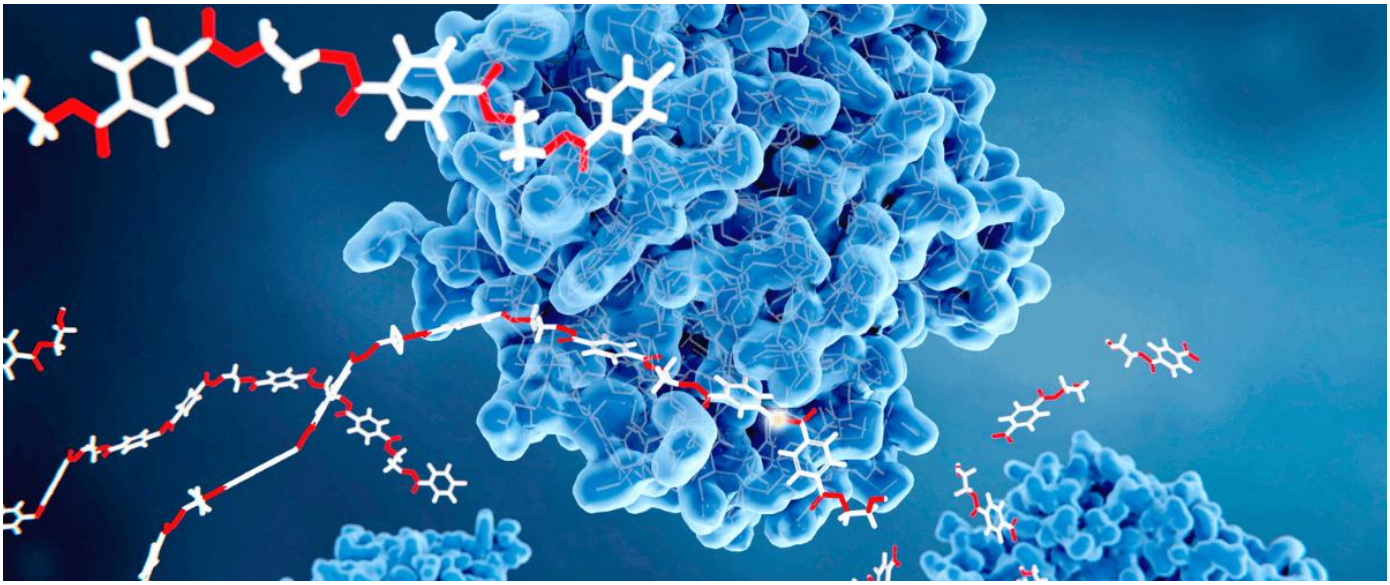
Porsgrunn
VIDEREGÅENDE SKOLE

Forskningsoppgave i Biologi 2

Kan en pille behandle laktoseintoleranse?



Figur 1: Enzymet laktase

Navn: Inghild Nåden

Klasse: 3STC

Fag: Biologi 2

Termin & år: 2025-2026

Innhold

Sammendrag **2**

Forord **2**

1. Innledning **3**

1.1 Bakgrunn 3

1.2 Avgrensning 4

1.3 Problemstilling 4

1.4 Disposisjon 5

2. Teori **5**

2.1 Hva er enzymer? 5

2.2 Enzymers oppbygging 6

2.3 Faktorer som påvirker enzymer 6

2.4 Hva er laktoseintoleranse? 7

3. Metode **8**

3.1 Bakgrunn for metode 8

3.2 Hypotese 9

3.3 Metode for det praktiske forsøket 9

3.4 Utstyrsliste 10

3.5 Variablene i forsøket 10

3.6 Svakheter ved metoden 11

3.7 Avfallshåndtering og risikovurdering 12

3.8 Bærekraft 13

4. Resultater **13**

4.1 Resultater presentert ved Combur teststrimler 13

4.2 Resultater presentert som en tabell 15

4.3 Resultater presentert i søylediagram 16

5. Analyse og drøfting **18**

5.1 Endring og måling av glukosekonsentrasjonen 18

5.2 Aktiveringsenergi og feilkilder 19

5.3 Kollisjonsteori 19

5.4 Hvor kan forskningen gå videre? 20

6. Konklusjon **21**

Kilder **22**

Sammendrag

Oppgaven undersøker hvordan enzymet laktase påvirker nedbrytningen av substratet laktose i melk. Den undersøker også hvordan enzymaktiviteten varierer med mengden tilsatt enzym.

Laktoseintoleranse skyldes at kroppen produserer lite eller ingen laktase, noe som fører til ubehag når laktose når tykktarmen. Teorien forklarer at enzymer fungerer som katalysatorer ved å senke aktiveringsenergien for kjemiske reaksjoner, og at enzymaktiviteten påvirkes av faktorer som temperatur, pH og konsentrasjon.

Forsøket ble gjennomført ved å tilsette ulike mengder av anbefalt laktasedose (0 %, 25 %, 50 %, 75 % og 100 %) til 200 mL melk og måle glukoseproduksjon over tid med Combur teststrips.

Resultatene viste at glukose i større grad dannes når enzymet tilsettes, men det var ingen tydelig sammenheng mellom endringer i enzymkonsentrasjonen og mengden produkt som ble dannet.

Analysen og drøftingen viser at enzymet fungerte som en katalysator. Feilkilder som temperaturvariasjon, målemetode og veiing av enzym svekket validiteten og påliteligheten av det eksperimentelle forsøket.

Konklusjonen er at laktasetabletter bidrar til nedbrytning av laktose, men forsøket gir ikke et presist svar på hvor stor andel av anbefalt dose som er nødvendig for å bryte ned glukosen i ett glass melk. Resultatene viser likevel at en pille kan ha en målbar effekt på biokjemiske prosesser.

Forord

Forskningsoppgaven har vært krevende og har bydd på flere utfordringer. Likevel har jeg hatt god støtte fra menneskene rundt meg som har gjort arbeidet mer overkommelig.

Jeg ønsker først og fremst å takke vennene mine og min familie som har tatt seg tid til å lese gjennom oppgaven og kommet med forslag til forbedringer.

Videre vil jeg rette en stor takk til veilederen min, Julianne Island for gode innspill og motivasjon gjennom hele prosessen. Jeg vil også takke henne for tilretteleggingen som gjorde det mulig å gjennomføre det praktiske forsøket på labben, som strakte seg over mange timer.

Til slutt vil jeg takke Porsgrunn videregående skole for tilgang til en godt utstyrt labb, som jeg også har hatt stor glede av i flere andre fag.

Inghild Nåden, 8. mars 2026

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

På verdensbasis er det svært mange som påvirkes av laktoseintoleranse, meg selv inkludert (Myrdal, 2025). Dette skapte en interesse for å undersøke hvordan laktoseintoleranse fungerer, og om symptomene kan behandles på noen måter.

I biologi 2 har vi lært at enzymet laktase bryter ned laktose. Personer med laktoseintoleranse produserer i liten eller ingen grad dette enzymet, noe som kan føre til ubehag når laktose ikke brytes ned som normalt (Myrdal, 2025). Laktasetabletter kan være et kosttilskudd som bidrar til å bryte ned laktose (Apotek 1, 2024).

