

Institutionen för fysik, kemi och biologi

Examensarbete 15 hp

Påverkar slumpen evolutionsundervisningen?

En litteraturstudie angående hur förståelse för slump och sannolikhet påverkar förståelsen för evolution.

Angelica Larsson

LiTH-IFM- Ex--15/2991--SE

Handledare: Daniel Orraryd, Linköping University

Examinator: Thomas Östholm, Linköping University



Linköpings universitet

Institutionen för fysik, kemi och biologi

Linköpings universitet

581 83 Linköping



Institutionen för fysik, kemi och biologi
Department of Physics, Chemistry and Biology

Datum/Date

2015-03-23

Språk/Language

Svenska/Swedish

Rapporttyp

Examensarbete
C-uppsats

ISBN

LITH-IFM-A-EX—15/2991—SE

ISRN

Serietitel och serienummer

Title of series, numbering

ISSN

Handledare/Supervisor Daniel Orraryd

Ort/Location: Linköping

URL för elektronisk version

Titel/Title:

Påverkar slumpen evolutionsundervisningen?

Författare/Author:

Angelica Larsson

Sammanfattning/Abstract:

Syftet med denna systematiska litteraturstudie var att undersöka om slump och sannolikhet kan vara det Ross och kollegor kallar för tröskelbegrepp. Detta undersöktes genom en kvalitativ analys av 11 publicerade artiklar. Dessa analyserades utifrån tre frågeställningar. Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom matematikundervisningen? Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom evolutionsundervisningen? Återfinns liknande resonemang angående slump och sannolikhet inom matematik- och evolutionsundervisningen? Utifrån sammanställningen granskades resonemangen för att se om de liknade varandra. Efter detta drogs slutsatser om huruvida slump och sannolikhet skulle kunna vara så kallade tröskelbegrepp. Resonemangen verkade påminna om varandra och flera av de kriterier som Ross och kollegor har ställt upp för tröskelbegrepp är uppfyllda. Denna studie stödjer deras förslag angående att slump och sannolikhet är tröskelbegrepp.

Nyckelord/Keyword:

Slump, Sannolikhet, Tröskelbegrepp, Evolution, Elevuppfattning

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning	3
2. Inledning	3
3. Teoretisk bakgrund.....	4
3.1 Evolution.....	4
3.2 Determinism	4
3.3 Icke-adaptiva faktorer.....	5
3.4 Tröskelbegrepp.....	6
3.5 Slump	6
3.6 Syfte	7
4. Metod	7
4.1 Databaser och sökord	7
4.2 Urval	8
4.3 Analysmetod	10
5. Resultat	10
5.1 Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom matematikundervisningen?	11
5.2 Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom evolutionsundervisningen?.....	14
5.3 Återfinns samma resonemang angående slump och sannolikhet inom matematik- och evolutionsundervisningen?	17
5.4 Vad tyder på att slump och sannolikhet skulle vara tröskelbegrepp?.....	18
6. Diskussion & slutsats	19
Referenslista.....	21

1. Sammanfattning

Syftet med denna systematiska litteraturstudie var att undersöka om slump och sannolikhet kan vara det Ross och kollegor kallar för tröskelbegrepp. Detta undersöktes genom en kvalitativ analys av 11 publicerade artiklar. Dessa analyserades utifrån tre frågeställningar. Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom matematikundervisningen? Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom evolutionsundervisningen? Återfinns liknande resonemang angående slump och sannolikhet inom matematik- och evolutionsundervisningen? Utifrån sammanställningen granskades resonemangen för att se om de liknade varandra. Efter detta drogs slutsatser om huruvida slump och sannolikhet skulle kunna vara så kallade tröskelbegrepp. Resonemangen verkade påminna om varandra och flera av de kriterier som Ross och kollegor har ställt upp för tröskelbegrepp är uppfyllda. Denna studie stödjer deras förslag angående att slump och sannolikhet är tröskelbegrepp.

Nyckelord: Slump, Sannolikhet, Tröskelbegrepp, Evolution, Elevuppfattning

2. Inledning

Det har uppdagats att elever har många alternativa idéer angående evolution när de först kommer till undervisningen. Eleverna har svårt för att förstå och acceptera konsekvenserna av evolutionsteorin. Det vardagliga tänkandet de besitter är inte tillräckligt för att de ska förstå evolutionsteorin. Det verkar som att de har svårt att få förståelse för en process som saknar mening och mål.¹

Syftet med denna studie är att undersöka om och i så fall hur dessa alternativa idéer hänger samman med elevers svårigheter att förstå slump och sannolikhet. I denna litteraturstudie kommer jag söka svar på hur elevers resonemang angående slump och sannolikhet uttrycks inom matematikundervisningen samt inom evolutionsundervisningen. Utifrån detta vill jag sedan undersöka om missuppfattningar angående slump och sannolikhet yttrar sig på samma sätt inom de två olika områdena. Denna information ska då användas för att eventuellt stödja Pauline Ross och hennes kollegors förslag angående att slump och sannolikhet kan vara tröskelbegrepp.²

¹ Wallin. *Evolutionsteorin i klassrummet - På väg mot en ämnesdidaktisk teori för undervisning i biologisk evolution*. Göteborgs universitet 2004.

² Ross, et al. *Threshold concepts in learning biology and evolution*. Biology International, 2010.

3. Teoretisk bakgrund

3.1 Evolution

Evolutionsteorin är den enande grunden för stora delar av biologin, det är också ett av de mest missuppfattade områdena inom biologin.³ En förståelse för evolutionsteorin krävs för att kunna delta i många debatter inom olika biologiska teman samt angående samhällliga problem som är relaterade till biologiområdet.⁴

Under 1930-talet skapades den moderna evolutionära syntesen genom en sammanslagning av de idéer Charles Darwin hade publicerat i *The origin of species* och Gregor Mendels upptäckter angående ärftlighet. Även bidrag från bland annat populationsgenetiken, botaniken samt paleontologin bidrog till att forma evolutionsteorin. Den moderna evolutionära syntesen har sedan fortsatt utvecklas, till exempel då DNA upptäcktes under 1950-talet. Upptäckten bidrog till att man nu visste hur karaktärer nedärvdes till näste generation.⁵ Man kan dela upp evolutionsteorin i två steg, variation och naturligt urval.⁶ Den genetiska variationen är råmaterialet som den naturliga selektionen sedan kan verka på.⁷

3.2 Determinism

Zohar och Ginossar skriver att det är vanligt att elever uttrycker att evolution är målstyrd eller riktad när de pratar om evolution.⁸ Elever använder sig av dessa teleologiska resonemang då de skriver om eller talar om evolution.^{9 10} Teleologiska resonemang är de resonemang där eleven uttrycker att evolutionen är målorienterad. Detta kan till exempel handla om att eleven uttrycker sig om att en organism plötsligt förändrar en egenskap för att nå ett mål. Zohar och Ginossar menar att eleverna påverkas av att deras lärare tenderar att använda ett vardagligt språk snarare än ett vetenskapligt språk då de undervisar om evolution och att detta leder till att teleologiska resonemang uttrycks.¹¹

Denna deterministiska syn på evolution är inte begränsad till skolans värld utan den har även

³ Abraham, et al. *Addressing undergraduate student misconceptions about natural selection with an interactive simulated laboratory*. Evolution: Education & Outreach, 2009.

