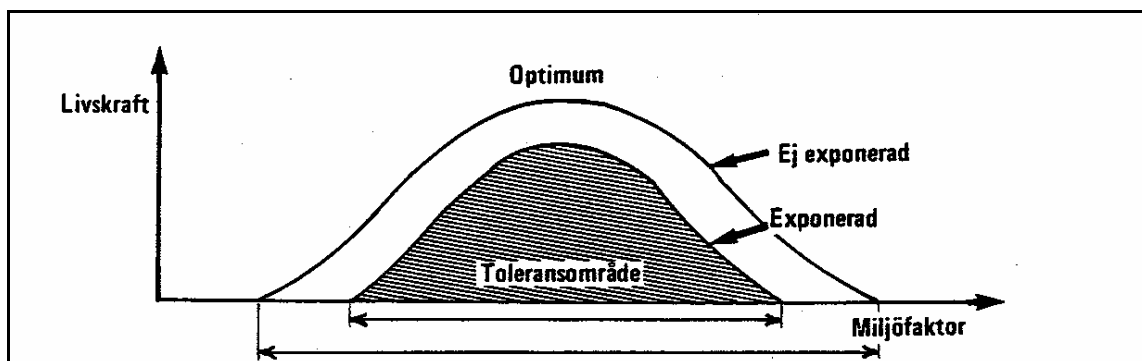
Tidiga stadier i individens utveckling är som regel känsligast för påverkan av miljögifter. Detta gäller även däggdjuren fastän deras foster är skyddade av *placentabariären*. Det är den biologiska skyddsbarriär mot vissa ämnen som livmoderkakan utgör.

Teratogena ämnen: Många kemiska ämnen kan vara *fosterskadande* (teratogena) för olika djurarter. I vissa fall har kopplingar mellan exponering för specifika ämnen och skador på barn kunnat göras. Missbildade barn till mödrar som använt "läkemedlet" *neurosedyn* visade dramatiskt på problemet i Sverige. Fisk förorenad av *metylkvicksilver* ledde till missbildade barn i Minamata i Japan. I Vietnam föddes hundratusentals missbildade barn vilkas mödrar exponerades för fenoxisyror förorenade med *dioxiner* under Vietnamkriget. På senare tid har även fosterskador via kemisk krigsexponering av fäder blivit en het fråga. I mindre dramatisk omfattning utsätts vi alla för teratogena ämnen. Ett etiskt dilemma är om fosterdiagnostik och aborter är ett bra sätt att minska problemet för människans del.

Könshormonkopplade effekter: Under 1990-talet har effekter av reproduktionspåverkande miljögifter kopplats till påverkan via könshormonsystemet. Man talar om hormonimiterande ämnen och om *östrogengifter* eftersom det ofta är kvinnliga könshormoners funktioner som påverkas. Sådana miljögifter kan ge svåra skador i nästa generation med missbildade eller degenererade könsorgan, femininisering av hanliga individer och *försämrad fertilitet*. Det har väckt speciell uppmärksamhet att mannens spermieproduktion närmast har halverats i flera västliga industriländer under de senaste årtiondena.

Hormonimiterande ämnen: Bland specifika ämnen märks *PCB*, *dioxiner*, *DDT* och flera andra *klorinnehållande biocider*. Östersjösalarnas livmoderskador och bristande fertilitet har länge kopplats till PCB-upptag via deras konsumtion av fet fisk. Svenska kvinnor avråds från att konsumera mycket Östersjöfisk med hänvisning till PCB, och från mycket insjöfisk med hänvisning till metylkvicksilver. Också många andra ämnen än halogenföreningar uppvisar hormongiftseffekter. Bland dessa finns *nonylfenol* och *ftalater* som dibutylftalat. Ftalater har länge använts som mjukgörare och nonylfenolderivat som tensider. Båda ämnesgrupperna har också använts i många andra kemisk-tekniska produkter och har tillverkats även i Sverige ända in på 90-talet.

Varningssignaler: Försämrad reproduktion inom en population är ofta en första indikation på miljögiftspåverkan. Orsakssammanhangen kan vara komplicerade och svåra att klarlägga. Äggskalsförtunning för fåglar och yngelutslagning för fiskar är uppmärksammade exempel.

