



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

Genetic confusion

Gymnasieelevers missuppfattningar om genetik och undervisningsstrategier för att motverka dem.



Felix Palmgren
Ämneslärarprogrammet

Uppsats/Examensarbete: 15 hp

Kurs: LGBI2G

Nivå: Grundnivå

Termin/år: HT 2024

Handledare: Ola Nordqvist

Examinator: Mats Andersson

Kod:

Nyckelord: Genetik, gymnasieelever, missuppfattningar, undervisningsstrategier,
Biologi.

Abstract

Genetics is often regarded as one of the most challenging and complex areas within biology that high school students encounter. Misunderstandings regarding genetic concepts are prevalent among students, negatively impacting their ability to achieve a comprehensive understanding of genetics. This study compiles research on high school students' misconceptions about genetics and teaching strategies that educators can employ. To identify relevant research, searches were conducted in the educational databases Education Research Complete (ERC) and ERIC. Misconceptions were found regarding all aspects of genetics covered in the Swedish upper secondary school curriculum. These misconceptions have persisted among students over several decades and across various continents. The most difficult topics for students to grasp were gene expression, protein synthesis, and the role of proteins in genetics. The educational strategies identified included adaptations of traditional teacher-led instruction, the use of images and animations, physical and digital models, project-based learning, and computer-assisted learning programs. The effectiveness of these strategies indicates that standard teacher-led instruction alone is insufficient to provide students with optimal conditions for learning about genetics. A significant factor highlighted in student learning was the need to enhance their engagement and autonomy in the learning process, which was a desired outcome of the teaching strategies employed. The various strategies and their potential applications in education are discussed. Educators can adjust their vocabulary and focus during instruction to clarify genetic concepts and mitigate the occurrence of misconceptions. Images and animations, as well as physical and digital models, can be utilized to illustrate abstract genetic concepts. Project-based learning was effective in increasing student engagement and ownership of their learning. While computer-assisted learning programs boosted student engagement, some programs were too game-like, diminishing their effectiveness. Teachers can use this information to prepare for the misconceptions that students develop about genetics. Additionally, educators can utilize the presented information for tips and inspiration on how to adapt their teaching and what educational strategies to implement.

Sammanfattning

Genetik kan anses vara en av de svåraste och mest komplicerade delar inom biologin som gymnasieelever stöter på. Missuppfattningar om genetiska koncept vanliga bland elever och får en negativ effekt på elevernas förutsättningar att få fullständig kunskap om genetik. Studien sammanställer forskning om gymnasieelevers missuppfattningar om genetik och undervisningsstrategier som lärare kan använda. För att finna forskning gjordes sökningar i utbildningsdatabaserna Education research complete (ERC) och ERIC. Missuppfattningar hittades om alla delar av genetiken som tas upp i den svenska gymnasieskolan. Missuppfattningarna återkommer bland elever över flera decennier och från olika världsdelar. Svårast för elever att lära sig var genuttryck, proteinsyntes och proteiners roll i genetiken. Utbildningsstrategierna som dykte upp var; anpassningar av vanlig lärarledd undervisning, bilder och animationer, fysiska och digitala modeller, projektbaserat lärande och lärprogram på datorer. Dessa utbildningsstrategier och deras effekt på elevers lärande indikerar att vanlig lärarledd undervisning inte räcker till för att ge elever de bästa förutsättningarna att läras sig om genetik. En viktig faktor i elevernas lärande som upprepat belystes var att öka deras engagemang och egna bestämmande i läroprocessen var en önskad effekt av undervisningsstrategierna. De olika strategierna och dess potentiella appliceringar i undervisningen diskuteras. Lärares vokabulär och fokus under lärarledd undervisning kan anpassas för att förtydliga genetiska begrepp och motverka att missuppfattningar uppstår. Bilder och animationer samt fysiska och digitala modeller kan användas för att illustrera abstrakta genetiska koncept. Projektbaserat lärande var effektivt för att öka elevers engagemang och ägande av deras lärande. Lärprogram på datorer ökade elevers engagemang men vissa program var för spelartade och får då förminskad effekt. Lärare kan använda information som detta för att förbereda sig inför de missuppfattningar som elever bildar om genetik. Lärare kan också använda information som presenteras för att få tips och inspiration om hur de kan anpassa undervisningen och vilka utbildningsstrategier som kan användas.

Innehållsförteckning

Abstract	3
Sammanfattning	4
1 Inledning	7
1.1 Syfte	7
1.2 Frågeställningar.....	7
2 Bakgrund	8
2.1 Genetik.....	8
2.2 Genetikundervisning	8
2.3 Genetik i den svenska gymnasieskolan	9
2.4 Missuppfattningar och synonyma begrepp	9
2.5 Gymnasieelevers missuppfattningar om genetik	10
2.6 Undervisningsstrategier	10
3 Metod	12
3.1 Sökmetodik	12
3.2 Söktermer	12
3.3 Exklusionskriterier	14
4 Resultat	15
4.1 Missuppfattningar och svåra genetiska koncept	15
4.1.1 DNA, kromosomer och gener	15
4.1.2 Mendels genetik.....	19
4.1.3 Genuttryck, transkription/translation och proteiner.....	20
4.2 Strategier för genetikundervisning.....	21
4.2.1 Teoretisk undervisning.....	21
4.2.2 Projektbaserat lärande.....	23
4.2.3 Fysiska modellverktyg	24
4.2.4 Bilder, animationer och datorprogram	25
5 Diskussion och slutsats	27
5.1 Diskussion	27
5.1.1 Reflektioner om missuppfattningar	27
5.1.2 Reflektioner om utbildningsstrategier	28

5.1.3	Metoddiskussion	31
5.1.4	Framtida forskning.....	32
5.1.5	Litteraturstudiens relevans för biologiundervisning på gymnasienivå.....	33
5.2	Slutsats	33

1 Inledning

Genetik är ett delämne i biologi som studeras på olika nivåer av elever under deras skolgång. Genetik informerar elever om hur gener går i arv från föräldrar till avkomma och hur generna ger uttryck för den information de kodar för. Med framsteg inom modern genetik och genmodifiering så är genetik högst relevant för elever att begripa för att kunna förstå många aspekter av verkligheten kring dem. Detta kan vara relevant på både en individuell nivå vid till exempel val av utbildning eller karriär, och på en populationsnivå där kunskap om genetik gör att befolkningen kan fatta mer välinformerade beslut.

Genetik är dock ett ämne som är fullt med komplicerade molekylära processer och abstrakta begrepp. Således kan genetik anses vara en av de svåraste delarna av elevernas biologiundervisning och missuppfattningar bland elever om genetik är vanliga. Dessa missuppfattningar kan göra att elever inte kan applicera sina kunskaper om genetik till andra sammanhang och kan försämra deras förutsättningar till djupare kunskap inom genetik och andra ämnen där genetik är relevant.

Detta är något som författaren själv har märkt vid verksamhetsförlagd utbildning där han stötte på olika missuppfattningar som både gymnasieelever och han själv hade om genetik. Det blev också snabbt tydligt att hur undervisningen planerades och genomfördes, samt hur läraren uttryckte sig var avgörande för hur goda förutsättningar eleverna fick för att lära sig genetik.

För att underlätta undervisningen och förebygga missuppfattningar bland elever behövs kunskap om vilka missuppfattningar som elever bildar om genetik samt vilka genetiska koncept och begrepp som är svåra för elever att lära sig. Kunskap behövs också om vilka undervisningsstrategier som lärare kan använda i undervisningen för att korrigera missuppfattningar och underlätta svåra moment.

1.1 Syfte

Studiens syfte är att sammanställa vanliga missuppfattningar och svåra aspekter inom genetik för elever i gymnasieålder och undervisningsstrategier som kan användas av lärare för att bemöta missuppfattningar och svåra aspekter inom genetik. Fynden av studien skall sen kunna vara till nytta för lärare som ett hjälpmedel för att förbättra genetikundervisningen.

1.2 Frågeställningar

1: Vilka är vanliga missuppfattningar och svåra aspekter inom genetik för elever i gymnasieåldern?

2: Vilka undervisningsstrategier kan användas för att bemöta missuppfattningar och svåra aspekter inom genetik?

2 Bakgrund

Nedan finns bakgrundsinformation vars syfte är att informera läsaren om det som de behöver för att sätta resultaten och diskussionen i ett begripligt sammanhang.

2.1 Genetik

Nationalencyklopedin (2023) definierar genetik som vetenskap om genomets uppbyggnad och funktion, hur gener förändras och hur detta genererar biologisk mångfald. Genetik informerar hur anlag för egenskaper går i arv från föräldrar till nästa generation och även hur gener reglerar cellulära processer för att ge uttryck för egenskaper (Sadava et al., 2017). Genetiken behandlar också strukturer och funktioner för de biokemiska molekyler och processer som utgör genetiken (Sadava et al., 2017).

2.2 Genetikundervisning

Tidigare forskning visar att genetik anses vara ett av de svåraste om inte den svåraste delen inom ämnet biologi för elever i gymnasieålder (Cimer, 2012; Fauzi et al., 2021; Gericke, 2018). Genetik är svårt för elever på grund av att eleverna behöver begripa många abstrakta vetenskapliga begrepp, system och processer samt applicera den kunskapen på ett integrerat sätt för att begripa hur genetiken fungerar och har en effekt på deras liv (Cimer, 2012; Fauzi et al., 2021; Gericke, 2018). Cimer (2012) visar att den vanligaste faktorn till att biologi i allmänhet, och därigenom genetik, är svårt är ämnet i sig. Mycket att memorera, abstrakta koncept, hög komplexitet, inkludering av utländskt språk eller latin i ämnet och en överväldigande mängd koncept att lära sig är några anledningar som elever lyfter fram om varför de finner biologi och genetik svårt (Cimer, 2012). Fauzi et al (2021) kompletterar detta genom att visa att elever i Indonesien upplever genetik som det svåraste inom biologin. Hur genetiska discipliner lärs ut påverkar elevernas övergripande kunskap om genetik eftersom Mendels genetik och modern genetik informerar varandra och missuppfattningar inom en disciplin kan påverka den andra och försämra elevernas förståelse om det övergripande sammanhanget.

Undervisning av Mendels genetik grundas i genetiken som en lära om hur anlag för egenskaper och karaktärsdrag ärvs mellan generationerna. Gener beskrivs inom Mendels genetik som representationer av olika anlag eller varianter av anlag.

Undervisning av modern genetik opererar på cellulär och molekylär nivå och beskriver gener som sekvenser av DNA som kodar för proteinstrukturer. Denna syn på genetiken fokuserar på de biokemiska strukturer och processer som styr kroppens funktioner. De olika synerna på vad en gen är mellan klassisk och modern genetik är ett potentiellt problem för elever eftersom de är två synsätt som undervisas om samma begrepp (Gericke, 2018).

Genetikundervisningen skall ge eleverna den bästa möjliga förutsättningen att lära sig om både Mendels genetik och modern genetik. För att uppnå detta behöver lärare vara medvetna om vad eleverna förväntas lära sig, missuppfattningar som elever har med sig eller kan bilda och vilka metoder som lärare kan använda för att bäst tjäna elevernas lärande. Duncan et al (2009) presenterar en omfattande Learning progression där olika genetiska koncept bryts ner i tre nivåer, baserat på årskurs, och gör genetikundervisning mer sammanhängande över elevers hela skolgång. Denna kan användas som inspiration och stöd för lärare i planeringen av genetikundervisningen och en indikation på vilken nivå undervisningen bör ligga för att bäst passa eleverna (Duncan et al., 2009).