⁴ van Dijk & Reydon. *A conceptual analysis of evolutionary theory for teacher education*, Springer science + Business Media B.V 2010.

⁵ Campbell & Reece, *Biology*, 6 uppl., San Francisco: Pearson education, 2002.

⁶ Olander, *Hur uppstår biologisk variation? En studie av gymnasieelevers uppfattningar och hur de utvecklas genom undervisning*. Göteborg: Institutionen för pedagogik och didaktik, 2003.

⁷ Campbell & Reece, 2002.

⁸ Zohar & Ginossar. *Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education – Heretical suggestion*. science education, 1998.

⁹ Ibid.

¹⁰ Wallin, 2004.

¹¹ Zohar & Ginossar, 1998.

varit aktuell inom forskningen. Gould skriver att dessa teorier angående deterministisk biologi har avvisats då kunskapen om människans biologi, evolution och genetik har ökat. Den Darwinistiska evolutionen är en långsam, slumpmässig och indirekt process. Den går inte att styra och således kan inte en gynnsam karaktär skapas medvetet. Istället för att hänvisa till Darwinistisk evolution bygger många av argumenten för den biologiska determinismen på produkter utav kulturell evolution. Denna kulturella evolution fungerar genom nedärvning av inlärd karaktärer, alltså vad vi lär våra avkommor, genom skrifter, traditioner eller dylikt. I och med att den lärs ut av föräldragenerationen sker förändringen snabbt men den har alltså inget med genetik att göra.¹²

3.3 Icke-adaptiva faktorer

I Läroplanen för biologi 1 står det i det centrala innehållet att man ska behandla ”Evolutionens mekanismer, till exempel naturligt urval och sexuell selektion samt deras betydelse för artbildning.”¹³ Skolverket väljer att skriva ut två adaptiva mekanismer men ingen icke-adaptiv. Tyngdpunkten hamnar således på de mekanismer som är adaptiva, så verkar även vara fallet ute i skolorna. Beggrow och Nehm påpekar att det ofta är selektionen som står i centrum då det gäller evolutionsundervisning. Detta bidrar till att de icke-adaptiva faktorerna inom evolutionen får mindre utrymme i undervisningen. Dessa faktorer är abstrakta och kan därför vara svårare för eleverna att förstå än naturligt urval.¹⁴ Ett exempel på en icke-adaptiv process är mutationer. Mutationer sker av en slump och bidrar med genetisk variation i en population.¹⁵ De adaptiva faktorerna gynnar en viss karaktär som vissa individer i populationen innehar. Ett exempel på detta är att vissa individer i en insektspopulation kan vara resistent mot ett bekämpningsmedel. Dessa individer kommer att överleva om deras habitat blir besprutad och därmed kommer de att kunna reproducera sig och sprida den fördelaktiga genen.¹⁶ Det finns alltså ett tydligt målfokus när det gäller de adaptiva faktorerna, detta saknas då det gäller icke-adaptiva faktorer.

Genetisk drift ger slumpmässigt upphov till förändring i populationens allelfrekvens. Även mutationerna som ger upphov till variation inom en population sker slumpmässigt.¹⁷ Dessa två icke-adaptiva faktorer har inget tydligt målfokus, de sker slumpmässigt.

¹² Gould, *Den felmätta människan*, Stockholm: Alba. 1983.

¹³ Skolverket, *läroplan Biologi 1*, 2011.

¹⁴ Beggrow & Nehm. *Students' Mental Models of Evolutionary Causation: Natural Selection And Genetic Drift*. Education & Outreach, 2012.

¹⁵ Gould, 1983.

¹⁶ Campbell & Reece, 2002.

¹⁷ Ibid.

3.4 Tröskelbegrepp

Ross och hennes kollegor föreslår att sannolikhet och slump är tröskelbegrepp.

Tröskelbegrepp kännetecknas av att de är transformativa, irreversibla och integrativa. De ger upphov till ett förändrat tankesätt som exponerar samband som tidigare var dolda för eleven. Det är också osannolikt att eleven glömmer bort lärdomen som gav upphov till det nya tankesättet. Tröskelbegreppen föreslås vara kunskaper som är centrala för att bemästra det aktuella ämnet. Olika ämnen kan således ha olika tröskelbegrepp samtidigt som ett begrepp skulle kunna vara en tröskel i flera ämnen. Det som anses vara en tröskel för en elev är inte nödvändigtvis en tröskel för en annan elev. Ross et. al. menar att det inte är det svåra innehållet som utgör trösklarna inom biologiämnet utan de menar att det snarare är de abstrakta idéerna som biologer resonerar utifrån som är utmaningen för eleverna. De tar till exempel upp energi, energitransformation, variation, sannolikhet och slump som förslag på tröskelbegrepp inom biologin. När det gäller just evolutionsundervisning anser de att konceptet evolution inte är själva tröskeln men kräver att eleverna har kunskap gällande underliggande tröskelbegrepp.¹⁸

3.5 Slump

Det är inte lätt att definiera slump, flera synsätt finns på vad som bör benämnas som slump. Slump är något oförutsägbart. Egentligen är det få saker som är helt slumpmässiga i vår tillvaro, teoretiskt sätt kan vi beräkna exakt hur en tärning kommer att landa även om detta många gånger får exemplifiera slumpen.¹⁹ I nationalencyklopedin skriver man att slumpen inom sannolikhetsläran står för det oförutsägbara.²⁰ Ett slumpförsök är ett försök som kan sluta på flera olika möjliga sätt. För att beskriva ett slumpförsök måste man precisera alla möjliga utfall och sannolikheterna för dem. Det enklaste slumpförsöket har två utfall med lika stor sannolikhet. Att utfallen ska ha samma sannolikhet är inte ett krav för att det ska vara ett slumpförsök. Vanligt förekommande exempel på slumpförsök är slantsingling och tärningskastning.²¹

¹⁸ Ross et al. 2010.

¹⁹ Svensson. *Är tärningen kastad? Sannolikhetslära för vem som helst*. 2013.