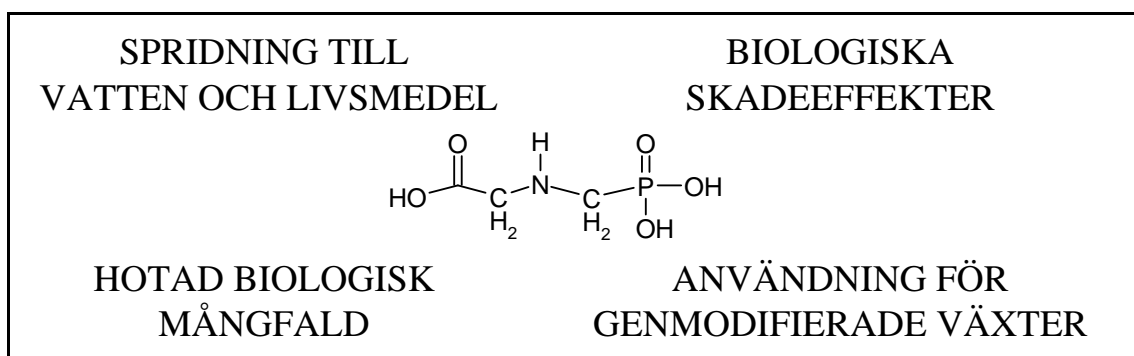


Skadeeffekter på populationsnivå

Minskade toleransområden: Huvudprincipen för kemisk påverkan av organismerna i ett ekosystem illustreras ovan av optimumkurvans förskjutning. Onaturlig exposition för ett kemiskt ämne medför ofta att populationernas toleransområden minskar med avseende på naturliga miljöfaktorer som t ex vattentillgång, temperatur och essentiella näringsämnen. Samtidigt minskar organismens livskraft (välbefinnande, motståndskraft, tillväxtförmåga, aktivitet, reproduktion etc) inom hela toleransområdet. Marginalerna till svåra skadeeffekter och total utslagning är förstas minst nära toleransområdets gränser. Även där är emellertid effekten av kemisk påverkan förrådigt svåridentifierad. Skadorna orsakas ju skenbart ofta av infektioner, näringsbrist, torka, kyla, hetta m fl påfrestningar nära toleransgränserna. Hittills har samband med kemisk påverkan som regel erkänts på ett alldeles för sent stadium då skadan är mer eller mindre irreparabel.

Nischförskjutningar: Minskade toleransområden medför också att arternas ekologiska nischer krymper. Utbredningsområdena begränsas till lokaler där miljöfaktorerna är mest gynnsamma. Försurningen kan medföra att granen slås ut på de torraste, våtaste, blåsigaste och kallaste av de lokaler där den annars hjälpligt klarar sig. Minskad motståndskraft och konkurrensförmåga hos det stabila ekosystemets dominerande organismer ger också ökat utrymme för skadegörare och sjukdomsalstrare att expandera.

Etologiska störningar: Skademekanismerna på de högre organisationsnivåerna är som regel ännu mer komplexa än på de lägre. För djurpopulationer är *beteendestörningar* kritiska särskilt när det gäller fortlevnaden över flera generationer. Överförandet av beteenden från föräldrar till ungar sker genom ett komplicerat etologiskt samspel. Revirhävdande och parning är andra störningskänsliga etologiska områden. Hela den stora gruppen av lipofila ämnen med effekter på nervsystemen kan befaras ge skadeeffekter på beteendefunktioner. Ämnen som anrikas i näringskedjor kan ge särskilt tydliga effekter för toppkonsumenterna.



Bekämpningsmedel

Bland miljögifterna har bekämpningsmedlen en särställning genom att de medvetet sprids för att skada och döda levande organismer. De används mot oönskade populationer men orsakar ofta skador på såväl människor som ekosystem. Viktiga grupper av bekämpningsmedel är *herbicer* (växtdödare), *insekticider* (insektsdödare) och *fungicider* (svampdödare).

Historik: Insekticiden DDT belönades med nobelpris, men blev snart därefter en symbol för miljögifter. Fungiciden metylkvicksilver och herbicidgruppen fenoxisyror ansågs nödvändiga under något decennium innan de stoppades på grund av sina toxiska effekter på djur och människor. På liknande sätt har senare följt rader av bekämpningsmedel som först godkänts och använts ett antal år och sedan förbjudits på grund av oacceptabla gifteffekter. En tydlig trend är övergång till medel med starkare gifteffekt mot bekämpade organismer. Sådana *lågdosmedel* har uppfyllt politiska mål om minskade mängder bekämpningsmedel.