2.3 Genetik i den svenska gymnasieskolan

Genetik återfinns i flera kurser i de nuvarande ämnesplanerna i svenska gymnasieskolan, framför allt inom ämnena biologi och naturkunskap (Biologi, 2022). Elever stöter på genetik i någon form inom alla tre biologi kurser, biologi 1&2 och bioteknik. Genetik i biologi 1 fokuserar på grundläggande aspekter av genetiken. Cellfunktion, DNA, hur egenskaper går i arv och hur gener uttrycks genom proteinssyntes samt etiska frågor som uppstår inom genetikens moderna användningsområden (Biologi, 2022). De elever som läser kurserna Biologi 2 och Bioteknik får nytta av de kunskaper om genetik som de får med sig från biologi 1 eftersom dessa två kurser involverar bland annat; cellreglering, mikroorganismers evolution i samband med antibiotika, applicering av genetiska data, genmodifiering och experimentellt arbete inom genetik (Biologi, 2022).

I den kommande ämnesplanen, som börjar gälla i juli 2025 (Biologi, 2024) nämns genetik inte direkt i syftet till ämnet men vissa ändringar sker i de centrala innehållen i kurserna. Biologi 1 kommer att ha genetik sammanknutet med cellbiologi men innehållet i sig är oförändrat från den nuvarande ämnesplanen (biologi, 2022), förutom att texten har blivit mer kortfattad och hänvisar till övergripande genetiska och cellulära koncept (Biologi, 2024).

2.4 Missuppfattningar och synonyma begrepp

Missuppfattning, (misconception på engelska), är ett begrepp som kan definieras som uppfattningar som ej stämmer överens med vetenskapligt etablerad fakta eller konceptuella svårigheter (Bensley & Lilienfeld, 2015; Driver & Easley, 1978; Glaser & Bassok, 1989; Hewson & Hewson, 1984; Michael, 2002; Smith Iii et al., 1994). Bensley och Lilienfeld (2015) definierar en missuppfattning i ett psykologisammanhang som "sunt förnuft" uppfattningar som ej stämmer överens med vetenskapligt etablerad sanning. Denna definition appliceras väl till de studier som studerar missuppfattningar i olika ämnen och sammanhang.

Flera olika synonymer till det engelska ordet för missuppfattning används av dessa studier för att tala om detta fenomen (Driver & Easley, 1978; Glaser & Bassok, 1989; Hewson & Hewson, 1984; Smith Iii et al., 1994). Några exempel på sådana synonym är; Preconceptions (Glaser & Bassok, 1989), Alternative conceptions (Hewson & Hewson, 1984) och Alternative frameworks (Driver & Easley, 1978).

Denna studie kommer använda begreppet missuppfattning för att beskriva de synonyma begrepp som används av olika författare. Det kollektiva sammanhanget av dessa

begrepp är att de beskriver ett fenomen där elever bildat en uppfattning som upprepat producerar fel resultat relaterat till vetenskapligt verifierade fakta (Smith Iii et al., 1994).

2.5 Gymnasieelevers missuppfattningar om genetik

Missuppfattningar om genetik påträffas bland elever i alla årskurser som studerar genetik (Duncan & Reiser, 2007). Missuppfattningar är en undermedveten kognitiv hanteringsmekanism för att förklara svåra processer och fenomen, ofta genom att förenkla dem, förlita sig på metaforer eller adoptera en förklaring som upplevs rimlig i ögonblicket. Dessa missuppfattningar kan uppstå eftersom genetik är komplext och genetiska koncept ofta är abstrakta. Det är svårt för elever att föreställa sig hur olika genetiska koncept fungerar biokemiskt i celler, mellan generationer och i evolutionära sammanhang på populationer (Duncan & Reiser, 2007). Den högre nivån av komplexitet i modern genetik kan leda till att elever faller tillbaka på Mendels genetik för att resonera kring genetiska koncept eftersom eleverna uppfattar Mendels genetik som mer begripligt (Gericke et al., 2013).

Missuppfattningar kan yttra sig om både strukturer på biokemiska molekyler och abstrakta processer och sammanhang. Ett exempel på en missuppfattning är att elever kan uppfatta en gen som en partikel som går i arv och manifesterar dess egenskap eller karaktärsdrag (Shaw et al., 2008). En missuppfattning som denna tyder på att bristande kunskap om flera genetiska aspekter som hur anlag ärvs och hur gener ger uttryck för dess information via proteiner. Andra missuppfattningar kan vara relaterade mer direkt till mekanismen för ärftlighet eller molekylstrukturer. Elever kan också bilda missuppfattningar om gener som ett sätt att skilja olika populationer och belysa oönskade karaktärsdrag som uniforma i en population vilket sedan kan användas för att berättiga problematiska åsikter (Dar-Nimrod & Heine, 2011).

2.6 Undervisningsstrategier

Det finns olika undervisningsstrategier som kan användas i undervisningen av genetik (Mintz, 1993; Wright et al., 2017). Dessa kan innebära att lärare anpassar ordningen som kursmaterialet behandlas på eller att lärare anpassar deras språk och kommunikation för att underlätta för elever. Vanliga undervisningsmetoder är lärarcentrerad undervisning där läraren står i centrum för elevernas lärande. Ett tydligt exempel på sådan undervisning är katederföreläsningar där lärare föreläser för elever utifrån material i ämnesplaner och kurslitteratur. Lärare kan också välja att gå ifrån den mer traditionella katederundervisningen för andra läroformer som; projektbaserat lärande, fysiska eller digitala modellverktyg och digitala läroprogram (Mintz, 1993; Wright et al., 2017).

Projektbaserat lärande innebär att eleverna lär sig genom att genomföra någon form av genetikprojekt, antingen vid sidan av eller i stället för annan undervisning i genetik (Marra et al., 2014). Elever, antingen själva eller i grupp, samlar in nödvändig information, genomför sitt projekt och presenterar sedan resultaten för lärare och andra elever (Ellefson et al., 2008). Projektbaserat lärande gör elever mer aktiva och drivande i deras lärandeprocess (Marra et al., 2014).

Fysiska modeller kan användas i genetikundervisning för att låta elever interagera med och bättre visualisera molekyler som DNA och proteiner. Dessa verktyg kan ge elever en bättre uppfattning om hur molekyler ser ut och hur genetiska och cellulära processer sker kemiskt genom att eleverna får se processerna representerade fysiskt (Wright et al., 2017). Digitala modellverktyg söker att nå liknande effekt men i stället för fysiska modeller så används digitala hjälpmedel för att antingen skapa illustrationer eller animationer som visar molekyler och genetiska processer.

Digitala lärprogram är interaktiva program som instruerar elever genom olika aktiviteter och övningar. Programmens syfte är att öka elevers intresse och motivation till att lära sig och tänka vetenskapligt med hypoteser, observering och dra slutsatser (Mintz, 1993). Digitala program kan användas för att ge eleverna mer variation i lektionerna och ge interaktivitet och illustrationer till det teoretiska kursinnehållet.

3 Metod

3.1 Sökmetodik

För att besvara frågeställningarna i denna litteraturstudie samlades litteratur in från två databaser, Education Research Complete (ERC) och ERIC, i en systematisk process. Dessa är två databaser av forskning inom pedagogik- och didaktikforskning och tillgång till databaserna etablerades via Göteborgs universitetsbibliotek. Sökningarna gjordes i databaserna var för sig, ej i båda samtidigt. Litteraturen som samlades in från ERC och ERIC analyserades gentemot frågeställningarna och presenteras i resultat avsnittet i denna litteraturstudie. Fem sökningar gjordes i ERC och två i ERIC. Anledningen till de färre sökningarna i ERIC var det stora antalet dubletter med ERC som dök upp både under utprövandet av söktermerna och vid de faktiska sökningarna. Detta antydde att en tillräckligt bred andel av studier dök upp för att det skulle vara representativt av den relevanta forskningen i ämnet. För en redogörelse över det totala antalet studier som varje sökombgång resulterade i, se tabell 1 & 2 för ERC respektive ERIC. Majoriteten av studierna samlades in den 12/9 och 13/9 2024. Någon kedjesökning för att samla in forskning till resultatet gjordes inte eftersom en så pass stor mängd studier hittades i ERC och ERIC samt att många framstående verk och forskare dök upp i sökningarna i databaserna. Studierna som samlades in var från flera olika länder, inklusive en studie från Sverige. För att hålla mängden studier som inkluderats till en hanterbar nivå så bedömdes kedjesökningar till resultatet vara överflödigt. Kedjesökning genomfördes dock för att finna källor till bakgrunden.

3.2 Söktermer

För att öka sannolikheten att endast potentiellt relevanta artiklar påträffas vid sökning i databaserna så användes söktermer i syfte att göra urvalet mer precist. En rad initiala sökningar gjordes för att pröva vilka söktermer som gav goda resultat innan de applicerades till sökblock för att samla in artiklarna som kom att användas.

Söktermerna som användes i ERC var; Genetics, High school, misconceptions or misperceptions or misunderstanding, Teaching, Teaching methods och Difficulties.

Tabell 1, Söktermer och träffar i ERC. "OR" används för att inkludera flera synonymer i samma sökfält i databasen och "+" används för att indikera att de är olika sökfält i databasen. "AND" kan användas för att indikera samma sak som "+".

Databas: ERC Datum: 12–13/9 2024	Söktermer:	Träffar innan exkludering
Sökning nr:1	Genetics + Teaching + High school	220
Sökning nr:2	Genetics + Misconceptions or Misperceptions or Misunderstanding + High school	21
Sökning nr:3	Genetics + Misconceptions or Misperceptions or Misunderstanding + Teaching	72
Sökning nr:4	Genetics + Teaching methods + High school	49
Sökning nr:5	Genetics + Teaching + Difficulties + High school	16
Totalt:		378

Söktermerna som användes i ERIC var; Genetics, High school students, Misconceptions, teaching strategies or teaching methods or teaching approaches or classroom techniques, high school or secondary school. OR används för att inkludera flera relevanta synonymer i samma sökterm. Söktermerna gav en hanterbar mängd av relevanta resultat att studera.

Tabell 2, Söktermer och träffar i ERIC. "OR" används för att inkludera flera synonymer i samma sökfält i databasen och "+" används för att indikera att de är olika sökfält i databasen. "AND" kan användas för att indikera samma sak som "+".

Databas: ERIC Datum: 13/9 2024	Söktermer:	Träffar innan exkludering
Sökning nr:1	Genetics + Misconceptions + High school or Secondary school + Teaching	29
Sökning nr:2	Genetics + Teaching strategies or Teaching methods or Teaching approaches or Classroom techniques + High school students	209
Totalt:		238

3.3 Exklusionskriterier

Vid sökning av studier så utvärderades de först på titel och för de som förefall vara relevanta lästes abstract direkt. Efter att abstrakts var lästa så sparades de fortfarande potentiellt relevanta artiklar i programvaran ”Zotero” som användes för att hantera källor och referenser. De kvarvarande artiklarna lästes i fulltext och de som fortfarande sparades efter den exkluderingsomgången blev basen för litteraturstudien. Totalt lästes 616 titlar, 118 abstracts, 47 fulltext och 29 artiklar användes i litteraturstudien. Eftersom titlar och abstrakt studerades samtidigt var exkluderingskriterierna för dem de samma. Endast artiklar som publicerats i vetenskapliga tidskrifter och genomgott peer review bedömdes. För vidare redogörelse av exkluderingsparametrar vid varje steg, se tabell 3.

Tabell 3, totala antal artiklar som exkluderats och exkluderingskriterier

Antal artiklar som bedöms och exkluderats	Exkluderingskriterier
Artiklar som bedömts utifrån titel: 616 498 artiklar exkluderades	Exkluderingskriterier: <ul style="list-style-type: none"> • Relevans för denna litteraturstudie • Ålder/kurs på elevkohort • Språk ej svenska eller engelska • Artikel publicerad innan 1984 • Dubbletter • Peer Review
Artiklar som bedömts utifrån abstrakt: 118 71 artiklar exkluderades	Exkluderingskriterier: <ul style="list-style-type: none"> • Relevans för denna litteraturstudie • Ålder/kurs på elevkohort • Språk ej svenska eller engelska • Dubbletter • Peer Review
Artiklar som lästs i fulltext: 47 18 artiklar exkluderades	Exkluderingskriterier: <ul style="list-style-type: none"> • Relevans för denna litteraturstudie • Ej fokuserat på den önskade elevkohorten/för allmänt resultat • Resultat/frågeställningar ej tydliga • Inga egna data samlas och analyseras • Ingen relevant/tydlig diskussion eller slutsats • För få källor/liten vetenskaplig grund.
Artiklar som använts i litteraturstudien: 29	

4 Resultat

Nedan följer en sammanställning av resultat för att besvara litteraturstudiens frågeställningar och uppfylla syftet med litteraturstudien. Resultat är indelat i två delar. Den första delen redogör resultat för elevers missuppfattningar och svåra delar inom genetiken. Den andra delen redogör resultat för undervisningsstrategier som lärare kan använda för att bemöta elevernas missuppfattningar.

