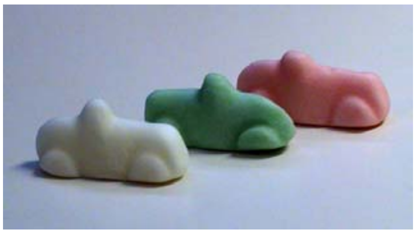
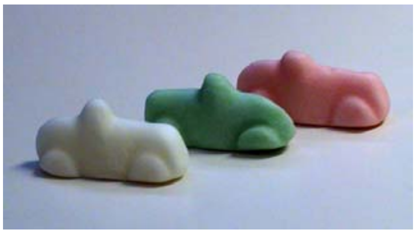
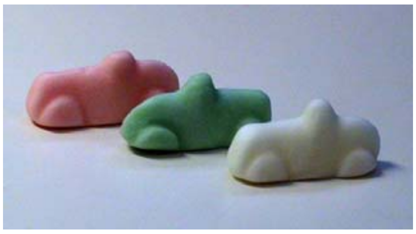
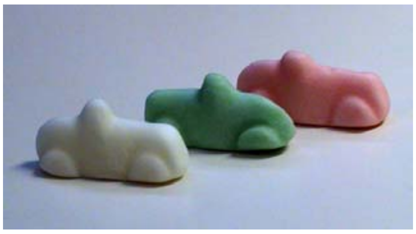
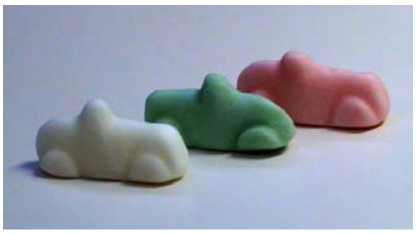
Margareta Wallin, Torgny Bohlin och Lars Johan Erkell

Zoologiska institutionen
Göteborgs universitet

Pedagogiskt godis

Hur man använder godis för att illustrera vetenskaplig metodik, statistiska metoder och forskningsfusk

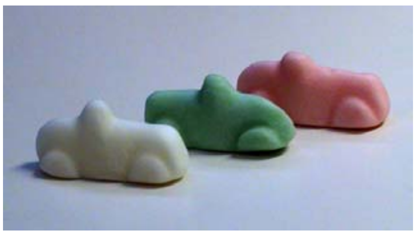
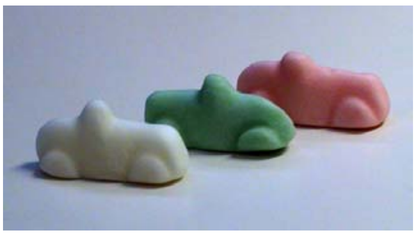
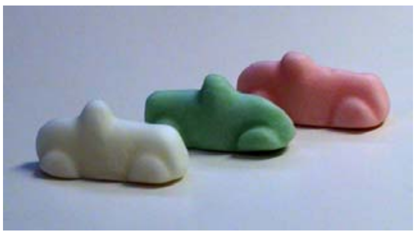






Bakgrund till den vetenskapliga metodiken

För de flesta människor har naturvetenskaplig kunskap rangen av sanning, alltså något som är helt tillförlitligt. För en forskare beskriver denna kunskap emellertid endast vår nuvarande förståelse av världen omkring oss baserat på observationer och experiment som utförts.

Naturvetenskaplig kunskap är därför bara så sann som de observationer eller experiment som den är baserad på. Den kan därför modifieras eller förändras när som helst om våra observationer och experiment förfinas. Nya experiment kan till och med kullkasta gammal kunskap. Ett sådant exempel är att det tidigare antagits att solenergi är källan till allt biologiskt liv på jorden. För inte så länge förändrades detta av upptäckten av djuphavsbakterier som kan använda energin i vätesulfid (H_2S) molekylen istället för energin från solen. Vi trodde också långt tidigare att jorden var centrum i Universum. Före upptäckten av orsaken till Galna Kosjukan var det få som anade att proteiner kunde vara sjukdomsalstrande. Kunskap förändras därför så snart vi får ny information.

Den vetenskapliga metodiken bygger på att vi sätter upp en hypotes som är baserad på tidigare kunskap. Denna hypotes testas sedan på olika sätt (Fig. 1). Genom att utföra väl kontrollerade experiment (eller systematiska observationer), och genom att sedan tolka de resultat vi får, försöker vi belägga eller förkasta hypotesen. Lyckas vi med detta (och det gör man inte alltid), kan vi dra slutsatser som leder kunskapen framåt. Både vid formuleringen av hypotesen och vid presentationen av slutsatser tar vi vara på den kunskap som redan finns och sätter därmed in våra resultat i ett större sammanhang.

