

Biotekniken inför 2000-talet

Biotekniken används främst inom hälso- och sjukvården, jord- och skogsbruket, livsmedelsproduktionen och miljösektorn. Områden som är av central betydelse för människans hälsa och livskvalitet. Antalet bioteknikföretag och biotekniska produkter blir allt fler och bioteknikens betydelse för den ekonomiska utvecklingen ökar. Antalet tillämpningar liksom handeln med biotekniska varor och tjänster ökar och väntas öka ännu snabbare i framtiden. Biotekniken kan komma att påverka livssituationen och utvecklingen för alla jordens människor. Tillsammans med informationstekniken väntas biotekniken bli det viktigaste utvecklingsområdet under det närmaste århundradet.

Mest framgångsrik har biotekniken varit inom hälso- och sjukvården. Förväntningarna på tekniken är mycket höga. Den fortsatta utvecklingen kommer med all sannolikhet att innebära en revolution inom området. Den kommer att ge bättre möjligheter att diagnostisera, bota och förebygga många sjukdomar.

Den moderna biotekniken har utvecklats som en följd av ett antal genombrott inom den naturvetenskapliga grundforskningen. I flera fall har dessa inneburit att gränser sprängts. Det som tidigare ansågs omöjligt är nu fullt möjligt – och i vissa fall rutin. Gener kan flyttas mellan arter och organ kan transplanteras från djur till människa. Kloningen¹ av fåret Dolly kullkastade en vetenskaplig dogm, som innebar att växter, men inte djur, kunde klonas med utgångspunkt från specialiserade vävnader.

Tekniska möjligheter ger emellertid inte bara upphov till framtidstro och optimism, utan också till skepticism och oro. Den snabba biotekniska utvecklingen gör att det kan vara svårt att förstå vad som händer. Medborgarnas möjligheter till insyn och medinflytande är otillräckliga. Det är ett uppenbart demokrati-

¹ Forskare i Skottland lyckades år 1997 skapa en genetisk kopia av ett får, Dolly, genom att föra över kärnan från en juvercell i ett obefruktat ägg (så kallad reproduktiv kloning).

problem. Det måste finnas utrymme för diskussion och medinflytande när det gäller en teknik som i så hög grad berör varje medborgare, ja, som bokstavligt talat rör livets grundläggande beståndsdelar. Behovet av en dialog mellan forskare och andra experter, politiker och andra medborgare är mycket stort.

Användningen av bioteknik kräver ofta etiska ställningstaganden. Det står helt klart att medborgarna anser att de etiska frågorna är betydelsefulla. Det är ett stort ansvar för nuvarande generationer att ta tillvara teknikens möjligheter och att använda dem på ett ansvarsfullt sätt i samklang med grundläggande värderingar i samhället. För att biotekniken skall kunna infria de högt ställda förväntningarna, måste dess tillämpningar vara etiskt acceptabla samtidigt som de inte hindrar en socialt, ekonomiskt och ekologiskt hållbar utveckling.

Sverige saknar en sammanhållen och långsiktig bioteknikpolitik. Samhällets hantering av biotekniken karakteriseras av splittring. Ansvaret för dess delområden ligger på flera olika departement och myndigheter. Även den legala regleringen är splittrad. Sverige saknar en sammanhållen och långsiktig bioteknikpolitik.

Biotekniken inför 2000-talet är Bioteknikkommitténs förslag till riktlinjer för en svensk bioteknikpolitik samtidigt som den utgör en sammanfattning av slutbetänkandet (SOU 2000:103).

Bioteknik – en spetsteknik

Bioteknik är ett samlingsbegrepp för användning av mikro-, cell- och molekylärbiologiska metoder för tekniska ändamål. Det är en basteknologi med många användningsområden. Till de mera kända hör framställning av läkemedel, produktion av livsmedel och rening av avloppsvatten. Bioteknik förknippas ofta med modern högteknologi. Biotekniska processer har dock använts i tusentals år. Människan har använt sig av egenskaperna hos celler och gener långt innan hon kände till att de fanns.

Traditionella biotekniska produkter är till exempel öl, vin, ost och filmjolk. För drygt hundra år sedan upptäckte man att det var levande organismer, bakterier och svampar, som gjorde att mjölken surnade och ölet jäste. Biotekniken fick därmed en vetenskaplig bas och en snabb utveckling tog sin början. Biotekniska produkter började framställas i stor skala. Det som var ett hantverk utvecklades till en industri.

Den moderna biotekniken växte fram under 1900-talets senare hälft genom framsteg inom den naturvetenskapliga grundforskningen. Särskilt gentekniken har haft stor betydelse. Genteknik är ett samlingsbegrepp för flera olika metoder, som används för att isolera, mångfaldiga, förändra och kartlägga genetiskt material eller för att överföra det mellan organismer. Gentekniken har gjort det möjligt att studera normala livsprocesser och bakgrunden till sjukdomar på molekylär nivå. I den traditionella biotekniken används organismer som förekommer naturligt eller organismer som förändrats genom urval, korsningar eller mutationer. Gentekniken har revolutionerat utvecklingen av läkemedel och gett växtförädlingen nya, effektiva verktyg. Gentekniken gör det dessutom möjligt att skraddarsy organismer eller biologiska molekyler för industriella eller andra praktiska ändamål, till exempel enzymer i tvättmedel.

Genom kartläggningen av människans, bagerijästens, bananflugans och andra organismers arvs massa har forskningen om genernas funktioner och den biotekniska utvecklingen kommit in i en ny fascinerande fas. Biotekniken har blivit en spets teknik. Många anser att 2000-talet kommer att bli bioteknikens århundrade.

Biotekniken i dag och i morgon. Möjligheter och risker

Biotekniken baseras på såväl traditionella metoder som på modern spets teknologi. Under de senaste årtiondena har forskningen lett till produkter och processer som för inte så länge sedan skulle ha betraktats som utopier. Förväntningarna på fortsatta framsteg är stora.

Möjligheter

Forskning

Under 1900-talet gjordes stora framsteg inom den bioteknikrelaterade grundforskningen. DNA-spiralens struktur bestämdes och den genetiska koden upptäcktes. Gentekniken utvecklades och metoderna inom den strukturbiokemiska forskningen om sambandet mellan biomolekylers struktur och funktion blev allt mer förfinade. Det har lagt grunden till en stark utveckling inom cell- och molekylärbiologin. Det är nu möjligt att studera livsprocesser

och sjukdomsförlopp med en precision som aldrig tidigare varit möjlig.

