

GENETIK

PROJEKT NORDLAB-SE
Inst för pedagogik och didaktik
Göteborgs Universitet
Box 300, SE-405 30 GÖTEBORG

Hemsida: <http://na-serv.did.gu.se/nordlab/>
Tel: +46-(0)31-7731000 (växel)
Fax: +46-(0)31-7732060
E-post: anita.wallin@ped.gu.se

Projektgrupp: Björn Andersson (projektledare), Frank Bach, Birgitta Frändberg, Ingrid Jansson, Christina Kärrqvist, Eva Nyberg, Anita Wallin, Ann Zetterqvist

Författare till denna enhet: Mats Hagman

Nordisk kontaktgrupp: Albert Chr. Paulsen (DK), Irmeli Palmberg (FI), Stefán Bergmann (IS), Anders Isnes (NO)

OM PROJEKTET NORDLAB

NORDLAB är ett projekt som går ut på att genom nordiskt samarbete ge framför allt lärare i naturvetenskapliga ämnen redskap att förbättra och förnya sin undervisning. Matematik och teknik kommer också in i bilden. Ämnesdidaktiska forskningsresultat och annat nytänkande är centralt för projektet, liksom ambitionen att verksamhet och produkter skall framstå som intressanta och användbara för den arbetande läraren i skolan.

Initiativtagare till projektet är Nordiska Ministerrådet genom 'Styringsgruppen for Nordisk Skolesamarbejde.' Ministerrådet är också finansär av projektets samnordiska delar.

NORDLAB leds av en projektgrupp med följande medlemmar

Ole Goldbech och Albert Chr. Paulsen (DK)
Veijo Meisalo (FI)
Baldur Gardarsson (IS)
Thorvald Astrup (NO)
Björn Andersson (SE)

Denna nordiska projektgrupp anser att en lämplig metod att nå fram till lärarutbildare och lärare med nya idéer, med den ämnesdidaktiska forskningens senaste rön och med reflekterande praktikers erfarenheter, är att skapa och utpröva ett material av workshop-karaktär, som kan användas på ett flexibelt sätt i lärarutbildning, lärarfortbildning, studiecirklar och för självstudier.

Inom ramen för NORDLAB svarar varje nordiskt land för ett delprojekt med följande innehåll:

- experimentellt arbete (DK)
- IT som redskap för kommunikation, mätning och modellering (FI)
- samhällets energiförsörjning (IS)
- elevers självvärdering som ett sätt att förbättra lärandet (NO)
- senare års forskning om elevers tänkande och möjligheter att förstå naturvetenskap, och vad denna forskning betyder för undervisningen (SE)

Det svenska delprojektet (NORDLAB-SE) finansieras av Utbildningsdepartementet och Skolverket

© Projektet NORDLAB-SE, Enheten för ämnesdidaktik, IPD, Göteborgs universitet.

Detta arbete är belagt med copyright. Det får dock kopieras av enskilda personer för användning i hans eller hennes undervisning, t. ex. lärarutbildning eller fortbildning. Källan skall anges.

OM PROJEKTET NORDLAB-SE

Syfte

NORDLAB-SE behandlar, i form av ett antal enheter eller 'workshops', några aspekter av det spännande företag som kallas naturvetenskap. Ett genomgående drag i dessa workshops är att de tar upp senare års forskningsresultat angående elevers vardagsföreställningar om naturvetenskapliga företeelser. Syftet är att göra dessa resultat kända och presentera dem så att läsaren/workshopdeltagaren stimuleras att vidareutveckla skolans naturvetenskapliga undervisning.

Tonvikt på förståelse

Naturvetenskap går primärt ut på att förstå. Vi vill lyfta fram detta karaktärsdrag därför att vi tror att förståelse ger en inre tillfredsställelse och stimulerar till fortsatt lärande, oavsett om man är barn eller vuxen, novis eller expert.

Teman

Naturvetenskapens arbetssätt. Inom detta tema behandlas växelspelet mellan teori och observationer, liksom hur man väljer lämpliga system och att genomför kontrollerade experiment.

Naturvetenskapens innehåll. Elevernas möjligheter att förstå skolkursernas innehåll står i fokus för detta tema. Såväl biologi, som fysik och kemi behandlas.

Naturvetenskapen i samhället. I detta tema ingår frågor om natur och moral och hur elever uppfattar vissa miljöproblem ur både natur- och samhällsperspektiv. Vi tar också upp hur förståelse kan fördjupas genom att man sätter in sitt kunnande i olika sammanhang.

Användning

Framtagen materiel kan användas i många olika sammanhang:

- i grundutbildningen av lärare
- som del av, eller hel, fristående universitetskurs
- som underlag för en studiecirkel på en skola
- vid fortbildningsdagar
- för självstudier

Våra workshops skall ej uppfattas som lektionsförslag, men de innehåller åtskilligt som är användbart för den undervisande läraren i skolan, inte minst ett stort antal problem som stimulerar och utmanar eleverna, och som sätter fingret på väsentligheter i den naturvetenskapliga begreppsbildningen.

Framtagen materiel

Projektet har producerat 23 workshops. Samtliga kan laddas ner, var och en för sig, som pdf-filer från internet. Vidare har en hel del materiel som berikar och fördjupar olika workshops utvecklats:

- internetbaserade kunskapsdiagnoser
- animationer av astronomiska förlopp (Quicktime-filmer)
- internetbaserade interaktiva prov för lärande och självdiagnos

För vidare information, se: <http://na-serv.did.gu.se/nordlab/se/se.html>

INNEHÅLL

BEGREPPET GEN I NATURVETENSKAP OCH SAMHÄLLE	5
UPPFATTNINGAR OM GENER	6
Elevens syn på gener	6
Fyra modeller av gener	7
Olika modeller i olika situationer	8
GENETIK SOM DIDAKTISKT PROBLEMMOMRÅDE	8
Om mål och innehåll	8
Fem frågor om celler och cellulära processer	10
Besvärlig terminologi	12
Makro- och mikronivåer	15
Matematisk logik	16
Begreppsanalys	17
Resultat av fem frågor om celler och cellulära processer	18
Ytterligare undersökningsresultat	20
TVÅ VIKTIGA PRINCIPER	21
Arv OCH miljö	21
MÅNGA gener	22
REFERENSER	22
BILAGA: Uppgifter för diagnos och utvärdering	23

GENETIK

Denna workshop inleds med en utblick över den betydelse som begreppet gen har i naturvetenskapen och samhällsdebatten. Sedan redovisas fyra uppfattningar om vad en gen är – alltifrån 'gen som passiv partikel' till 'gen som information och process'. Härfter diskuteras olika problem förknippade med undervisningen i genetik: terminologin är omfattande och besvärlig för eleverna, undervisningen rör sig mellan olika organisationsnivåer alltifrån molekyl till population, den matematiska logik som kommer till användning i många genetiska problemställningar kan utgöra en särskild svårighet. Resultat av olika undersökningar av elevers begrepp inom området ingår, liksom ett förslag till testuppgifter för diagnos och utvärdering av elevernas genetiska kunnande.