4.1 Missuppfattningar och svåra genetiska koncept

4.1.1 DNA, kromosomer och gener

Missuppfattningar om de genetiska koncepten DNA, gener och kromosomer är vanliga, kan ta olika former och uppstår hos en majoritet av elever i gymnasieålder som studerar genetik i sin utbildning (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Choden & Kijkuakul, 2020; Hackling & Treagust, 1984; Hee-Hyung Cho et al., 1985; Kara & Yesilyurt, 2007; Osman et al., 2017; Saka et al., 2006; Tastan et al., 2008).

Missuppfattningar existerar på strukturell, funktionell och begreppslig nivå och en förenande missuppfattning är att begreppen DNA, gen och kromosom blandas ihop med varandra (Saka et al., 2006). Vidare så fann Saka et al., (2006) att en faktor som gör att genetiska koncept som DNA, gener och kromosomer är svåra för elever är att eleverna upplever dem som abstrakta och svåra att föreställa sig. Ayodeji Temitope Ojo (2024) fann fyra kategorier av anledningar till att genetik är svårt som kompletterar fynden av Saka et al., (2006). Dessa fyra kategorier är; genetiska koncept, elever, lärare/skola och läromaterial (Ayodeji Temitope Ojo, 2024).

Genetiska koncept är, enligt Ayodeji Temitope Ojo (2024), svåra eftersom de är abstrakta, komplexa, innehåller många svåra termer och koncepten är sammanvävda med varandra. Elevkategorin avser att elever är lätt förvirrade och finner det svårt att memorera genetiska koncept på grund av komplexiteten inom genetik vilket i sin tur leder till dålig motivation hos elever (Ayodeji Temitope Ojo, 2024). Bristande kompetens och stöd från lärare är en potentiell källa till att elever har svårt för att lära sig om genetik (Ayodeji Temitope Ojo, 2024). Till exempel kan en brist av praktiska moment i undervisningen eller att lärare hoppar över att lyfta delar av genetiken ge eleverna sämre förutsättningar att tillgodose sig kunskapen (Ayodeji Temitope Ojo, 2024). Slutligen kan läromedel, till exempel kurslitteratur, som ej är detaljerade nog och inte presenterar genetikens koncept och processer i en logisk ordning göra det svårt för elever att lära sig effektivt med hjälp av dessa läromedel (Ayodeji Temitope Ojo, 2024).

4.1.1.1 DNA

Flera studier fann att DNA är svårt för elever att begripa funktionellt och strukturellt (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Choden & Kijkuakul, 2020; Ellefson et al., 2008; Hackling & Treagust, 1984; Hee-Hyung Cho et al., 1985; Osman et al., 2017; Saka et al., 2006; Tastan et al., 2008). De strukturella missuppfattningarna är bland annat att elever, som nämnts tidigare, blandar ihop DNA med gener eller kromosomer vilket resulterar i att

eleverna ej kan skilja på dem och uppfattar att DNA är uppbyggt av, till exempel, kromosomer och/eller gener (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Lewis & Kattmann, 2004; Osman et al., 2017; Saka et al., 2006).

Andra missuppfattningar om DNA var att DNA exklusivt används för som test för att fastställa blodtyp och föräldraskap eller att DNA bara förekommer bland arter i djurriket eftersom endast djur har cellkärnor (Choden & Kijkuakul, 2020; Ellefson et al., 2008; Osman et al., 2017; Tastan et al., 2008). Sakta et al., (2006) fann också att elever uppfattar att ifall DNA:s dubbelhelix bryts upp så övergår DNA till att bli RNA. Detta innebär en uppfattning att de enda skillnaderna mellan DNA och RNA är strukturella och missar att de består av flera, kemiskt aktiva molekyler (Saka et al., 2006). Chy-yan Tsui & Treagust (2007) fann likande missuppfattningar där DNA uppfattas av elever enbart som namnet på en process i stället för en molekylstruktur som är aktiv i cellulära processer. Missuppfattningar om DNA:s funktion i cellulära processer demonstreras av Hee-Hyung Cho et al., (1985) och Hackling & Treagust (1984) som fann att elever tror att olika celltyper har olika mängd och uppsättningar av DNA och detta fynd stärks av Lewis & Kattmann (2004) och Osman et al., (2017) som fann samma typ av missuppfattning. Denna typ av missuppfattningar är den del av ett bredare område som är svårt för elever vilket är hur gener uttrycks via proteiner. Detta återkommer i ett senare avsnitt denna studie.

Koncepten DNA, kromosom och gen var alla svåra för elever och associerade med missuppfattningar. Av de tre så är DNA dock det koncept som uppvisar minst antal missuppfattningar bland elever och de missuppfattningar som dokumenterats överlappar med många andra aspekter av genetiken och de andra två koncepten, kromosomer och gener (Saka et al., 2006).

4.1.1.2 Kromosomer

Sju studier fann missuppfattningar om kromosomer bland elever (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Kara & Yesilyurt, 2007; Kibuka-Sebitosi, 2007; Kindfield, 1991; Lawson & Thompson, 1988; Lewis & Kattmann, 2004; Saka et al., 2006). Kromosomer var svårare för elever än DNA men många utav missuppfattningarna härstammar från att elever inte kan skilja på DNA och kromosomer (Kibuka-Sebitosi, 2007; Saka et al., 2006).

Saka et al., (2006) fann många exempel på hur kromosomer och DNA förvirras. Missuppfattningar som; kromosomer är en del av DNA, är proteiner i DNA molekylen och begreppet kromosom är ett synonym till DNA, är missuppfattningar som elever har gällande kromosomers struktur (Saka et al., 2006). Saka et al., (2006) fann tecken på att existensen av könskromosomer som till exempel, X- och Y-kromosomer och den könsbestämmande roll de har för avkomman innebär att alla kromosomer är antingen kvinnliga eller manliga. Kara & Yesilyurt (2007) fann också missuppfattningar om X- och Y-kromosomer där de uppfattas vara komponenterna som bygger upp andra kromosomer i stället för DNA. En annan missuppfattning är att kromosomens struktur beror på vilket numrerat kromosompar som den ingår i (Kindfield, 1991). Kindfield (1991) fann denna missuppfattning inom en bredare grupp missuppfattningar om kromosomers struktur och om cellen var haploid eller diploid (Kindfield, 1991). Kromosomer som bestod av en DNA molekyl ansågs vara den typen av kromosom som finns i haploida celler och kromosomer som bestod av två DNA molekyler ansågs vara diploida (Kindfield, 1991). Denna tankebana missar den roll som replikation har i

formeringen av kromosomer i individuella celler och antar att de enda tillfället som diploida kromosomer kan bildas är när gameter möts och befruktning sker (Kindfield, 1991).

Antalet kromosomer är inte självklart och en vanlig missuppfattning bland elever är att människor har 23 kromosomer istället för kromosompar i alla celler (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007). Var kromosomer finns är också en potentiell källa för problem när elever ritas celler hos människor så ritas kromosomer utanför cellkärnan (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007). Lawson & Thompson (1988) fann en missuppfattning bland vissa elever som deltog i deras studie att kromosomerna är den primära mekanismen för organismens egenskaper och att kromosomerna anpassar sig till och ändras av miljöfaktorer, som solljus, under organismens livstid och dessa anpassningar är i sin tur ärftliga. Lewis & Kattmann (2004) fann likande missuppfattningar om kromosomers roll i att ge uttryck för egenskaper i form av att egenskapsbärande partiklar finns i kromosomerna. Vissa elever som uttrycker denna missuppfattning tror att generna är dessa partiklar och andra elever talar endast om kromosomen i detta sammanhang (Lewis & Kattmann, 2004).

Relaterat till kromosomer och DNA var också missuppfattningar om cellkärnan, vilka celler som har cellkärnor och vad som finns i cellkärnan (Kara & Yesilyurt, 2007; Saka et al., 2006). Elever beskriver uppfattningar som; att kromosomer inte finns i cellkärnan (Kara & Yesilyurt, 2007; Saka et al., 2006), gener, DNA och kromosomerna är större än cellkärnan (Saka et al., 2006), alla celler har kärnor (Kara & Yesilyurt, 2007) och cellkärnan fyller ingen funktion i cellens processer (Kara & Yesilyurt, 2007).

4.1.1.3 Gener

Flera studier fann missuppfattningar som elever har om gener och relaterade processer som ärftlighet och genuttryck (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Hackling & Treagust, 1984; Kibuka-Sebitosi, 2007; Lawson & Thompson, 1988; Lewis & Kattmann, 2004; Osman et al., 2017; Saka et al., 2006; Stern et al., 2023). Många av de mer enkla missuppfattningarna om gener var relaterade till de strukturella missuppfattningarna som också existerar om DNA och kromosomer där elever blandar ihop de olika begreppen, deras strukturer och funktioner (Osman et al., 2017; Saka et al., 2006). Missuppfattningar som; en gen är ett kromosompar, gener bygger upp DNA, en gen är en egenskap och gener tillverkar DNA, illustrerar hur gener blandas ihop med DNA och kromosomer (Osman et al., 2017). Saka et al., (2006) fann liknande missuppfattningar som att gener består av kromosomer, är delar av kromosomer, är större än cellkärnan och att genen i sig är en ärftlig egenskap (Saka et al., 2006). Att celler bara har de gener som är relevanta för dess funktion är en missuppfattning som både Lewis & Kattman (2004) och Osman et al., (2017) hittade bland elever. Dessa missuppfattningar indikerar att både de grundläggande sammanhanget mellan gener, DNA och kromosomer är svårt för elever och vilken roll gener har i ärftlighet och reglering av funktioner och egenskaper i cellen och individen (Lewis & Kattmann, 2004; Saka et al., 2006).

Elever demonstrerade att de visste att gener har med ärftlighet att göra men mekanismerna för hur gener går i arv från föräldrar till avkomma samt hur gener och egenskaper hör ihop var svårt för elever att begripa (Hackling & Treagust, 1984). Att omgivningen och miljön kan påverka karaktärsdrag, som till exempel hudfärg, var uppenbart för elever men detta innebar att missuppfattningar om hur egenskaper utvecklas, uttrycks och går i arv kan bildas (Osman et al., 2017). Elever kan skapa en missuppfattning om att

karaktärsdrag eller egenskaper som förvärvats eller ändrats under livet ändrar generna och kan också gå i arv, vilket tyder på en bristande kunskap om gameter, meios och ärftlighet (Osman et al., 2017). Detta kompletterar fynd från en studie genomförd av Lawson & Thompson (1988) som fann att elevers missuppfattningar om att om en grupp ljushyade människor flyttar till Afrika så kommer hyn på följande generationer bli allt mörkare (Lawson & Thompson, 1988).