Den vetenskapliga metoden

1. Utgå från tidigare kunskap
2. Formulera en testbar hypotes
3. Lägg upp ett kontrollerat experiment
4. Samla in data
5. Tolka resultaten
6. Dra slutsatser baserat på egna resultat och vad som redan är känt

Faktaruta vetenskaplig metod

Denna metod har varit drivande i den *vetenskapliga revolutionen*, som med början på 1500-talet helt har förändrat det västerländska samhället. Den har en viktig förutsättning som kan formuleras så här: den naturvetenskapliga metoden bygger på logiska slutledningar baserade på experiment och observationer av naturen *och ingenting annat*. Detta innebär att forskaren i sina tolkningar inte skall låta sig influeras av t.ex. religion eller traditioner, utan skall vara så objektiv som bara är möjligt.

Nu är forskaren naturligtvis en människa som alla andra, med traditioner, etik och religiös uppfattning. Etiska frågor slipper forskaren lika lite som någon annan; skall han/hon ta ett välavlönat arbete där man utvecklar nya vapen? Eller skall han/hon ta ett osäkert och mindre väl avlönat arbete som kan gynna människor i tredje världen, som t.ex. utvecklingen av det "gyllene riset"? Här går det inte att vara "objektiv"; här måste forskaren - precis som varje människa - ta ställning utifrån sin etik.

Objektivitetskravet är centralt i det vetenskapliga arbetets metod. Vi kan ta rättegången mot Galileo Galilei (1615) som ett välkänt exempel. Inkvisitionsdomstolen fann honom skyldig, eftersom "påståendet att solen är centrum [av solsystemet] och inte rör sig runt jorden är dåraktig, absurd, teologiskt felaktig och kättersk, eftersom det uttryckligen strider mot den Heliga Skrift". Kyrkan utgick från den medeltida uppfattningen att sanningen, som den uppenbarades i den Heliga Skrift, hade ett värde som översteg alla tänkbara experiment och observationer man kunde göra i naturen. Galileo själv hade den motsatta synen. Han utgick från att ingenting var sannare än verkligheten, och att man inte kunde ignorera väl utförda observationer och experiment enbart på grund av teologiska argument. Dagens naturvetenskap är mycket konsekvent på denna punkt: religiösa eller andliga förklaringsmodeller är helt uteslutna.

Alla vetenskapliga upptäckter sker dock inte så planerat som man kanske skulle kunna tro, utan en hel del kunskap har kommit fram till stor del beroende på slumpen. Penicillinets upptäckt är ett känt sådant exempel där läkaren Flemings slarv med städningen på laboratoriet gav upphov till möjligheten att bekämpa sjukdomar orsakade av bakterier (se faktaruta). Det finns många sådana exempel, och de bygger inte enbart på en lycklig slump, utan vanligen på att utbildade forskare kan tolka vad de ser och sätta in det i ett sammanhang. Fortsatt forskning på områdena sker sedan så gott som alltid med den vetenskapliga metodik som är beskriven ovan.

Faktaruta penicillin

Alexander Fleming var mikrobiolog på Londons St Mary's Hospital och studerade hur bakterier växer i petriskålar och vad som påverkar deras tillväxt. Han hade t ex funnit att ett enzym, lysozym, som finns i tårvätskan kan hindra bakterietillväxt. När han kom tillbaks efter sin sommarsemester 1928 så började han diska petriskålar som han glömt att rengöra före semestern. De hade möglat och sannolikt skulle någon annan person bara slängt dem. Fleming noterade dock att det inte hade växt några bakterier i närheten av möglet. Han förstod då att mögelsvampen hade utsöndrat något ämne som hindrade bakterietillväxt. Han extraherade ämnet och gav det namnet penicillin. Han arbetade därefter med vetenskaplig metodik; han testade om penicillinet kunde hindra tillväxt av andra mikroorganismer. Här hade dock utvecklingen av penicillin kunnat stanna eftersom andra forskare inte kunde upprepa hans resultat genom att tillsätta mögelsvampen *Penicillium notatum* till kulturer av stafylokockbakterier.