Ett av de allra viktigaste framtida forskningsområdena är den så kallade funktionsgenomiken, det vill säga forskning som syftar till att ge kunskap om vilka funktioner olika gener har hos människan och andra levande organismer. För att kunna lagra och hantera de stora datamängder som genforskningen genererar, har ett nytt tvärvetenskapligt forskningsområde, bioinformatiken, utvecklats under senare år.

De praktiska konsekvenserna av forskningen om generna och deras funktion väntas bli betydande. Kunskap om genernas exakta uppbyggnad och betydelse för växters, djurs och mikroorganismers egenskaper kan innebära att det utvecklas nya effektiva metoder för att producera livsmedel, tillverka läkemedel och minska miljöförstöringen.

Kunskapen om hjärnan och nervsystemet kommer sannolikt att öka dramatiskt. Minnets, glömskans, sorgens och glädjens fysiologiska bakgrund kommer att klarläggas. Effektiva åtgärder mot sjukdomar som Alzheimers sjukdom, åldersdemens, schizofreni och depressioner kan utvecklas. Minnet kan förbättras.

Inom nanotekniken, där forskare arbetar med strukturer med så små dimensioner som miljondels millimeter, kan samarbetet mellan biologer, kemister och fysiker leda till nya sensorer för medicinska ändamål, till konstgjorda enzymer och till att kiselteknologin ersätts av en teknik där biomolekyler gör datorerna ännu mindre och snabbare.

Den biotekniska forskningen kommer att få betydande konsekvenser för samhället och för människans syn på sig själv som biologisk varelse. Naturvetare, humanister och samhällsvetare kommer att samarbeta för att studera bioteknikens etiska, sociala och legala konsekvenser. Antalet tillämpningar liksom handeln med biotekniska varor och tjänster kommer troligen att öka i framtiden.

Näringsliv

Biotekniken är, liksom informationstekniken, brett användbar inom en rad industrisektorer och används i så skilda sammanhang som för att framställa läkemedel, bleka pappersmassa och utvinna metaller.

Produkter och teknik utvecklas ofta i samarbete mellan större företag, små forskningsföretag och universitetsforskare. Som i andra sektorer sker en fortlöpande koncentration genom att stora företag går samman. Samtidigt bildas nya, innovativa, små företag genom avknoppning från universitetsforskningen och stora koncerner.

Bioteknikområdet är i hög grad internationellt. USA ligger långt före Europa när det gäller den industriella utvecklingen. Sverige har jämförelsevis många bioteknikföretag, de flesta med inriktning på hälso- och sjukvårdsområdet. Användningen av bioteknik i Sverige kommer dock troligen att öka också inom andra branscher, till exempel inom livsmedelssektorn och massa- och pappersindustrin.

Hälso- och sjukvård

Biotekniken har fått sina flesta och mest framgångsrika tillämpningar inom hälso- och sjukvården. Sedan snart 20 år finns genetiskt framställda läkemedel och vacciner på marknaden. Antikroppsdiagnostik och genetisk diagnostik har blivit allt viktigare redskap inom sjukvården. Gentekniken har blivit ett ovärderligt redskap inom läkemedelsforskningen.

Den fortsatta utvecklingen kommer att innebära en revolution på hälso- och sjukvårdens område. Den allt mer detaljerade kunskapen om biomolekylernas tredimensionella struktur ger ökade möjligheter att konstruera läkemedel med bättre effekt och färre biverkningar. Allt fler kroppsegna ämnen av medicinsk betydelse kommer att kunna framställas med bakterier eller andra organismer.

Kartläggningen av människans arvs massa ökar möjligheten att minska biverkningar och förbättra behandlingsresultat. Läkemedelsbehandlingen kan göras effektivare genom att den skräddarsys för varje patient med hänsyn till hans eller hennes förmåga att tillgodogöra sig och bryta ner läkemedelssubstansen. Med bättre kunskap om hur cancerceller uppstår och utvecklas kan nya läkemedel mot cancer komma att framställas. Kunskap om smittämnen arvs massa kan ge möjligheter att utveckla nya vacciner och antibiotika för att förebygga och bota sjukdomar som AIDS, malaria, tuberkulos och kolera.

Diagnostiken blir såväl säkrare som känsligare och får allt fler användningsområden. Enkla gentester blir rutin och innebär såväl

bättre sjukdomsdiagnostik som väsentligt utökade möjligheter att undvika framtida sjukdomar och anpassa livsstil efter de genetiska förutsättningarna.

Nya organ och vävnader kan tillverkas med stamceller från den egna kroppen, vilket innebär att riskerna för avstötning minskar eller elimineras. Behandlingen av till exempel diabetes och Parkinsons sjukdom förändras radikalt. Sjukvårdens behov av organ från människor och djur för transplantationsändamål kan bli mindre.

Med hjälp av genterapi kan bland annat en del allvarliga ärftliga sjukdomar botas.

Jord- och skogsbruk m.m.

Biotekniken används bland annat för att kartlägga arvsmassan hos växter och djur. Resultaten kan användas för att karakterisera sorter, planera traditionell växt- och djurförädling och som underlag för genteknisk förändring. Genteknisk förändring görs främst på jordbruksväxter. Inom skogsbruket och boskapsuppfödningen är användningen liten, men det finns förutsättningar för att den skall kunna bli större. Genteknisk förändring kan få stor betydelse för jord- och skogsbruksnäringen liksom för industrin och konsumenterna. Resultatet kan bli ökade skördar, industrianpassade grödor och bättre näringsvärde.

I USA har gentekniska förändringar medfört att skörde-förlusterna minskat liksom förbrukningen av kemiska bekämpningsmedel och drivmedel. Detta har inneburit att jordbrukets lönsamhet har förbättrats. I Europa är den kommersiella odlingen av gentekniskt förändrade grödor däremot nästan obefintlig.

Gentekniken har hittills mest använts för att förändra egenskaper av intresse för producenterna och industrin. I framtiden kan det komma att utvecklas produkter som mer omedelbart tar sikte på konsumenternas behov; till exempel mer näringsriktiga, hållbara och högvakastande grödor som passar att odla i såväl den industrialiserade världen som i utvecklingsländerna. Ett exempel på en gröda med bättre näringsvärde är det så kallade gyllene riset, som, till skillnad från annat ris, innehåller en högre halt karoten, ett förstadium till A-vitamin. Brist på A-vitamin är ett allvarligt hälsoproblem i många länder med ris som huvudföda.