BEGREPPET GEN I NATURVETSKAP OCH SAMHÄLLE

Genen är ett av de naturvetenskapliga begrepp som diskuteras allra flitigast i dagens samhälle. Den är inte bara något man ärver från sina föräldrar, utan den tillskrivs ofta också ett direkt avgörande inflytande över människors och andra livsformers egenskaper. Den 'genetiska revolutionen' anses vara viktig för samhället, inte minst ekonomiskt, men kommer också att påverka gemene man i ökande utsträckning. Exempelvis tillhandahåller den medicinska vetenskapen allt fler sofistikerade genetiska analyser som kan vara av intresse för blivande föräldrar. Andra exempel är alla de genteknologiskt framställda produkter där man kan ha olika åsikter om vad man vill köpa. Kloning av olika slag kanske inte är aktuellt för så många av oss just nu, men det är ändå ett område som ofta debatteras. Man kan alltså konstatera att kunskaper om gener förväntas bli allt mer betydelsefulla, både på det personliga planet och för samhället i stort. Grundläggande kunskaper om gener är också av avgörande betydelse för förståelsen av många biologiska frågeställningar. Gener är ju inblandade i ett antal helt fundamentala biologiska processer, exempelvis:

Ärftlighet. Överförandet av genetisk information mellan generationer. Gener kopieras och förs vidare från föräldrar till avkomma.

Utveckling och funktion. Gener kodar för proteiner och styr utveckling och funktion hos individen.

Evolution. Populationers förändring med tiden. Gener förändras, omkombineras och selekteras.

Ärftlighet handlar alltså om överförandet av genetiskt material från en föräldrageneration till dess avkomma, och om de processer som ligger bakom överförandet samt de regelbundenheter man kan se hos avkommans egenskaper. Studiet av dessa processer och mönster kallades förr för ärftlighetslära, men numera använder man vanligen benämningen genetik. Genetik är dock ett något vidare begrepp än ärftlighetslära och omfattar de flesta aspekter av genomets uppbyggnad och funktion, exempelvis även sådana som har med individens utveckling att göra. Föreliggande workshop kommer huvudsakligen att handla om genetik som ärftlighet, men även en del om utveckling och funktion, eftersom de är så intimt sammanlänkade. Evolutionen lämnar vi däremot därhän (den behandlas istället i workshopen 'Livets evolution'). Fokus kommer att ligga på grundläggande genetik varvid bl.a. elevföreläsningar och undervisning inom detta område kommer att belysas.

UPPFATTNINGAR OM GENER

Elevers syn på gener

Utgångspunkt i detta avsnitt är elevers egen syn på gener. Nedan följer ett antal typiska svar som man får om man ställer frågan 'Vad vet du om gener?' till elever i skolår 10 (delvis eget material, delvis från Venville och Treagust, 1998). Eleverna har alltså fått en allmän och öppen fråga och man kan förvänta sig att de skriver ned det första de kommer att tänka på utan att fördjupa sig alltför mycket.

1. En av de faktorer våra arvsanlag är uppbyggda av.
2. Det är arvsanlagen, det är de som bestämmer vilka egenskaper du får och sedermera vilka egenskaper dina barn kommer få
3. Gener är nåt man ärver från sina föräldrar, som bestämmer hur man ser ut och hur man är.
4. Gener sitter som band på kromosomerna och innehåller cellens information. DNA är en komplex molekyl som lagrar information.
5. Gener är ärftliga grejer som går från generation till generation.
6. Gener kontrollerar egenskaper hos personer, t.ex. ögonfärg.
7. Gener sitter på kromosomer och ger vissa egenskaper.
8. Gener är nåt man ärver från sina föräldrar.
9. Gener är bitar av information som sitter på kromosomerna. De bestämmer sånt som hårfärg och ögonfärg. Man får dem från sina föräldrar.

UPPGIFT 1

Vad tycker du är typiskt för dessa svar? Försök gruppera dem och beskriv vad som är karaktäristiskt för de olika grupperna.

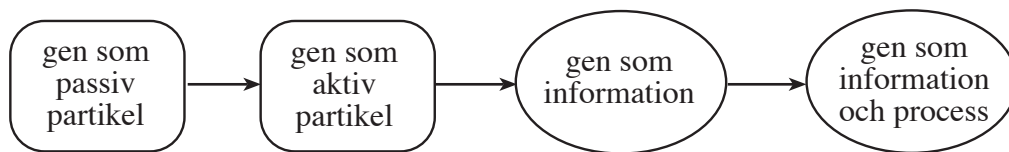
Vad tycker du svaren säger om elevernas syn på gener?

Hur tror Du att Dina elever skulle svara på en liknande fråga?

Fyra modeller av gener

Martins och Ogborn (1997) har beskrivit grundläggande tankemodeller för gener efter att ha studerat lärares (för motsvarigheten till grundskolans tidigare år) resonemang kring genetiska frågor. De fann att lärarna huvudsakligen beskrev gener som något slags partiklar, som ibland var helt passiva men ibland hade en inneboende förmåga att bestämma någon speciell egenskap hos organismen (t.ex. ögonfärg). Genen som aktiv partikel beskrevs vanligen i termer av 'en gen - en egenskap'. Genen behöver bara finnas för att organismen ska få en viss egenskap, men i modellen sägs inget om hur generna fungerar eller på vilket sätt de utövar sin aktivitet. Modellen fungerar bra för att förklara överförandet av ärftliga egenskaper, genom att partiklarnas identitet ses som stabil även mellan generationerna. För att förklara genernas effekt användes ibland en kompletterande modell jämsides med partikelmodellen. Den kopplar också ihop en gen med en egenskap, men ser gener som instruktioner snarare än som partiklar.

Venville och Treagust (1998) lägger till en fjärde modell där processen genom vilken generna utövar sin aktivitet finns med. I deras system ses de olika modellerna som successivt allt mer sofistikerade sätt att se på gener, där varje senare steg i princip innefattar de tidigare. De anser också att de fyra modellerna utgör en väg som visar den progressiva utvecklingen av elevers syn på gener.



Figur 1. Olika modeller av gener

I den enklaste (och vanligaste) modellen ses då generna som ett slags passiva partiklar som man ärver från sina föräldrar. Sedan utvecklas modellen till att partiklarna är aktiva och bestämmer vilka egenskaper man kommer att få. I tredje stadiet har modellen utvecklats till att gener nu betraktas som information snarare än partiklar, men det handlar också om information som används till något (exempelvis att bestämma ens ögonfärg). Slutligen kopplas generna ihop med proteinsyntesen, alltså den process som utgör sambandet mellan genotyp och fenotyp. Författarna försöker lyfta fram vikten av att man i undervisningen även ger eleverna mer kunskap om vad generna gör, vid sidan av vad generna är. De hävdar t.ex. att det inte kan vara särskilt meningsfullt att undervisa om sådant som mutationer eller genetisk ingenjörskonst om eleverna inte känner till något om de genetiska processer som är inblandade.

UPPGIFT 2

Vad får de olika sätten att se på gener för konsekvenser för förståelsen av ärftlighet?

Vad får de olika sätten att se på gener för konsekvenser för förståelsen av deras roll vid utveckling och funktion?

Håller du med om att genetikundervisningen borde ägna mer tid åt vad gener gör?

Olika modeller i olika situationer?