Nya miljöaspekter: Under 1990-talet har nya perspektiv på bekämpningsmedel kommit i fokus. Detta kan illustreras av herbiciden *glyfosat*, som enligt figuren ovan är ett derivat av aminosyran glycin. Den har en specifik metabolisk gifteffekt som dödar praktiskt taget alla örter och gräs i enlighet med dess handelsnamn Round-up. Efter nya EU-regler har glyfosat fått en starkt ökad användning som alternativ till harvning för trädor. En *minskad artrikedom* i jordbruksekosystemen kan bli följden. Visst *läckage till vatten* av glyfosat har observerats och bidragit till ifrågasättande av användningen.

Genmodifierade grödor: Grödor som sojabönor och majs har gentekniskt kunnat göras resistenta mot glyfosat som då kan användas för att effektivt döda alla konkurrerande växter i odlingarna. Genmodifierade organismer, GMO, ifrågasätts av både ekologiska och etiska skäl. Deras koppling till bekämpningsmedelsanvändning gör dem än mer diskutabla.

Synergism

Grundprinciper: Innebörden av synergism är att effekten av ett visst ämne förstärks genom *samverkan* med ett eller flera andra ämnen. Påverkan av ett miljöstörande ämne tenderar att minska organismernas toleransområden för andra ämnen. Detta innebär att synergism snarare är regel än undantag. Organismernas sofistikerade anpassning till sin naturliga kemiska miljö medför att antagonistiska, dvs motverkande, effekter är mer sällsynta. Av likartade skäl är gynnsamma mutationer sällsynta jämfört med skadliga mutationer.

Förvärrade effekter: Det mycket stora antalet kemiska ämnen som sprits i miljön medför att synergistiska effekter sannolikt svarar för större miljöstörningar än summan av effekterna från alla enskilda ämnen. Synergistiska effekter är ofta svåra att påvisa. De illustreras därför vanligen med specifika och dramatiska kombinationseffekter av olika ämnen på människan. I själva verket har synergism en mycket stor men mer förbisedd ekologisk betydelse.

Synergism på ekosystemnivå: De flesta välkända kemiska miljöeffekter på ekosystem har en synergistisk karaktär. Försurningen leder genom pH-sänkning till en ökad rörlighet av toxiska *tungmetaller* i mark och vatten. Vegetationsskadande fotooxidanter bildas i luft från kolväten i samverkan med kväveoxider. Kvicksilvrets fördelning mellan hydrosfär och atmosfär påverkas negativt av försurningen. Ozon och svaveldioxid verkar synergistiskt växtskadande.

Ekotoxtester: Synergism gör att miljöeffekterna av ett ämne tenderar att bli värre än vad olika toxicitetstester för ämnet indikerar. Omfattande resurser läggs ned på internationella testsystem för toxicitetstestning av kemiska ämnen. Dessa tester är oftast standardiserade för enskilda vattenlevande arter och missar synergistiska effekter. Tester i modellekosystem kan ibland ge en bättre bild av helhetseffekter.

Svårutredda samband: Multifaktoriella orsakssammanhang som inkluderar synergistiska effekter är svåra eller omöjliga att klarlägga helt, och skadeeffekterna framstår därför ofta som mystiska och skrämmande. *Skogsdöden* illustrerade detta. Den från sydvästra Sverige under 1990-talet alltmer spridda *älgsjukan* misstänks bero på kemiska obalanser i miljön. Detsamma gäller det redan 1974 upptäckta skadesyndromet *M74* som slår ut laxyngel. Ofta presenteras missvisande enkla förklaringar. *Säldöden* i slutet av 1980-talet förklarades med ett virusangrepp, men utan miljögiftspåverkan hade kanske sälarna klarat sig bra. På likartat sätt drabbas människan av fler och värre *luftvägsinfektioner* vid luftföroreningspåverkan.