²⁰ <http://www.ne.se.e.bibl.liu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/slump>

²¹ Britton & Garmo, *Sannolikhetslära och statistik för lärare*. Lund: Studentlitteratur. 2002.

3.6 Syfte

Syftet med denna systematiska litteraturstudie är att sammanfatta hur elever i grundskolans senare år samt gymnasieelever resonerar kring slump och sannolikhet. Deras resonemang kring begreppen kommer att studeras inom kontexten för evolutionsundervisning och matematikundervisning. Detta för att undersöka om de felaktiga resonemang som uttrycks är liknande inom kontexten för de olika ämnena. Utifrån detta vill jag sedan undersöka om det finns belägg för att slump och sannolikhet skulle kunna vara så kallade tröskelbegrepp och därför är nödvändiga att förstå för att förstå evolutionens mekanismer.

Frågorna som ska besvaras under studien är följande:

- Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom matematikundervisningen?
- Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom evolutionsundervisningen?
- Återfinns liknande resonemang angående slump och sannolikhet inom matematik- och evolutionsdomänen?

4. Metod

Detta arbete är en systematisk litteraturstudie och materialet kommer således bestå av tidigare publicerad forskning. En förutsättning för att en studie av detta slag ska vara möjlig att genomföra är att det redan finns tillräckligt många genomförda studier inom det aktuella området.²² Utifrån den tidigare forskningen görs en forskningsöversikt för att besvara de tidigare nämnda frågeställningarna. För att analysera det insamlade materialet används en kvalitativ analys.

4.1 Databaser och sökord

På grund utav yttre ramar, främst utifrån en tidsaspekt, arbetade jag mycket med min söksträng för att få den att generera en hanterbar mängd relevanta sökträffar som skulle utgöra grunden för min analys. De första sökningarna som gjordes var väldigt breda och gav mig en översikt av forskningen angående problemområdet. De första sökningarna innehöll ord så som *threshold*, *biology*, *genetic drift*, *non-adaptive*. Efter läsning av bakgrundsartiklarna kunde sedan sökningarna bli mer precisa och avgränsas. Den slutgiltiga söksträngen innehöll orden *randomness AND misconception* AND student**. Sökningen gjordes även med svenska

²² Eriksson Barajas et al. *Systematiska litteraturstudier i utbildningsvetenskap*. Stockholm: Natur & kultur, 2013.

söktermer så som *slump, evolution och genetisk drift*. Dessa sökningar gav tyvärr inga resultat och på grund av detta är mina resultat produkten av forskning som publicerats i engelskspråkiga tidsskrifter. Genom sökningar i fyra databaser genererade söksträngen de träffar som är grunden för denna litteraturstudie. De fyra databaser som genomsöktes var Educational Resources Information Center (ERIC), MathEduc, Academic Search Premier (ASP) samt SpringerLink. Då jag ville ha aktuell forskning valde jag att inte ta med några artiklar som publicerats före 2005.

I sökningen användes trunkering för att undvika att relevanta sökresultat sorterades bort på grund utav att de hade en annan ändelse än just den jag använde. Även boolska operatorer användes för att ge en smalare sökning med mer relevanta sökträffar.²³

4.2 Urval

Av de 148 träffar som genererades av sökningarna i fyra olika databaser uteslöts genast en av träffarna då den var författad på kinesiska, ett språk jag inte behärskar.

Tabell 1. Beskrivning av hur urvalet av publikationer gick till.

Urvalskriterier	Antal kvarvarande träffar
Publicerade från år 2005	148
Publicerade från år 2005 + Författade på engelska	147
Publicerade från år 2005 + Författade på engelska + ta bort dubbelpublikation	145
Publicerade från år 2005 + Författade på engelska + ta bort dubbelpublikation + Sorteras bort efter att ha läst abstract	18
Publicerade från år 2005 + Författade på engelska + ta bort dubbelpublikation + Sorteras bort efter att ha läst abstract + läst hela publikationen.	11

Som tabell 1 visar sorterades vissa träffar bort efter att jag läst hela publikationen. Dessa sorterades bort på grund utav att de inte var relevanta för mitt problemområde. De kunde till exempel endast nämna slump eller sannolikhet i en mening eller två men inte behandla begreppen. En annan anledning till att vissa publikationer valdes bort var att de elever som

²³ Eriksson Barajas et al. 2013.

studerats var i yngre än de elever jag intresserar mig för i denna studie. Det slutgiltiga urvalet presenteras i tabell 2 nedan.

Tabell 2. Visar det slutgiltiga urvalet av publikationer som denna studie bygger på.

Författare	Titel	Område	Publiceringsår
Kimberly Gardner	A data generating review that bops, twists and pulls at misconceptions.	Matematik	2013
Carmen Batanero & Ernesto Sanchez	What is the Nature of High School Students' Conceptions and Misconceptions about Probability?	Matematik	2005
Marie-Paule Lecoutre, Bruno Lecoutre & Jacques Poitevineau	People's Intuitions about Randomness and Probability: An Empirical Study.	Matematik	2006
Kathy Garvin-Doxas & Michael Klymkowsky.	Understanding Randomness and its Impact on Student Learning: Lessons Learned from Building the Biology Concept Inventory (BCI).	Biologi	2008
Rebecca Price, Tessa Andrews, Teresa McElhinny, Louise Mead, Joel Abraham, Anna Thanukos & Kathryn Perez.	The Genetic Drift Inventory: A Tool for Measuring What Advanced Undergraduates Have Mastered about Genetic Drift.	Biologi	2014
Michael Klymkowsky & Kathy Garvin-Doxas.	Recognizing Student Misconceptions through Ed's tools and the biology concept inventory.	Biologi	2008
Louise Mead & Eugenie Scott	Problem Concepts in Evolution Part II: Cause and Chance.	Biologi	2010
Mike Smith	Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues.	Biologi	2010
Alexander Werth	Avoiding the Pitfall of Progress and Associated Perils of Evolutionary Education.	Biologi	2012
Joel Abraham, Eli Meir, Judy Perry, Jon Herron, Susan Maruca & Derek Stal.	Addressing Undergraduate Student Misconceptions about Natural Selection with an Interactive Simulated Laboratory.	Biologi	2009
Esther van Dijk & thomas Reydon.	A Conceptual Analysis of Evolutionary Theory for Teacher Education. <i>Science & Education</i> .	Biologi	2009

4.3 Analysmetod

Utav texterna gjordes en kvalitativ analys²⁴. Efter att ha läst texterna en gång sorterades de in efter vilket ämnesområde de behandlade, antingen matematik eller biologi. Texterna läses sedan ytterligare tre gånger för att jag skulle få en djupare förståelse för textens helhet. Texterna som ansågs höra till matematikområdet analyserades sedan utifrån frågeställning 1 och 3. Texterna som ansågs tillhöra biologiområdet analyserades utifrån frågeställning 1 och 2. Vid denna analys antecknades de dokumenterade missuppfattningarna. De missuppfattningar som ansågs mest relevanta för studien finns dokumenterade i tabell 3. När samtliga texter hade analyserats utifrån aktuella frågeställningar sorterades dessa in i underkategorier för att ge en bättre bild av vilka forskare som höll med varandra och vilka elevresonemang som var vanligast.