Nya skogsträd anpassade till industrins behov kan också utvecklas. Trycket på den kvarvarande urskogen kan därigenom minskas och den biologiska mångfalden bevaras.

Egenskaper hos djur, som kan vara särskilt värdefulla för läkemedelsproduktion eller inom jordbruket, riskerar att försvinna hos avkomman vid naturlig förökning. Vid kloning, där avkomman är en genetisk kopia av föräldern, har varje avkomma med säkerhet dessa efterfrågade egenskaper.

Livsmedel och foder

Det produceras för närvarande tillräckligt med livsmedel för att försörja jordens befolkning. Svårt anses av många vara en fråga om hur livsmedelsresurserna fördelas snarare än en verklig livsmedelsbrist. Detta förhållande kan ändras i framtiden. Jordens befolkning ökar, samtidigt som utrymmet för att ta ny mark i anspråk för odling, blir allt mera begränsat. På stora delar av den existerande jordbruksmarken minskar bördigheten till följd av erosion, torra och utarmning. Haven hotas av utfiskning. För bibehållen konsumtion av fisk måste produktionen av odlad fisk öka betydligt. Inom såväl växtodling som djuruppfödning kan gentekniken bli ett värdefullt komplement till andra metoder för att förse kommande generationer med livsmedel.

Inom livsmedelsindustrin används företrädesvis traditionell bioteknik med "naturliga" mikroorganismer och enzymer. Genteknik och annan modern bioteknik skulle emellertid kunna innebära åtskilliga möjligheter även för livsmedelsföretagen. Till möjligheterna hör att använda enzymer som optimerats för industriell användning med hjälp av genteknik, och bioanalytiska metoder, till exempel DNA-diagnostik, för produkt- och processkontroll. En annan möjlighet är att använda gentekniskt förändrade mikroorganismer för att förbättra livsmedlens kvalitet, producera livsmedelstillsatser (aromer, konsistensgivare, konserveringsmedel, aminosyror m.m.) och för att utveckla testmetoder för att påvisa allergiframkallande ämnen. Industrin kan få tillgång till råvaror som har ökat näringsvärde, minskad halt av naturliga gifter och som innebär minskad allergirisk för konsumenten. Tänkbara exempel är ris med ökad järnhalt, glutenfritt vetemjöl och solaninfri potatis. Sannolikt kommer gentekniken också att få stor betydelse när så kallade funktionella livsmedel (functional

foods) utvecklas, det vill säga livsmedel som skall öka välbefinnandet eller förebygga eller bota sjukdomar.

Bioteknik för en bättre miljö

Biotekniska processer är energisnåla och resursbevarande. Jämfört med petrokemisk eller annan kemisk teknik är de emellertid ofta långsamma och olönsamma. Utvecklingsmöjligheterna är dock stora och ökar förmodligen ytterligare om miljövänlig teknik gynnas, till exempel genom miljöskatter.

Biotekniken används för att rena luft, avloppsvatten och förorenad mark. Den används också för att producera bioenergi i form av etanol och biogas och för att ersätta miljöskadliga kemikalier med biologiskt nedbrytbara alternativ baserade på förnybara råvaror.

Växthusprocessen kan bromsas om bioenergi används. Genom växt- och skogsträdförädling ökar kemiföretagens möjligheter att ersätta petroleum med förnybara råvaror. En övergång till miljövänliga drivmedel, till exempel biodiesel och vätgas kan bli möjlig. Dessa kan produceras på bioteknisk väg och kan också i hög grad bidra till att minska koldioxidutsläppen.

Miljöbioteknik baseras huvudsakligen på traditionella biotekniska metoder. Om genteknik används, skulle det kunna innebära ännu större möjligheter att åstadkomma en bättre miljö.

Bedömning av risker

Biotekniken kan, som annan teknik, innebära risker. Vissa risker är oacceptabla, andra kan förmodligen bemästras och åter andra är försumbara.

Forskning

År 1973, när gentekniken var ny, uppstod den första riskdebatten. Den gällde om gentekniskt förändrade bakterier eller virus kunde sprida farsoter. I såväl USA som Europa beslöts att allt arbete med genteknik skulle ske i särskilda säkerhetslaboratorier. Farhågorna bedömdes dock ganska snart som överdrivna. Numera bedrivs genteknisk forskning som regel utan förhöjda säkerhetskrav. Endast när organismer i sig själva utgör en risk, som vid arbete

med HIV eller tyfusbakterier, används säkerhetslaboratorier. Gentekniken har använts i ett stort antal experiment i laboratorier över hela världen utan några dokumenterade allvarliga skador på människor, djur eller miljö.

Industri

Industriella processer med bioteknik kan, liksom annan teknik, innebära risker för dem som arbetar med den. Vid hantering av enzymer finns risk för allergier. Det finns också exempel på att personal i anläggningar för rening av avloppsvatten fått obehag till följd av att den omgivande luften innehållit bakterier.

Genteknisk produktion av läkemedel har pågått i kommersiell skala sedan år 1983, då mänskligt insulin började produceras med hjälp av bakterier. Sedan dess har många andra substanser producerats med genteknik. Inga arbetsskador har rapporterats som en följd av detta. Gentekniska processer är tvärtom ofta säkrare för personalen än processer som baseras på blodplasma eller annat biologiskt material, som bland annat kan innehålla smittsamma virusformer. Av samma anledning är produkterna också säkrare för patienter och sjukvårdspersonal.

Hälso- och sjukvård

Alla läkemedel innebär risk för biverkningar. För att minimera riskerna måste samtliga läkemedel godkännas innan de får släppas ut på marknaden. För godkännande måste deras effekter på patienter undersökas i vetenskapligt upplagda kliniska prövningar.

Under 1970- och 1980-talen befarades att patienter kunde löpa ökad risk att drabbas av feberattacker och sjukdomar på grund av att gentekniskt framställda läkemedel kunde innehålla cellbeståndsdelar från de organismer som använts vid framställningen. Industrins reningsmetoder har dock bedömts vara mycket effektiva och kontrollen är noggrann.

Behandling med stamceller kan innebära risk för att det bildas tumörer. Det beror på att stamceller, särskilt embryonala stamceller, är odifferentierade, det vill säga de kan utvecklas till i princip vilken vävnad eller vilket organ som helst. Således förutsätter behandling med stamceller att det finns en kontroll som säkerställer att de utvecklas som planerat och inte till cancerceller.