Ett mer extremt exempel som Lawson & Thompson (1988) fann var att om föräldrarna har förlorat en kroppsdel så kommer deras avkomma vara utan den kroppsdel som förlorats eftersom föräldrarna nu saknar de cellerna och de kan inte återskapas, vilket tyder på att vilka celler, och därigenom vilka gener, som bestämmer avkommans karaktärsdrag är potentiellt svårt för elever att förstå (Lawson & Thompson, 1988). Kibuka-Sebitosi (2007) fann mycket liknande uppfattningar bland Sydafrikanska elever där 55,6% kunde tillfredställande förklara att en amputering inte påverkar generna, varken i vanliga celler eller i könscellerna, och därför inte är en ärftlig förändring. De resterande eleverna inte kunde svara tillfredställande på frågor om amputeringen var ärftlig eller gav alternativa förklaringar som att "Gud kontrollerar barn" (Kibuka-Sebitosi, 2007). Yttligare en studie av elever i Bhutan visade missuppfattningar om att gener kan ändras genom injicering av icke genetiska ämnen som besitter ett likande drag som den egenskap man önskar tillföra (Choden & Kijkuakul, 2020). Exemplet i studien var att elever trodde att jordgubbar som hade olika färger hade fått färgämnen injicerade, vilket implicit hade det ändrat jordgubbarnas gener i elevernas resonemang (Choden & Kijkuakul, 2020).

En annan av elevernas uppfattningar om förändringar av karaktärsdrag är att mutationer av DNA alltid uttrycks och är negativa vilket tyder på en begränsad kunskap om mutationer som kan bildas av att undervisningen om mutationer endast sker i sammanhang med sjukdomar, som hudcancer (Osman et al., 2017). Vidare så fann Osman et al., (2017) också att elever uppfattar att alla sjukdomar med genetiskt ursprung är ärftliga. Denna typ av missuppfattningar tyder på otillräcklig kunskap och en bristande förmåga att logiskt resonera kring genetiska koncept (Lawson & Thompson, 1988).

Missuppfattningar om hur många gener som kan vara delaktiga i att ge uttryck för egenskaper är inte självklart för elever och olika resonemang presenteras för att förklara olika uppfattningar (Hackling & Treagust, 1984; Osman et al., 2017). Osman et al., (1985) fann att majoriteten av elever inte kunde ge tillfredställande svar när de frågas om hur många gener som är inblandade i att reglera en egenskap. Fler elever trodde att det endast är en gen för varje egenskap än de som vet att flera gener kan vara inblandade i en egenskap. En missuppfattning som dock påträffades bland eleverna var att det alltid var två gener per egenskap eftersom en gen ärvs från fadern och en från modern, vilket tyder på att elever blandar ihop begreppen "gen" och "allel" (Kara & Yesilyurt, 2007; Osman et al., 2017).

Förekomsten av missuppfattningar om genetisk teleogi och essentialism är vanliga hos elever i årskurser som motsvarar den svenska gymnasieskolan (Stern et al., 2023). Frekvensen av dessa missuppfattningar minskar under deras utbildning, framförallt teleogiska missuppfattningar, så förekommer de fortfarande bland vuxna och elever på universitet (Stern et al., 2023). Detta fynd kompletteras av Osman et al., (2017) som visade att missuppfattningar kvarstår i flera aspekter av genetiken hos elever även efter genetikundervisningen är genomförd. Stern et al., (2023) fann också att förkunskaper inom

biologi från tidigare kurser i skolan inte påverkade om elever bildar missuppfattningar genetisk teleogi och essentialism samt att förekomsten av två missuppfattningarna inte är korrelerade.

4.1.2 Mendels genetik

Elevers missuppfattningar om Mendels modell för hur egenskaper ärvs och uttrycks är framför allt relaterade till abstrakta koncept som allel, dominanta och recessiva anlag, korsnings scheman och slumpens roll i arvet av anlag (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Hackling & Treagust, 1984; Kara & Yesilyurt, 2007; Lewis & Kattmann, 2004). Dessa missuppfattningar om Mendels genetik överlappar med de som presenteras om gener och genuttryck i andra delar av denna studie. Detta stycke kommer fokusera på missuppfattningar som främst berör ärftlighet av anlag enligt Mendels genetik.

Begreppet allel är problematiskt för elever som utvecklar en förenklad bild av vad en allel är (Hackling & Treagust, 1984). Elever uppfattar bland annat allel ett synonym till gen och förlorar då det nödvändiga perspektiv som variationer av en gen ger till korrekt förståelse av Mendels genetik (Kara & Yesilyurt, 2007). Missuppfattningar om gener och alleler, och vad de innebär för ärftlighet av anlag är vanliga bland elever (Hackling & Treagust, 1984; Lewis & Kattmann, 2004) och leder i sin tur till missuppfattningar om slumpens roll i relation till dominanta och recessiva anlag (Hackling & Treagust, 1984).

Missuppfattningar om dominanta och recessiva anlag uttrycker sig när elever skall resonera om sannolikheter att en egenskap uttrycks utifrån korsningsscheman och hur olika anlag uppfattas interagera med varandra för att ge uttryck för en egenskap (Hackling & Treagust, 1984; Kara & Yesilyurt, 2007). Elever är kapabla att para ihop fenotyper i korsningsscheman men Hackling & Treagust (1984) fann att en majoritet av elever tolkar korsningsscheman som en absolut förutsägelse av utfall för förekomsten av anlag och den motsvarande egenskapen i avkomman. Det är tydligt när elever skall resonera kring anlagen hos avkomman av två heterozygota föräldrar att elever lätt missar rollen som slumpen spelar i Mendels genetik eftersom elever svarar i absoluta termer att, om ett par heterozygota föräldrar får fyra barn så kommer alltid ett barn vara dominant homozygot, två barn vara heterozygota och ett barn vara recessivt homozygot (Hackling & Treagust, 1984). Denna missuppfattning betyder att elever inte inser slumpens roll i Mendels genetik eftersom slumpen avgör vilken spermie som kommer befrukta ägget och därför vilka anlag som går i arv till nästa generation (Hackling & Treagust, 1984). Lewis och Kattman (2004) fann kompletterande missuppfattningar bland elever om den roll som slumpen spelar i Mendels genetik. Som beskrivet i ett tidigare stycke såg elever gener som oförändliga partiklar som innehåller egenskaper och recessiva anlag beskrivs av elever som "dolda" egenskaper (Lewis & Kattmann, 2004). Denna förenklade syn på Mendels genetik kan komma från elevernas observering av de egenskaper som familjemedlemmar har (Lewis & Kattmann, 2004).

Elever visar en missuppfattning om att dominanta anlag ger uttryck för sin egenskap över recessiva eftersom de är "starkare" (Hackling & Treagust, 1984). Elever som har denna missuppfattning finner det svårt att definiera vad begrepp som; dominans, recessiv och blandat arv innebär, och eleverna kan inte resonera kring vad dessa beteckningar innebär för hur generna påverkar proteinsyntesen och fenotypen (Hackling & Treagust, 1984). Denna

missuppfattning innebär att elever tror att dominant gener blockerar recessiva gener och att egenskaper som har blandad ärftlighet, som hudfärg, innebär att generna blandas med varandra snarare än att den verkställande vektorn för egenskaperna är proteiner, vars syntetisering regleras av gener (Hackling & Treagust, 1984).

4.1.3 Genuttryck, transkription/translation och proteiner

Hur gener ger uttryck för egenskaper genom att reglera proteinsyntesen är svårt för elever och åtta studier fann missuppfattningar som elever har om genuttryck (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Fisher, 1985; Kibuka-Sebitosi, 2007; Knippels et al., 2005; Lewis & Kattmann, 2004; Osman et al., 2017; Tastan et al., 2008). Missuppfattningar om hur gener ger uttryck för egenskaper via proteinsyntes överlappar med missuppfattningar om gener konceptuellt. Missuppfattningar om genuttryck kvarstår också efter att eleverna fått dedikerad undervisning, mer så än andra delar, vilket antyder att denna aspekt av genetiken är särskilt svår för elever (Fisher, 1985). Detta stycke behandlar elevers missuppfattningar som är relaterade till proteinsyntes och de ämnen och produkter som är delaktiga i proteinsyntesen.

Missuppfattningar om DNA och gener är relevant för missuppfattningar om proteinsyntesen eftersom de belyser en splittring i elevernas sinnen mellan gener och processen för hur de uttrycker sig (Osman et al., 2017). Elever nämner inte proteiner och enzymer som vektor för genernas reglering av processer i cellen och kroppen (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Osman et al., 2017). Elever beskriver i stället gener som att de bestämmer om egenskaper och karaktärsdrag utan att förklara mekanismen bakom hur det går till. Ett exempel på hur denna missuppfattning manifesterar visades bland missuppfattningarna om gener som koncept där gener uppfattas av elever som partiklar som innehåller egenskapen (Lewis & Kattmann, 2004), eller så beskriver elever en grovt förenklad version av proteinsyntesen som att generna använder ”signaler” och har ”planer” för att diktera för cellen vad den skall göra (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007).

Elevers missuppfattning att replikation är nödvändigt för proteinsyntes är en närliggande missuppfattning om hur DNA agerar vid transkriptionen (Tastan et al., 2008). Elever missuppfattar de olika cellulära processerna som involverar DNA och beskriver replikation som den enda processen som involverar DNA och därför agerar både vid celldelning och transkription (Tastan et al., 2008). Den praktiska implikationen av denna missuppfattning är att RNA-syntes endast sker i samband med celldelning.

Flera studier fann missuppfattningar om proteiners roll i genuttryck (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Fisher, 1985; Kibuka-Sebitosi, 2007). En sådan missuppfattning var rollen som proteiner spelar både som aktör i proteinsyntesen och som en produkt därifrån (Fisher, 1985). Elever förstod att proteiner var en produkt av proteinsyntesen men en missuppfattning uppstår i relation till aktiveringsenzymer som är drivande i processen (Fisher, 1985). Missuppfattningen är att om en substans är en produkt av en process så kan den ej vara delaktig i processen och därför, i detta fall, så är aktiveringsenzymer inte proteiner (Fisher, 1985). Detta i sin tur resulterar i en vidare missuppfattning om vad för former och roller i som proteiner har i cellen och kroppen (Fisher, 1985).

En annan uppfattning som missar proteiners roll i genuttryck och reglering av egenskaper är mer relaterad till hur elever konceptuellt uppfattar att egenskaper uppstår och

regleras. Som nämnt i ett tidigare stycke fann Kibuka-Sebitosi (2007) att en missuppfattning bland elever om att övernaturliga fenomen bestämmer vilka egenskaper en individ skall ha. Vidare fann Kibuka-Sebitosi (2007) att elever uttryckte en missuppfattning att egenskaper kan ändras fundamentalt genom att alternativa varianter av egenskapen introduceras till en individ. Denna missuppfattning innebär att elever har bristande kunskap både vad gener är och hur de uttrycks eftersom eleverna uppfattar att ett genetiskt tillstånd som, i detta fall, albinism kan sprida sig om man kommer i kontakt med tillståndet (Kibuka-Sebitosi, 2007).

Fisher (1985) fann att aminosyror ursprung, framför allt de essentiella aminosyrorna, var svårt för elever och ungefär 40% kunde svara korrekt på deras ursprung. Elever som ej kan beskriva att aminosyror antingen syntetiseras i kroppen eller tas upp ifrån föda, anger ett antal missuppfattningar varav proteinsyntesen är en utav dem eftersom gener kodar för hur aminosyror organiseras (Fisher, 1985). mRNA och tRNA har liknande missuppfattningar där elever beskriver dem som en direkt produkt av proteinsyntesen och därför är de proteiner istället för nukleinsyror (Fisher, 1985). En annan missuppfattning som elever har om aminosyror är att samma aminosyra i olika djur kan inte ha samma genetiska kod för dess syntetisering eftersom djuren är olika arter (Tastan et al., 2008). Processen för syntetiseringen av proteiner från aminosyror och antalet kemiska substanser som används för olika stora proteiner var också svårt och elever ger olika svar för hur många peptidkärnor och vattenmolekyler som används (Tastan et al., 2008).