5. Resultat och Diskussion

Resultatet av analysen kommer nedan att presenteras utifrån varje frågeställning. Resultat som framkommit kring huruvida slump och sannolikhet skulle kunna vara tröskelbegrepp kommer att diskuteras under en egen rubrik. I tabell 3 redovisas kortfattat vilka missuppfattningar som beskrevs i varje artikel.

Tabell 3. Visar de missuppfattningar angående evolution som påträffades i de lästa artiklarna.

Författare	Ålder på studerade elever	Missuppfattningar
Gardner	14-16 år	Slump betyder underförstått lika troligt.
Batanero & Sanchez	14-18 år	Elever tror att småpopulationer/urval ska uppvisa samma mönster som stora populationer/urval. Elever antar att utfallen är lika trots att sannolikheten för utfallen är olika. Eleverna tolkar utfallen utifrån om sannolikheten är nära 0%, 50% och 100%. Eleverna identifierar olika matematiska strukturer i olika sannolikhetsuppgifter.
Lecoutre et al.	14-16 år	Elever anser att verkliga uppgifter inte är slumpmässiga eftersom det bygger för mycket på individers beslutsamhet. Eleverna tror att det endast är slump då utfallen har samma sannolikhet. Eleverna tror att slumpen får en större roll då sannolikheten för ett utfall minskar.
Garvin-Doxas & Klymkowsky.	Grundskoleelever	Elevers svårigheter inom evolution verkar baseras på missuppfattningar angående slumpprocesser. Eleverna anser att biologiska system är effektiva och slumpprocesser är ineffektiva och därför inte förenliga.

²⁴ Eriksson Barajas et al. 2013.

		Eleverna anser naturlig selektion är samma sak som evolution. Många av de missuppfattningar som finns inom biologin rundar sig i en naiv förståelse av slump.
Rebecca Price et al.	Universitetsstudenter (spridd ålder)	Elever uttryckte att en slumpprocess ej kan ge en riktad evolutionär förändring. Elever har svårt att förstå processer som har ett slumpelement. Elever blandar ihop slump med oförutsägbart.
Klymkowsky & Garvin-Doxas.	Skriver inte ut ålder. Skriver bara <i>students</i> .	Eleverna var ovilliga att se att slumpprocesser kunde utgöra en riktad effekt. Eleverna tillskriver naturlig selektion en större roll och projicerar en mening på varje variation.
Mead & Scott	Skriver inte ut ålder. Skriver bara <i>students</i> .	Eleverna har ej en klar förståelse av vad chans och slump innebär detta leder till felaktiga slutsatser angående evolutionära processer. Elever tror att slump är synonymt med meningslöst.
Smith	14-18 år	Elever har deterministiska resonemang. Evolution sker när det finns behov. Individer inom en population är likadana, variation saknas. Miljöförändringar krävs för att organismer ska evolvera.
Werth	Skriver inte ut ålder. Skriver bara <i>students</i> .	Mutationer sker vid efterfrågan så som vid miljöförändringar. Eleverna har svårt att förstå hur en icke riktade process kan ge upphov till en riktad förändring. Eleverna tror att all förändring sker på grund av adaptation. Elever uttrycker deterministiska resonemang.
Abraham et al.	Universitetsstudenter (de yngsta var 18 år)	Genetisk variation uppkommer som ett resultat av externa drivkrafter. Organismerna kan viljemässigt förändra karaktärsdrag. Populationerna förändra sina karaktärsdrag tillsammans som en enhet. Genetisk drift skapar variation.
van Dijk & Reydon.	14-18år.	Vanligt med deterministiska resonemang. Studenterna saknar förståelse för att det finns inom-arts variation. Eleverna har svårt att acceptera att slumpprocesser spelar en avgörande roll i en process som leder till välanpassade organismer.

5.1 Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom matematikundervisningen?

Flera av de felaktiga resonemangen angående slump och sannolikhet verkar bygga på det faktum att eleverna inte kan göra korrekta kopplingar mellan de två. De har svårt att tolka vad sannolikheten egentligen betyder för slumpen och vice versa. De analyserade studierna visar olika typer av felaktiga kopplingar mellan de två.

Denna typ av missuppfattning gällande slump och sannolikhet handlar om att eleverna tror att en förutsättning för att en process ska vara slumpmässig är att sannolikheten för alla utfall är den samma. Gardner tar i sin rapport upp att flera elever hade en missuppfattning om att

slump indirekt innebar lika troligt.²⁵ Detta stöds av Lecoutre och kollegor som tar upp missuppfattningen om att något är slumpmässigt endast då alla utfall har samma sannolikhet.²⁶ De båda har i sin forskning hittat denna missuppfattning och påpekar att det verkar vara vanligt förekommande. Batanero och Sanchez har funnit samma problematik som övriga och har valt att kalla fenomenet *Equiprobability bias*.²⁷

En annan typ av missuppfattning jag funnit är att eleverna tror att processen kan vara mer slumpmässigt eller mindre slumpmässig. Alltså att det finns olika grader av slump.

Lecoutre och kollegor har funnit en missuppfattning kopplad till hur stor sannolikheten för utfallet är. De har nämligen kunna se ett samband mellan att eleverna anser att utfallet blir mer slumpmässigt när sannolikheten minskar.²⁸ Detta innebär att om sannolikheten för ett utfall skulle vara när 0 % får slumpen en ökad betydelse om detta utfall ska bli resultatet av processen. Skulle istället sannolikheten vara kring 60 % menar eleverna att slumpen inte lägre har lika stor betydelse.