Det er godt dokumentert at enzymaktiviteten øker logistisk når substratkonsentrasjonen økes, men mindre er det skrevet om endring i **enzymkonsentrasjonen**. Samtidig sier kilder mye forskjellig om hvilken dose med enzymet laktase man bør ta for å være sikker på at en gitt mengde laktose blir brutt ned.

For eksempel anbefaler produsenten at «1 til 2 tabletter tas sammen med måltidet som inneholder laktose. Kan tas daglig, selv over lengre perioder.» (Apotek 1, 2024). Disse anbefalingene er generelle og sier lite om hvor mye enzym som faktisk trengs for å bryte ned laktosen i en bestemt mengde melk.

På bakgrunn av dette ønsket jeg å undersøke hvor stor andel av en anbefalt dose laktase som er nødvendig for å bryte ned laktosen i ett glass melk (200mL).

1.2 Avgrensning

I denne oppgaven har jeg valgt å undersøke hvordan enzymaktiviteten til laktase varierer med enzymkonsentrasjon, målt ved hvor mye glukose som dannes når laktose brytes ned i melk. Jeg valgte å gjenta forsøket tre ganger for hver konsentrasjon (0 %, 25 %, 50 %, 75 % og 100 %) for å redusere tilfeldigheter.

Jeg forsøkte å begrense det praktiske eksperimentet til kun én uavhengig variabel, enzymkonsentrasjonen. Det hadde vært veldig interessant å undersøke både hvordan både pH og temperatur påvirker laktaseaktiviteten, men på grunn av begrenset tid, utstyr og ressurser forsøkte jeg å holde disse faktorene kontrollerte. Forsøket kan brukes som en svært forenklet modell for virkningen av enzymet laktase i fordøyelsen.

Innledningsvis ønsket jeg inkludere hvordan arv og evolusjon påvirker laktosetoleranse hos mennesker, men det ville gjort oppgaven for omfattende. Det hadde vært spesielt spennende for meg å undersøke om de asiatiske genene mine spiller en rolle i hvorfor jeg har laktoseintoleranse (Myrdal, 2025). Samtidig er det allerede gjort mye kompleks forsking innen dette feltet, og det hadde blitt vanskelig å gjennomføre et godt praktisk forsøk tilknyttet dette.

1.3 Problemstilling

Hovedproblemstillingen i oppgaven vil være: **Kan laktasetabletter bidra til nedbrytning av laktose i melk, og hvordan påvirkes enzymaktiviteten av endringer i enzymkonsentrasjonen?** Problemstillingen undersøkes ved å måle hvor mye glukose som dannes ved ulike enzymkonsentrasjoner (0 %, 25 %, 50 %, 75 % og 100 % av anbefalt dose, 2 tabletter).

For å få svar på dette er det noen forhold som må undersøkes, og dette kan konkretiseres ved disse delspørsmålene:

1. Hva er enzymer og substrater?

2. Hvilke faktorer kan påvirke enzymaktiviteten, og hvordan kan disse kontrolleres i et forsøk?
3. Hvordan oppstår laktoseintoleranse, og hvilken rolle spiller laktasemangel i dette?

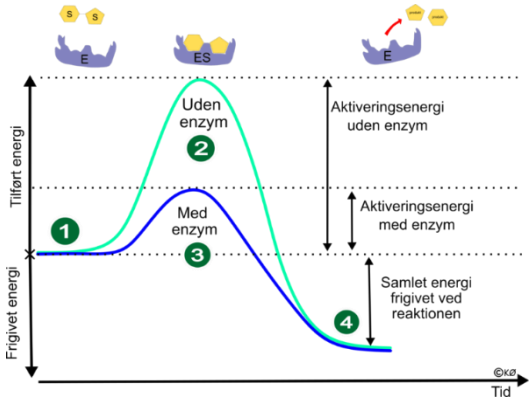
1.4 Disposisjon

Videre i denne oppgaven skal du lese om teori. Teorien er en essensiell del for å forstå hvordan enzymer fungerer, og påvirkes av ulike faktorer. Dette kapittelet blir viktig for analysen. Deretter kommer kapittelet metode som inneholder begrunnelser for valg på hvorfor arbeidsmetoden er slik den er. I dette kapittelet finner du også utstyrsliste og en oversikt over variablene i forsøket. Senere kommer resultatene presentert ved flere ulike modeller, som gjør funnene greie og oversiktlige. Til slutt analyserer og drøfter jeg resultatene, samt kommer med en konklusjon som prøver å svare på problemstillingen.

2. Teori

2.1 Hva er enzymer?

Enzymer er globulære proteiner som fungerer som en biologisk katalysator, og er sentrale i metabolske prosesser (Katalysator, 2011). En katalysator senker **aktiveringsenergien**, som er energien som kreves for å få en reaksjon til å skje (Grønlien, Tandberg, & Glørstad Tsigaridas, 2022, s. 293). For å forstå aktiveringsenergien bedre kan figur 2 være til nytte. Her ser vi at man trenger å tilføre en markant større mengde energi for at reaksjonen skal gå hvis enzymet ikke er til stede. Et eksempel på en slik reaksjon er å spalte stoffer eller å bygge opp stoffer. En katalysator forbrukes ikke i selve reaksjonen og kan derfor brukes om igjen (Allosterisk, 2011).



Figur 2: Modellen viser enzymer som påvirker aktiveringsenergien til en reaksjon. Toppunktet til graf 3, med enzym, er betraktelig mindre enn toppunktet til graf 2, uten enzym, noe som betyr at aktiveringsenergien senkes dersom det er enzym til stede. Aktiveringsenergi er energien som kreves for å få en reaksjon til å skje, noe som betyr at enzymer gjør at reaksjoner skjer lettere.

2.2 Enzymers oppbygging

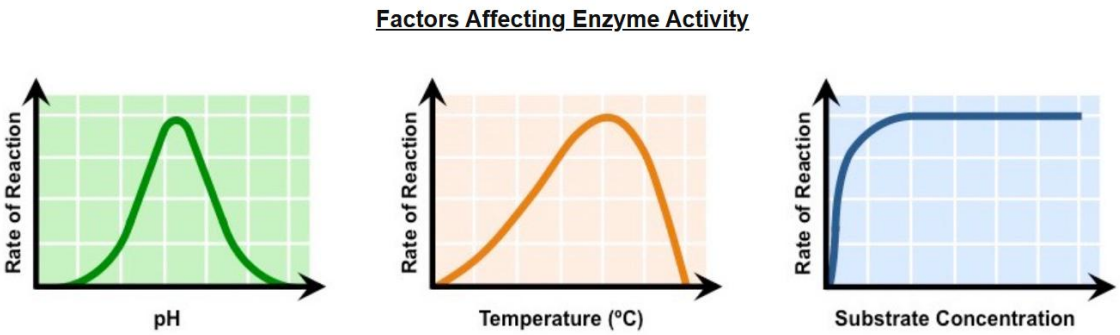
Alle enzymer har et **aktivt sete**, der enzymet binder seg til substratet. **Substratet** er stoffet enzymer virker på, eksempelvis er laktase et enzym og virker på substratet laktose. Noen enzymer har også allosterisk sete. Der kan enzymet binde seg til aktivatorer eller inhibitorer, noe som vil endre enzymaktiviteten (Allosterisk, 2011). I AQUA 2 nevnes det at noen enzymer bruker negativ tilbakekobling ved at sluttproduktet binder til det allosteriske setet, slik at farten på reaksjonen dempes (Steen, Fimland, & Juel, 2021, s.282).