Av vad som skrivits ovan verkar det som om elever i första hand betraktar gener som partiklar som överförs mellan generationer och bestämmer egenskaper hos avkomman. Ett annat sätt att uttrycka samma sak är att säga att eleverna i första hand ser till genernas roll i ärftligheten och först i andra hand ser deras roll i individens utveckling och funktion. Eller kan det vara så att man helt enkelt får olika typer av svar beroende på hur frågan är ställd? Prova själv att besvara följande två frågor och fundera på vilken modell av gener som ger den bästa förklaringen (Martins & Ogborn, 1997):

Hur kommer det sig att samma genetiska släktdrag kan finnas i många generationer?

Hur kan olika delar av kroppen bli olika, trots att de utvecklas från samma cell?

GENETIK SOM DIDAKTISKT PROBLEMMOMRÅDE

Om mål och innehåll

En ganska vanlig åsikt bland lärare är att genetik är ett intressant område att undervisa om men att det är svårt att undervisa så att eleverna förstår. Det finns en mängd studier av de problem eleverna upplever, och vad som är orsaken till svårigheterna. I en nyligen framlagd doktorsavhandling sammanfattar Knippels (2002) dessa problemområden i fyra punkter:

1. Många cellulära processer är komplicerade
2. Terminologin är omfattande och besvärlig
3. Eleverna har svårt att relatera makroskopiska fenomen till processer på mikronivå
4. Eleverna har svårt att förstå den matematiska logiken i Mendels genetik

Målen med undervisningen i genetik är bl.a. att ge eleverna 'kännedom om det genetiska arvet' som det står i biologikursplanens mål för det nionde skolåret. Det finns alltså en direkt anvisning om att ärftlighetsaspekten av genetik ska tas

upp. Men vad inom ärftlighet ska tas upp, och vad innebär det 'att ha kännedom om det genetiska arvet'?

Ett sätt att strukturera målen med undervisningen kan vara att placera in dem på en skala mellan 'övergripande mål' å ena sidan och 'detalj mål' å andra sidan. För genetikens del skulle de stora övergripande målen kunna handla om vår världsbild, t.ex. hur vi människor ser på oss själva i ljuset av genetiska kunskaper som visar att allt liv på jorden är besläktat. Andra övergripande frågor kan gälla samhällseliga frågeställningar, t.ex. vilka konsekvenser genetiska kunskaper får för vårt sätt att uppfatta mänskliga raser och kön. Detaljmål kanske kan representeras av kunskap om genetiska termer och förmågan att lösa enkla genetiska problem (som t.ex. olika typer av korsningar).

En central fråga som ligger någonstans mellan ytterligheterna på denna skala, och som vi liksom Knippels (2002) anser det viktigt att eleverna utvecklar förståelse för, är: *Hur kommer det sig att du är ganska, men inte helt, lik dina föräldrar?*

Vi har då medvetet begränsat frågan till att gälla ärftlighet hos människor, dels beroende på att många undersökningar visat att just människans arv uppfattas som särskilt intressant av eleverna, och dels för att vi anser att det är just människans arv som det är allra viktigast för våra elever att ha kännedom om.

Förståelsen av denna fråga kan grovt sett delas in i tre olika nivåer:

Makronivå. Eleven vet något om hur barn blir till och att barnet är en produkt av både mamman och pappan.

Cellnivå. Eleven känner i grova drag till de strukturer och processer i cellen som bidrar till ärftligheten (t.ex. kromosomer, gener, celledelning).

Mikronivå. Eleven känner till detaljer i de strukturer och processer som bidrar till ärftligheten (t.ex. genetiska koden, proteinsyntes, enzymer).

I skolår sex har de flesta elever en biologisk förståelse av ärftlighet på makronivå. De känner till hur man 'gör barn', att barnet på något sätt är ett resultat av mannens spermier och kvinnans ägg och att barnet liknar sina föräldrar (Björk, 1988). Som vi såg i förra avsnittet känner elever i skolår 10 också till att gener är inblandade i ärftligheten och bestämmer vilka egenskaper man får. Däremot har många av dem en ganska utvecklad förståelse av ärftlighet på cell- och mikronivå. Fokus i denna rapport ligger på cellnivå enligt ovanstående uppdelning och kan sägas ligga ganska nära den del av genetik som vanligen tas upp i grundskolans senare del (även om det kan vara viktigt att ta upp både makronivån och delar av mikronivån även där). En mer detaljerad begreppsanalys presenteras i ett senare avsnitt.

Fem frågor om celler och cellulära processer

Innan vi går vidare till de andra problemområdena inom genetikundervisningen värmer vi upp med några frågor om celler och cellulära processer som ställts till elever i åldrarna 14-17 år i internationella undersökningar (Banet & Ayuso, 2000; Lewis, Leach & Wood-Robinson, 2000). Först tre ganska enkla frågor där det bara gäller att svara ja eller nej eller att kryssa i rätt ruta i en flervalsuppgift. Därefter kommer två uppgifter som kräver lite mer tankemöda. Längre fram kan du läsa om de resultat de internationella undersökningarna kommit fram till.

1. Celler och arvs massa hos olika organismer.

Svara med Ja, Nej eller Vet ej i rutorna.

	Är de uppbyggda av celler?	Har de kromosomer?	Har de gener?
Människor			
Lejon			
Rosor			
Musslor			
Daggmaskar			
Svampar			

2. Arvs massa i olika celltyper

Svara med Ja, Nej eller Vet ej i rutorna.

	Har de kromosomer?	Har de könskromosomer?	Har de gener?
Muskelceller			
Vita blodkroppar			
Spermier			
Äggceller			
Nervceller			

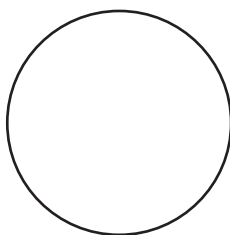
3. Vad händer med arvsmassan i det befruktade ägget när ett foster bildas?

Kryssa i ett av alternativen.

- Den delas upp mellan olika celler.
- Den kopieras så alla celler får samma arvsmassa.
- Endast könscellerna får arvsmassa.

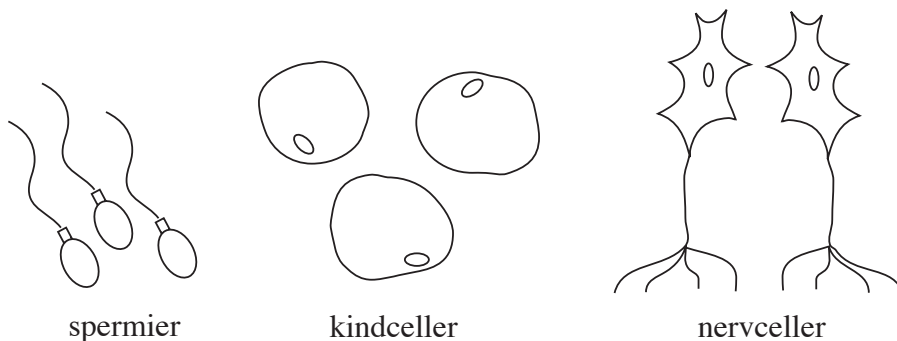
4. Kromosomer och alleler

Rita en enkel skiss av kromosomerna i en vanlig (diploid) cell med sex kromosomer. Markera allelerna (A resp. a) för en viss egenskap.