Det visade sig långt senare hur slumpen hade påverkat resultatet. Det var inte bara det att Fleming hade varit slarvig och inte diskat före sin semester. Ronald Hare, som var Flemings assistent, visade 1964, hur det hängde ihop. Han visade att tillväxt av bakterier och mögel inte sker vid samma temperatur. Mögelsvampen växer bäst vid 20°C och bakterierna vid 35°C. De andra forskarna hade misslyckats därför att de på sedvanligt vis odlat skålarna med bakterier vid 35°C. Men hur hade det då kunnat ske i Flemings skålar? Jo, Fleming hade glömt skålarna på laboratoriebänken och just den sommaren när han var på semester blev det nio exceptionellt kalla dagar följt av varma dagar igen. Under de kalla dagarna växte möglet som bäst och producerade penicillin och när det sedan blev varmt så växte bakterierna, men inte där koncentrationen av penicillin var hög. Mögelsvampen var också av en alldeles speciell sort som producerade speciellt mycket penicillin. De kom via luften från laboratoriet i våningen under, där en kollega till Fleming arbetade med svampar.

Praktiskt arbete i klassrummet

Hur skall man på ett enkelt och samtidigt roligt sätt kunna få elever att förstå hur man forskar, varför och hur man använder statistiska metoder och vad forskningsfusk är för något? Här presenteras ett sådant exempel som förutom att det uppfyller ovan nämnda krav också är gott. Det kan användas inom något naturvetenskapligt ämne med eller utan samarbete med skolans matematik. Exemplet kan användas för olika åldersgrupper beroende på hur avancerad den statistiska behandlingen görs. I det här exemplet har vi använt Ahlgrens bilar. Det finns många andra sorters godis som kan användas också. Vi har t ex använt påsar med M & M i Storbritannien.

Observation: Vi har köpt en påse med godiset Ahlgrens bilar som innehåller gröna, rosa och vita bilar, och i denna påse finns det fler gröna än rosa eller vita bilar. Eftersom vi gillar gröna bilar köper vi en påse till, och också i denna är gröna bilar vanligast. Vid en snabb blick på godisaffärens hylla tycker vi oss ana att gröna bilar är vanligast i de flesta påsarna. Vår hypotes blir därför att färgen grön generellt dominerar bland bilarna i en påse. Med andra ord, vi tror följande: Bland alla påsar som Ahlgren har gjort är antalet påsar där gröna bilar är vanligast större än antalet påsar där gröna bilar inte är vanligast.

Hur testar vi vår hypotes med vetenskaplig metodik? Ja, det räcker inte att vi undersöker antalet bilar av olika färger i en eller två påsar för att dra slutsatser om hur innehållet i påsar ser ut generellt. Det skulle vara som att intervjua en eller två väljare för att uttala sig om svenska folkets politiska sympatier. Vi köper därför ett antal (N) påsar, och räknar i varje påse antalet gröna, rosa och vita bilar (i en väljarundersökning brukar N vara ett eller två tusen). Ett sådant urval av N "påsar" kallas ett stickprov. För första påsen kan vi göra en tabell. Låt oss säga att resultatet blev följande:

Antal **gröna** bilar	Antal rosa bilar	Antal vita bilar	Fler **gröna** än rosa eller vita bilar JA/NEJ
38	27	34	JA

På samma sätt gör vi med påse 2, 3, 4 o.s.v. Låt oss säga att vi undersöker ett stickprov N=10 påsar, och av dessa får vi 7 JA och 3 NEJ, d.v.s. 70 % mot 30 %. Kan vi härav dra slutsatsen att grönt dominerar bland påsarna?

Nej, man kan aldrig veta detta med hundraprocentig säkerhet såvida man inte räknar innehållet i alla påsar som Ahlgren producerat. Och detta är ju omöjligt. Men det vi kan säga är att om vi hade fått 10 JA och 0 NEJ, så anser vi nog att vi skulle ha starkare skäl för vår hypotes än om vi hade fått 5 JA och 5 NEJ (eller om vi fått färre JA än NEJ).