Laktose er et disakkarid, og hensikten til enzymet laktase er å spalte sukkermolekylet til glukose og galaktose, $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ (Myrdal, 2018). Enzymet virker spesifikt på substratet laktose, og er avhengig av å kollidere med substratet ved det aktive setet for å danne et enzym-substratkompleks (Enzym, 2011).

2.3 Faktorer som påvirker enzymer

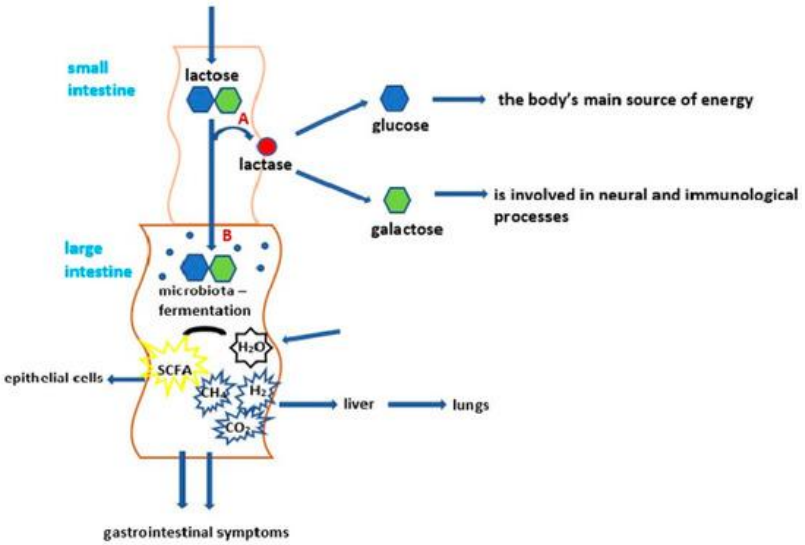
De mest vesentlige faktorene som påvirker **enzymaktiviteten** er temperatur, pH, konsentrasjon og inhibitorer. Dersom temperaturen øker, vil molekylene få mer bevegelse, og dermed økes sannsynligheten for at enzymet og substratet kolliderer ved det aktive setet, slik **kollisjonsteorien** sier. Derimot kan enzymet **denaturere** dersom temperaturen blir for høy, og denne prosessen er irreversibel (Grønlien, Tandberg, & Glørstad Tsigaridas, 2022, s. 295). Denaturering er når enzymet endrer form slik at det aktive setet og substratet ikke lenger passer sammen, og reaksjonen kan ikke lenger skje.

Pepsin som befinner seg i magesekken og er et eksempel på at enzymer også kan påvirkes av pH. Optimumet til enzymer beskriver hvilke forhold enzymer fungerer best ved. Hos pepsin er optimumet rundt pH= 1,0- 2,0 (Heda, Toro & Tombazzi, 2023) mens hos laktase er det et sted rundt pH= 6. Dette er logisk i forhold til hvor i kroppen enzymene befinner seg, da pepsin er et enzym som må tåle magesyre imens laktase er et enzym i tynntarmen (Verducci, 2018). Substratmengde påvirker enzymaktiviteten ved at sannsynligheten for at enzymet og substratet kolliderer ved det aktive setet øker. Dersom alle substratene er omdannet til enzym-substratkompleks vil ikke lenger enzymaktiviteten øke. Dette viser til hvor spesialiserte enzymer er, og hvorfor endring i miljø påvirker enzymene voldsomt, figur 3 gir oversikt over dette.



Figur 3: Figuren viser ulike faktorer som påvirker enzymaktivitet. Vi ser tre faktorer med ulike grafer: pH, temperatur og substratkonsentrasjon. Y-aksen forteller oss hvor godt reaksjonen fungerer. X-aksen representerer de ulike faktorene. 1) Grafen til pH vokser og synker kraftig rundt toppunktet, som tydes til at pH-verdi er en viktig faktor for at reaksjonen skal fungere godt. 2) Grafen til temperatur har slakere gjennomsnittlig vekst, men brattere nedgang og treffer x-aksen tidlig. Dette er fordi enzymet denatureres, altså endrer det aktive setets form, ved en viss temperatur og reaksjonen kan ikke lenger skje. Grafen har vekst fordi økt temperatur gir økt reaksjonsfart, som igjen øker sjansen for gunstige kollisjoner. 3) Substratkonsentrasjonens graf viser markant vekst fra start og har ingen reduksjon i reaksjonsrate. Ved økning i substratmengde øker sannsynligheten for gunstige kollisjoner mellom substrat og enzym. Grafer slutter å vokse fordi etter en viss konsentrasjon har alt reagert og raten kan ikke lenger øke.

2.4 Hva er laktoseintoleranse?



Figur 4: Diagram over laktosefordøyelse med laktaseenzym (A) og uten laktaseenzym (B). Illustrasjonen presenterer de to utfallene.

«Ved laktoseintoleranse passerer laktose (melkesukker) ufordøyd gjennom tynntarmen og videre til tykktarmen som følge av lav aktivitet av laktase (enzymet som skal bryte ned laktose). I tykktarmen blir laktose nedbrutt av bakterier og denne prosessen kan gi luftsmerter og endret avføring» (Helsedirektoratet, 2018). Den lave aktiviteten av enzymet laktase kan skyldes at genkoden for aminosyrene som bygger opp proteinet ikke utrykkes (Hauge & Vaaje-Kolstad & ,2025). Vi kan dermed si at laktoseintoleranse er en del av DNA-et og dermed er i stor grad arvelig.

Fra figur 4 ser vi to ulike utfall: I utfall A møter laktosen enzymet laktase og brytes ned i tynntarmen, hvor produktene glukose og galaktose har nøytrale eller positive effekter på kroppen. I utfall B havner laktosen i tykktarmen, der substratet møter bakterier, fermenterer og danner gasser og andre plagsomme stoffer. Disse stoffene har negativ effekt på kroppen.

3. Metode

3.1 Bakgrunn for metode

Laktose er et sukker som naturlig befinner seg i melk. Dette sukkeret kan skape plager hos mennesker dersom det ikke blir brutt ned før det når tykktarmen. Jeg ønsket derfor å bruke en kvantitativ metode for å undersøke hvor mye laktase enzym som kreves for å bryte ned en kontrollert mengde laktose, i dette tilfelle ett glass melk (200mL).

Som vi har sett på i teorien er det flere faktorer som påvirker enzymaktiviteten, og det ble forsøkt å holde alle kontrollerte utenom mengden enzym. Siden enzymet laktase befinner seg i tynntarmen (Nisi Myrdal, 2024), endrer jeg ikke pH-en i melken. Dette er fordi øvre del av tynntarmen, kalt tolvfingertarmen, slipper ut bukspyttet, og blandes med magesyra. Magesyren er veldig sur, men bukspyttet er basisk og en blanding av disse blir nær nøytral (Aurebekk et al. 2021). Derfor ser jeg ikke det nødvendig å endre pH i dette forsøket.