Genterapi, som medicinsk behandlingsmetod, är fortfarande på forskningsstadiet. Dödsfall har förekommit. I åtminstone ett fall var det förorsakat av en allergisk reaktion mot det genförändrade virus som användes för att föra in en ny gen i kroppen. Virus som bärare av gener bör troligen genomgå klinisk prövning på ungefär samma sätt som läkemedel innan de tas i bruk.

Vid transplantation av organ eller vävnader från andra djurarter till människa kan det överförda materialet innehålla virus, så kallade retrovirus, som är virusformer som ligger "gömda" i arvsmassan hos den främmande arten. Farhågor finns för att sådana virus skulle kunna aktiveras i människokroppen, spridas till tredje man och utveckla en ny farsot, ungefär som AIDS. Några säkra belägg för sådan aktivering föreligger inte, men ytterligare forskning om riskerna krävs.

Genetiska tester kommer att ge allt mer kunskap om enskilda människors gener och därmed om risken för framtida sjukdomar och andra egenskaper. Sådan integritetskänslig information kan medföra problem, såväl för enskilda personer som för deras anhöriga. Den ställer också stora krav på personalen inom hälso- och sjukvården, som skall tolka och förklara den. Testresultaten skulle också kunna användas av arbetsgivare och försäkringsbolag. Det kan leda till en oacceptabel diskriminering på grund av arvsanlag.

Diagnos av sjukdomar hos embryon innan de planteras in i livmodern i samband med provrörsbefruktning eller på foster, gör det möjligt att välja bort dem som har sjukdomar eller skador. Det kan leda till ett samhälle som strävar efter att skapa den "perfekta" människan. Det kan i sin tur leda till diskriminering av sjuka personer och ett förakt för svaghet. Fosterdiagnostik och aborter av skadade foster kan komma att upplevas som tvingande.

Jord- och skogsbruk m.m.

Flera gentekniskt förändrade grödor har utvecklats av stora företag, som också tillverkar och säljer bekämpningsmedel. I vissa fall har grödorna varit toleranta mot företagets egna kemikalier. Det har befarats att detta kan leda till monopolställning för företagen och att beroendet av kemiska preparat i jordbruket ökar. Ökningen av vissa kemikalier har dock balanserats av att andra minskat. En del hävdar emellertid att det innebär en risk att odla genförändrade grödor, som tål ogräsbekämpningsmedel, eftersom

en sådan odling kan permanenta kemikalieanvändningen och försvåra en utveckling mot ett jordbruk utan användning av kemiska bekämpningsmedel. Andra hävdar att ett kemikaliefritt jordbruk inte är en realistisk målsättning om effektiviteten i jordbruket skall kunna upprätthållas och på sikt utvecklas, vilket är en förutsättning om hela jordens befolkning skall kunna förses med livsmedel.

Det har befarats att gentekniskt förändrade organismer skulle kunna sprida sig i naturen och bli reella problem. Risken för detta varierar från fall till fall. De flesta husdjur och kulturväxter saknar helt förmåga att överleva i naturen utan människans omvårdnad. Många husdjur och kulturväxter som används i Sverige saknar vilda släktingar som de skulle kunna överföra gener till. Skogsträd, vallväxter och fiskar är emellertid obetydligt domesticerade och har ofta vilda släktingar. För att det skall uppstå problem, måste de nya generna öka mottagarnas konkurrens- och överlevnadsförmåga.

Människans ingrepp i naturen, oavsett om det handlar om jord- och skogsbruk, anläggning av golfbanor eller vattenreglering, innebär att den biologiska mångfalden påverkas. Under 1900-talet har större krav på lönsamhet medfört att jordbruket blivit allt mer rationellt och storskaligt. Metoder som kemisk bekämpning, täckdikning och renare utsäde har inneburit att jordbrukslandskapets biologiska mångfald har minskat. Farhågor finns för att gentekniken ytterligare skall förstärka denna utveckling.

Det har befarats att gener för antibiotikaresistens skall föras över från gentekniskt förändrade grödor till bakterier i människors eller djurs tarmflora eller till bakterier i marken. Det skulle kunna bidra till att det blir svårare att bemästra sjukdomar med antibiotika. Det finns emellertid en rad hinder för att detta skall ske. Inte ens under laboratoriebettingelser har gener kunnat föras över från växtmaterial till bakterier. Antibiotikaresistenta bakterier är dessutom vanliga i naturen. Enligt de flesta experter utgör överföring av antibiotikaresistens² från växtmaterial till bakterier knappast någon risk för människors eller djurs hälsa. Att använda gener som gör att växten överlever behandling med antibiotika (antibiotikaresistens) är dock onödigt eftersom det finns alternativa möjligheter.

Insekter kan bli resistent mot såväl bekämpningsmedel, som byggs in i växter med hjälp av genteknik, som mot kemiska bekämpningsmedel. Det kan på sikt innebära risk för att bekämp-

² Sjukvårdens problem med antibiotikaresistens beror på en överdriven användning av antibiotika.

ningen blir mindre effektiv. Detta kan dock motverkas genom att grödorna övervakas, så att en eventuell utveckling av resistens upptäcks tidigt. Resistensen kan också begränsas genom växling av grödor och bekämpningsmedel.

Genteknisk förändring för att åstadkomma virusresistens har misstänkts kunna leda till att nya typer av virusangrepp uppstår. Det skulle kunna ske genom att de virusgener, som överförts till en växt och som normalt bara skyddar mot vissa virus, samverkar med andra virusformer, som kan infektera växten. Riskens praktiska betydelse är ännu okänd.

Livsmedel och foder

Många ämnen i livsmedel kan framkalla allergiska reaktioner hos människor som är känsliga för dem. Det är välkänt att vissa ämnen är särskilt allergiframkallande. Om sådana ämnen bildas i växter eller djur, som behandlats med genteknik eller annan teknik, kan det innebära att de livsmedel som produceras av dessa ger allergiska besvär.

När en gen sätts in i en organisms arvs massa placeras den sig som regel slumpmässigt, var som helst. Den nya genen kan skada eller på annat sätt påverka sin nya omgivning. En sådan påverkan har befarats leda till att ämnen med skadlig effekt bildas. Ett livsmedel skulle därigenom kunna bli olämpligt som föda för människor. Det som människan åstadkommer vid genteknisk förändring motsvaras emellertid av naturliga, om än inte så vanliga, förlopp. Såväl hos människan som hos växter och djur förekommer att gener flyttar på sig, så kallade hoppande gener. Enligt tillgänglig kunskap har hoppande gener i jordbruksväxter inte inneburit någon risk för människors hälsa.