Bristen på förmågan att göra kopplingar mellan slump och sannolikhet verkar ge upphov till många av problemen som det rapporterats om, ytterligare två exempel är *outcome approach* och *equiprobability bias*. *Outcome Approach*, innebär att eleverna utgår från procentsatserna 0 %, 50 % och 100 %. Om sannolikheten ligger nära 0 % tror de att det är omöjligt att få det utfallet, om sannolikheten närmar sig 50 % anser de att det är slumpmässigt och om sannolikheten är nära 100 % anser det att det är säkert att detta blir utfallet.²⁹

Elevernas missuppfattningar talar vissa gånger emot varandra. Lecoutre och kollegor har funnit att eleverna inte anser att det är slumpmässigt om inte sannolikheten för utfallet är 50 %. Samtidigt har denna elevgrupp uttryckt sig om att slumpens betydelse ökar då sannolikheten för ett utfall minskar.³⁰ Detta visar att en elevgrupps feltolkning till och med kan tala emot andra feltolkningar gruppen har. Även de elever som Batanero och Sanchez har studerat talar emot de elever som anser att slumpens betydelse ökar då sannolikheten närmar sig 0 %. Eleverna Batanero och Sanchez har studerat menar att slumpen är involverad om utfallet är kring 50 % och att det är omöjlig att få utfallet om sannolikheten för det är nära 0

²⁵ Gardner, *A data generating review that bops, twists and pulls at misconceptions*. Teaching Statistics, 2013.

²⁶ Lecoutre et al. *Peoples intuition about randomness and probability: An empirical study*. Statistics Education Research Journal, 2006.

²⁷ Batanero & Sanchez. *What is the nature of high school student's conceptions and misconceptions about probability*. Springer Science+Business Media, Inc. 2005.

²⁸ Lecoutre et al, 2006.

²⁹ Batanero & Sanchez, 2005.

³⁰ Lecoutre et al, 2006.

%.³¹ Dessa elever talar alltså emot varandra men ett mönster som ändå återfinns i båda dessa missuppfattningar är att eleverna har svårt för att göra kopplingar mellan beräknad sannolikhet och slumpmässiga processer.

Batanero och Sanchez skriver vidare om det de kallar *Representativeness*. Detta innebär att eleverna beräknar sannolikheten för ett visst utfall utifrån föräldrpopulationen/tidigare utfall. Efter att ha räknat ut detta förväntar de sig att även små populationer/utfall ska uppvisa samma generella mönster som den större populationen/urvalet gjorde. Författarna gav följande exempel. Eleverna ansåg att det var lika sannolikt att det av 100 nyfödda skulle födas 80 eller fler pojkar som det var att av 10 nyfödda skulle 8 eller fler vara pojkar. Små populationer eller få utfall kommer inte att uppvisa exakt samma mönster som större. Därför är sannolikheten för dessa två utfall egentligen inte lika stor.³²

Ett annat resonemang som fick en stor betydelse var hur stor inverkan beslutsamheten hos en individ har för utfallet. Batanero och Sanchez har funnit att elever identifierar olika matematiska strukturer i olika situationer trots att uppgifterna har samma matematiska struktur. För att exemplifiera detta har de bett elever svara på frågan om det är störst sannolikhet att man slå siffran fem med tre tärningar om man slår en tärning i taget eller alla samtidigt. Hälften av eleverna svarade då att de trodde att sannolikheten var större om man slog en tärning i taget på grund av att de ansåg att individen då kunde ha mer kontroll över utfallet.³³ Lecoutre och kollegor har funnit en liknande missuppfattning. Nämligen att när det gäller mer verklighetsförankrade uppgifter anser eleverna att individens beslutsamhet spelar en såpass stor roll att utfallet inte längre var slumpmässigt. En uppgift som hade samma matematiska struktur men handlade om något som inte var lika tydligt förankrat i verkligheten ansågs det däremot vara slumpmässigt.³⁴ Eleverna tillskriver individens vilja att nå målet en så pass stor roll att de anser att den skulle förändra utfallet av en slumpprocess. När eleverna fick uppgifter som byggde på slumpmässiga processer men var beroende av att en person utförde en handling menade de individens beslutsamhet hade stor inverkan för utfallet. De uttryckte att slumpens betydelse minskade då individen strävade efter ett övergripande mål. Detta kan liknas vid de teleologiska resonemang som elever uttrycker inom biologin.

³¹ Batanero & Sanchez, 2005.

³² Ibid.

³³ Ibid.

³⁴ Lecoutre et al, 2006.

En annan missuppfattning Batanero och Sanchez fann var något som de kallar för *Gambler's fallacy*. Denna innebär att eleverna tror att sannolikheten för ett visst utfall minskar om detta utfall har skett flera gånger i rad i samma sekvens. Ett exempel är när man kasta mynt, om klave har hamnat uppåt tre gånger i rad anser eleverna att sannolikheten för att klave ska hamna uppåt den fjärde gången har minskat. De sammanfattar sin text med att elevernas förmåga att differentiera mellan slumpmässiga och deterministiska fenomen är fundamentala problem då det gäller lärandet om sannolikhet. Observera att ett deterministiskt fenomen i denna kontext är ett fenomen som inte är slumpmässigt.³⁵

5.2 Hur resonerar elever angående slump och sannolikhet inom evolutionsundervisningen?

Det finns en del missuppfattningar angående slumpens roll i evolutionen. Det faktum att eleverna inte riktigt förstår slumpprocesser verkar leda till att de får svårt att förstå vissa icke-adaptiva processer så som genetiskt drift och mutationer.

Garvin-Doxas och Klymkowsky skriver att eleverna tror att mutationer endast uppstår som respons när det krävs på grund av press från naturlig selektion.³⁶ Även Abraham och kollegor har funnit denna missuppfattning i elevgruppen de undersökt. Eleverna förstår inte att genetisk variation uppkommer hela tiden genom slumpmässiga mutationer utan tror bara att de uppkommer då de behövs, till exempel när miljön förändras.³⁷ Även Werth har funnit att eleverna tror att det är yttre drivkraften som tvingar fram mutationer.³⁸ Smith har liksom Abraham och kollegor funnit att eleverna tror att miljöförändringar är en drivkraft för att mutationer ska uppkomma.³⁹ En annan av dessa grundläggande mekanismer som verkar särskild svårt för eleverna att förstå är genetisk drift. Garvin-Doxas och Klymkowsky menar att detta beror på att genetisk drift kombinerar svårigheterna inom evolution med svårigheterna i att förstå slump.⁴⁰ Ett exempel på hur genetisk drift har missuppfattats ger Abraham och kollegor. De har funnit att eleverna tror att genetisk variation kan uppkomma genom genetisk drift.⁴¹ Det finns alltså en tydlig förvirring angående hur genetisk variation

³⁵ Batanero & Sanchez, 2005.

³⁶ Garvin-Doxas & Klymkowsky. *Understanding Randomness and its Impact on Student Learning: Lessons Learned from Building the Biology Concept Inventory (BCI)*. 2008

³⁷ Abraham et al, 2009.