Dersom jeg skulle undersøkt et annet enzym, som pepsin, hadde det vært nødvendig å endre pH. Dette er fordi nøytral pH vil være utenfor virkningsområdet til enzymet, og reaksjonen kunne ikke skjedd (Heda, Toro & Tombazzi, 2023).

Som beskrevet i teorien kan temperatur i stor grad påvirke enzymaktiviteten. Vi vet at kroppstemperaturen er rundt 37°C, og BBC sier at enzymer fungerer best ved denne temperaturen (BBC Bitesize, u.d.). Temperatur ble også forsøkt å holde konstant under forsøket, men det viste seg å være noen problemer ved dette. Starttemperaturen til melken var kjølig fordi den hadde stått i kjøleskapet, så under forsøket da det sto i romtemperatur økte temperaturen litt. Samtidig kan det diskuteres om dette ville vært realistisk, da de fleste drikker kald melk rett fra kjøleskapet.

Jeg forsøkte å finne en veiledning på hvor mye del av tabletten man måtte tatt for å bryte ned en gitt mengde med laktose, men de få kildene jeg fant var unøyaktige. Produsenten NYCOPRO skriver: «Lactrase splitter melkesukker (laktose) i mindre sukkerenheter, glukose og galaktose, som kan tas opp i tarmen. En engangsdose på 1–2 kapsler/tabletter splitter 15–30 g laktose. Et stort glass melk inneholder eksempelvis ca 10g laktose.» (Apotek 1, 2024). Siden området vi skal undersøke er bredt, er en kvantitativ metode med mange målinger og resultater passende.

Produsenten ønsker selvfølgelig å tjene penger på produktet sitt, men jeg ønsker å spare penger, og vil derfor ikke ta større dose enn nødvendig. Derfor er målet med det praktiske forsøket å finne ut hvor mye laktasetablett man er nødt til å ta dersom man skal bryte ned laktosen i et glass melk.

3.2 Hypotese

På bakgrunn av teorien er det krevende å forutsi nøyaktig hvilken prosentandel av anbefalt laktasedose som er nødvendig for å gjøre ett glass laktoseholdig melk «laktosefri». Likevel tilsier kollisjonsteori at økt enzymkonsentrasjon vil føre til flere kollisjoner og dermed en høyere konsentrasjon av glukose.

Hypotesen min blir derfor at tilsetning av laktase vil føre til økning i glukosekonsentrasjonen. Jeg tror også at høyere enzymkonsentrasjon vil gi raskere og mer nedbrytning av laktose enn ved en lavere tilsatt enzymdose.

3.3 Metode for det praktiske forsøket

1. Merket fem begerglass med enzymkonsentrasjonene 0 %, 25 %, 50 %, 75 % og 100 %.
2. Målte glukosekonsentrasjonen i laktosefri melk med glukosestrips for å fastsette en referanseverdi for ferdig spaltet laktose.
3. Åpnet to laktasekapsler og veide pulveret på digital vekt, direkte i begerglasset. Denne massen ble definert som 100 % enzymdose.
4. Delte enzympulveret opp i 0% 25 %, 50 %, 75 % og 100 % av enzymdosen og tilsatte riktig mengde i hvert begerglass.
5. Målte opp 200 mL Tine lettmelk i hvert begerglass ved hjelp av målesylinder.

6. Målte temperaturen på melken ved forsøksstart.
7. Rørte forsiktig med rørepinne i alle begerglassene i 30 sekunder for å sikre jevn fordeling av enzymet i melken.
8. Startet stoppeklokken da røringen var ferdig.
9. Målte glukosekonsentrasjonen i hvert begerglass ved tidspunktene 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45 og 60 minutter ved hjelp av glukosestrips.
10. Målte temperatur ved forsøksslutt
11. La glukosestripsene systematisk på et ark.
12. Gjentok hele forsøket tre ganger for hver enzymkonsentrasjon for å redusere tilfeldige feil.

3.4 Utstyrsliste

- 15 Begerglass (250mL)
- 121 Glukosestrips
- 3 Rørepinner
- Tidtaker
- 3,0L Melk (Tine lettmelk 0,5% fett)
- 15 Laktasetabletter
- 3 Målekolber (200mL)

3.5 Variablene i forsøket

Tabell 1: Oversikt over avhengige, uavhengige og kontrollerte variabler i forsøket.

Type variabel	Variabel	Forklaring
Uavhengig	Mengden laktase (%)	Mengden laktase ble bevisst endret (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) for å undersøke hvordan det påvirker nedbrytningen av laktose i melk.

Avhengig	Glukosemengde (mmol/L)	Mengden glukose som ble dannet over tid ble målt i mmol/L ved hjelp av Combur teststrips for å se hvor mye laktose som ble brutt ned til glukose.
Kontrollert	Mengde melk (substrat)	Samme mengde melk (200 mL) ble brukt i alle forsøkene.
Kontrollert	pH	pH ble holdt omtrent konstant rundt 6,0-7,0 under hele forsøket.
Kontrollert	Tid	Målingene ble gjort på tidspunktene: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45 og 60 minutter.
Kontrollert	Temperatur	Temperaturen holdt seg på ca. 12–17 °C under forsøket.

3.6 Svakheter ved metoden

Svakheter ved den kvantitative metoden jeg har brukt er at det var flere variabler som var krevende å holde kontrollerte, spesielt temperatur. Dette kan ha påvirket resultatene og dermed redusert reliabiliteten, fordi temperaturforskjeller kan føre til annerledes resultater for dem som skal etterprøve forsøket. Samtidig er temperatur en av hovedfaktorene som påvirker enzymaktiviteten, slik beskrevet i teorien.

Det var en del informasjon jeg ønsket å inkludere i teoridelen, blant annet hvor lang tid det tar før melk når tykktarmen. Det viste seg å være få kilder som diskuterte dette, og de kildene som gjorde det oppga svært varierende informasjon, alt fra fem minutter til én time. Denne usikkerheten kan ha påvirket validiteten fordi det blir vanskeligere å vite om tidspunktene faktisk samsvarer med når reaksjonen ville skjedd i kroppen.

Jeg valgte derfor å ta utgangspunkt i egen erfaring siden jeg selv har opplevd symptomene når laktose reagerer med bakterier i tykktarmen. Basert på dette anslo jeg at magesmertene vanligvis oppstår rundt 20 minutter etter inntak. Derfor ble intervallene mellom målingene kortere frem til 30 minutter enn etter dette tidspunktet. Dette kan ha reduseret både validiteten og reliabiliteten sammenlignet med vitenskapelige data.

3.7 Avfallshåndtering og risikovurdering

Tabell 2: Tabellen viser en oversikt over mulige risikoer i forsøket med laktase og melk. De fleste risikoene har lav til middels sannsynlighet og konsekvens. Enkle tiltak som forsiktig arbeid og bruk av verneutstyr reduserer risikoen.