Missuppfattningar om genuttryck, relaterade begrepp och processer är vanliga bland elever i gymnasieålder och tar många former (Ayodeji Temitope Ojo, 2024; Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Fisher, 1985; Kibuka-Sebitosi, 2007; Knippels et al., 2005; Lewis & Kattmann, 2004; Osman et al., 2017; Tastan et al., 2008). De berör både konceptuella missuppfattningar om hur gener uttrycks, processerna som är involverade och missuppfattningar om de molekyler som biokemiskt utför de olika processerna. Missuppfattningarna återfinns inom flera generationer av elever från olika länder och världsdelar, som i USA år 1985 (Fisher, 1985) och i Nigeria år 2024 (Ayodeji Temitope Ojo, 2024).

4.2 Strategier för genetikundervisning

4.2.1 Teoretisk undervisning

Olika tips och anpassningar av vad som betonas i genetikundervisning och i vilken ordning som olika koncept och begrepp skall introduceras för elever föreslås i flera studier som undersökt elevers inläring av genetik (Duncan et al., 2016; Hackling & Treagust, 1984; Lawson & Thompson, 1988; Lewis & Kattmann, 2004; Stern et al., 2023; Stern & Kampourakis, 2017; Tastan et al., 2008; Thörne & Gericke, 2014). Resultaten som presenteras i detta stycke är generella och hänvisar inte till ett specifikt arbetssätt eller lektionsmoment.

För att ge god struktur till undervisningen föreslås det att lärare bör reflektera över ordningen som genetiska koncept lärs ut (Duncan et al., 2016; Lewis & Kattmann, 2004). Att börja med exempel som sätter genetik och Mendels genetik i ett vardagligt sammanhang och sedan fortsätta med att introducera de genetiska koncepten enligt modern genetik

rekommenderas (Lewis & Kattmann, 2004; Stern et al., 2023). Stern et al., (2023) föreslår att introducera gener i sammanhang med naturligt urval som en version. Undervisning om gener i sammanhang om vardagliga exempel ger elever möjligheter att reflektera över hur gener uttrycker sig och detta i samband med reflektioner kring de uppfattningar de har sedan tidigare ger bättre förutsättningar för att förebygga och korrigera missuppfattningar bland elever (Lewis & Kattmann, 2004). Detta kräver att lärare och elever har tagit tid i början av genetikundervisningen för att identifiera eventuella missuppfattningar bland eleverna och då kan lärare och elever, i viss mån, anpassa undervisningen gentemot de missuppfattningar som eleverna har från tidigare genetikundervisning (Lewis & Kattmann, 2004). Exempelvis så kan missuppfattningar om att celler endast innehåller de gener som behövs för att reglera cellens specifika funktion kan bemötas genom att betona att cellens funktion beror på vilka gener som aktivt syntetiserar proteiner (Lewis & Kattmann, 2004).

För att undvika missuppfattningar om slumpen roll i Mendels genetik så rekommenderas att inte använda korsningsscheman på ett sätt som indikerar att fenotyper har en fast proportionell fördelning (Hackling & Treagust, 1984). Det är också fördelaktigt att inte bara använda bokstäver för att indikera fenotyp (Hackling & Treagust, 1984). Inkorporering av gameterna och kromosomerna i undervisningen ger bättre möjlighet att studera hur meios och rekombination av kromosomer påverkar vilka anlag som går i arv (Hackling & Treagust, 1984). Det är också fördelaktigt att introducera meios tidigt i undervisningen om ärftlighet (Hackling & Treagust, 1984). Betoning av slumpens i Mendels genetik och naturligt urval är också bra för att bemöta missuppfattningar om genetisk teleogi (att en egenskap uppstår med ett syfte i åtanke) och essentialism (att en egenskap är väsentlig för organismen) (Stern et al., 2023). Stern och Kampourakis (2017) kompletterar detta genom att betona vikten att undervisa om Mendels genetik på ett sådant sätt att begrepp, som dominans och recessiv, inte uppfattas betyda att alleler och gener är absoluta i sitt förhållande och i deras interaktioner med varandra. Istället för att undervisa om genetik med fokus på Mendels genetik, alleler och gener som bestämmer egenskaper så rekommenderas en bredare syn där genetik lär ut i ett perspektiv som fokuserar på organismers utveckling (Stern & Kampourakis, 2017). Detta skulle tillåta undervisning om genetikens olika koncept och begrepp på ett integrerat sätt och på olika nivåer i organismen (Stern & Kampourakis, 2017).

Fostrande och utvecklande av elevers kognitiva förmåga till logiskt resonemang är viktigt i undervisningen av genetik för att elever skall kunna begripa abstrakta genetiska koncept (Lawson & Thompson, 1988). För att elever skall kunna resonera sammanhängande om genetik så behöver de förstå proteiners roll i genetiken (Duncan et al., 2016). Thörne & Gericke (2014) fann att proteiner inte benämns i tillräckligt stor grad av lärare och litteratur i genetikundervisningen. För att understreka proteiners roll i genetiken och i relation till alleler och Mendels genetik rekommenderar Duncan et al., (2016) att modern genetik introduceras innan Mendels genetik och att proteiners roll i genetiken belys i varje steg av undervisningen. Detta ger eleverna fler att studera ärftlighet på en molekylär nivå (Duncan et al., 2016).

Stern & Kampourakis (2017) råder lärare att hålla sig väl informerade om ny forskning inom undervisning om genetik och vanliga missuppfattningar om genetik bland elever. För att förbättra elevernas förutsättningar att lära sig om abstrakta begrepp som DNA, gen och kromosom så är det bra att tidigt utveckla vad de faktiskt är och lärare skall inte dra sig för att undervisa om hur komplext genetik är (Stern & Kampourakis, 2017). Vidare så

rekommenderas att lärare undviker användandet av metaforer eftersom de lätt leder till att eleverna blandar ihop metaforer med verklighet (Stern & Kampourakis, 2017).

4.2.2 Projektbaserat lärande

Projektbaserat lärande där eleverna är mer aktiva och i kontroll över sitt lärande studerades av flera studier som fann att det är en undervisningsstrategi som har god effekt på elevers förutsättningar att lära sig om genetik (Alozie et al., 2010; Choden & Kijkuakul, 2020; Ellefson et al., 2008; Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya, 2024). Studierna prövade olika genetiska koncept i samband med projektbaserat lärande. Både delvis och fullständigt projektbaserat lärande prövades av studier och den övergripande trenden var att elever var mer engagerade och aktivt sökte fördjupande kunskap utöver det som var nödvändigt för deras projekt (Choden & Kijkuakul, 2020).

En faktor som kan bidra till att öka elevernas engagemang till lärandet är att de kan potentiellt vara mer kreativa i hur de presenterar resultaten av deras arbete (Alozie et al., 2010). Möjligheten för elever att mer kreativt uttrycka deras kunskap genom att skapa någon form utan demonstrativ representation av de genetiska koncept de undersökt är applicerbart på olika genetiska koncept, som till exempel protein (Alozie et al., 2010). Eleverna behöver också kunna använda sin kreativa skapelse för att förklara det som de undersökt vilket gör att eleverna behöver absorbera och applicera deras kunskap (Alozie et al., 2010; Choden & Kijkuakul, 2020; Ellefson et al., 2008; Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya, 2024). Detta gav eleverna bättre förutsättningar för djupare inläring jämfört med vanlig lärarledd undervisning och skriftlig examination (Alozie et al., 2010; Choden & Kijkuakul, 2020; Ellefson et al., 2008; Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya, 2024).

Fynden av Alozie et al., (2010) om projektbaserat lärande kompletteras av två studier, som fokuserade på ärftlighet och genuttryck, där elever fick arbeta med att designa bakterier för att ge dem önskade egenskaper (Ellefson et al., 2008) och aktivt uppsöka kunskap om Mendels genetiska principer (Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya, 2024). Båda studierna visade att elever är mer engagerade och får djupare förståelse, jämfört med kontrollgrupper, när de själva är aktiva och ledande i sin undervisning (Ellefson et al., 2008; Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya, 2024). Ellefson et al., (2008) fann att elever som fick arbeta med att designa sina egna bakterier var motiverade att själva planera vad för information och kunskap om genuttryck och genmodifiering som de behövde för att kunna genomföra projektet och när de körde fast så tog de själva initiativ att utöka sina kunskaper (Ellefson et al., 2008). Eleverna presterade sedan bättre än den nationella genomsnittet i deras land (USA) vid standardiserade prov om genetik vilket intygar metodens effektivitet bland de elever som deltog (Ellefson et al., 2008). En större andel elever vågade svara på frågor och en betydligt större andel kunde svara måttligt tillfredsställande eller bättre på frågor jämfört med det nationella genomsnittet (Ellefson et al., 2008).

Projektarbeten i kortare format där elever i grupp introduceras till ett problem, formar en hypotes, samlar information och presenterar sina resultat för andra grupper där grupperna tillsammans diskuterar om den bästa förklaringen gjorde elever mer aktiva och var en bra metod för att bota missuppfattningar (Choden & Kijkuakul, 2020). Arbetet utförs i moduler och varje modul har ett tema som korresponderar till ett genetiskt koncept som till exempel

ärftlighet (Choden & Kijkuakul, 2020). Den kortare strukturen var bra för att reda ut majoriteten av missuppfattningarna som eleverna hade om grundläggande genetiska koncept (Choden & Kijkuakul, 2020). Choden & Kijkuakul (2020) fann också att forskaren som ledde eleverna fick goda möjligheter att reflektera över sina undervisningsmetoder och hur de kan kommunicera för att bättre reda ut missuppfattningar och hjälpa elever i deras lärande.

Eftersom elever ofta är vana vid mer lärarcentrerad undervisning finns det potential för en inlärningskurva till de nya arbetssättet i början av omställningen till ett mer elevcentrerat arbetssätt (Alozie et al., 2010; Choden & Kijkuakul, 2020). Alozie et al., (2010) råder att ge elever uppgifter som främjar deras kognitiva förmågor och att uppmuntra konstruktiv diskussion mellan elever samt att de skall tilltala varandra vid namn när de diskuterar. Elever får då lägga fram sina bevis bakom deras ståndpunkt och lärare skall endas ställa följdfrågor (Alozie et al., 2010). Elever kan komma att ha mycket frågor och vara i behov av mycket stöd och hjälp med att förstå arbetssättet och självförtroende i början om de ej har varit ledande i sin läroprocess tidigare men med tid och hjälp från lärare så blir många elever relativt snabbt vana vid att de nya ansvaret (Choden & Kijkuakul, 2020).

En annan utmaning med projektbaserat lärande är att det kan vara mer tidskrävande, både för elever och lärare (Alozie et al., 2010). Repetition är såklart fördelaktigt för att lära sig men det är viktigt att uppgifterna är upplagda på ett sådant sätt att eleverna inte spenderar begränsad tid på att repetera samma kunskap om det innebär att andra viktiga moment inte får tillräckligt med tid att kunna behandlas (Alozie et al., 2010).

4.2.3 Fysiska modellverktyg

Undervisning av genetik med hjälp av fysiska modeller prövades av två olika studier med varsitt modellverktyg (Roberg, 2004; Wright et al., 2022). Fysiska modellverktyg gav eleverna en bättre möjlighet att fysiskt observera DNA och kromosomers struktur vilket gav ökad kunskap bland eleverna som använde verktygen (Roberg, 2004; Wright et al., 2022). Studierna visar också att fysiska modeller kan användas till olika aspekter inom genetiken (Roberg, 2004; Wright et al., 2022).

Roberg (2004) visade att enkla och lättillgängliga byggklossar i olika färger kan användas för att illustrera hur gener uttrycks via proteinsyntes och hur olika aminosyror kombineras för att producera olika proteiner (Roberg, 2004). Wright et al., (2022) visar i sin tur att mer komplexa modeller kan användas för att ge elever en bättre förståelse för DNA och kromosomers molekylära struktur och hur genetisk crossover sker vid meios och ger genetisk variation i gameterna. Genom användning av modellverktyg kan eleverna observera och interagera med en mekanisk representation av hur DNA och kromosomerna agerar vid meios och hur detta möjliggör genetisk variation och crossover. Båda dessa aspekter av genetiken visade sig vara svåra för elever i sammanställningen av elevers missuppfattningar i denna litteraturstudie. Roberg (2004 och Wright et al., (2022) fann att fysiska modeller bör användas i undervisningen eftersom de ger elever möjligheter till ökad förståelse för proteinsyntes och meios. Appliceringsmöjligheterna av fysiska modeller inom genetikundervisning är bredare än endast proteinsyntes och meios, och kan användas för att demonstrera flera olika molekylära strukturer och genetiska processer (Wright et al., 2022).