En etik för biotekniken

Det står helt klart att många tillämpningar inom biotekniken kräver etiskt välgrundade – och ofta svåra – ställningstaganden. Dessa ställningstaganden måste utgå från de grundläggande etiska principer som svensk lagstiftning och de internationella konventioner, deklARATIONER och andra överenskommelser, som Sverige anslutit sig till, bygger på. När det gäller människor är det till exempel principerna om människovärde, självbestämmande och

rättvisa. När det gäller djur är det en grundläggande princip att de skall behandlas väl och skyddas mot onödigt lidande eller sjukdom. När det gäller växter avser de grundläggande principerna långsiktig hållbarhet, ekologiska hänsyn och biologisk mångfald.

Utmärkande för biotekniken är att forskning och teknisk utveckling ligger flera steg före den etiska reflektionen. I ett sådant läge kan etiken tvingas in i en situation där dess uppgift blir att finna motiv för användning av en redan utvecklad teknik och därmed legitimera dess moraliska halt. När man väl, i efterhand, diskuterat igenom och belyst de etiska problemen i samband med en etablerad tillämpning av biotekniken, har man, på grund av den snabba utvecklingen inom området, ställts inför nya biotekniska tillämpningar och nya etiska problem. Den etiska bedömningen har kommit efter tillämpningarna. Det är självfallet värderingarna och inte de faktiska möjligheterna som bör vara utgångspunkt för lagregler och andra normer. Det måste således klargöras vilka de grundläggande värderingarna är när det gäller bioteknikens tillämpningar på människan och hennes förhållande till naturen och hur hon skall ställa sig när olika värderingar kommer i konflikt med varandra. Något facit i form av enkla och entydiga riktlinjer skall man dock inte vänta sig. Dilemmat har beskrivits som att det alltid finns ett större eller mindre drag av tragik i de val man träffar – för att förverkliga ett värde krävs ett offer av något annat värde. Det är därför viktigt att lyfta fram vilka värden som ingår i de etiska konflikter som utmärker olika biotekniska tillämpningar och de värderingskonflikter som uppkommer.

Etiska grundläggande värderingar kan visserligen vara olika för olika människor, men när det gäller tillämpningar, som direkt rör människor, finns det en bred samsyn. De principer som till exempel Världsläkarförbundet antagit om biomedicinsk klinisk forskning, som omfattar självbestämmande-, godhets-, icke skada- och rättvisepincipen, kan accepteras som grundläggande värden av de flesta människor. Det är svårare att hitta motsvarande allmänt omfattade värden när det till exempel gäller naturen. Människors syn på naturen kan skilja sig väsentligt. Försiktighetsprincipen kan förmodligen de flesta människor ställa sig bakom, även om de lägger olika innebörd i den. Att naturen skall brukas och inte missbrukas och att den skall nyttjas, men inte utnyttjas, kan förmodligen också många ställa sig bakom.

Frågan om det behövs en särskild etik för biotekniken, har ibland besvarats jakande. Det kan bero på att biotekniken ofta är en gränsöverskridande verksamhet med livets grundläggande

beståndsdelar som både medel och mål. Här blir slutsatsen dock den motsatta. De etiska värderingar som bör ligga till grund för ställningstaganden till biotekniska tillämpningar, de värderingskonflikter som kan uppstå vid sådana ställningstaganden och den etiska analys som bör föregå dessa skiljer sig inte från vad som gäller andra handlingar. Detta hindrar inte att etiken måste ha en synnerligen framträdande plats när det gäller just biotekniken, eftersom det ofta är mycket viktiga värden som står på spel. En annan viktig faktor när det gäller biotekniken är tidsaspekten. Den etiska diskussionen måste vara en naturlig del i verksamheten redan på forsknings- och utvecklingsstadiet. Ytterligare en viktig faktor är demokratispekten. Många av bioteknikens tillämpningar berör många människor och också kommande generationer. Det är därför nödvändigt att involvera så många människor som möjligt i den etiska diskussionen. Bioetiken måste bli en angelägenhet för alla.

Utbildning och utbildningsbehov

Såväl grundläggande kunskaper i naturvetenskap, som förmåga att värdera och ta ställning till olika tillämpningar av bioteknik förmedlas i skolan. Enligt läro- och kursplaner skall eleverna kunna diskutera genteknikens olika aspekter när de lämnar grundskolan. Inom de naturorienterande ämnena i grundskolan och gymnasieskolan behandlas frågor av relevans för bioteknik, som cellernas och arvsmassans uppbyggnad. Sociala och etiska aspekter på biotekniken kan behandlas inom de samhällsorienterande ämnena och religionskunskapen.

Den vuxne möter biotekniken i stor utsträckning via medierna. Vetenskapsjournalister, allmänjournalister och informatörer granskar och förmedlar nyheter från forskningen och företagen. Dessa gruppers utbildning och kompetensutveckling har stor betydelse för kunskapen om bioteknik.

Utvecklingen inom biotekniken innebär att det också ställs krav på utbildning och vidareutbildning av olika yrkesgrupper inom till exempel industri och vård. En grundläggande förutsättning för tillgången på ett tillräckligt stort antal personer med naturvetenskaplig eller teknisk utbildning på högskolenivå är att elever väljer en sådan inriktning i gymnasieskolan. En rad initiativ har tagits för att stimulera intresset. För lärare har flera fortbildningsinsatser gjorts för att göra undervisningen i dessa ämnen

mer attraktiv. Ett exempel är de nationella resurscentrum som är knutna till universitet och specialiserade på kemi, fysik, matematik eller teknologi. De medverkar bland annat i lärarfortbildning.

Inom den industri som använder bioteknik behövs fler personer med naturvetenskaplig eller teknisk högskoleutbildning. Det kommer också att behövas personer med mångvetenskaplig kompetens. För att knyta biologi och teknik närmare varandra har flera utbildningar med inriktning på bioteknik eller teknisk biologi, framför allt civilingenjörsutbildningar, startat. Sannolikt kommer efterfrågan på forskarutbildade inom detta område att vara fortsatt stark, liksom efterfrågan på kemister med olika specialiseringar. En koppling mellan IT och biologi eller kemi kommer antagligen också att vara mycket efterfrågad.

Med ökande kunskap om den mänskliga arvsmassan och förändrade möjligheter att diagnostisera och behandla sjukdomar, kommer hälso- och sjukvårdspersonalens behov av kunskap om ärftliga sjukdomar att öka. Likaså kommer kraven på att kunna kommunicera ny kunskap till patienter att öka. Detta kommer att medföra att grundutbildningen av olika personalgrupper inom vården behöver förändras. Det kommer också att ställas högre krav på vidareutbildning.