Risiko	Sannsynlighet	Konsekvens	Tiltak for å redusere risiko
Bruk av laktase tablett	Middels/(lav)	Middels	Ikke puste inn pulver, dersom man er sensitiv til pulver kan man bruke ansiktsmaske. Ikke innta unødvendige mengder med enzym.
Knust glass	Lav	Middels	Knust glass kan føre til kuttskader dersom noen tråkker på det eller tar på det. Det er viktig å være forsiktig på labben.
Hudkontakt med melk	Middels	Lav	Unngå direkte kontakt, bruke hansker hvis nødvendig og vaske huden etterpå. Bruke lab frakk
Søl på bord eller klær	Høy	Lav	Jobbe forsiktig, bruke papir og tørke opp søl med en gang, slik at man ungår bakterievekst.

Avfall fra forsøket må håndteres på en trygg og ryddig måte. Combur strips og annet fast avfall kastes i restavfall. Melk og annet flytende biologisk avfall kan helles forsiktig i vasken og skylles godt ned med rikelig vann, slik at det ikke blir liggende igjen rester. Eventuelt søl på bord eller klær tørkes opp med papir, som deretter kastes i restavfall. Etter forsøket er det viktig å vaske alt utstyr grundig, samt vaske hendene, for å sikre god hygiene og unngå lukt eller bakterievekst.

3.8 Bærekraft

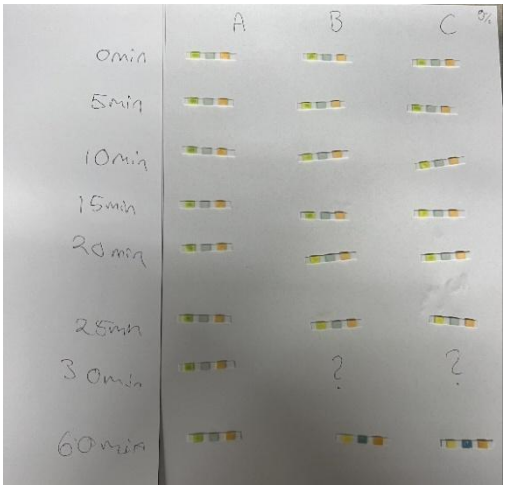
Forsøket kan vurderes som relativt bærekraftig, men har også noen forbedringspunkter. På den positive siden brukes det ingen farlige kjemikalier, og både melk og laktase er biologiske og nedbrytbare stoffer som ikke skader miljøet i små mengder. Melken som ble brukt, Tine lettmelk, er produsert i Norge, noe som kan bidra til lavere transportutslipp sammenlignet med importerte produkter. Avfallet som produseres er derfor lite miljøskadelig, spesielt siden flytende avfall kan skylles ut med vann.

Samtidig er det et visst ressursforbruk knyttet til forsøket. Det ble brukt en del melk (3,0L), som er en matressurs med klimafotavtrykk. Det ble brukt mange glukosestrips, som er engangsutstyr og skaper avfall. I tillegg ble forsøket gjentatt flere ganger for å øke reliabiliteten, noe som også øker ressursbruken.

For å gjøre forsøket mer bærekraftig kunne man redusert mengden melk per prøve eller brukt færre repetisjoner, dersom det fortsatt gir pålitelige resultater. Man kunne også vurdert alternative målemetoder som gir mindre avfall. Alt i alt er forsøket ganske skånsomt for miljøet, men det er fortsatt mulig å redusere ressursbruk og avfall for å gjøre det enda mer bærekraftig.

4. Resultater

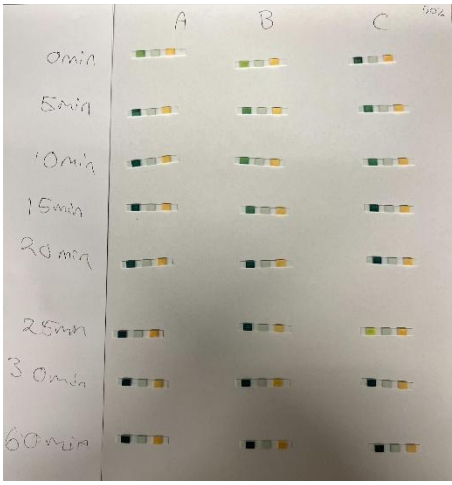
4.1 Resultater presentert ved Combur teststrimler



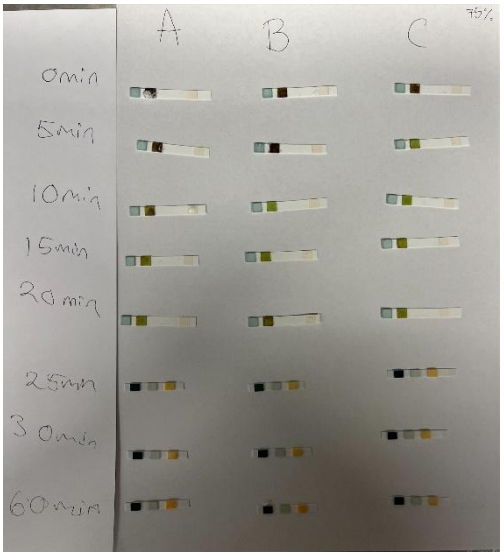
Figur 5: Mengde glukose målt i tre begerglass (A, B og C) med 0 % tilsatt laktase i tidsrommet 0–60 minutter. Den fargede ruten til venstre viser glukosemålingen. To målinger mangler for begerglass B og C ved 30 minutter.



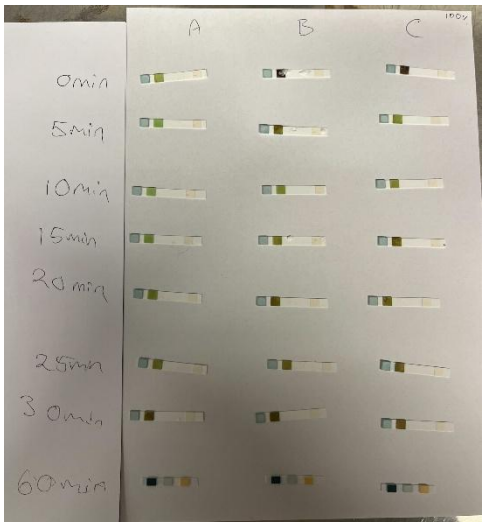
Figur 6: Mengde glukose målt i tre begerglass (A, B og C) med 25 % tilsatt laktase dose i tidsrommet 0–60 minutter. Den fargede ruten til venstre viser glukosemålingen.



Figur 7: Mengde glukose målt i tre begerglass (A, B og C) med 50 % tilsatt laktase dose i tidsrommet 0–60 minutter. Den fargede ruten til venstre viser glukosemålingen.



Figur 8: Mengde glukose målt i tre begerglass (A, B og C) med 75% tilsatt laktase dose i tidsrommet 0–60 minutter. Den fargede ruten til høyre frem til minutt 20 viser glukosemålingen, og ved minutt 30 og utover er det den fargede ruten til venstre som viser glukosemålingen.



Figur 9: Mengde glukose målt i tre begerglass (A, B og C) med 100% tilsatt laktase dose i tidsrommet 0–60 minutter. Den fargede ruten til høyre frem til minutt 30 viser glukosemålingen, og ved minutt 60 og utover er det den fargede ruten til venstre som viser glukosemålingen.



Figur 10 viser etikettene til Combur test stripsene. Vi kan se at brun og mørkeblå farge tilsvarer høy konsentrasjon med glukose. Vi ser også at grønn og gul farge tilsvarer lite glukose.