5. Roberts celler

Svara på frågorna om Roberts celler genom att sätta kryss i rutorna. Motivera dina svar!



		lika	olika	vet ej
a.	Om du kunde jämföra två av Roberts kindceller, skulle den genetiska informationen i dem vara.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans nervceller, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.	Om du kunde jämföra två av Roberts spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

UPPGIFT 3

Hur svarade du själv på frågorna?

Hur tror du att dina elever skulle svara?

Vilka genetiska baskunskaper krävs för att besvara frågorna?

Är frågorna relevanta för Dina elever?

Besvärlig terminologi

Som vi såg tidigare anses genetiken ha en omfattande och besvärlig terminologi. Nedan följer en lista på genetiska termer och begrepp som förekommer i ett vanligt läromedel för gymnasiet's biologi. Sedan följer några exempel på termer som av olika skäl kan vara besvärliga för eleverna (och kanske även för oss lärare).

genetik, ärftlighetslära, gen, egenskap, celledelning, kromosom, uttryck, DNA, replikation, protein, enzym, koda, kvävebas, mRNA, transkription, ribosom, cytoplasma, translation, proteinsyntes, eukaryot, könscell, enkel uppsättning, dubbel uppsättning, virus, bakteriofag, plasmid, resistens, baspar, nukleosom, histon, triplett, tRNA, antikodon, RNA-polymeras, trifosfonukleotid, nukleotid, promotor, stoppkod, intron, exon, rRNA, genetiska koden, peptidbindning, genreglering, reglerande proteiner, regulatorgen, strukturgen, interfase, DNA-polymeras, startsekvens, mutation, homolog, diploid, haploid, kromosomtall, vanlig celledelning, meios, centromer, systerkromatid, reduktionsdelning, mitos, kärnspole, centriol, gamet, zygot, korsa, utklyvning, allél, locus, homolog, homozygot, heterozygot, dominant, recessiv, dominant nedärvning, arvsång, filial, korsningsschema, klyvningstal, genotyp, fenotyp, återkorsning, koppling, överkorsning, kopplingsgrupp, autosomala kromosomer, könskromosomer, könsbunden nedärvning, polygena egenskaper, ärftliga sjukdomar, förökning, könlig förökning.

UPPGIFT 4

Vilka frågor väcker denna förteckning?

Vilka termer är överflödiga?

Vilka behövs för en grundläggande förståelse av genetik i grundskola respektive gymnasiet?

Försök att fylla i listan på nästa sida för grundskolan, alternativt gymnasiet!

Lista över de viktigaste respektive de mest överflödiga genetiska termerna

Skolstadium: _____

Viktiga termer	Överflödiga termer

Gen och allel

En av de termer som elever ofta har svårt att förstå är 'allel'. De tenderar att använda 'gen' som en synonym till 'allel', vilket kanske inte är så konstigt eftersom även lärare och läroböcker ibland gör detta. Ex: 'genen för röd blomma'. Även på hög vetenskaplig nivå använder man ibland ordet gen istället för allel. Exempelvis talar evolutionsbiologer om 'genpool', när det egentligen handlar om 'allelpool'. (För att ytterligare komplicera terminologin finns inom molekylärbiologin dessutom ännu en term med snarlik innebörd, nämligen 'cistron', vilket betyder 'en bit DNA som kodar för en polypeptidkedja'.)

Sen finns det ytterligare områden där det ofta är oklart hur man ska betrakta gener. Ett känt sådant berör förhållandet mellan gener och DNA. Är gener en del av DNA eller är DNA en del av generna? Ställer man frågan så är den inte helt lätt att besvara, även om man kan sin genetik. Än mer förvirrande kan det vara när man inom vetenskapen ibland uttrycker sig tvetydigt. Vad döljer sig t.ex. bakom uttrycken att vi har 98 % av våra gener gemensamt med schimpanserna', men bara 50 % gemensamt med våra föräldrar?

Kromatid, kromosom och homologa kromosomer

Dessa termer är förvirrande för eleverna. Dels låter orden väldigt lika och dels används t.ex. termen kromosom för att beteckna lite olika saker beroende på sammanhang (vilka?). Eftersom det är mycket vanligt att elever har problem redan

med att hålla isär gener och kromosomer, så kanske det är bäst att inte krångla till genetiken med kromatider?

UPPGIFT 5

Är det nödvändigt att använda ordet 'allel' i skolans genetikundervisning? På vilket/vilka stadier i så fall?

Hur används ordet 'gen' i massmedia?

Vad är egentligen en gen?

Vad är en kromosom?

Försök definiera begreppen själv. Undersök hur de förklaras/beskrivs i läroböcker.

Homozygot, heterozygot och homolog

Genom att termerna liknar varandra samtidigt som de är väldigt specifika för genetiken får många elever problem med att hålla isär dem.

Dominant – recessiv

Dominansbegreppet inom genetiken vållar elever stora problem och det kan (miss-) uppfattas på många olika sätt: En dominant allel (gen?) uppfattas ofta som att den är vanligt förekommande, att den är stark och bra för sin bärare och att den undertrycker eller kontrollerar (eller dominerar) recessiva alleler (Allchin, 2000).

Att elever kan ha problem med vad dominans innebär är kanske inte så konstigt med tanke på att det faktiskt är ett grumligt begrepp även på högre nivåer:

1. Dominans är inte en inneboende karaktär hos en allel. Det finns ingen generell mekanism på molekylär nivå som kan förklara att en allel är dominant. Istället handlar det bara om en observerad egenskap, som är resultatet av två allelers samlade verkan.
2. I litteraturen (även i läroböcker) framställs det ofta som om alleler normalt är antingen dominant eller recessiva. Detta är helt fel. De flesta alleler uttrycks på molekylnivå, dvs. det är inte bara en av allelerna som leder till bildningen av ett protein. Resultatet blir att fenotypen påverkas av båda allelerna vid heterozygotisk anlagsuppsättning. Ett tydligt exempel är blodgrupperna. Ett annat gäller den ärftliga sjukdomen PKU, där friska anlagsbärare ofta beskrivs som 'helt normala', medan homozygoter för sjukdomen får problem med att bryta ned aminosyran fenylalanin. I själva verket har även anlagsbärarna nedsatt förmåga att omsätta fenylalanin, även om det inte brukar leda till några sjukdomssymptom. Slutsatsen är att de allra flesta egenskaper helt enkelt inte passar in i mönstret med dominans/recessivitet.
3. På svenska används ibland ytterligare en term i dessa sammanhang. Det är termen 'vikande', som används synonymt med 'recessiv'.

UPPGIFT 6




Vad är Din erfarenhet av hur dominans brukar tas upp i skolans genetikundervisning?

Hur framställs den i svenska läroböcker?