Homeostas

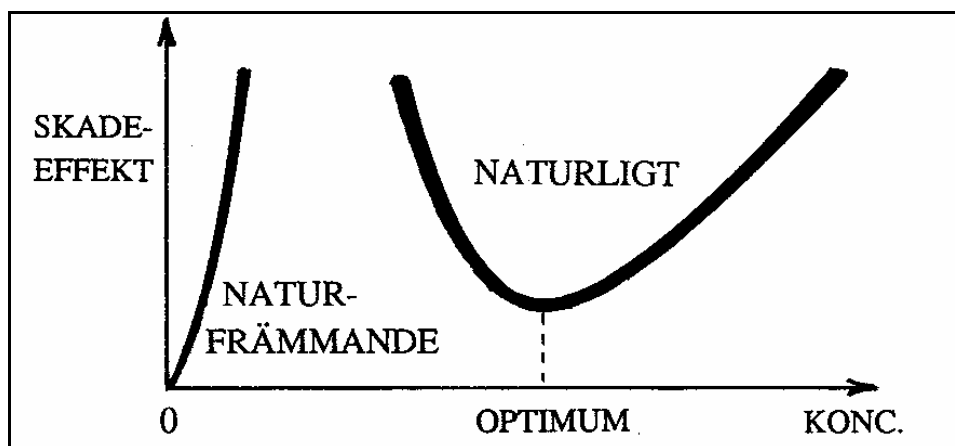
Självstyrning mot ett jämviktsläge med hjälp av olika regleringsmekanismer betecknas i fysiologiska och ekologiska sammanhang som homeostas.

Individnivå: Homeostatiska mekanismer för reglering av kemiska ämnen på individnivå är kända i stort antal särskilt från människans fysiologi. Med hjälp av bl a hormoner, hålls viktiga delar av organismernas inre kemiska miljö förvånansvärt konstant. Ett välkänt exempel är regleringen av blodsockernivån med hormonet insulin. De ofta komplicerade homeostatiska mekanismerna har utvecklats för ämnen som organismen normalt innehåller eller utsätts för. Effekter på främmande ämnen är därför oftast slumpartade och negativa.

Ekosystemnivå: Principerna för homeostas på ekosystemnivå liknar dem på individnivå. Komplicerade mekanismer finns för reglering av tillfälliga över- eller underskott på naturligt förekommande ämnen. För vatten ökar efter regn avrinning, evaporation och transpiration för att sedan minska vid torka. Vid torka finns mekanismer som möjliggör sträng hushållning med det vatten som finns kvar. Samtidigt är förstås organismerna i t ex mossar och kärr anpassade till högre jämviktsnivåer än organismerna i torrare biotoper av olika slag. En viss reversibel reglering inom ekosystemet kan också ske genom att populationerna av olika arter varierar i storlek beroende på aktuell vattentillgång.

Kvävehomeostas: Nitrateutrofiering motverkas av ökad denitrifikation. Höga nitrathalter minskar kvävefixerande organismers konkurrensförmåga och minskar nitrattillförseln via nitrifikation. Ökade nitrathalter motverkas också av en ökad produktion och av ökad NH_3 -avgång vid nedbrytning. Denna effektiva kvävehomeostas räddar kustvattnen och andra ekosystem från att bli mycket värre nitrateutrofierade än vad som nu är fallet.

Naturligt förekommande ämnen: Liksom för nitrat m fl kväveföreningar finns regleringsmekanismer för i princip alla i ekosystemet naturligt förekommande kemiska ämnen. De ingående organismernas toleransområden tenderar därför att bli bredare för naturligt förekommande än för naturfrämmande ämnen. En konsekvens av förekomsten av homeostas är att begränsade antropogena utsläpp av naturligt förekommande ämnen inte behöver få några svårare konsekvenser om de sker i ekosystem med bra regleringsförmåga för ämnet ifråga. Homeostasen klarar dock bara *reglering inom begränsade ramar*. När dessa överskrids kan konsekvenserna för naturligt förekommande ämnen som svaveldioxid och ozon bli lika katastrofala som för naturfrämmande ämnen som DDT och PCB. För limniska vattenecosystem kan det buffrande vätekarbonatinnehållet (alkaliniteten) sägas markera hur stor marginalen är till ett överskridande av ramen för försurningsmotverkande homeostas.



Naturfrämmande och naturliga ämnen

Ovanstående figur illustrerar den principiellt stora ekotoxikologiska skillnaden mellan naturfrämmande ämnen och i ekosystemet naturligt förekommande ämnen.