4.2 Resultater presentert som en tabell

Tabell 3: Gjennomsnittet ($\frac{A+B+C}{3}$) av rådataen fra figur 5-9 kvantifisert i en tabell. Viser hvordan mengden glukose varierer med andel laktasedose målt over 60 minutter. Skalaen går fra 0,0-5,0 og er basert på Combur fargeskala, se figur 10 og 11.

	Andel laktasedose i prosent				
Tid i minutter	**0,0%**	**25%**	**50%**	**75%**	**100%**
0,0 min	0,5	3,0	2,0	4,0	4,0
5,0 min	0,5	3,0	3,0	3,0	2,0
10 min	0,0	3,0	3,0	2,0	2,0
15 min	0,0	4,0	3,0	3,0	3,0
20 min	0,0	4,0	4,0	4,0	3,0
25 min	0,0	4,0	4,0	5,0	3,0
30 min	0,0	5,0	5,0	5,0	4,0
60 min	0,0	5,0	5,0	5,0	5,0

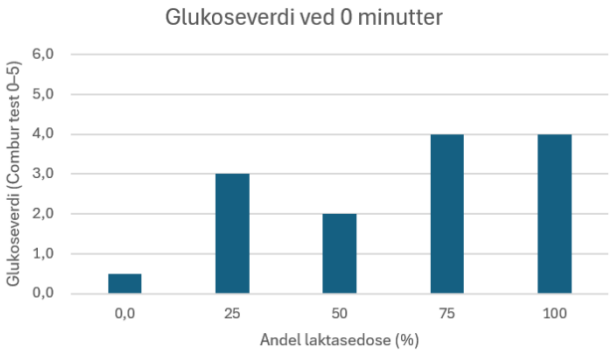
For å gjøre resultatene mer sammenlignbare kvantifiserte jeg fargeendringene på teststripsene (Combur test) ved hjelp av en skala fra 0,0 til 5,0 basert på produsentens fargeskala, se figur 10. Verdien 5 tilsvarer høyere konsentrasjon av glukose på 56 mmol/L og en brun/mørkeblå farge. Verdien 0,0 tilsvarer lav glukosekonsentrasjon, rundt 2,8 mmol/L og gir gul/grønn farge. Kontrollprøven med Tine laktosefri melk ga brun farge, altså verdi 5,0 på skalaen.

Resultatene er likevel omtrentlige siden vurderingen er basert på observasjoner fra bilder og det var til tider vanskelig å skille fargene tydelig.



Figur 11: Combur test strips for Tine laktosefri melk. Vi kan observere at den har et høyt innhold glukose, tilsvarende 5,0 på skalaen.

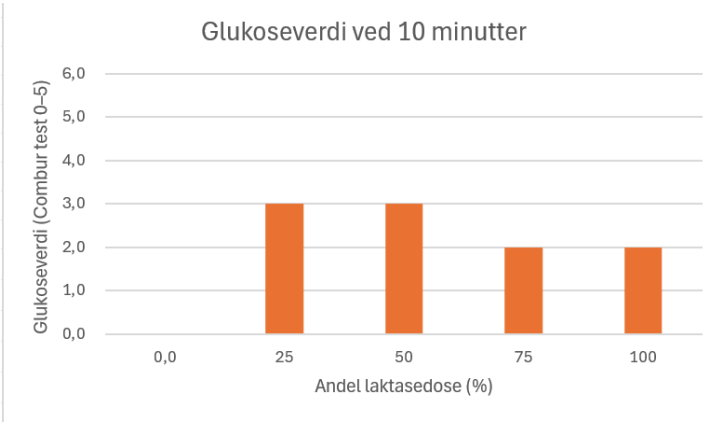
4.3 Resultater presentert i søylediagram



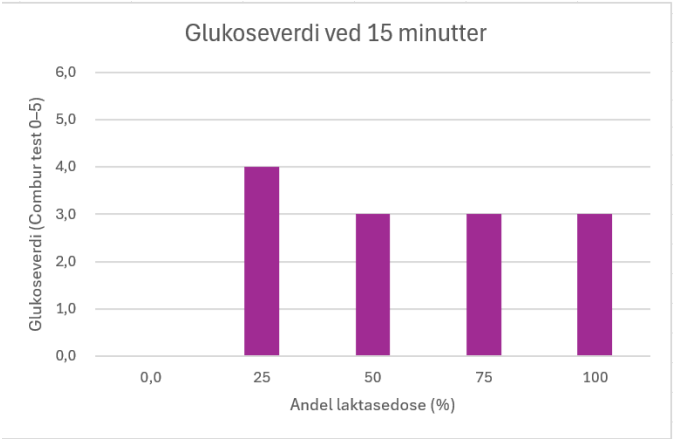
Figur 12. Glukoseverdi målt ved starttidspunktet (0 minutter) for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5) og viser glukoseinnholdet i prøvene ved starten av reaksjonen.



Figur 13. Glukoseverdi målt ved 5 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



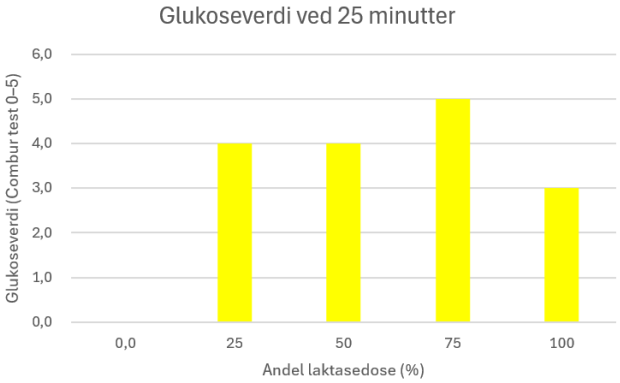
Figur 14. Glukoseverdi målt ved 10 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



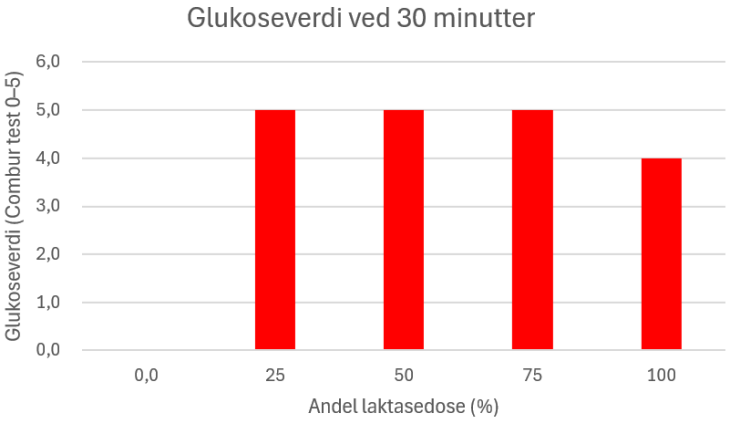
Figur 15. Glukoseverdi målt ved 15 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



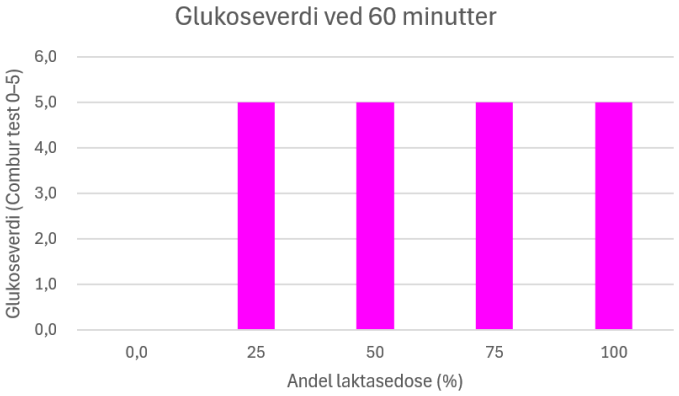
Figur 16. Glukoseverdi målt ved 20 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



Figur 17. Glukoseverdi målt ved 25 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



Figur 18. Glukoseverdi målt ved 30 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5).