Ett internationellt perspektiv

Biotekniken betraktas internationellt som ett framtidsområde med en enorm potential. I alla utvecklade länder – och i åtskilliga utvecklingsländer – satsas stort på forskning och utveckling inom bioteknikområdet. Det är framför allt kartläggning av människans och andra organismers arvs massa (gener), så kallad genomforskning, och forskning om genernas funktion, så kallad funktionsgenomik, som tilldrar sig det största intresset. Kartläggningen av människans arvs massa och arvs massan hos flera växter, djur och bakterier, innebär ett vetenskapligt genombrott. I framtiden kommer bland annat nya och bättre läkemedel, vaccin och utsäden att utvecklas.

Gentekniken utvecklades i USA i början av 1970-talet. USA är det ledande landet inom genteknikforskningen och där finns fler och större biotekniska företag och fler biotekniska produkter än någon annanstans i världen. Även Kanada, Japan och Kina satsar stort på bioteknisk forskning och utveckling. I Europa bedrivs också framstående forskning inom området. De europeiska före-

tagen satsar emellertid generellt mindre på forskning och utveckling än de amerikanska företagen. I Tyskland, Frankrike och Storbritannien görs dock kraftfulla satsningar på att stärka den biotekniska forskningen och stimulera utvecklingen av nya företag baserade på forskningen. Sverige har en stark bioteknisk forskning, även vid en internationell jämförelse, och ligger på fjärde plats i Europa när det gäller antalet små, innovativa bioteknikföretag.

Biotekniken är en avancerad teknik. För att den skall utvecklas krävs betydande resurser i form av kunskap och kapital. Biotekniken har hittills dominerats av de rikare länderna och de stora kemi- och läkemedelsföretagen. I utvecklingsländerna finns farhågor för att den nya tekniken skall öka klyftan mellan rika och fattiga länder ytterligare. I internationella förhandlingar kräver utvecklingsländerna därför tekniskt bistånd för att kunna utveckla sin kompetens på bioteknikområdet. De vill själva kunna ta tillvara teknikens möjligheter och utveckla nya läkemedel, vaccin och växtsorter. Åtskilliga program pågår för att överföra kunskap och praktisk erfarenhet från de rikare länderna till de fattigare. Trots detta tenderar avståndet mellan dem snarare att öka än att minska. I Riodeklarationen om miljö och utveckling (1992) och andra internationella överenskommelser slås fast att de rikare och mera tekniskt avancerade länderna har ett stort ansvar för att de fattigare länderna skall få tillgång till den moderna bioteknikens möjligheter.

Under senare år har det växt fram ett motstånd i Europa mot gentekniskt förändrade grödor och livsmedel som framställts av grödorna. Riskerna uppfattas som okända. Resultatet har blivit att marknaden för genförändrade livsmedel i stort sett är obefintlig. Sedan år 1998 råder det i praktiken ett moratorium för kommersiell odling av gentekniskt förändrade grödor inom EU. Myndigheter och organisationer i USA hävdar att det europeiska motståndet inte är sakligt grundat i den meningen att det inte är baserat på vetenskapligt hållbara argument och att avsikten är att utestänga det effektiva amerikanska jordbruket från den europeiska marknaden. EU och dess medlemsstater hänvisar till försiktighetsprincipen och anser att blotta misstanken om en risk är ett tillräckligt skäl för att kunna motsätta sig användning eller import av gentekniskt förändrade produkter. Meningsmotsättningarna kan leda till en handelskonflikt av samma slag som den som uppstod till följd av EU:s förbud mot import av kött från hormonbehandlade djur.

Även i USA börjar dock ett motstånd mot genförändrade grödor och livsmedel att växa fram. I Australien och Japan har det införts krav på märkning av genförändrade produkter.

I många utvecklingsländer förefaller samtidigt intresset för genteknikens möjligheter att öka. Ett exempel är att Kina och flera andra utvecklingsländer ser en möjlighet att förbättra livsmedelskvaliteten genom att med genteknik framställa det gyllene riset (se ovan). I Tyskland, Frankrike och Storbritannien har det under de senaste åren gjorts stora och målmedvetna satsningar för att stimulera utvecklingen av innovationer och biotekniska företag. Skall Sverige behålla sin ställning och konkurrenskraft internationellt måste ytterligare ansträngningar göras. Resurser måste satsas på forskning och utveckling av hög kvalitet och på överföring av forskningsresultat från universitet och högskolor till näringslivet. Möjligheter måste också ges till förbättrad finansiering av utvecklingsprojekt i ett tidigt projektskede.

Lagar och andra regler

Biotekniken regleras i Sverige i de flesta fall genom generella bestämmelser, det vill säga genom regler som inte gäller enbart bioteknik. De lagar som finns om sekretess, brott, köp, skadestånd, dataregister m.m. gäller således oavsett vilken teknik som har använts i ett enskilt fall. Även lagarna inom hälso- och sjukvården gäller vanligtvis oavsett vilken teknik som används. I många fall finns en indirekt kontroll av användningen av bioteknik, till exempel genom att det ställs krav på etisk granskning av forskningsprojekt som en förutsättning för finansiering från forskningsråd.

Det finns särskilda regler bland annat när det gäller användningen av genetiskt förändrade växter, djur och mikroorganismer och när det gäller utsläpp av sådana på marknaden. Reglerna, som finns i miljöbalken, bygger i stor utsträckning på EG-rätten. I miljöbalken finns också regler om förhandsgranskning av biologiska bekämpningsmedel.

Inom hälso- och sjukvården finns det särskilda lagar om användning av genteknik vid allmänna hälsoundersökningar och om åtgärder i forsknings- och behandlingssyfte med befruktade ägg från människa. Bestämmelserna begränsar bland annat möjligheterna till DNA-analyser i samband med allmänna hälsoundersökningar och förhindrar försök som har till syfte att utveckla

metoder för att åstadkomma genetiska effekter som kan gå i arv. Även polisdatlagen innehåller regler om användning av DNA-analyser.