Detta illustrerar grundprincipen för ett statistiskt test. Vi börjar med vår hypotes, som i detta fallet är att JA-påsar dominerar. Alternativhypotesen är då att JA-påsar inte dominerar. Man beräknar på något sätt hur sannolikt ett utfall är (till exempel vårt utfall 7 JA och 3 NEJ) om denna alternativhypotes är sann. Om JA-påsarna inte dominerar, hur sannolikt är det då att få 7 JA och 3 NEJ? Denna sannolikhet brukar kallas p. Om p är högt är vårt utfall 7:3 sannolikt om alternativhypotesen är sann, och då kan vi inte dra slutsatsen att de gröna faktiskt dominerar. Om p är lågt är det däremot osannolikt att alternativhypotesen -gröna bilar inte dominerar – är sann, och vi får då stöd för att gröna bilar faktiskt dominerar. Den som har lite matematisk bakgrund kanske ser att man vid denna test utnyttjar binomialfördelning, men det är inget vi andra behöver bry oss om. p-värden för ett antal olika utfall i denna situation (där utfallet bara kan anta ett av två värden) kan vi direkt avläsa i nedanstående tabell, där N är stickprovsstorlek (i vårt exempel = 10). Vår hypotes är att JA-påsar är vanligare än NEJ-påsar. k i tabellen är det av antalet JA eller NEJ som enligt vår hypotes är lägst. i vårt fall är antalet NEJ-påsar lägst och k=3. Går vi in i tabellen på N=10 och k=3 kan vi avläsa att p=0,172.

Vad betyder detta? Jo, att det inte är särskilt ovanligt att få utfallet 7 JA mot 3 NEJ, även om alternativhypotesen att gröna bilar inte dominerar är sann. Detta sker med sannolikheten p=0,172, d.v.s inträffar 17 gånger av 100. Av utfallet 7 mot 3 kan vi alltså inte med rimlig säkerhet dra slutsatsen att gröna bilar dominerar. Om vi i stället bland våra 10 påsar hade fått utfallet 9 mot 1 (N=10, k=1), vilken slutsats drar vi då? Vi går in i tabellen och finner att p=0,011. Sannolikheten att gröna bilar inte dominerar är bara ungefär 1 %. Utfallet 9 mot 1 visar alltså ett starkt stöd för vår hypotes att gröna bilar dominerar. Om vi hade fått tvärtom d v s 1 JA och 9 NEJ, eller något liknande, hur gör vi då? Jo, vår hypotes från början är fortfarande att JA-påsar dominerar, och att NEJ-påsarna bör vara färre än JA-påsarna, d v s att k fortfarande är antalet NEJ-påsar. I fallet 1 JA och 9 NEJ, gå in på N=10 och k=9 och avläs p=0,999. Sannolikheten att gröna bilar inte dominerar är alltså nästa 1! Eller om vi vänder på det – sannolikheten att gröna bilar dominerar är nästan 0.

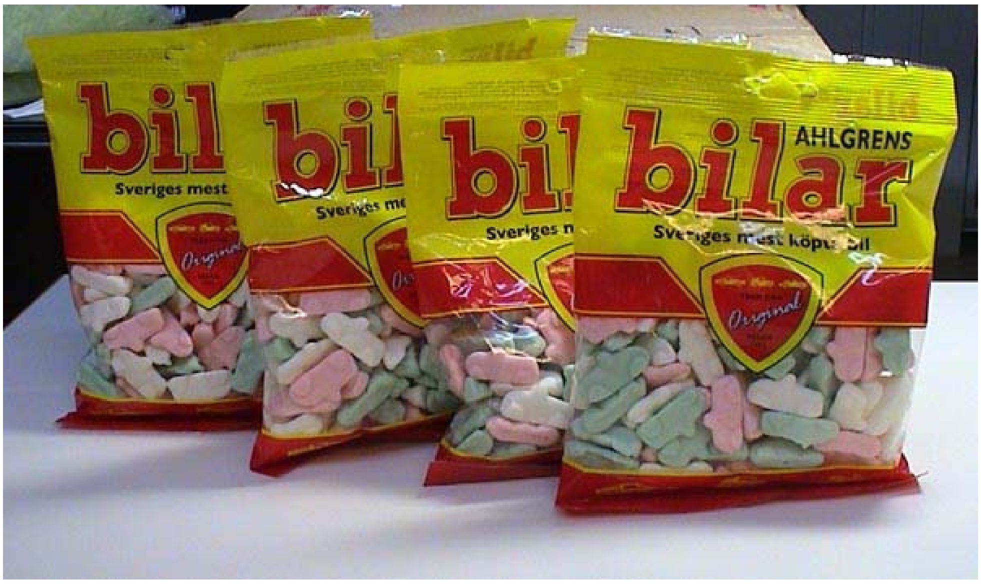
Vad är då ”ett starkt stöd”? Det har blivit en konvention inom många vetenskapsfält att sätta en slags gräns vid p=0,05. Om alltså det värde på p man får fram är 0,05 eller mindre, anser man alltså att hypotesen om ”ingen skillnad” rimligen kan förkastas, och följaktligen att hypotesen om ”skillnad” kan accepteras. Om p är större än 0,05 är stödet för hypotesen ”ingen skillnad” så stor att man inte rimligen kan förkasta den.