³⁸ Werth. *Avoiding the pitfall of progress and associated perils of evolutionary education*. Evolution: Education & Outreach, 2012.

³⁹ Smith. *Current status of research in teaching and learning evolution: II Pedagogical issues*. Science & Education, 2010.

⁴⁰ Price et al. *The Genetic Drift Inventory: A Tool for Measuring What Advanced Undergraduates Have Mastered about Genetic Drift*. CBE-Life Sciences Education, 2014.

⁴¹ Abraham et al. 2009.

uppkommer i en population och vissa elever tror att det sker lite när det behövs. Nästan som på beställning av en yttre drivkraft.

Detta kan hänga samman med den deterministiska syn vissa elever har gällande evolution. van Dijk och Reydon skriver om att elever tror att organismer ska utvecklas till något bättre eller mot ett mål. Eleverna uttrycker så kallade deterministiska resonemang.⁴² Abraham och kollegor finner liknande resonemang, nämligen att eleverna tror att förändringen är viljestyrd. Alltså att ett visst mått av beslutsamhet hos individen skulle ha betydelse. Skulle en individ gynnas av att kunna flyga tror eleverna att den har förmågan att under sin livstid utveckla karaktärsdragen som krävs för detta.⁴³ Även Smith har funnit att eleverna uttrycker deterministiska resonemang angående att individerna kan utveckla önskvärda karaktärsdrag.⁴⁴ Werth har även funnit att eleverna tror att evolutionen jobbar mot ett förutbestämt mål eller ett särskilt syfte.⁴⁵ Eleverna förstår alltså inte hur den genetiska variationen uppkommer och att det är denna selektionen sedan kan verka på.

När de icke-adaptiva processerna försummas tenderar eleverna att tillskriva naturlig selektion en stor roll eftersom de inte förstår de andra faktorerna. Price och kollegor vittnar om att eleverna tillskriver naturlig selektion rollen som den enda mekanismen för evolution.⁴⁶ Även Garvin-Doxas och Klymkowsky instämmer angående att eleverna ser all evolution som ett resultat av naturlig selektion.⁴⁷

I och med att eleverna inte har förståelse för att mutationer uppkommer hela tiden har de även svårt att uppfatta att det finns en inom-arts variation. Smith rapporterar om att eleverna ser individerna i populationen som likadana, de lägger således inte märke till någon inom-arts variation.⁴⁸ van Dijk och Reydon vittnar även de om att eleverna inte förstår att det finns en inom-arts variation och att detta kan vara en produkt av att naturlig selektion ses som enda mekanism.⁴⁹ Fallet skulle även kunna vara det omvända, om eleverna inte förstår att slumpmässiga mutationer sker hela tiden och därför inte förstår att det finns en inom-arts variation kan de tillskriva naturlig selektion en stor roll.

Garvin-Doxas och Klymkowsky menar att eleverna tillskriver en mening till varje liten

⁴² van Dijk & Reydon. 2010.

⁴³ Abraham et al. 2009.

⁴⁴ Smith, 2010.

⁴⁵ Werth. 2012.

⁴⁶ Price et al. 2014.

⁴⁷ Garvin-Doxas & Klymkowsky, 2008.

⁴⁸ Smith, 2010.

⁴⁹ van Dijk & Reydon, 2010.

variation inom en population på grund av adaptationens framhävda roll. Faktumet att naturlig selektion tillskrivs denna stora roll menar de leder till att viktiga grundläggande mekanismerna döljs då eleverna inte förstår de slumpmässiga faktorernas påverkan på evolutionen.⁵⁰ Det de sistnämnda forskarna uttrycker kan självklart bara gälla då eleverna faktiskt kan se en variation, om fallet är som van Dijk och Reydon menar kan eleverna inte se denna variation och således inte tillskriva den någon meningsfullhet. van Dijk och Reydon instämmer dock till viss del med Garvin-Doxas och Klymkowsky. Deras forskning visar att eleverna tenderar att tillskriva varje liten förändring de kan se som ett tecken på evolution.⁵¹

En annan missuppfattning som återkommer gäller slumpens ineffektivitet och dess roll i biologiska system. Klymkowsky och Garvin-Doxas skriver om att elever är ovilliga att se att slumpmässiga processer kunde vara kapabla att ge upphov till en riktad effekt. Eleverna söker istället rationella förklaringar genom att försöka finna andra drivkrafter som de anser kan ligga till grund på den observerade effekten.⁵² Även Price och kollegor rapporterar om att elever har svårt att förstå hur en slumpmässig process kan leda till en riktad evolutionär förändring. De skriver att eleverna får svårt att förstå de underliggande slumpprocesserna inom evolutionsundervisningen efter som de inte förstår slumpbegreppet.⁵³ Garvin-Doxas och Klymkowsky skriver vidare att elever anser att de slumpmässiga processerna är ineffektiva medan biologiska system är mycket effektiva. Därmed anses de två inte vara förenliga och eleverna vill föreslå andra förklaringar till den riktade evolutionen.⁵⁴ Denna missuppfattning rapporterar även Werth om.⁵⁵ Mead och Scott skriver att eleverna tolkar slump som synonymt med meningslöst. Därav vill de inte tillskriva slumpen någon roll inom evolutionen.⁵⁶ van Dijk och Reydon påpekar att eleverna har svårt att acceptera att det är ett slumpmoment som spelar en så avgörande roll i processen som leder till välanpassade organismer.⁵⁷

⁵⁰ Klymkowsky & Garvin-Doxas. *Recognizing student misconception through Ed's tool and the biology concept inventory*. PLOS Biology, 2008.

⁵¹ Van Dijk & Reydon, 2010.

⁵² Klymkowsky & Garvin-Doxas, 2008.

⁵³ Price et al. 2014.

⁵⁴ Garvin-Doxas & Klymkowsky. 2008.

⁵⁵ Werth, 2012.

⁵⁶ Mead & Scott. *Problem concepts in Evolution Part II: Cause and Change*. Evolution: Education & Outreach, 2010.

⁵⁷ van Dijk & Reydon, 2010.

Garvin-Doxas och Klymkowsky menar att det finns en anti-slump attityd inom biologiundervisningen som måste övervinnas.⁵⁸ Vi måste få eleverna att förstå att slumpen spelar en roll i de processer som finns inom evolutionen.

Mead och Scott påpekar att en förståelse för koncept så som förändring och slump är nödvändig för att eleverna ska kunna förstå evolutionära processer.⁵⁹

5.3 Återfinns liknande resonemang angående slump och sannolikhet inom matematik- och evolutionsundervisningen?