4.2.4 Bilder, animationer och datorprogram

Användning av bilder, animationer och datorprogram i genetikundervisningen prövades i flera studier som kollektivt involverar elever från olika världsdelar och kulturer (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Ebenezer Yeboah Owusu et al., 2023; Kara & Yesilyurt, 2007; Law & Lee, 2004; Marbach-Ad et al., 2008; Starbek et al., 2010; Yang et al., 2018). Studierna prövade olika kombinationer av bilder och digitala hjälpmedel och resultaten var inte alltid de samma men den generella trenden bland studierna visade att elever gynnades av att kunna dra nytta av digitala hjälpmedel jämfört med undervisning endast i form av katederföreläsning och litteratur. Studier visade också att applicering av bilder, datorprogram och animationer kan vara bättre anpassade till olika mål med genetikundervisning (Kara & Yesilyurt, 2007).

Sex studier som prövade användningen av interaktiva datorprogram och andra digitala hjälpmedel som låter elever interagera med kromosomer, gener, DNA och RNA som molekyler och de fann att eleverna uppskattade att kunna själva använda programmet för att lära sig om genetiska koncept och processer i dess molekylära sammanhang (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Ebenezer Yeboah Owusu et al., 2023; Kara & Yesilyurt, 2007; Law & Lee, 2004; Marbach-Ad et al., 2008; Starbek et al., 2010). Majoriteten av eleverna som ingick i Chi-Yan Tsui & Treagusts (2007) studie förbättrade sina kunskaper om gener och kromosomer efter att fått nyttja interaktiva datorprogram. Användningen av interaktiva datorprogram visades vara ett bra hjälpmedel relaterat till dynamiska processer som celledelning och proteinsyntes (Law & Lee, 2004; Marbach-Ad et al., 2008; Starbek et al., 2010). Bilder och illustrationer var dock ett bättre medium för att presentera molekylära strukturer som DNA och RNA och applicering av dessa hjälpmedel bör anpassas efter ämnet (Marbach-Ad et al., 2008). Trots att datoranimeringar visade sig vara bättre för inläring av genetiska och cellulära processer som proteinsyntes var det fortfarande många elever som hade svårt för att fullständigt bemästra begreppen translation och transkription (Marbach-Ad et al., 2008).

En studie sökte att undersöka hur handlednings program, interaktiva datorprogram som ger elever instruktioner och handledning för att lösa problem och besvara frågeställningar, och spel-artade lärprogram, "edutainment", gynnade elevers förmågor att lära sig om gener, DNA och kromosomer (Kara & Yesilyurt, 2007). Handledningsprogram gav bättre resultat relativt till de spelartade edutainment programmen och var mer tidseffektivt eftersom edutainment programmen involverade aktiviteter i spelet som ej har ett lärande syfte, som till exempel utforskning i spelvärlden (Kara & Yesilyurt, 2007). Båda programtyperna gav bättre resultat för elevernas inläring av genetik relativt till kontrollgrupper. En studie av elever i Taiwan som undersökte skillnaden mellan statiska bilder och animationer i genetikundervisningen fann att elever presterade bättre med animationer som hjälpmedel relativt till de elever som studerade med bilder (Yang et al., 2018). Även om animationer visades vara det övergripande bättre verktyget över statiska bilder så betydde det inte att bilder är utan nyttja. Flera studier som prövade statiska bilder fann att de presterar väl som verktyg för elever i genetikundervisningen (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Marbach-Ad et al., 2008; Yang et al., 2018). Yang et al., fann att animationers klara fördel över bilder var att eleverna fick djupare kunskap om och bättre förmåga att visualisera genetiska processer. Detta

kompletterar fynden från Marbach-Ad et al., (2008) och Sterbek et al., (2010) om datoranimeringar och illustrationer, som nämndes tidigare i detta stycke.

Resultaten av dessa studier visar att användning av bilder, animationer och interaktiva datorprogram som verktyg i undervisningen ger elever goda möjligheter att lära sig om genetiska koncept och processer (Chi-Yan Tsui & Treagust, 2007; Ebenezer Yeboah Owusu et al., 2023; Kara & Yesilyurt, 2007; Law & Lee, 2004; Marbach-Ad et al., 2008; Starbek et al., 2010; Yang et al., 2018).

5 Diskussion och slutsats

Nedan följer diskussioner och reflektioner utifrån resultatet och bakgrunden samt en slutsats om vad som litteraturen som studerats visar om elever missuppfattningar om genetik och undervisningsmetoder som lärare kan använda för att motverka missuppfattningar och underlätta genetikundervisningen för eleverna.

5.1 Diskussion

5.1.1 Reflektioner om missuppfattningar

Det mest uppenbara som framkommer från resultaten är att alla aspekter av genetik är svårt för elever att lära sig samt att missuppfattningar påträffas i alla aspekter av genetiska som eleverna studerar. Många fynd indikerar att elever bildar missuppfattningar för att försöka att förklara ett genetiskt fenomen som de ej fullständigt förstår och att missuppfattningar kan vara mentalt hjälpsamma eftersom de kan ge individen en känsla av förståelse och kunskap om verkligheten. Det är därför inte oväntat att elever bildar missuppfattningar om genetik som bevisligen är ett mycket svårt ämne med många komplicerade processer och abstrakta begrepp. Missuppfattningarna blir dock problematiska när eleverna faktiskt behöver kunna demonstrera en förmåga att logiskt resonera om genetik och applicera genetisk kunskap korrekt för att besvara frågor och lösa problem. Att stärka elevernas förmåga att logiskt resonera är av ytterst hög vikt för elevernas kapacitet att inte bara lära sig om genetik utan också om naturvetenskap och matematik. Detta stöds av fynden av Osman et al (2017) som konstaterar att en grundläggande förutsättning för att kunna bota missuppfattningar bland elever att träna dem i logiskt resonemang.

De svåraste delarna av genetik verkar vara den moderna genetikens ärftlighetslära och genuttryck samt transkription och translation. Till detta tillkommer också proteiners roll i genetik. Dessa genetiska koncept verkar vara svårt för elever eftersom de involverar flera olika abstrakta koncept, svåra ord och biologiska nivåer i organismer. Med så många delar för elever att sammanställa till ett större sammanhang kan missuppfattningar förhindra att helheten förstås. Det kan också leda till att elever behöver undermedvetet konstruera fler missuppfattningar för att försöka förstå sammanhanget. Dessa reflektioner stämmer väl överens med och utvecklar fynden av Shaw et al., (2008) som fann att de vanligaste missuppfattningarna om genetik, hos elever i gymnasieålder, är att gener är partiklar som bär på fenotyper.

Att DNA, kromosomer och gener blandas ihop kan bero på att begreppen är så nära kopplande och samhörande i genetikundervisningen. Begreppen är mycket integrerade med varandra och det är logiskt att behandla dem samtidigt vid undervisning om modern genetik. På grund av frekvensen av missuppfattningar som blandar ihop aspekter av de tre begreppen bör lärare vara övertydliga när de introducerar begreppens funktioner och strukturer. Att bara nämna begreppen kort och snabbt, anta att eleverna förstår och sedan gå vidare till nästa del av undervisningen ett otillräckligt upplägg för att undervisa om dessa tre komplicerade och abstrakta begrepp, precis som det är ett otillräckligt upplägg för att undervisa om genetik i sin helhet. Denna rekommending är logisk eftersom Cimer (2012) visat att komplexa, abstrakta

och nära sammanhörande begrepp är en faktor som elever ofta nämner till varför genetik svårt.

DNA är troligtvis inte lika svårt för elever att begripa som kromosomer och gener eftersom det är ett begrepp som dyker upp mer i vardagen och att visa en modellstruktur på DNA är relativt lätt för lärare att åstadkomma. Detta skall dock inte tolkas som att elever upplever att DNA är lätt att lära sig om. Att DNA är mer familjärt för elever innan de börjat lära sig om genetik är dock en potentiell källa till missuppfattningar. Dessa yttrar primärt sig som förenklade uppfattningar om DNA:s funktion, som till exempel att DNA endast indikerar släktskap. Dessa missuppfattningar om DNA ger dock lärare en potentiell startpunkt som de kan utgå ifrån i genetikundervisningen. Om elever har en ofullständig men annars någorlunda korrekt uppfattning om DNA:s funktion så kan lärare använda detta för att placera DNA i ett bekant sammanhang och sedan utveckla elevernas kunskap om DNA därifrån.

Samma kan göras med gener eftersom elever ofta har hört talas om gener i något sammanhang. Mendels genetik är såldes lättare att ge vardagliga exempel om, till elever eftersom undervisningen ofta handlar om påtagliga karaktärsdrag som ögonfärg. Något som dock visats av resultaten är att detta kan leda till att elever tar med sig en förenklad uppfattning om vad gener är, från Mendels genetik, över till den moderna genetiken. Modern genetik är betydligt mycket svårare att sätta i ett påtagligt och vardagligt sammanhang jämfört med Mendels genetik. Detta beror på att den moderna genetiken är mycket mer abstrakt och detta gör det svårt för elever att begripa och kontextualisera det som de får lära sig. Denna observering instämmer med fynden av Gericke et al., (2013) som konstaterar att när elever inte fullt förstår modern genetik så faller de tillbaka på förklaringar från Mendels genetik och bildar missuppfattningar som förenklar den moderna genetiken.

Att studier från många olika länder finns representerade i resultatet stäcker fynden av studien eftersom det minimerar risken av att regionala resultat tolkas som representativa av den globala populationen. Det finns ingen tydlig skillnad mellan vad elever från olika länder, världsdelar, kulturer eller utbildningssystem finner svårt inom genetik och de typer av missuppfattningar som påträffas. Alltså är problemen med genetikundervisning relativt globala och således är de resultat som presenterats i denna litteraturstudie relevanta världen om.

5.1.2 Reflektioner om utbildningsstrategier

Den förenande egenskapen hos undervisningsstrategierna som studerats är att alla söker att öka elevernas aktivitet och engagemang. Detta är gynnsamt för elevernas lärande och bör användas som komplement till lärarledd föreläsningsundervisning och kurslitteratur. En viss nivå av ödmjukhet hos lärare krävs också eftersom lärares kommunikation och ordval i undervisningen en potentiell källa till missuppfattningar bland elever. Med detta i åtanke så kan det därför vara bättre att göra elever till mer drivande i sitt lärande av genetik och låta lärare ta en mer stöttade roll som resurs och guide till eleverna.

Anpassningar av lärares språk och fokus under lärarledd undervisning av genetik bör vara relativt lättgenomförda eftersom de inte kräver att hela arbetssättet omstruktureras. Exempelvis kan mer integration mellan Mendels genetik och modern genetik i undervisningen, så de ej framstår som helt separata, vara gynnsamt för att motverka

missuppfattningar som förenklar gener, genuttryck och ärftlighetslära. Extra tydlighet från lärare och litteratur är också mycket viktigt eftersom en del av de observerade missuppfattningarna kan ha sina rötter i lärarens och kurslitteraturens ordval. På grund av detta bör metaforer också användas sparsamt. Missuppfattningar som har sitt ursprung i lärarens och kurslitteraturens ordval bör gå att korrigera relativt enkelt om lärare tänker på att förebygga dem och reflekterar kring hur de beskriver genetiska koncept. Exempelvis kan elevers missuppfattningar om att slump inte spelar någon roll i arvet av gener förbyggas, dels genom integrering av modern genetik och Mendels genetik men, främst genom att lärare understryker att korsningsscheman inte skildrar ett garanterat, absolut och proportionerligt utfall. Anpassningar som dessa kan ge god effekt på den typ av missuppfattningar som identifierats av Shaw et al., (2008) och Gericke et al., (2013). Denna reflektion stärks av Hackling & Treagust (1984) som också rekommenderar att lärare anpassar hur de undervisar om ärftlighet och hur de använder korsningsscheman i genetikundervisningen.