Naturfrämmande ämnen: För ämnen som inte hör hemma i ekosystemet finns inga specifikt utvecklade skyddsmekanismer. Vid ökande halt tillkommer allt fler och alltmer förvärrade skadeeffekter. En stor del av alla kända kemiska ämnen tillhör den kategori som framställts syntetiskt av människan. De flesta av människan spridda halogenföreningar är naturfrämmande och denna stora ämnesgrupp ligger också bakom flera allvarliga miljöhot.

Naturligt förekommande ämnen: För naturliga ämnen finns en *optimal koncentration*, och såväl högre som lägre halter orsakar problem. Den optimala halten är olika för olika ekosystem och delar av ekosystem och varierar ofta också med tiden under dygnet eller året. På grund av naturligt utvecklade *skyddsmekanismer* orsakar begränsade avvikelser från den optimala halten inga betydande skador. Exempel på skyddsmekanismer är homeostas, metabolisk nedbrytning och varningssignaler via lukt- och smaksinne. Ozon kan nämnas som ett betydande exempel. Svåra problem orsakas både av för låga halter i stratosfären och av periodvis alldeles för höga halter i marknära luft.

Gränsfall: Många ämnen finns naturligt i ytterst små mängder men bör ekotoxikologiskt betraktas som naturfrämmande om de antropogena halterna är flera tiopotenser högre.

Naturliga toxiska ämnen: Ofta framhålls att vissa naturliga toxiner är bland de för människan giftigaste av kända ämnen. Sådana toxiner och andra för människan giftiga ämnen i naturen är ett led i det naturnödvändiga kemiska samspelet i ekosystemen. De bör alltså liksom t ex huggormar och getingar inte främst ses som ett hot utan tvärtom som en viktig del av ekosystemets funktion.

Miljöfarlighetskriterier

Vikten av att bland myriader av kemiska ämnen kunna bedöma vilka som är mer eller mindre miljöfarliga gör allmängiltiga kriterier värdefulla. De fyra som tas upp här kan tillämpas på de flesta ämnen och täcker in de flesta slag av miljöpåverkan. Generella kriterier är också viktiga för att prioritera insatser för toxicitetstestning.

Naturfrämmande: Det överordnade allmänna miljöfarlighetskriteriet är att ett ämne inte finns naturligt i ekosystemet. De principiella skillnaderna mellan naturligt förekommande och naturfrämmande ämnen har belysts på föregående sida.

Vidsträckt spridning: En vidsträckt spridning till många och stora ekosystem har på senare tid alltmer framhållits som ett kriterium för miljöfarlighet. De många ämnen som hålls inom laboratoriet får normalt små ekologiska effekter. Påtagliga lokala miljöeffekter får lätt större uppmärksamhet än värre smygande effekter på regionala stora ekosystem.

Bioackumulering: De först uppmärksammade miljögifterna anrikades i näringskedjor. En sådan anrikning har därför traditionellt betraktats som ett av de allvarligaste kriterierna på miljöfarlighet. Skadeeffekter och kemiska ämnen kan dock identifieras jämförelsevis lätt och åtgärder vidtas. Ett större problem är diffus spridning i biosfären av den stora majoritet av kemiska ämnen som anrikas ospecifikt och ger förrädiskt svårupptäckbara skadeeffekter.

Effekter på lång sikt: Tungmetaller och andra persistenta ämnen som kan ge effekter under mycket lång tid har länge betraktats som speciellt miljöfarliga. Ärftliga mutationer är en ofta ännu mer långsiktig effekt, som dock i stor utsträckning orsakas av reaktiva och kortlivade kemiska föreningar. Andra irreversibla effekter i ekosystemen såsom utslagning av arter kan också orsakas av kemiska ämnen med kort livslängd.

Persistens olämpligt kriterium: Ämnen som medför långsiktiga skadeeffekter måste alltså ses som speciellt miljöfarliga, men många av dem är inte persistenta. Man får heller inte glömma att livsnödvändiga ämnen som näringsmetaller är persistenta

Effekter på ekosystemnivå: Skadeeffekter på höga organisationsnivåer drabbar fler arter och individer än skador på lägre nivåer. Människan tenderar att gradera kemiska ämnens farlighet efter hur hårt de drabbar henne. Med ekologiska insikter om människans beroende av ekosystemens funktion behöver detta inte strida mot att skadeeffekter på ekosystemnivå prioriteras högst.

Miljön skall vara fri från ämnen och metaller som skapats i eller utvunnits av samhället och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden.

En giftfri miljö innebär att halterna av naturfrämmande ämnen i miljön är nära noll och att ämnen som förekommer naturligt i miljön är nära bakgrundshalterna.