Ett av de liknande resonemang jag funnit i de analyserade studierna är det angående att individens beslutsamhet skulle kunna påverka resultatet. Lecoutre och kollegor skrev om elevers missuppfattningar angående verklighetsförankrade matematikuppgifter. Eleverna ansåg att individens beslutsamhet fick en så stor roll att utfallet inte längre var slumpmässigt.⁶⁰ Detta skulle kunna liknas vid det Abraham och kollegor skriver om att mutationer skulle uppstå då individen vill eller behöver ett nytt karaktärsdrag.⁶¹ Individens chans att påverka resultat i matematikuppgifter skulle kunna liknas vid missuppfattningen gällande att organismer skulle kunna förändra något som bygger på en slumpprocess för att nå ett övergripande mål. Individens determinism förväntades ha inverkan på utfallet.

Ett annat liknande resonemang är det angående att slumpen och slumpprocesser är ineffektiv och därför inte förenlig med en riktad effekt.

Lecoutre och kollegor rapporterade att slumpens betydelse minskade då individen strävade efter ett övergripande mål.⁶² Detta kan jämföras med Klymkowsky och Doxas slutsats angående att eleverna är ovilliga att se slumpprocesser som kapabla att ge en riktad effekt.⁶³ Den riktade effekten skulle alltså kunna liknas vid de deterministiska resonemangen gällande evolution alltså att den strävar mot ett mål. Eleverna vill som tidigare nämnt inte tillskriva den ineffektiva slumpen denna roll.

⁵⁸ Garvin-Doxas & Klymkowsky. 2008

⁵⁹ Mead & Scott. 2010.

⁶⁰ Lecoutre et al. 2006.

⁶¹ Abraham et al. 2009.

⁶² Lecoutre et al. 2006.

⁶³ Klymkowsky & Garvin-Doxas, 2008.

5.4 Vad tyder på att slump och sannolikt skulle vara tröskelbegrepp?

Garvin-Doxas och Klymkowsky skriver att de har upptäckt att flera missuppfattningar inom områdena genetik, molekylärbiologi och evolution verkar grunda sig i att eleverna har fundamentala missuppfattningar angående slumpprocesser. De påpekar att förståelsen för vad slump inte bara är viktigt när det gäller förståelsen inom biologi utan också inom de så kallade *STEM* (*science, technology, engineering and mathematics*) disciplinerna.⁶⁴ Detta innebär att om eleverna verkligen förstår slumpen skulle de kunna förstå mycket mer inom dessa ämnesområden. Det skulle alltså kunna exponera nya samband för eleverna vilket Ross och kollegor menar är ett kriterium för ett tröskelbegrepp.⁶⁵ De påpekar även att det är viktigt att förstå slumpmässigaprocesser för att kunna förstå regleringen av genuttryck, reglering av immunförsvaret, genomstruktur, adaptiva mekanismer med mera.⁶⁶ Detta tyder på att slump är ett central begrepp för att förstå olika delar inom biologiområdet. Även detta menar Ross och kollegor är ett kriterium för att något ska vara ett tröskelbegrepp.⁶⁷ Gardner påpekar att hon upplevde att hennes elever fick en ihållande förståelse efter att hon hade gjort sitt experiment. Hon vittnar om att elever tydligt motsatte sig när någon uttryckte ett falsk påstående angående att slump innebar att utfallen var lika stora.⁶⁸ Kunskapen verkar alltså har varit irreversibel för eleverna. Att kunskapen ska vara just irreversibel är ett av de kriterierna Ross och kollegor har ställt upp för att tröskelbegrepp.⁶⁹

⁶⁴ Garvin-Doxas & Klymkowsky. 2008.

⁶⁵ Ross et al. 2006.

⁶⁶ Klymkowsky & Garvin-Doxas. 2013.

⁶⁷ Ross et al. 2006.

⁶⁸ Gardner. 2013.

⁶⁹ Ross et al. 2006.

6. Avslutande diskussion och slutsatser

Att slump och sannolikhet verkar vara begrepp som eleverna missuppfattar finns det inte någon tvekan om. Eleverna anser att slumpen är ineffektiv och därför inte har någon plats i ett effektivt biologiskt system. Idéen om att en individs vilja att nå ett mål skulle kunna påverka en slumphändelse återfanns både då eleven resonerade inom en matematisk och en biologisk kontext. Eleverna ansåg att slumpens betydelse minskade eller helt försvann då det fanns ett övergripande mål. Detta tyder på att eleverna inte har förstått vad en slumpprocess är. Som jag skrev i den teoretiska bakgrunden är slumpen något oförutsägbart, det är inget vi kan påverka hur mycket vi än vill. Flera forskare menar att eleverna ibland uttrycker deterministiska resonemang.^{70 71 72} Som jag skrivit om i den teoretiska bakgrunden har deterministiska resonemang inom biologin uteslutits i och med att vi fått mer kunskap inom området. Den svaga förståelsen för slump och sannolikhet verkar påverka elevernas evolutionskunskaper i stor utsträckning. Det kanske inte är så konstigt när man har i åtanke att de anser att slump är synonymt med meningslöst och att det upplever slumpprocesser som ineffektiva. För mig står det klart att en svag förståelse för slump och sannolikhet kommer att påverka elevernas förståelse inom mer än ett ämnesområde, en förståelse för begreppen skulle kunna exponera eleverna för mycket mer kunskap.

Inom biologin verkade den svaga förståelsen för slump och sannolikhet leda till att eleverna fick särskilt svårt för att förstå icke-adaptiva processer. Denna svaga förståelse kan vara en av anledningarna till att eleverna uttrycker deterministiska resonemang. En starkare förståelse gällande slump och sannolikhet skulle kunna leda till att eleverna får en djupare kunskap för evolution. En förståelse för slumpprocesser skulle ge eleverna möjlighet att utveckla förståelse för de icke-adaptiva processer som ger upphov till variation. I den teoretiska bakgrunden delade jag in evolutionsteorin i två steg, variation och naturlig urval. Med detta i åtanke kan man bättre förstå varför eleverna tillskriver naturlig selektion den största rollen inom evolutionen, de förstår inte det första steget.

En elevgrupp fick göra en särskild uppgift för att synliggöra eventuella missuppfattningar gällande slump. Läraren menade att efter att man förklarat för eleverna har kunskapen varit ihållande.⁷³ Att kunskapen har varit irreversibel tycks tyda på att ett av Ross och kollegors

⁷⁰ Werth, 2013.

⁷¹ van Dijk & Reydon, 2010.

⁷² Smith, 2010.

⁷³ Gardner, 2013.

kriterier för tröskelbegrepp har uppnåtts. Vidare verkar även slumpbegreppet ha en central roll för att förstå olika biologiskaprocesser och områden.