Makro- och mikronivåer

En egenhet för biologiska fenomen är att de utspelar sig på ett antal olika organisationsnivåer, allt från molekylnivå till ekosystemnivå, och att det kan vara svårt att förklara vad som sker på en nivå med egenskaper hos nivån under. Detta gäller också för genetiska fenomen, och det har visat sig att många elever har problem med att relatera makroskopiska fenomen till processer på cell- och molekylnivå. Men att det är svårt behöver inte betyda att det är omöjligt eller att man inte ska försöka att hjälpa eleverna koppla ihop de olika nivåerna. Vissa forskare anser till och med att denna koppling utgör en grundbult i förståelsen av genetik och att man som lärare därför bör lägga extra stor vikt vid detta i sin undervisning. Marie-Christine Knippels (2002) lanserar vad hon kallar för Jojo-pedagogik som ett sätt att hjälpa sina gymnasieelever att bättre koppla ihop de olika organisationsnivåerna. Hon föreslår att man börjar sin genetikundervisning på organismnivå genom att låta eleverna fundera över frågan 'Hur kommer det sig att du är ganska, men inte helt, lik dina föräldrar'. Med hjälp av olika aktiviteter guidar hon dem sedan att söka förklaringar till ärftligheten även på cell- och molekylnivå. Slutligen får eleverna tillämpa och befästa sina kunskaper genom att arbeta med olika genetiska problem (för ett exempel se tabell 1) där de uppmanas att medvetet gå fram och tillbaks mellan de olika organisationsnivåerna.

Tabell 1. Manifestation av sicklecellsanemi på olika biologiska organisationsnivåer.

POPULATION	Malaria	En allel för sicklecellsanemi skyddar mot malaria, vilket ger en fördel i det naturliga urvalet.
ORGANISM		Sjukdomssymptom
CELL		Deformerade röda blodkroppar
MOLEKYL		Förändringar av hemoglobinet tredimensionella struktur som orsakats av punktmutation av DNA

Matematisk logik

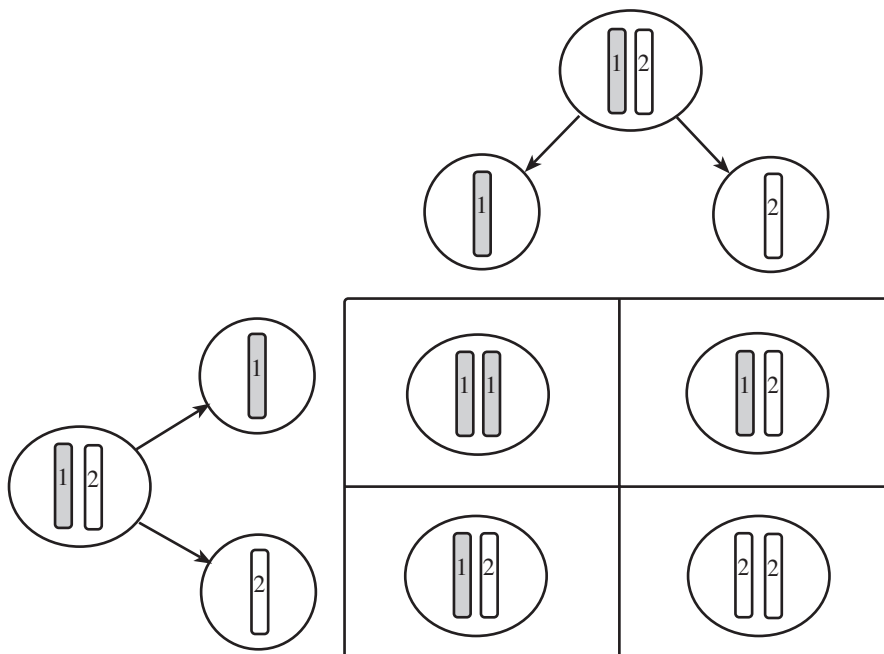
Den fjärde och sista punkten över elevers problem med genetik har att göra med den kombinatorik och de sannolikhetsberäkningar som utgör en grund i många genetiska problemställningar. Det har visat sig att många elever har svårt att klara genetiska problem som innehåller matematiska moment, t.ex. många typiska skolproblem om olika typer av korsningar. Frågan är bara om det är matematiken i sig som utgör problemet eller om det är de genetiska sammanhangen (det finns undersökningar som tyder på att det snarast är de senare).

En annan viktig fråga är vilket fokus man väljer för sin genetikundervisning och hur stor vikt man lägger på den matematiska logiken. Ibland kan genetikundervisningen komma att domineras av matematiska förutsägelser som baseras på några av genetikens modeller. Men användandet av modeller har också sina sidor.

Modeller i klassisk genetik

Om man utgår från att vetenskapliga modeller är en samling idéer som beskriver naturliga processer är det lätt att acceptera att modellerna inte är identiska med själva processerna, utan endast förenklingar av dem. Olika modeller kan dessutom vara olika grova förenklingar eller förklara olika aspekter av en process. Av detta följer också att alla modeller är behäftade med begränsningar. En bra modell är ofta en modell som har bra förklaringsvärde.

En vanlig modell inom klassisk genetik försöker förklara hur kromosomer vid bildningen av könsceller separeras och fördelas slumpvis på de olika könscellerna och hur olika kombinationer av anlag kan träffa på varandra vid befruktning. Ofta illustreras det hela i grafisk form, t.ex. som i figur 2 (ett sk. Punnet-diagram).



Figur 2. Exempel på Punnet-diagram

En annan modell som ofta används i kombination med ovanstående är modellen för enkel dominans, en gammal modell med rötter i Mendels observationer. Enligt denna modell kan t.ex. genuppsättningarna 1:1 och 1:2 i figuren leda till exakt samma fenotypiska egenskaper, medan 2:2 ger annorlunda egenskaper.

En sådan enkel dominansmodell kan användas för att förklara och förutsäga vissa fenomen inom genetik. Men bara vissa!

UPPGIFT 7

Försök hitta några exempel där ovanstående modeller är tillämpliga.

Försök hitta några exempel där de inte är tillämpliga.

Hur stor plats bör dessa modeller få i genetikundervisningen?

Begreppsanalys

Här följer en lista över baskunskaper som krävs för att förstå ärftlighet (bearbetat utifrån Banet & Ayuso, 2000 och Lewis et al, 1998):

1. Alla levande organismer består av celler.
2. Varje cell innehåller kromosomer.
3. Gener är delar av kromosomerna, och innehåller den genetiska informationen.
4. Gener består av DNA.
5. DNA kan kopiera sig själv.
6. Gener kodar för proteiner.
7. Gener kan sättas på och stängas av.
8. Celler kan bli olika beroende på vilka gener som är aktiva.
9. Kromosomer förekommer i par, en från varje förälder.
10. Gener finns i olika varianter.
11. Gener förekommer i par, men det kan vara olika varianter i paret.
12. Vid vanlig celledelning (mitos) bildas celler med samma genetiska information som modercellen.
13. Alla kroppsceller i organismen innehåller samma genetiska information (alltså identiska kromosomer och gener).
14. Könsceller bildas genom reduktionsdelning (meios) och får därmed hälften av modercellens kromosomer.
15. Könscellerna blir olika, eftersom de får ett urval av föräldrarnas kromosomer.
16. Vid befruktning sammansmälter två könsceller så att antalet kromosomer återställs.
17. Avkomor ärver genetisk information från sina föräldrar, men blir unika beroende på könscellernas slumpmässiga olikhet.