Det kan vara gynnsamt för lärare att avsätta tid för att etablera vilka missuppfattningar om genetik som elever har med sig från tidigare årskurser. Denna information låter lärare identifiera om någon aspekt av genetiken behöver extra fokus för att korrigera missuppfattningar som förhindrar djupare lärande för eleverna. Det skulle kunna göras antingen på en övergripande nivå i början av läsåret för hela biologiämnet eller mer precist inför varje delmoment som läraren bedömt att det är nödvändigt. Fördelen med att göra en övergripande bedömning i början av läsåret är att flera lektionstillfällen inte behöver gå åt till detta utan kan användas till undervisning. En fördel med att göra bedömningar inför enskilda kursmoment skulle vara att det kan göras mer precist eftersom bedömningen inte behöver inkorporera flera delar av biologiämnet samtidigt.

Fysiska och digitala modellverktyg samt animationer verkar vara goda redskap i elevernas lärande om molekylära strukturer och processer eftersom de hjälper eleverna att visualisera det som annars är abstrakt. Potentiella appliceringar skulle vara att elever kan bygga modeller av en sekvens DNA och sedan använda dessa för att följa proteinsyntesen från början till slut. Detta skulle ge elever möjligheter att lära sig både om strukturerna på de olika molekylerna som är inblandade i proteinsyntes, hur de påverkar varandra och vad produkten blir relaterat till den ursprungliga DNA sekvensen. Ifall verktyget är fysisk eller digitalt borde inte göra någon större skillnad i svenska skolor eftersom många gymnasieskolor förser elever med digitala verktyg. De uppenbara begränsande faktorerna skulle vara om duglig programvara inte finns lättillgängligt eller om elever kan bibehålla studiedisciplin under arbetet med sina datorer. Potentiellt kan fysiska modeller vara bättre ur ett studiedisciplin perspektiv men potentialen för multifunktionalitet är mycket högre i ett digitalt medium. Mängden av klossar som kan tänkas behövas för fysiska modeller som är kabbala att göra mer än enkla molekyler är potentiellt så många att göra fysiska modeller opraktiska för mer än relativt enkla molekyler och processer. Värt att överväga vid val av fysiska och digitala modeller är vad incitamentsstrukturen bakom de som tagit fram verktygen är. Har forskarna arbetat för att ta fram det genuint bästa läromedlet som de kan eller har de låtit finansiella incitament påverka deras rekommending? Detta är en fråga som lärare och skolor bör ställa när de överväger att köpa in läromedel.

Liknande avvägningar bör göras om läroprogram på datorer. Att de har en effekt på elevers engagemang och aktivitet i ögonblicket är oförnekligt. Att skillnad upptäcks mellan

elever som använt handledningsprogram och mer spelartade program tyder dock på att det finns potential för att elever blir distraherade av programvaran i sig. Risken är att om datorprogrammet lutar sig för mycket åt spelhållet så kan den aspekten ta över. I de faller så kan eleverna tappa fokus på att lära sig om genetik och i stället fokusera på att spela spelet. Handledningsprogram med ett mer uttryckligt lärosyfte bör ha en lägre potential för att detta problem uppstår. Därför är det viktigt att lärare noga överväger om ett tilltänkt datorprogram är lämpligt och har en bra balans mellan elevengagemang och lärande i programmet. Bra balans skulle kunna förse elever, som annars finner det svårt att upprätthålla studiedisciplin och är lätt distraherade, med ett bra verktyg för deras genetikundervisning. Om balansen blir fel så kan dock datorprogrammet övergå från läromedel till ytterligare en distraktion och då vara helt i motsatts till dess syfte. Även här bör de finansiella incitamenten för utvecklaren av programvaran också tas i åtanke av lärare.

Projektbaserat lärande presenteras som ett mer tidskrävande men också mycket givande alternativ av de studier som undersökt dess effektivitet. Det är tydligt att projektbaserat lärande ger elever möjligheter att engagera sig och ta kontroll över sitt lärande, vilket är en mycket god förutsättning till bättre inläring och färre missuppfattningar. Hur dessa projekt är upplagda påverkar hur tidskrävande och omfattande de är. De bör också vara utformade på ett sådant sätt att eleverna behöver en fullständig förståelse av den genetik som är relevant för kursen för att slutföra projekten. Om det finns någon optimal tids- och komplexitetsnivå som projekt skall vara för att ge bäst effekt på elever går ej att säga utifrån de resultat som har studerats. Det är dock tydligt att projektbaserat lärande gynnar fler elever jämfört med vanlig lärarledd undervisning i föreläsningsformat.

Att göra en svepande rekommending för alla lärare globalt om en eller flera specifika undervisningsstrategier är inte något som denna litteraturstudie kan göra. Framför allt eftersom ingen av de studerade metoderna var hundra procent effektiv och det inte är kontroversiellt att påstå att olika elever lär sig bäst på olika sätt. Att påstå att en viss metod är absolut bäst i alla omständigheter vore en tydlig demonstration av hybris. Något som dock kan sägas med god säkerhet är att någon förändring är bättre än ingen förändring alls med avseende till lärarledd föreläsningundervisning. Undervisningsstrategier som; fysiska och digitala modeller, bilder och animationer, projektbaserat lärande och lärprogram på datorer, kan används som verktyg i genetikundervisningen och ge goda resultat för elevers lärande. Exempelvis så kan lärare välja att inkludera modellverktyg som stöd vid undervisning modern och andra lämpliga metoder, som projektbaserat lärande, vid undervisning om genuttryck.

Exakt vart balansen mellan undervisningsstrategierna bör landa är upp till varje individuell lärare att, efter bästa förmåga, bedöma utifrån lärarens resurser och förmågor, men den viktigaste åtanke bör vara elevernas behov. Återigen så måste det betonas att en ökning av elevernas engagemang, aktivitet och egna drivande av sitt lärande är den förenande effekten mellan metoderna som resulterar i mer fullständig och djup kunskap.

Det kan också vara lägligt för lärare att se över hur mycket lektionstid på ett läsår som är dedikerat till genetiken. Om det är så att göra mer än små ändringar till lektionsupplägg i genetikundervisningen inte är realistiskt på grund av att det inte finns tid nog i schemat så kanske en avvägning behöver göras. Det kan vara så att det går att ta ett par lektionstillfällen från någon annan del av biologikursen som elever inte har lika svårt att lära sig och då få mer tid till genetik. Med mer tid till genetiken så skulle lärare kunna använda mer tidskrävande

aktiviteter och undervisningsmetoder som projektbaserat lärande. Om det är så att ta tid från något annat och ge det till genetiken ger liten effekt på genetiken men en stor negativ effekt på det andra biologiområdet så är det inte en realistisk lösning eftersom eleverna skall få goda möjligheter att lära sig det som står i ämnesplanerna. En lösning till detta skulle vara att helt enkelt schemalägga mer tid till biologiämnet som det fungerar med både elevers och lärares scheman. Alternativt kan lärare se över sina planeringar och säkerställa att allt som de undervisar faktiskt är relevant till kursen. Ifall de har lektioner inplanerade som ej är relevanta för ämnesplanen så är de lämpligt att ta bort de momenten och använda tiden mer produktivt. Nästa åtgärd skulle vara att se över ämnesplanerna för att se om allt därinom är relevant och lämpligt eller om något bör tas bort eller bytas ut.

5.1.3 Metoddiskussion

Sökningen i databaserna var relativt ostrukturerad och om studien skulle gjorts om så hade en bättre struktur varit den första ändringen som skulle genomföras. Detta har troligtvis inte påverkat resultatet då en god mängd relevanta källor hittades. Den suboptimala struktureringen leder dock till otydlighet kring varför vissa söktermer användes och kan påverka andra forskares förmåga att replikera sökningen på ett välinformerat sätt.

Valet av de databaser som använts för studien gjordes baserat på förslag som gavs av handledare på universitetet och universitetsbiblioteket i Göteborg. Efter sökning i ERC och ERIC så togs beslutet att tillräckligt mycket information var insamlat för att vara representativt av den relevanta vetenskapliga kunskapen. Ifall en liknande studie genomförs av en forskare med mer tid och resurser så är det säkert möjligt att bredda sökandet för att fånga in en större andel av det vetenskapliga arbete som utförts och publicerats om elevers missuppfattningar om genetik och olika undervisningsstrategier som kan användas i genetikundervisningen. Således har tid och förmåga av författaren varit en begränsande faktor på den bredd av material som kunnat rimligtvis samlas in för att användas. Det hade varit intressant att kunna jämföra resultat och slutsatser mellan denna studie och en annan med likande syfte och frågeställningar som använt fler databaser och haft mer tid, för att se om resultaten och slutsatserna skiljer sig.

Valet att endast använda de två databaserna ERC och ERIC kan också påverka det tillgängliga urvalet av studier som legat till grund för denna litteraturstudie. Även om en stor del dubletter hittades i dessa två databaser under framtagningen av det vetenskapliga underlaget för studien så var det också många unika studier i de båda databaserna. Det är således garanterat att inkludering av fler databaser hade gett ett bredare urval av artiklar att studera. Eftersom kvaliteten av artiklarna som användes i denna studie är god, då de inkluderar erfarna forskare med flera publiceringar och många citeringar, så är sannolikheten att valet av databaser har fått en drastisk påverkan på resultatet relativt liten.

En litteraturstudie som denna är beroende på de material som författaren lyckas samla och studera. Förekomsten av forskning publicerad av erfarna forskare som Treagust, Gericke och Duncan, som är framstående inom utbildningsvetenskap, är ett gott tecken på att kvaliteten av materialet samlades in till studien är god. Inkludering av dessa verk ökar sannolikheten för att resultaten som presenterats är representativa av den totala lärdomen om elevers missuppfattningar om genetik och relevanta undervisningsstrategier. Således har

också denna studies reflektioner och slutsats en bättre sannolikhet att vara goda då de baserats på god information.

Frånvaron av kedjesökning som en del i metodiken har troligtvis inte haft en effekt på litteraturstudiens resultat och slutsatser eftersom forskning från många framstående forskare ingår i den vetenskapliga bas som hittades. Antalet studier som inkluderats och expertisen hos de forskare som publicerat dem gör att bristen på kedjesökning troligtvis inte har negativt påverkat resultatet utav denna litteraturstudie.

Med detta sagt så är det fullt möjligt att en eller flera andra forskare som söker att göra en likande studie som denna kan få olika resultat och dra olika slutsatser. Eftersom materialet som ligger till grund för studien är såpass viktigt så kan faktorer som andra exkluderingskriterier och söktermer påverka vilka studier som dessa hypotetiska studier baseras på.

5.1.4 Framtida forskning

Många studier som tittat på undervisningsstrategier för genetik undersöker endast en alternativ strategi och jämför den med vanlig läraryttad föreläsning undervisning. Framtida forskning som jämför flera av de utbildningsstrategier som studerats här, mot varandra för att få mer information om hur de faktiskt ställer sig mot varandra vore gynnsamt för lärare som söker information om hur de kan lägga upp genetikundervisning.

Att undersöka om olika strategier fungerar olika bra beroende på land och skolsystem som elever kommer från vore också intressant. Det är inte otänkbart att elever från olika länder med olika skolsystem och kulturer kan tänkas få olika resultat från samma undervisningsstrategier. Syftet med denna forskning borde vara att inkludera elever och lärare från olika länder i samma studie. Detta behövs eftersom studierna som har inkluderats i denna litteraturstudie ej studerat elever från olika länder samtidigt. Därigenom så är informationslandskapet både globalt och regionalt samtidigt. Detta är inte ett problem för forskning om elevers missuppfattningar om genetik eftersom detta är lättare att kartlägga och jämföra. Det är dock viktigt för applicering av undervisningsstrategier att få ett mer integrerat och multinationellt perspektiv. Information om elever från olika kulturer får mer eller mindre nytta av en eller flera undervisningsstrategier och hur det reflekterar det regionala skolsystemet skulle kunna ge lärare en indikation på vilka undervisningsstrategier de bör pröva först.