Figur 19. Glukoseverdi målt ved 60 minutter for ulike andeler laktasedose (0–100 %). Verdiene er målt med Combur-test (skala 0–5.

5. Analyse og drøfting

5.1 Endring og måling av glukosekonsentrasjonen

Forsøket knyttet sammen teori og praksis. Vi kunne observere ved alle begerglassene der det ble tilsatt laktase at det skjedde en tydelig endring i konsentrasjonen av glukose. Dette vises ved hjelp av Combur teststrimlene (se figur 5–10). Ut fra figurene var det likevel krevende å kvantifisere resultatene og føre dem nøyaktig inn i en tabell. Derfor kunne det vært gunstig å notere resultatene med en gang, men for å kunne klart det hadde jeg trengt en assistent. For å styrke validiteten på kvantifiseringen kunne det vært lurt å hatt flere personers tolkninger av figurene 12-19, for å forbedre tabell 2.

En annen feilkilde kan ha vært at jeg underveis i forsøket måtte bytte fra ett merke Combur teststrimler til et annet, se forskjell mellom strips som blir brukt i figur 6 kontra figur 9. Ved den ene testen indikerte brun farge høy glukosekonsentrasjon, mens ved den andre testen var det mørkeblå farge som viste høy konsentrasjon. Dette førte til at det var vanskeligere å kvantifisere resultatene i tabell 2.

Samtidig er Combur-testen en unøyaktig målemetode, fordi den kun måler glukose innenfor et begrenset område (2,8-56 mmol/L). Glukosekonsentrasjonen i et glass laktosefri melk kan være betydelig høyere enn dette målområdet, noe som innebærer at testen ikke kan si noe om melken er laktosefri eller ikke. For å unngå denne feilkilden burde dette blitt undersøkt på forhånd, og metoden burde vært tilpasset målområdet til Combur-testen. En mulig løsning kunne vært at melken ble fortynnet.

Til tross for dette finnes det sannsynligvis bedre metoder for å måle produksjonen av glukose. En av disse kan være bruk av blodsukkermåler. Forhåpentligvis ville blodsukkermåleren gitt et nøyaktig tall for hvor mye glukose som er dannet, men vi vet ikke om den hadde klart å måle andre væsker enn blod. Utfordringen ville vært at 50 teststrimler koster et sted mellom 300-400kr. Dette ville gjort forsøket mye dyrere, men dersom man hadde hatt midlene til dette hadde det vært en presis og interessant metode å teste.

5.2 Aktiveringsenergi og feilkilder

Teorien som omhandlet aktiveringsenergi må stemme fordi ved 0% tilsatt dose ble det i svært liten grad dannet glukose, mens de andre begerglassene, der det ble tilsatt enzym, ble det dannet glukose i større grad. Dette betyr at aktiveringsenergien med enzymet laktase ble senket, og reaksjonen kunne skje slik at glukose ble dannet. Resultatene viser også at enzymet laktase sannsynligvis ikke ble brukt opp. Ved 60 minutter hadde alle begerglassene som ble tilsatt enzymet dannet mye glukose, altså verdien 5,0 på skalaen, se tabell 2. Dette tyder på at løsningen nådde et metningspunkt at laktasen ikke kunne reagere med mer laktose, og mengden substrat var den begrensende reaktanten. Likevel vet vi ikke om endepunktet (5,0) på vår skala tilsvarer mengden glukose i et glass laktosefri melk.

Selv om alle begerglassene som ble tilsatt enzym målte brune eller mørkeblå etter 60 minutter, blir det mer relevant å se på resultatene mellom 20-30 minutter. Et overaskende resultat er at målingen for begerglasset med 100% tilsatt enzym måler lavere enn ved 25%-75% tilsatt dose, se figur 16-18. Det ble ved 100% tilsatt dose brukt en annerledes Combur teststrips enn ved de fleste andre målingene, noe som kan ha påvirket sammenlignbarheten mellom prøvene.

I tillegg oppstod en mulig feilkilde under veiingen av enzymet. 100 %-dosen var det begerglasset som ble laget først, og enzympulveret ble da veid i et veieskip. Pulveret var veldig fint og noe av det ble liggende igjen i veieskipet i stedet for å bli overført til begerglasset. Senere i forsøket ble tabletten målt direkte i begerglasset for å redusere denne feilkilden. På bakgrunn av kollisjonsteorien er det rimelig å anta at en lavere enzymmengde ville ført til at færre enzymer var tilgjengelige til å senke aktiveringsenergien i reaksjonen, slik at mindre glukose ville blitt dannet, noe som resultatene også tilsier.

5.3 Kollisjonsteori

Uten at enzymet og substratet kolliderer ved det aktive setet skjer ikke reaksjonen, men ifølge kollisjonsteorien vil en økning i enzymmengde føre til en høyre sannsynlighet for flere kollisjoner. Dette vil gi en større produksjon av enzym-substratkomplekser og resulterer i en høyere konsentrasjon glukose. Vi kunne observere dette fenomenet i noe grad, men ifølge teorien skulle det skjedd en betydelig større økning fra 25% til 100% av dosen. Hvis vi studerer figur 16-18 kan vi se at ved 20-30 minutter er søylen til 75% av dosen større eller lik 0-50% tilsatt dose. Dette indikerer at det har skjedd flere kollisjoner enn ved de nevnte dosene. Dette kan samsvare

med teorien om at flere kollisjoner vil skje ved en høyere tilsetning av enten substrat eller enzym, og her er mengden substrat kontrollert og konstant.

Temperatur er en faktor som kan påvirke reaksjonshastigheten, som følge av kollisjonsteorien. Når molekylene får tilført energi, øker den kinetiske energien som fører til mer bevegelse blant molekylene. Dette gjør at sannsynligheten for at det skjer en geometrisk gunstig kollisjon øker. Samtidig er temperaturoptimumet til laktase rundt 37 grader, da det er et enzym som naturlig befinner seg i kroppen. Temperaturen til melka var langt under kroppstemperatur. En annen feilkilde i forsøket vil være at temperaturen ikke var konstant for alle prøvene. Temperaturen på melka starta som kjøligere fordi den hadde vært i kjøleskapet. Dette kan ha påvirket resultatene fordi den første prøven jeg gjorde var for 100% dose. Resultatene var lavere enn forventet, og det kan skyldes færre gunstige kollisjoner, på grunn av lavere kinetisk energi ved molekylene.