Utöver de angivna lagarna finns ytterligare lagar av betydelse för biotekniken till exempel läkemedelslagen, transplantationslagen, foderlagen och livsmedelslagen samt patentlagstiftningen. Patenträtten skall främja den tekniska utvecklingen bland annat genom att tillförsäkra ett rimligt investeringsskydd för uppfinningar. Uppfinnaren får en tidsbegränsad ensamrätt till kommersiell exploatering av sin uppfinning mot att den offentliggörs. Patenträtten gäller dock inte för växtsorter och djurraser. För växtsorter finns ett patentliknande skydd i form av växtförädlarrätten. Patenträtten gäller inte heller för ”väsentligen biologiska förfaranden”, med undantag för mikrobiologiska förfaranden.

Inom EU finns direktiv om innesluten användning och avsiktlig utsättning av genetiskt förändrade mikroorganismer. Där finns också förordningar som utesluter gentekniskt förändrade organismer vid ekologisk framställning av jordbruksprodukter och om riskbedömning och märkning av nya livsmedel och livsmedels ingredienser. I särskilda direktiv och förordningar finns bestämmelser om bland annat försäljning av och tillsyn över läkemedel, säkerhet och kvalitet på medicintekniska produkter och skydd för biotekniska uppfinningar.

Inom EU pågår en revidering av gällande direktiv och förordningar och ett arbete med att framställa nya sådana. Till exempel pågår arbete med att revidera direktivet om utsättning av genetiskt förändrade organismer. Vidare pågår arbete med en förordning om icke-konventionella fodervaror och en förordning med krav på märkning och spårbarhet genom hela produktionskedjan för produkter som innehåller eller består av gentekniskt förändrade organismer. Däremot saknas ett direktiv om användning av humanbiologiskt material och levande vävnad från djur.

Medborgarnas möjligheter till insyn, delaktighet och medinflytande

Den moderna biotekniken gör det möjligt att hantera och förändra livets grundläggande beståndsdelar. Tekniken används inom områden som har avgörande betydelse för människors hälsa och välbefinnande och berör alla medborgare.

I debatten om biotekniken, och då särskilt gentekniken, intar experter och allmänhet ofta olika ståndpunkter. Grovt förenklat framhåller experterna möjligheterna och allmänheten riskerna. I praktiken ser förhållandena dock lite annorlunda ut. Experter kan vara tveksamma till vissa användningar och stora delar av allmänheten är positiva till användningar inom framför allt hälso- och sjukvården men också inom miljöområdet. Ofta antas att allmänhetens motstånd till vissa biotekniska tillämpningar skulle bero på bristande kunskap. Motståndet skulle då upphöra om informationen och kunskaperna om bioteknik blev bättre. Det har emellertid visat sig att det är bristande insyn, bristande delaktighet och medinflytande samt etiska överväganden, snarare än bristande kunskap, som påverkar människors inställning till bioteknikens olika användningsområden.

Utvecklingen går rasande fort. Den kan gå för fort för såväl experter som allmänhet. Många frågor behöver diskuteras grundligt så att möjligheterna och riskerna klarläggs. Det måste finnas utrymme för en diskussion om etiska frågeställningar.

Myndighetshandlingen är uppdelad på en rad fackmyndigheter som svarar för tillstånd och tillsyn. Det har fått till konsekvens att kontrollen är splittrad och svåröverskådlig och det är svårt att få en samlad bild av hur biotekniken utvecklas.

Medborgerligt förtroende kräver att det finns en samlad kontroll av tekniken och dess användning, en Bioteknikinspektion. Medborgarna måste också ges reella möjligheter till insyn, delaktighet och medinflytande. Ett Teknologiråd skulle kunna erbjuda sådana möjligheter och också bli en bro mellan forskare och andra experter, politiker och väljare.

En svensk bioteknikpolitik i 21 punkter

Förslaget till en svensk bioteknikpolitik syftar till att stärka Sveriges förutsättningar att ta tillvara bioteknikens möjligheter till nytta för de enskilda medborgarna, näringslivet och miljön. Bioteknikpolitiken skall främja kunskapsuppbyggnaden inom området och underlätta att forskningens resultat omsätts i praktiska tillämpningar under etiskt godtagbara former och med bemästrande av risker. Medborgarnas praktiska möjligheter till insyn, delaktighet och medinflytande på det biotekniska området måste förstärkas kraftigt.

1. Myndighetsorganisationen för hantering av genteknik- och andra bioteknikärenden är svåröverskådlig. Med tanke på bioteknikens möjligheter och risker är en ökad samordning önskvärd. Gentekniknämnden bör därför ombildas till en Bioteknikinspektion, som kompletterar övriga myndigheter inom området. Bioteknikinspektionen bör i första hand kontrollera principiellt viktiga och nya tillämpningar samt utöva tillsyn. Bioteknikinspektionen bör ha ett särskilt ansvar för att etiska bedömningar i anslutning till biotekniska frågeställningar görs på sätt som anvisas i slutbetänkandet Att spränga gränser, bioteknikens möjligheter och risker (SOU 2000:103).
2. Biotekniken utvecklas i ett mycket snabbt tempo. Det är därför svårt att hålla sig informerad om teknikens möjligheter och risker. Behovet av teknikvärdering och en bred samhällelig diskussion är stort. Motsvarande behov finns också inom andra teknikområden. Ett Teknologiråd bör därför inrättas. Teknologirådet skall bidra till kunskapsuppbyggnad, sprida information och skapa en levande dialog mellan forskare och andra experter, politiker och övriga medborgare.
3. Bioteknikens tillämpningar på människor saknar till betydande del lagreglering. En lag om förutsättningarna för genterapi, kloning och preimplantatorisk genetisk diagnostik samt om användningen av genetisk information bör införas. En skiss till lagstiftning har lagts fram i slutbetänkandet Att spränga gränser, bioteknikens möjligheter och risker (SOU 2000:103).
4. I Sverige föregås forskning på patienter och andra frivilliga försökspersoner av etisk prövning i en forskningsetisk kommitté. Varken forskningen eller kommittéerna och deras verksamhet är lagreglerad. En sådan lagstiftning bör införas. En skiss till lagstiftning har lagts fram i slutbetänkandet Att spränga gränser, bioteknikens möjligheter och risker (SOU 2000:103).
5. Konsumenternas krav på ett fritt och informerat val när det gäller livsmedel måste tillgodoses. Gentekniskt framställda produkter skall omfattas av krav på obligatorisk märkning

under hela framställningsprocessen från råvara till slutprodukt.