Antalet studier som undersökt elevers missuppfattningar om genetik och fått mycket lika eller samma resultat under flera antyder att vi har en god och nära på fullständig bild av vilka missuppfattningar som gymnasieelever har om genetik. Således är framtida forskning som endast söker att finna missuppfattningar troligtvis överflödiga. Detta kommer vara sant så länge som paradigmskiftande upptäckter inom genetik inte sker. Framtida forskning om elevers missuppfattningar om genetik bör därför bredda sina mål och, förslagsvis, undersöka vilka missuppfattningar som bäst motverkas med olika undervisningsstrategier.

5.1.5 Litteraturstudiens relevans för biologiundervisning på gymnasienivå

Denna litteraturstudie är relevant för biologiundervisning eftersom många av de missuppfattningar som identifierats är direkt relaterade till det centrala innehållet i ämnesplanerna för biologi på gymnasienivå. Biologilärare kan därför förvänta sig stöta på en skara av dessa missuppfattningar. Denna litteraturstudie kan användas av lärare för att få information om de missuppfattningar som elever har om genetik, förbereda sig för hur de skall bemöta dessa missuppfattningar och få inspiration för olika undervisningsstrategier de kan använda i biologiundervisningen. Detta bör ge lärare, och därigenom gymnasieelever, bättre förutsättningar för fullständig och missuppfattningsfri inläring om genetik.

5.2 Slutsats

Alla delar av genetikerna är svårt för elever och missuppfattningarna är lika varierade som eleverna som bedömts. Modern genetik är generellt svårare för elever än Mendels genetik. Framför allt komplicerade processer och koncept som proteinsyntes och gener. Dessa svårigheter är både relaterade till molekylstrukturer och biokemiska processer. Mendels genetik är också svårt för elever och missuppfattningar uppstår där också. Missuppfattningar som att gener är partiklar som innehåller en egenskap eller att celler endast har de gener som behövs för dess specifika funktion är typexempel på missuppfattningar som demonstrerar att genuttryck är den av, om inte den, svåraste aspekten av genetik för elever. Genetikens höga komplexitet och abstrakta begrepp är den drivande faktor bakom att elever bildar missuppfattningar om genetiska koncept.

För att underlätta genetikundervisningen bland elever och korrigera missuppfattningar behöver elever engageras och bli mer aktiva och drivande i sitt lärande. För att uppnå detta kan lärare använda fysiska eller digitala modellverktyg, projektbaserat lärande och andra digitala hjälpmedel som datorprogram. Även anpassning av lärarens vokabulär och hur katederundervisningen och kurslitteraturen fokuserar och strukturerar kursinnehåll bör göras för att bättre tjäna elevernas lärande.

Tackord

Jag vill förmedla stort tack min handledare Ola Nordqvist. Ola har varit mycket generös med sin tid och Olas hjälp, råd och perspektiv har varit ovärderliga i processen att genomföra detta arbete.

Referenslista

- Alozie, N., Eklund, J., Rogat, A., & Krajcik, J. (2010). Genetics in the 21st Century: The Benefits & Challenges of Incorporating a Project-Based Genetics Unit in Biology Classrooms. *American Biology Teacher (National Association of Biology Teachers)*, 72(4), 225–230. <https://doi.org/10.1525/abt.2010.72.4.5>
- Ayodeji Temitope Ojo. (2024). Examination of Secondary School Students' Conceptual Understanding, Perceptions, and Misconceptions about Genetics Concepts. *Pedagogical Research*, 9(1).
- Bensley, D. A., & Lilienfeld, S. O. (2015). What Is a Psychological Misconception? Moving Toward an Empirical Answer. *Teaching of Psychology*, 42(4), 282–292. <https://doi.org/10.1177/0098628315603059>
- Biologi. (2022). *Biologi 22* [Text]. <https://www.skolverket.se/undervisning/gymnasieskolan/laroplan-program-och-amnen-i-gymnasieskolan/gymnasieprogrammen/amne>
- Chi-Yan Tsui, & Treagust, D. F. (2007). Understanding Genetics: Analysis of Secondary Students' Conceptual Status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 205–235. <https://doi.org/10.1002/tea.20116>
- Choden, T., & Kijkuakul, S. (2020). Blending Problem Based Learning with Scientific Argumentation to Enhance Students' Understanding of Basic Genetics. *International Journal of Instruction*, 13(1), 445–462. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13129a>
- Cimer, A. (2012). What Makes Biology Learning Difficult and Effective: Students' Views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 61–. <https://doi.org/10.5897/ERR11.205>
- Dar-Nimrod, I., & Heine, S. J. (2011). Genetic essentialism: On the deceptive determinism of DNA. *Psychological Bulletin*, 137(5), 800–818. <https://doi.org/10.1037/a0021860>
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61–84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Duncan, R. G., Castro-Faix, M., & Choi, J. (2016). Informing a Learning Progression in Genetics: Which Should Be Taught First, Mendelian Inheritance or the Central Dogma of Molecular Biology? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 445–472. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9568-3>
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th–10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655–674. <https://doi.org/10.1002/tea.20312>
- Ebenezer Yeboah Owusu, Joel Azuure Adongo, Emmanuel Boateng Agyare, & Kwaku Appiah-Kubi. (2023). Assessing the Impact of Integrating Information and Communication Technology on Senior High School Students' Achievement in Genetics. *International Technology and Education Journal*, 7(1), 18–27.
- Ellefson, M. R., Brinker, R. A., & Vernacchio, V. J. (2008). Design-Based Learning for Biology: Genetic Engineering Experience Improves Understanding of Gene

- Expression. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 36(4), 292–298.
<https://doi.org/10.1002/bmb.20203>
- Emmylou Aspacio Borja & Romel Cayao Mutya. (2024). Enhancing Student's Conceptual Understanding on the Patterns of Mendelian Genetics through Task-Based Learning. *Journal of Biological Education Indonesia (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(1), 107–114.
- Fauzi, A., Rosyida, A. M., Rohma, M., & Khoiroh, D. (2021). The difficulty index of biology topics in Indonesian Senior High School: Biology undergraduate students' perspectives. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 7(2), 149–158.
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v7i2.16538>
- Fisher, K. M. (1985). A Misconception in Biology: Amino Acids and Translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 53–62. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220105>
- Gericke, N. (2018). *Teaching biology in schools: Global research, issues, and trends*.
<https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.ub.gu.se/books/edit/10.4324/9781315110158/teaching-biology-schools-kostas-kampourakis-michael-reiss>
- Gericke, N., Hagberg, M., & Jorde, D. (2013). Upper Secondary Students' Understanding of the Use of Multiple Models in Biology Textbooks—The Importance of Conceptual Variation and Incommensurability. *Research in Science Education*, 43(2), 755–780.
<https://doi.org/10.1007/s11165-012-9288-z>
- Glaser, R., & Bassok, M. (1989). Learning Theory and the Study of Instruction. *Annual Review of Psychology*, 40(1), 631–666.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ps.40.020189.003215>
- Hackling, M. W., & Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 197–209. <https://doi.org/10.1002/tea.3660210210>
- Hee-Hyung Cho, Kahle, J. B., & Nordland, F. H. (1985). An Investigation of High School Biology Textbooks as Sources of Misconceptions and Difficulties in Genetics and Some Suggestions for Teaching Genetics. *Science Education*, 69(5), 707–719.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730690512>
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1007/BF00051837>
- Kara, Y., & Yesilyurt, S. (2007). Assessing the Effects of Tutorial and Edutainment Software Programs on Students' Achievements, Misconceptions and Attitudes towards Biology. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 8(2).
- Kibuka-Sebitosi, E. (2007). Understanding genetics and inheritance in rural schools. *Journal of Biological Education (Society of Biology)*, 41(2), 56–61.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656063>
- Kindfield, A. C. H. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education (Society of Biology)*, 25(3), 193.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1991.9655206>

- Knippels, M.-C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. Th. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education (Society of Biology)*, 39(3), 108–112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Law, N., & Lee, Y. (2004). Using an Iconic Modelling Tool to Support the Learning of Genetics Concepts. *Journal of Biological Education*, 38(3), 118–124. <https://doi.org/10.1080/00219266.2004.9655918>
- Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal Reasoning Ability and Misconceptions Concerning Genetics and Natural Selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 732–746. <https://doi.org/10.1002/tea.3660250904>
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195–206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Marbach-Ad, G., Rotbain, Y., & Stavy, R. (2008). Using Computer Animation and Illustration Activities to Improve High School Students' Achievement in Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 273–292. <https://doi.org/10.1002/tea.20222>
- Marra, R. M., Jonassen, D. H., Palmer, B., & Luft, S. (2014). Why Problem-Based Learning Works: Theoretical Foundations. *Journal on Excellence in College Teaching*, 25(3/4), 221–238.
- Michael, J. (2002). Misconceptions—What students think they know. *Advances in Physiology Education*, 26(1), 5–6. <https://doi.org/10.1152/advan.00047.2001>
- Mintz, R. (1993). Computerized Simulation as an Inquiry Tool. *School Science and Mathematics*, 93(2), 76–80. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1993.tb12198.x>
- Osman, E., BouJaoude, S., & Hamdan, H. (2017). An Investigation of Lebanese G7-12 Students' Misconceptions and Difficulties in Genetics and Their Genetics Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1257–1280. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9743-9>
- Roberg, E. (2004). Genetic Building Blocks. *Science Teacher*, 71(6), 24–29.
- Sadava, D. E., Hillis, D. M., Heller, H. C., & Hacker, S. D. (2017). *Life: The science of biology* (Eleventh edition). Sinauer Associates ; Macmillan Education.
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A Cross-Age Study of the Understanding of Three Genetic Concepts: How Do They Image the Gene, DNA and Chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6>
- Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, 178(3), 1157–1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>
- Smith Iii, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1994). Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115–163. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0302_1
- Starbek, P., Erjavec, M. S., & Peklaj, C. (2010). Teaching Genetics with Multimedia Results in Better Acquisition of Knowledge and Improvement in Comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(3), 214–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00344.x>

- Stern, F., & Kampourakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193–225.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
- Stern, F., Kampourakis, K., & Müller, A. (2023). “Genes for a role,” “genes as essences”: Secondary students’ explicit and implicit intuitions about genetic essentialism and teleology. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(2), 237–267.
<https://doi.org/10.1002/tea.21796>
- Tastan, I., Dikmenli, M., & Cardak, O. (2008). Effectiveness of the Conceptual Change Texts Accompanied by Concept Maps about Students’ Understanding of the Molecules Carrying Genetical Information. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(1).
- Thörne, K., & Gericke, N. (2014). Teaching Genetics in Secondary Classrooms: A Linguistic Analysis of Teachers’ Talk about Proteins. *Research in Science Education*, 44(1), 81–108. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9375-9>
- Wright, L. K., Catavero, C. M., & Newman, D. L. (2017). The DNA Triangle and Its Application to Learning Meiosis. *CBE—Life Sciences Education*, 16(3), ar50.
<https://doi.org/10.1187/cbe.17-03-0046>
- Wright, L. K., Cortez, P., Franzen, M. A., & Newman, D. L. (2022). Teaching meiosis with the DNA triangle framework: A classroom activity that changes how students think about chromosomes. *Biochemistry & Molecular Biology Education*, 50(1), 44–54.
<https://doi.org/10.1002/bmb.21583>
- Yang, C., Jen, C.-H., Chang, C.-Y., & Yeh, T.-K. (2018). Comparison of Animation and Static-Picture Based Instruction: Effects on Performance and Cognitive Load for Learning Genetics. *Educational Technology & Society*, 21(4), 1–11.