UPPGIFT 8

Anser du att något ska bort eller att något bör läggas till i listan?

Går det att undervisa om allt detta på grundskolan?

Vilka av dessa baskunskaper handlar om vad gener är, och vilka handlar om vad gener gör?

Försök göra en begreppskarta över dessa baskunskaper som visar hur de hänger ihop.

Resultat på fem frågor om celler och cellulära processer

Resultaten på de fyra första frågorna kommer från en spansk undersökning (Banet & Ayuso, 2000) där drygt hundra 16-17-åringar svarat på frågorna efter genomgången undervisning i genetik.

1. Celler och arvs massa hos olika organismer

Procentuella andelen ja-svar:

	Är de uppbyggda av celler?	Har de kromosomer?	Har de gener?
Människor	100	97	99
Lejon	100	90	91
Rosor	79	35	52
Musslor	77	56	60
Daggmaskar	94	80	79
Svampar	62	27	34

2. Arvs massa i olika celltyper

Procentuella andelen ja-svar:

	Har de kromosomer?	Har de könskromosomer?	Har de gener?
Muskelceller	55	4	41
Vita blodkroppar	44	3	29
Spermier	81	100	91
Äggceller	80	99	89
Nervceller	56	6	44

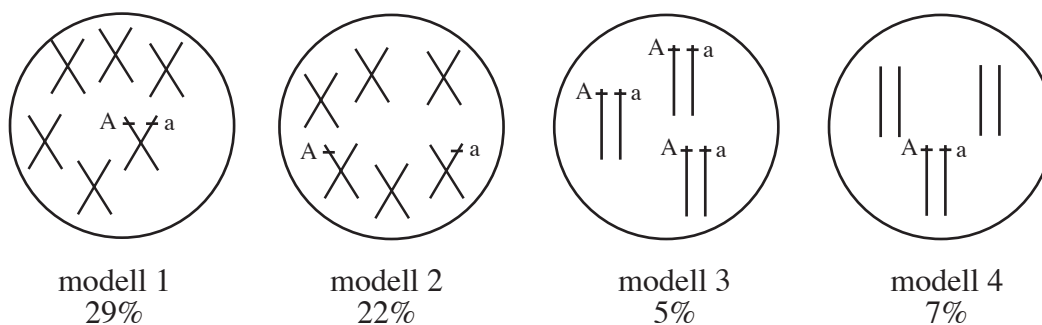
3. Vad händer med arvsmassan i det befruktade ägget när ett foster bildas?

Procentuell fördelning på alternativ:

Den delas upp mellan olika celler	65
Den kopieras så alla celler får samma arvsmassa	26
Endast könscellerna får arvsmassa.	6

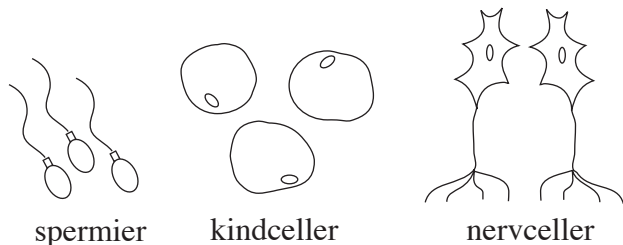
4. Kromosomer och alleler

Rita en enkel skiss av kromosomerna i en vanlig (diploid) cell med sex kromosomer. Markera allelerna (A resp. a) för en viss egenskap. Procentuell fördelning av elevsvar på fyra modeller:



5. Roberts celler

Svara på frågorna om Roberts celler genom att sätta kryss i rutorna. Motivera dina svar!



		lika	olika	vet ej
a.	Om du kunde jämföra två av Roberts kindceller, skulle den genetiska informationen i dem vara.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans nervceller, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.	Om du kunde jämföra två av Roberts spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frågan om Robberts celler är testad på nära 500 skolungdomar (14-16 år) i England, efter att de genomgått den obligatoriska genetikundervisningen (Lewis, Leach & Wood-Robinson, 2000). Av dessa hade ca 4 % rätt på alla deluppgifterna. En stor grupp (59 % av de som besvarade alla delfrågorna) var konsekventa i sin uppfattning att varje celltyp innehåller just den genetiska information som den behöver för att utföra sin funktion. Förvirrade och motsägelsefulla svar var också vanliga.

UPPGIFT 9

Är det nödvändigt att förstå de genetiska förhållandena mellan olika typer av celler för att förstå ärftlighet?

Hur tar genetikundervisningen upp dessa förhållanden?

Vilka av det 17 punkterna i avsnittet 'begreppsanalys' behöver eleverna kunna för att besvara frågan om Roberts celler?

Ytterligare undersökningsresultat

Säkert har de flesta lärare som försökt undervisa i genetik någon gång reflekterat över de många olika processer som sker i cellerna, och vilka problem eleverna kan ha med att bygga upp en användbar förståelse för dem. I förra avsnittet redovisades resultat, dels från en brittisk studie av mer än femhundra 14-16 åringar mot slutet av deras obligatoriska skolgång (Lewis et al, 2000), och dels en spansk studie av 15-17 åringar som kommit olika långt i sina biologistudier (Banet & Ayuso, 2000). Generellt sett är resultaten i de båda studierna ganska lika varandra och visar bl.a. att eleverna har en god förståelse för att gener bestämmer egenskaper och att detta beror på att generna innehåller information. Däremot har de sämre förståelse för vad en gen är, hur den fungerar och hur den hänger ihop med andra strukturer, liksom för hur de ärvs. Många elever har också stora brister i förståelsen av så grundläggande begrepp som vad en cell är och hur celler fungerar. Observera att de flesta eleverna i undersökningen var helt klara med den obligatoriska genetikundervisningen. Några exempel på vanliga uppfattningar:

- Gener är större än kromosomer (ca 25%)
- Gener består av kromosomer (40%)
- Celler har olika genetiskt material beroende på funktion (50%)
- Kroppsceller innehåller ingen genetisk information (40%)
- Kroppsceller innehåller inga könskromosomer (90%)

Växter utgjorde ett särskilt problemområde, och de har förmodligen behandlats styvmoderligt i undervisningen, eftersom många elever ansåg att:

- Växter består inte av celler (ca 20%)
- Växter innehåller inte genetiskt material (ca 40%)
- Växter förökar sig inte sexuellt (ca 75%)

UPPGIFT 10

I en bilaga har vi ställt samman ett antal uppgifter, som kan användas för bl. a. diagnos och utvärdering av elevens kunskande. Välj ut ett antal sådana som du tycker är lämpliga för dina elever och låt dem försöka sig på att lösa dem. Sammanställ svaren och reflekter över vad de betyder för undervisningen i genetik. Diskutera gärna med kollegor och andra intresserade.

TVÅ VIKTIGA PRINCIPER

Huvuddelen av detta häfte har tagit upp olika aspekter på undervisning av genetik. Som avslutning tar vi upp två principer som är mycket betydelsefulla och som därför bör ingå både i grundskolans och gymnasiets biologiundervisning.