Utgångspunkten för denna studie var att undersöka huruvida det fanns någon koppling mellan de felaktiga resonemangen som uttrycktes angående slump och sannolikhet inom två av skolans undervisningsområden. Även om jag inte kunnat visa att det är exakt samma resonemang tycker jag ändå att resonemangen liknar varandra. Jag kan inte utifrån denna studie förklara exakt hur resonemangen hänger ihop utan bara säga att likheter finns. Flera av de kriterier Ross och kollegor ställt upp för ett tröskelbegrepp verkar uppfyllas. Många av missuppfattningarna inom evolutionsundervisningen verkar bygga på en svag förståelse för just slumpprocesser. Detta verkar i sin tur leda till att naturlig selektion ges rollen som enda mekanism för att evolution ska ske. Resultatet av denna studie pekar på att slump och sannolikhet kan vara tröskelbegrepp.

Det som står klart efter denna studie är att den svaga förståelsen för slump och sannolikhet tydligt påverkar elevers förståelse för evolution. Denna kunskap bör biologilärare ha med sig när de börjar sin undervisning inom just evolutionsområdet. Problematiken som finns är även relevant för en matematiklärare att ha med sig vid undervisning angående slump och sannolikhet. Både biologi- och matematiklärare bör även vara medvetna om vilka missuppfattningar som är vanliga och ha strategier för att tillrättavisa de elever som uttrycker dem. Det skulle också vara fördelaktigt att reda ut vad en slumpprocess är och förklara vad det har för betydelse inom just evolutionsundervisningen. Just gällande dessa två områden finns det verkligen möjligheter för lärare i dessa ämnen att samarbeta med varandra. Med bakgrund av denna studie anser jag att vidare forskning bör rikta in sig på att utforska huruvida dessa begrepp påverkar fler ämnesområden. Det vore även gynnsamt att studera fler elevers resonemang angående begreppen för att eventuellt kunna ge Ross och kollegor än mer stöd angående sin idé om att slump och sannolikhet skulle kunna vara det de kallar för tröskelbegrepp. Studier bör även genomföras för att undersöka hur lärare kan hjälpa eleverna att lättare få förståelse för slump och sannolikhet.

Referenslista

- Abraham J, Meir E, Perry J, Herron J, Maruca S & Stal D. Addressing Undergraduate Student Misconceptions about Natural Selection with an Interactive Simulated Laboratory. *Evolution: Education & Outreach*. vol.2 nr.3 (2009): 393-404
- Batanero C & Sanchez E. What is the Nature of High School Students' Conceptions and Misconceptions about Probability? I *Exploring Probability in School: Challenges for Teaching and Learning*, Jones, Graham (red.), 241-267, New York: Springer Science+Business Media, Inc. 2005
- Beggrow E & Nehm R. Students' Mental Models of Evolutionary Causation: Natural Selection and Genetic Drift. *Evolution: Education & Outreach* vol. 5 nr. 3 (2012): 429-44
- Britton T & Garmo H. Sannolikhetslära och statistik för lärare. Lund: Studetlitteratur, 2002
- Campbell N & Reece J. *Biology*, sjätte upplagan, San Francisco: Pearson Education, 2002
- Eriksson Barajas K, Forsberg C & Wengström Y. *Systematiska litteraturstudier i utbildningsvetenskap*. Stockholm: Natur & kultur, 2013
- Gardner A. A data generating review that bops, twists and pulls at misconceptions. *Teaching Statistics*. vol.35 nr.1 (2013):8-13
- Garvin-Doxas K & Klymkowsky M. Understanding Randomness and its Impact on Student Learning: Lessons Learned from Building the Biology Concept Inventory (BCI). *CBE-Life sciences Education*. vol.7 nr.2 (2008): 227-233
- Gould S. Översatt av Lars Werdelin. *Den felmätta människan*. Stockholm: Alba. 1983.
- Klymkowsky M & Garvin-Doxas K. Recognizing Student Misconceptions through Ed's tools and the biology concept inventory. *PLOS Biology*. vol.6 nr.1 (2008): 14-17
- Lecoutre M-P, Rovira K, Lecoutre B & Poitevineau J. People's Intuitions about Randomness and Probability: An Empirical Study. *Statistics Education Research Journal*. vol.5 nr.1 (2006): 20-35
- Mead L & Scott E. Problem Concepts in Evolution Part II: Cause and Chance. *Evolution: Education & Outreach*. vol.3 nr. 2 (2010):261-264
- Nationalencyklopedin. Sökord : slump.
<http://www.ne.se.e.bibl.liu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/slump> (2015-03-17 12:03)
- Olander C. *Hur uppstår biologisk variation? En studie av gymnasieelevers uppfattningar och hur de utvecklas genom undervisning*. Göteborg: institutionen för pedagogik och didaktik, 2003
- Price R, Andrews T, McElhinny T, Mead L, Abraham J, Thanukos A & Perez K. The Genetic Drift Inventory: A Tool for Measuring What Advanced Undergraduates Have Mastered about Genetic Drift. *CBE-Life Sciences Education*. vol.13 nr.1 (2014): 65-75
- Ross P, Taylor C, Hughes C, Whitaker N, Lutze-Mann L, Koford M & Tzioumis V. Threshold Concepts in Learning Biology and Evolution. *Biology International* vol 47, (2012) 47-54

Skolverket, Läroplan Biologi 1, 2011, Stockholm: skolverket. Hämtad från <http://www.skolverket.se/laroplaner-amnen-och-kurser/gymnasieutbildning/gymnasieskola/bio?tos=gy&subjectCode=bio&lang=sv> (2015-02-19 18:09)

Smith M. Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science & Education*. vol 19 nr.6-8 (2010): 539-571

Svensson A. Är tärningen kastad? Sannolikhetslära för vem som helst. 2013 Hämtad från <http://user.it.uu.se/~andsv164/ArTarningenKastad.pdf> (2015-03-17 10:40)

van Dijk E & Reydon T. A Conceptual Analysis of Evolutionary Theory for Teacher Education. *Science & Education*. vol. 19 nr. 6-8 (2010): 655-677

Wallin A. Evolutionsteorin i klassrummet – På väg mot en ämnesdidaktisk teori för undervisning i biologisk evolution. Göteborgs universitet, 2004

Werth A. Avoiding the Pitfall of Progress and Associated Perils of Evolutionary Education. *Evolution: Education & Outreach*. vol.5 nr.2 (2012): 249-265

Zohar A & Ginossar A. Lifting the Taboo Regarding Teleology and Anthropomorphism in Biology Education – Heretical Suggestions. *Science Education* vol. 82 nr. 6 (1998): 679-697