I vårt utfall 7 mot 3, med p=0,172, kan vi alltså rimligen inte acceptera hypotesen att gröna bilar dominerar. I fallet 9 mot 1 kan vi enligt denna konvention göra detta. Och ju mindre p, desto mer sannolikt att vi drar rätt slutsats från våra observationer.

Man kan också börja med att använda tabellen. Låt oss anta vi har råd att köpa 15 påsar med bilar. Antag också att vi som ”beslutsgräns” (signifikansnivå på statistikspråk) använder 5 % (p=0,05). Hur många NEJ av dessa 15 kan vi få som högst och ändå kunna dra slutsatsen att gröna dominerar? Gå in på raden N=15 och läs av k i den kolumn där p är som närmast under 0,05. Detta visar sig vara k=3 (p=0,018). (Går vi till k=4 finner vi att p=0,059, d.v.s. större än den ”beslutsgräns” p=0,05 som vi valt.) Utfallet 12 mot 3 skulle alltså enligt detta stöda hypotesen att gröna bilar dominerar, medan utfallet 11 mot 4 inte skulle göra det! (Om man får utfallet 11 mot 4 men vill ge sig katten på att lösa frågan, får man försöka skaffa pengar till fler påsar.)

I klassrummet kan man köpa in så många påsar som är möjligt och låta eleverna räkna N och K, läsa av p, och dra slutsatsen.

Diskutera i vilken sorts naturvetenskapliga och medicinska studier som man måste använda statistiska metoder, och i vilka man inte behöver eller inte kan göra det.


AHLGRENS
bilar
Sveriges mest
Original

Sannolikhetstabell

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	0,062	0,312	0,688	0,938	1,0											
5	0,031	0,188	0,500	0,812	0,969	1.0										
6	0,016	0,109	0,344	0,656	0,891	0,984	1.0									
7	0,008	0,062	0,227	0,500	0,773	0,938	0,992	1.0								
8	0,004	0,035	0,145	0,363	0,637	0,855	0,965	0,996	1.0							
9	0,002	0,020	0,090	0,254	0,500	0,746	0,910	0,980	0,998	1.0						
10	0,001	0,011	0,055	0,172	0,377	0,623	0,828	0,945	0,989	0,999	1.0					
11		0,006	0,033	0,113	0,274	0,500	0,726	0,887	0,967	0,994	0,999+	1.0				
12		0,003	0,019	0,073	0,194	0,387	0,613	0,806	0,927	0,981	0,997	0,999+	1.0			
13		0,002	0,011	0,046	0,133	0,291	0,500	0,709	0,867	0,954	0,989	0,998	0,999+	1.0		
14		0,001	0,006	0,029	0,090	0,212	0,395	0,605	0,788	0,910	0,971	0,994	0,999	0,999+	1.0	
15			0,004	0,018	0,059	0,151	0,304	0,500	0,696	0,849	0,941	0,982	0,996	0,999+	0,999+	1.0
16			0,002	0,011	0,038	0,105	0,227	0,402	0,598	0,773	0,895	0,962	0,989	0,989	0,999+	0,999+
17			0,001	0,006	0,025	0,072	0,166	0,315	0,500	0,685	0,834	0,928	0,975	0,994	0,999	0,999+
18			0,001	0,004	0,015	0,048	0,119	0,240	0,407	0,593	0,760	0,881	0,952	0,985	0,996	0,999
19				0,002	0,010	0,032	0,084	0,180	0,324	0,500	0,676	0,820	0,916	0,968	0,990	0,998
20				0,001	0,006	0,021	0,058	0,132	0,252	0,412	0,588	0,748	0,868	0,942	0,979	0,994
21				0,001	0,004	0,013	0,039	0,095	0,192	0,332	0,500	0,668	0,808	0,905	0,961	0,987
22					0,002	0,008	0,026	0,067	0,143	0,262	0,416	0,584	0,738	0,857	0,933	0,974
23					0,001	0,005	0,017	0,047	0,105	0,202	0,339	0,500	0,661	0,798	0,895	0,953
24					0,001	0,003	0,011	0,032	0,076	0,154	0,271	0,419	0,581	0,729	0,846	0,924
25						0,002	0,007	0,022	0,054	0,115	0,212	0,345	0,500	0,655	0,788	0,885
26						0,001	0,005	0,014	0,038	0,084	0,163	0,279	0,423	0,577	0,721	0,837
27						0,001	0,003	0,010	0,026	0,061	0,124	0,221	0,351	0,500	0,649	0,779
28							0,002	0,006	0,018	0,044	0,092	0,172	0,286	0,425	0,575	0,714
29							0,001	0,004	0,012	0,031	0,068	0,132	0,229	0,356	0,500	0,644
30							0,001	0,003	0,008	0,021	0,049	0,100	0,181	0,292	0,428	0,572
31								0,002	0,005	0,015	0,035	0,075	0,141	0,237	0,360	0,500
32								0,001	0,004	0,010	0,025	0,055	0,108	0,189	0,298	0,430