Riksdagen 1999

Giftfri miljö

Människans genetiska anpassningsmöjligheter: Människan och andra högre organismer har inga möjligheter att anpassa sig genetiskt i några väsentliga avseenden inom överskådlig tid. Dessutom har vi knappast någon önskan att förbättra vår anpassningsförmåga. Vår *mutationsfrekvens* anstränger vi oss hårt för att minska. Vi hänvisar då till att den helt dominerande delen av alla mutationer är negativa och kan ge cancer och ärftliga defekter. Vi försöker också på många sätt mildra *selektionen* för vår egen del. Numera försöker man i de flesta kulturer även att begränsa *reproduktionen*. Lägre organismer med hög reproduktion, kort generationstid och brutal selektion har bättre möjligheter att anpassa sig snabbt. När människan ändrar den kemiska miljön, missgynnar alltså det högre organismer och särskilt människan själv mer än lägre organismer.

Generell målsättning för vår kemiska miljö: En viktig slutsats blir då att vi för vårt eget bästa måste *minimera onaturliga förändringar av den kemiska miljön*. Avvikelser försämrar människans livsvillkor som biologisk varelse. Målsättningen måste med andra ord vara att så långt som möjligt återställa och bibehålla den kemiska omgivning som människan anpassats till under tusentals generationer. Viktigt är att detta ger en klar ledstjärna för alla kemiska ämnen oberoende av tidskrävande, dyrbara och alltid ofullständiga effektstudier. Minst lika betydelsefullt är det att en sådan ekologiskt grundad målinriktning ger möjlighet att arbeta förebyggande, medan effektstudier ofta ger vägledning först då skadan skett. En insikt om ekosystemens och de levande organismernas komplexitet säger också att oavsett vilka stora forskningsresurser som satsas så kommer ändå aldrig mer än en bråkdel av skadeeffekterna från alla antropogent framställda och spridda kemiska ämnen att kunna klarläggas.

Ekotoxikologiska begrepp

BIOACKUMULERING	Anrikning av kemiska ämnen i levande organismer; kan ske i vävnader, i hela organismer och i näringskedjor
BIOCID	”Livsdödare”; om bekämpningsmedel m fl miljögifter
BIOTRANSFORMATION	Organismers enzymatiska omvandling av kemiska ämnen; särskilt om miljögifter
EKOTOXIKOLOGI	Läran om kemiska ämnens spridning, omvandling och effekter i ekosystemen
FEROMONER	Kemiska inomartssignaler
FUNGICID	Svampdödande kemiskt ämne; om bekämpningsmedel
FYTOTOXISK	Giftig för växter
GENOTOXISK	Skadar gener, dvs DNA och/eller DNA-funktioner
HERBICID	Växtdödande kemiskt ämne; om bekämpningsmedel
HOMEOSTAS	Självstyrning mot jämviktsläge; om miljöfaktorer i organismer och ekosystem
HYDROFIL	”Vattenälskande”, hög vattenlöslighet; om kemiska ämnen
KOLVÄTE	Kemiskt ämne som innehåller kol och väte (C+H)
LIPOFIL	”Fettälskande”, hög fettlöslighet; om kemiska ämnen
METABOLISM	Ämnesomsättning; om enzymatiska reaktioner i levande organismer
MILJÖGIFT	Beteckning för ett miljöstörande kemiskt ämne
MUTATION	En förändring av den kemiska strukturen hos cellens arvs massa
NISCH	Ekologisk nisch = summan av de ekologiskt betydelsefulla egenskaper som karakteriserar en art
ORGANISATIONSNIVÅ	Ekotoxikologiskt klassificeringsbegrepp; exempel är individnivå och ekosystemnivå
PERSISTENS	Reaktionströghet; särskilt om ämnen som biotransformeras långsamt
SAMEVOLUTION	Evolution av två eller flera arter under specifik ömsesidig påverkan
SELEKTION	Urval; speciellt om så kallat naturligt urval
SYNERGISM	”Samverkan”; om kemiska ämnen eller andra miljöfaktorer som förstärker varandras effekt
TOLERANSOMRÅDE	Miljöfaktorintervall inom vilket en organism (population) kan existera
TUNGMETALLER	Ospecifik beteckning för de ofta miljöfarliga metallerna med hög atomvikt