Arv OCH miljö

En genom genetikens historia vanlig fråga har varit om det är arvet eller miljön som är orsaken till olika egenskaper. På senare tid har emellertid uppfattningen att frågan är fel ställd vunnit allt mer gehör. Vi tar ett exempel med genetikernas favoritdjur bananflugan för att belysa detta.

Normala bananflugor har raka vingar. På 50-talet upptäckte man på ett lab i USA att när man lät sina bananflugor utvecklas i lätt förhöjd temperatur så fick de krokiga vingar. Därmed drog man slutsatsen att egenskapen 'krokiga vingar' orsakas av den förhöjda temperaturen, dvs. av miljön. Det låter ju rimligt, men det hela var inte fullt så enkelt. När man lät andra stammar av bananflugor (med andra gener) utvecklas i den förhöjda temperaturen utvecklades de nämligen helt normalt och fick normala raka vingar. Det är alltså inte meningsfullt att i detta fall resonera i termer av arv eller miljö, utan endast i att egenskapen beror på ett samspel mellan arv och miljö.

Ett annat exempel som belyser denna problematik på ett annorlunda sätt handlar om ett typexempel på en ärftlig sjukdom, nämligen fenylketonuri (PKU). Det föds varje år en handfull barn med denna sjukdom i Sverige. Drabbade individer har en nedsatt förmåga att bryta ned aminosyran fenylalanin beroende på en ärftlig genetisk defekt. Tidigare ledde sjukdomen till mental retardation, men numera testas alla nyfödda barn och genom att tidigt sätta de drabbade på speciell diet får man dem att utvecklas helt normalt. Även egenskapen 'mental retardation', som tidigare drabbade PKU-barnen, var alltså orsakad av en speciell kombination av arv och miljö snarare än arvet eller miljön för sig.

Det handlar alltså om den gamla kontroversen mellan arv och miljö, där det finns extrema förespråkare för båda ytterligheterna, men där varje vettig bedömare sen länge insett att det nästan alltid handlar om ett samspel mellan arv OCH miljö. Skolan får inte försumma att lyfta fram detta samspel.

MÅNGA gener

Båda exemplen ovan kan också användas till att belysa en annan grundläggande princip, som är viktig för skolan att lyfta fram, eftersom massmedia ofta sprider en farligt förenklad bild. Ibland understöds den också av det sätt på vilket genetiken tas upp i skolan. Det handlar om synsättet 'en gen – en egenskap', som tenderar att överbetonas både i media och i skolan, och som i värsta fall bidrar till en ogrundad biologisk determinism.

I själva verket är det ju så att de flesta egenskaper påverkas både av miljön och av en mängd olika gener. Speciellt gäller detta alla normala funktioner. I exemplen ovan är det alltså många gener inblandade både i den normala metabolismen av fenylalanin och i utvecklandet av normala vingar. Däremot kan utvecklandet av de normala egenskaperna förhindras eller förändras genom fel på enstaka gener, men det är ändå viktigt att elever tar rapporter om att man funnit 'genen för' någonting med en stor nypa salt.

REFERENSER

- Allchin, D. (2000). Mending Mendelism. *The American Biology Teacher* 62(9), 633-639.
- Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: a strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education* 84, 313-351.
- Björk, M. (1988). *Människans fortplantning*. (Rapport Elevperspektiv nr 17). Mölndal: Institutionen för pedagogik.
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). What's in the cell? – young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education* 34(3), 129-132.
- Knippels, M.C.P.J. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. Utrecht: CD-β Press.
- Martins, I., & Ogborn, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of science Education* 19(1), 47-63.
- Venville, G.J., & Treagust, D.F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of research in Science Teaching* 35, 1031-1055.

BILAGA
UPPGIFTER FÖR DIAGNOS OCH UTVÄRDERING

1. Vad är byggt av celler?

Är följande organismer uppbyggda av celler? Sätt ett kryss för varje organism!

	JA	NEJ	VET EJ
Människor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ormbunkar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rosor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musslor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maskar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Svampar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bakterier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Vilka organismer har kromosomer?

Har följande organismer kromosomer? Sätt ett kryss för varje organism!

	JA	NEJ	VET EJ
Människor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ormbunkar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rosor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musslor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maskar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Svampar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bakterier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Vilka organismer har gener?

Har följande organismer gener? Sätt ett kryss för varje organism!

	JA	NEJ	VET EJ
Människor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ormbunkar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rosor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musslor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maskar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Svampar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bakterier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

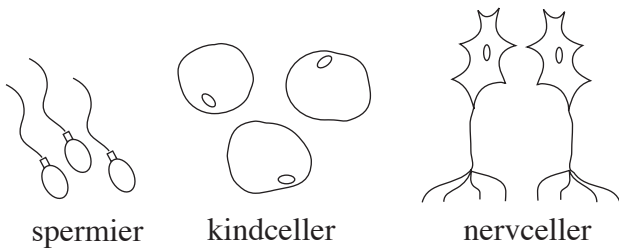
4. Sexuell förökning

Kan följande organismer föröka sig sexuellt? Sätt ett kryss för varje organism!

	JA	NEJ	VET EJ
Människor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ormbunkar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rosor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musslor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maskar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Svampar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bakterier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Roberts celler

Svara på frågorna om Roberts celler genom att kryssa i en av rutorna för varje fråga. Motivera dina svar!



		lika	olika	vet ej
A.	Om du kunde jämföra två av Roberts kindceller, skulle den genetiska informationen i dem vara ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Motivering:

		lika	olika	vet ej
B.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans nervceller, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Motivering:

		lika	olika	vet ej
C.	Om du kunde jämföra en av Roberts kindceller med en av hans spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

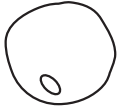
Motivering:

		lika	olika	vet ej
D.	Om du kunde jämföra två av Roberts spermier, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

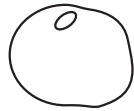
Motivering:

6. Roberts och Kalles celler

Svara på frågan om Roberts och Kalles celler genom att kryss i en av rutorna.
Motivera ditt svar!



Roberts kindcell



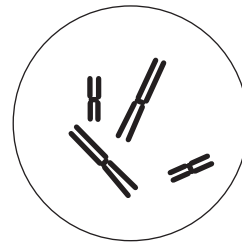
Kalles kindcell

	lika	olika	vet ej
Om du kunde jämföra Roberts kindcell med Kalles kindcell, skulle den genetiska informationen i dem vara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Motivering:

7. Vanlig celledelning

Hos djur delar sig t. ex. hudceller så att många nya hudceller bildas från en och samma modercell. Om modercellen innehåller de kromosomer som visas till höger, vilken av bilderna A, B och C visar vilka kromosomer de nybildade hudcellerna då skulle innehålla? Sätt ett kryss!