k

Värden mindre än 0,0005 är ej införda

Hur man kan diskutera och illustrera forskningsfusk i klassrummet

När godis har använts för att illustrera vetenskaplig metodik och statistiska metoder i klassrummet kan man därefter använda samma material för att illustrera vad som menas med forskningsfusk (eller vetenskaplig oredlighet). Du kan redovisa resultatet från en påse där du ätit upp ett antal rosa och vita bilar. Hur stor är sannolikheten att någon i gruppen misstänker att detta har skett? Här kan man resonera om de oskrivna regler som finns i forskarvärlden om att man skall redogöra för varför man gjorde studien, hur man gjorde det, vilka resultat man fick och vad de betyder. Detta måste göras så noggrant att arbetet kan upprepas av en annan forskare.

Om vi utgår från att forskarens hypotes är att antalet gröna bilar dominerar så kan han/hon få det resultatet genom att äta upp några rosa eller vita bilar om forskarens observationer börjar tyda på att så inte är fallet. En annan möjlighet är att forskaren kanske i de påsar som skall räknas finner en påse som nästan är fylld med rosa bilar och bestämmer sig för att ta bort den med motiveringen att den inte liknar någon annan han/hon sett och därmed inte borde vara representativ för påsar i allmänhet.

Finns det forskare som fuskar eller utför sina studier slarvigt så att man inte kan vara säker på resultaten?

Ja, det finns ett litet antal forskare som avsiktligt och på ett vilseledande sätt gör avsteg från de vetenskapliga kvalitetskraven eller medvetet bryter mot allmänt accepterade vetenskapliga normer. Orsakerna kan vara flera; de kan finnas i personliga karaktärsegenskaper, men också vara orsakat av att forskaren vill publicera fler forskningsresultat för att t ex få en bättre tjänst och större forskningsanslag, eller för att över huvud taget få behålla sin tjänst och sina anslag. Man kan också vilja manipulera underlag för politiska eller kommersiella beslut som styr dessa till vad man själv önskar.

Emellertid finns det flera självkorrigerande mekanismer i den vetenskapliga världen. Resultat detaljgranskas både före och efter publicering av kollegor inom forskningsområdet. Ämnet forskningsetik är under uppbyggnad och många universitet har idag etiska råd och utbildning i ämnet för att förhindra det som man i Sverige kallar vetenskaplig oredlighet. Forskningsfusk och slarvig forskning åstadkommer visserligen en del friktion i det vetenskapliga maskineriet, men maskineriet fungerar ändå.

Referenser:

Ennos, R. (2000) *Statistical and Data Handling Skills in Biology.* Prentice Hall. ISBN: 0 582 31278 7.

Forsman, B. (1997) *Forskningsetik. En introduktion.* Studentlitteratur. ISBN 91 44 00484 2.

Le Fanu, J. (2000) *The rise and fall of modern medicine.* Carroll and Graf Publishers: Inc. New York. ISBN 0 7867 0732 1

Resnik, D.B. (1998) *The Ethics of Science: An Introduction.* Routledge: London/New York. ISBN 0-415-16698-5.

Thompson, J., Baird, P. & Downie, J. (2001) *The Olivieri Report.* Lorimer: Toronto. ISBN 1 55028 739 7.
(Den här boken handlar om den kanadensiska läkaren som råkade illa ut när hon ville redovisa biverkningar från det läkemedel hon testade. Fallet har inspirerat John Le Carré till att skriva den spännande romanen ”Den trägne odlaren”, Bonniers, Stockholm 2001. Den engelska titeln på boken är ”The constant gardener”.)

www.ahlgrensbilar.com

Foto:

Dean Madden, National Centre for Biotechnology Education,