6. Det finns inget EU-direktiv om produkter som innehåller eller består av humanbiologiskt material eller levande djurvävnad. Det kan medföra att länderna utvecklar egna och divergerande regelsystem. Sverige bör påskynda införandet av ett EG-direktiv om hantering av humanbiologiskt material och levande djurvävnad.
7. Sverige bör verka för att riskbedömning av produkter, som innehåller eller består av gentekniskt förändrade organismer, utvecklas till en teknikneutral risk- och nyttabedömning. Denna bedömning bör gälla alla produkter oavsett framställningsmetod. Bedömningen bör utgå från produkternas egenskaper och ta hänsyn till eventuella risker för människors hälsa eller för miljön, såväl vid produktens utveckling och framställning som vid dess användning. All risk- och nyttabedömning bör omfatta en etisk prövning.
8. Internationellt sker stora satsningar på bioteknikrelaterad forskning. Utvecklingen är snabb och väntas leda till betydelsefulla tillämpningar i framtiden. Den bioteknikrelaterade forskningen måste prioriteras. Det statliga stödet till forskning och forskarutbildning inom området bör utökas väsentligt. Satsningarna bör främst fokuseras på områden, där Sverige har internationell spetskompetens eller annars har möjlighet att hävda sig internationellt. Vid prioriteringar mellan olika biotekniska forskningsområden bör den forskning som studerar genernas funktion och betydelse för normala livsprocesser och sjukdomar hos människor och andra organismer inta en särställning. Det är ett gemensamt intresse för industrin och universitet/högskola att den framtida tillgången på forskare säkerställs, liksom tillgången på kvalificerade lärare på högskolenivå. I detta syfte bör konstruktionen av tjänster inom universitet/högskola och förutställningarna för ett samarbete mellan universitet/högskola och industri utredas.
9. Utvecklingsländernas behov av att ta tillvara bioteknikens möjligheter är stora. Möjligheterna begränsas dock av brist på såväl teknisk och juridisk kompetens som ekonomiska

resurser. Utvecklingsländernas möjligheter att dra nytta av den moderna biotekniken bör därför förstärkas genom ökade anslag till relevanta organisationer och forskningsprojekt. Forskningssamarbete och kunskapsöverföring, som bidrar till att öka utvecklingsländernas tekniska och juridiska kompetens och möjligheter att använda och kontrollera tekniken, bör stimuleras.

10. Inom biotekniksektorn pågår, liksom i andra delar av näringslivet, en strukturrationalisering som innebär att de stora företagen tenderar att bli allt större genom uppköp och fusioner. Detta har inneburit framväxt av stora koncerner med intressen inom såväl läkemedel som kemi och livsmedel. Detta kan skapa problem genom att monopol uppstår och konkurrensen sätts ur spel. Risker för att företagen skall missbruka sin dominans måste följas med uppmärksamhet.
11. Forskningen om bioteknikens risker för miljön och dess konsekvenser i övrigt för medborgarna bör förstärkas. Särskilda medel bör avsättas till riktade program.
12. Innan gentekniskt förändrade organismer släpps ut på marknaden är det väsentligt att det finns ett bättre underlag för riskbedömningar från försöksutsättningar än vad som finns för närvarande. Försöksutsättningar av gentekniskt förändrade organismer i naturen bör därför genomföras och utvärderas på ett vetenskapligt godtagbart sätt för att bygga upp så mycket kunskap som möjligt.
13. Avsiktlig utsättning av gentekniskt förändrade organismer med antibiotikaresistensgener i miljön, bör upphöra. Annan och bättre teknik bör utvecklas.
14. Framsteg inom bioteknikområdet har ökat möjligheterna att ersätta försök på djur med försök på cell- och vävnadsodlingar. Samtidigt har gentekniken och den ökade kunskapen om människans och djurens arvs massa inneburit att försöksdjur nu kan användas för nya ändamål. Det kan leda till att användningen av försöksdjur ökar. Forskning för att ersätta användning av försöksdjur med andra metoder bör stimuleras genom avsättning av medel till särskilda program.

15. Uppfinnare inom forskarsamhället kan behöva hjälp med hur de skall kommersialisera sina resultat. Ofta har de också svårt att hitta finansörer för de tidigaste utvecklingsstegen. Möjligheterna att utveckla forskningsresultat till produktidéer bör förbättras. Kostnadsfri rådgivning om affärsutveckling bör tillhandahållas. Samhället och näringslivet bör gemensamt underlätta kontakterna mellan forskare och företag för att öka tillgången på så kallad såddfinansiering i ett tidigt utvecklingskede.
16. Nyföretagande och utveckling av nya produkter inom det biotekniska området sker ofta i den absoluta forskningsfronten. Forskarsamhällets samverkan med näringslivet måste främjas. Detta kan ske bland annat genom utökad satsning på industridoktorander, genom ökade satsningar på att samla forskningsinstitutioner och företag i innovationscentrum, genom att personalutbytet mellan den akademiska världen och näringslivet främjas samt genom att näringslivssamarbete, patent och utveckling av produkter får meritvärde för forskarna.
17. Industriell och annan exploatering av forskningsresultat bör underlättas. Det har bland annat visat sig att offentligt tillgängliga forskningsansökningar kan bli ett hinder för framtida patentering och exploatering av resultaten. Det bör därför utredas om ansökningar om forskningsmedel kan bli föremål för temporär sekretess.
18. Det finns behov av ytterligare bioteknisk kompetens för arbetsmarknadens behov. Basen för detta är skolan. För att öka intresset på akademisk nivå behöver undervisningen i bioteknik förstärkas i såväl grund- och gymnasieskolan som när det gäller lärarnas grundutbildning och kompetensutveckling.
19. Ett särskilt nationellt resurscentrum med ansvar för pedagogisk utveckling och kompetensutveckling av lärare inom bioteknik bör inrättas. Centrumet bör, liksom de centrum som finns för andra naturvetenskapliga ämnen, förläggas till ett universitet eller en högskola.

20. För att stimulera kunskapsspridning och en bred samhällsdiskussion om biotekniken och dess tillämpningar bör särskilda kurser i naturvetenskap, teknik och etik på akademisk nivå erbjudas människor som i sin yrkesutövning kommer i kontakt med biotekniska frågor och deras etiska implikationer.
21. En ökad användning av gentester inom sjukvården medför krav på ökade kunskaper för att kunna använda, tolka och förklara testresultaten. Utbildningen av läkare, sjuksköterskor och andra berörda personalkategorier inom sjukvården bör innehålla ett ökat inslag av genetik, molekylärgenetik och etik. För att möta det ökande behovet av kvalificerad genetisk rådgivning bör en utbildning för genetiska rådgivare inrättas.