modercell

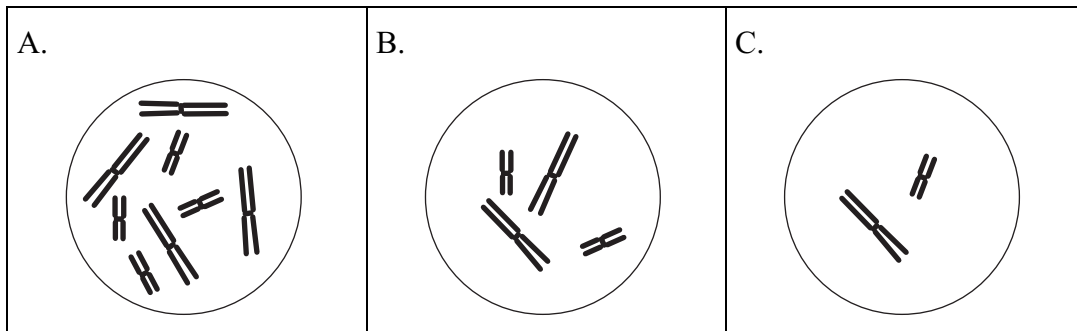

 bild A

 bild B

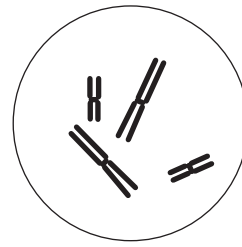
 bild C

 vet ej

Motivering:

8. Könsceller

Vissa celler kan också dela sig så att könsceller (äggceller eller spermier) bildas. Om modercellen innehåller de kromosomer som visas till höger, vilken av bilderna A, B och C visar vilka kromosomer de nybildade könscellerna då skulle innehålla? Sätt ett kryss!



modercell

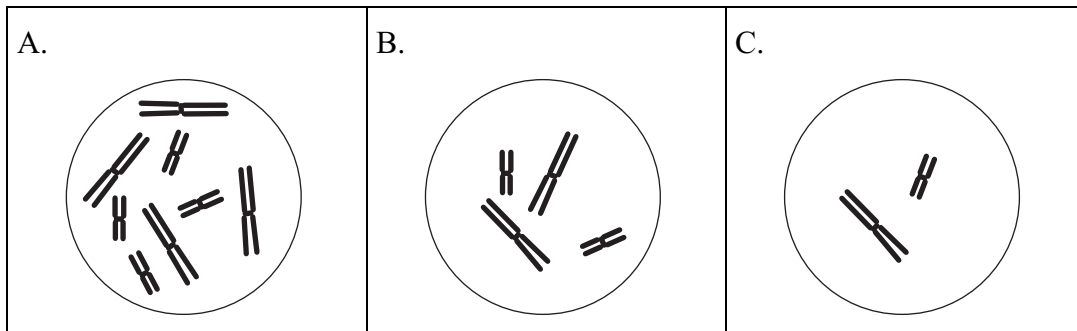

 bild A

 bild B

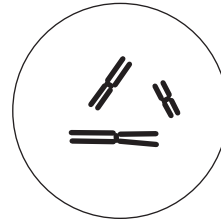
 bild C

 vet ej

Motivering:

9. Befruktning

Hos djur bildas en ny cell när en spermie befruktar en äggcell. Den nya cellen utvecklas sedan till ett nytt djur.



A. Om äggcellen innehåller de kromosomer som visas till höger, vilken av bilderna A, B och C visar vilka kromosomer som spermierna då innehåller? Sätt ett kryss!

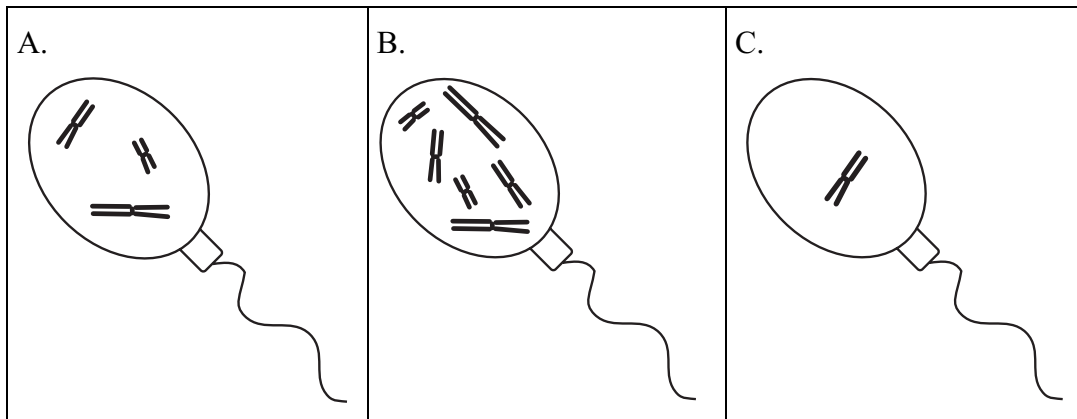


bild A

bild B

bild C

vet ej

Motivering:

B. Vilken av bilderna A, B och C visar vilka kromosomer som den befruktade äggcellen kommer att få? Sätt ett kryss!

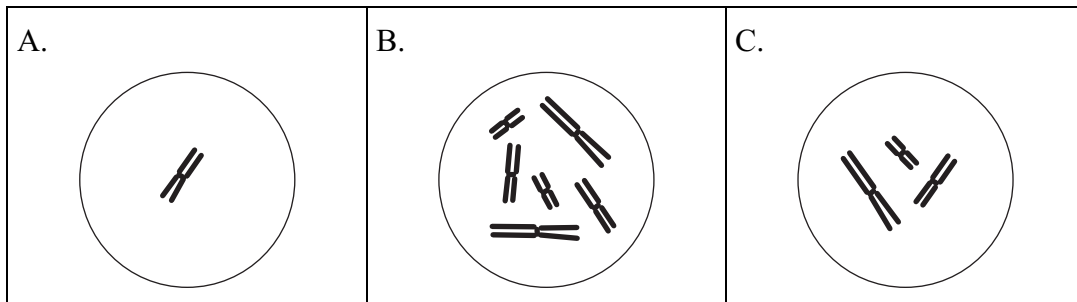


bild A

bild B

bild C

vet ej

Motivering:

10. Blåögda svenskar

Hur kommer det sig att det finns så många blåögda svenskar när brun ögonfärg är dominant över blå?

Översikt av enheter i projektet *NORDLAB-SE* (15 okt 2003)

Naturvetenskapens karaktär

- Elevers och naturvetares tänkande – likheter och skillnader
- System, variabel och kontrollexperiment – tre redskap för vetgirighet
- Grönskande är naturvetenskapliga teorier!

Naturvetenskapens innehåll

- Socker och syre till alla celler – en fråga om logistik
- Livets evolution
- Formativ utvärdering med fotosyntes som exempel
- Genetik

- Jorden som planet i rymden
- Varför har vi årstider?
- Månen, planetsystemet och universum
- Mekanik 1 – Newtons första och andra lag
- Mekanik 2 – Newtons tredje lag
- Temperatur och värme

- Materiens bevarande
- Materiens byggnad
- Materiens faser
- Blandning, lösning och vattnets kretslopp
- Ämnen
- Kemiska reaktioner

Naturvetenskapen i samhället

- Energiflödet genom naturen och samhället
- Växthuseffekten, tekniken och samhället
- Natur och moral – integration eller separation?
- Vad kan man göra med skolkunskaper? Om att sätta in i sammanhang

För korta sammanfattningar av olika enheter se
<http://na-serv.did.gu.se/nordlab/se/se.html>

Alla enheter kan laddas ner från internet:
<http://na-serv.did.gu.se/nordlab/se/trialse/trialunits.html>