I forsøket ble blandingen av enzym og melk kun rørt sammen i starten. Det sikrer en homogen løsning i det øyeblikket, men ikke over tid. I etterkant av forsøket har jeg funnet ut at tarmen beveveger seg i sammentrekkende bevegelser (Aabakken, 2026). Dette vil si at metoden er lite simulerende i forhold til hvordan tarmbevegelsene faktisk er. Det kunne vært gunstig med en magnetrører som holder sirkulasjonen i gang, slik at forholdene blir likere kroppens bevegelser. Samtidig ville en magnetrører bare gi jevn omrøring, og ikke den bølgeformede bevegelsen som faktisk skjer i tarmen.

5.4 Hvor kan forskningen gå videre?

Bioteknologi kan i fremtiden kanskje kurrere laktoseintoleranse. Ved hjelp av DNA-sekvensering kan man identifisere mutasjoner i genet som koder for aminosyrene som bygger opp enzymet laktase (Haugen & Sonnenberg, 2024). Metoder som Crispr kan i fremtiden kanskje brukes til å endre baserekkefølgen i dette genet slik at laktaseenzym kan produseres. Dette kunne gjort det mulig å endre DNA-et som koder for laktoseintoleranse, fremfor å kun behandle symptomene med laktasetabletter. Tablettene er dyre og gir ingen permanent løsning, samtidig som tilfeldigheter spiller en rolle. Enzymet er som nevnt avhengig av å kollidere ved substratet i det aktive setet, og det kan være helt tilfeldig.

Samtidig kunne det vært relevant å besøke en fabrikk som produserer laktosefri melk, og se hvordan de bruker enzymer i denne prosessen. Å se hvordan fabrikkene optimaliserer forholdene for å lage laktosefri melk hadde vært veldig lærerikt. Det kunne gitt en oppklaring på hvor mange

millimol/L glukose og galaktose som et glass melk bør inneholde for å være «laktosefri». Forhåpentligvis kunne de også vist hvilke metoder de bruker for å måle glukose- og galaktosenivåene, slik at metoden i forsøket kan forbedres.

6. Konklusjon

Hensikten med forskningsoppgava var å studere om enzymet laktase har en innvirkning på disakkaridet laktose. Målet med metoden var å undersøke om vi kan lage «laktosefri» melk, og undersøke hvordan endring i enzymmengdenpåvirker enzymaktiviteten.

Resultatene er ikke gyldige på grunn av alle feilkildene, som for eksempel temperatur, måletrøbbel og veiing. Til tross for feilkildene kan vi se at det har skjedd en tydelig endring i konsentrasjonen av glukose i begerglassene der det ble tilsatt enzym. Dette betyr at enzymene virker som katalysator og bryter ned laktase til monosakkarider. Vi kan derfor konkludere med at hypotesen delvis er besvart. Resultatene viste at glukose ble dannet, men det var ingen tydelig sammenheng mellom endringer i enzymkonsentrasjonen og mengden produkt som ble dannet. Kollisjonsteorien tilsier at vi skulle sett en tydeligere trend og at mer enzym ville ført til større mengde glukose.

For å svare på problemstillingen kan vi konkludere med at laktasetablettene bidrar til nedbryting av laktose. Likevel kunne vi ikke se en tydelig trend ved endringer i enzymkonsentrasjon (25%-100%). Dermed gir ikke forsøket et presist svar på hvor stor andel av anbefalt dose som er nødvendig. Det eksperimentelle forsøket viser likevel at en pille kan påvirke en biokjemisk prosess.

Kilder

Aabakken, Lars. (2024, 25. november). *Tarmmotilitet*. I Store medisinske leksikon. Hentet 3. mars 2026 fra https://sml.snl.no/tarmmotilitet

Allosterisk. (2011, 4. februar). *Kunnskapsleksikon i plantefysiologi*. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/a/alloster.html

Apotek 1. (u.å.). *Nycopro laktase tabletter 60 stk*. Hentet 4. mars 2026 fra https://www.apotek1.no/produkter/nycopro-laktase-tabletter-60stk-874995p

Aurebekk, B. E., Bønes, Ø., Bedin, T. (2021, 26. oktober). *Fordøyelsen*. NDLA. https://ndla.no/r/biologi-1/fordoyelsen/44c1058894

BBC Bitesize. (u.d.). *Factors affecting enzyme action*. BBC. https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z9jrng8/revision/3

Enzym. (2011, 4. februar). *Kunnskapsleksikon i plantefysiologi*. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/e/enzym.html#:~:text=pH%20p%C3%A5virker%20ogs%C3%A5%20enzymaktiviteten%20og,hele%20biosynteseveien%20i%20ett%20trinn

Grønlien, H. K., Tandberg, C., & Glørstad Tsigaridas, K. (2022). *Bi2* (R. Bach, Red.). Gyldendal.

Hauge, J. G., Vaaje-Kolstad, G., & Kierulf, P. (2025, 24. februar). *Enzymer*. Store norske leksikon (Red.). https://snl.no/enzymer

Heda, R., Toro, F., & Tombazzi, C. R. (2023, 1. mai). *Physiology, pepsin*. I **StatPearls**. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537005/

Katalysator. (2011, 4. februar). *Kunnskapsleksikon i plantefysiologi*. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/k/katalysator.html

Myrdal, C. N. (2025, 27. februar). *Laktoseintoleranse*. Store medisinske leksikon (Red.). https://sml.snl.no/laktoseintoleranse

Nilsen Haugen, Marianne; Bækkedal Sonnenberg, Cecilie. (2024, 25. november). *DNA-sekvensering*. I Store norske leksikon. Hentet 3. mars 2026 fra https://snl.no/DNA-sekvensering

Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2021). *AQUA 2* (J. K. Anda, Red.). Gyldendal.

Verducci, M. (2018, 5. mai). *Optimal conditions for the efficacy of the lactase enzyme – Scientific article*. Lactosolution. https://www.lactosolution.com/en/blog/lactase/optimal-conditions-for-the-efficacy-of-the-lactase-enzyme-scientific-article#blog-author

Figur 1. Lactolerance.fr. (u.å.). *Mangel an dem Enzym Laktase: Welche Auswirkungen hat das auf Ihre Verdauung?* [Figur]. Hentet 3. mars 2026 fra https://www.lactolerance.fr/blog/de/laktase/?srsltid=AfmBOopWggr7H7OK-Vx4xoUqAwDA1PY-Fk-y0npUVF8UNKg8GBqtPesA

Figur 2. Det er godt at vide. (u.å.) *Reaktionen skal bruge energi for at blive sparket i gang – aktiveringsenergi* [Figur]. https://www.detergodtatvide.dk/enzymer/

Figur 3. BioNinja. (u.å.). *Factors Affecting Enzyme Activity* [Figur]. https://old-ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-8-metabolism-cell/untitled-6/enzyme-kinetics.html

Figur 4. Kowalówka, M., Kosewski, G., Lipiński, D., Przysławski, J. (15. juni 2023). A Comprehensive Look at the -13910 C>T LCT Gene Polymorphism as a Molecular Marker for Vitamin D and Calcium Levels in Young Adults in Central and Eastern Europe: A Preliminary Study [Figure 1]. MDPI. https://www.mdpi.com/1422-0067/24/12/10191#B12-ijms-24-10191

Figur 5-19. Privat foto.