Porsgrunn
VIDEREGÅENDE SKOLE

Fra stein til kreftmedisin: målrettet kreftbehandling ved bruk av datterisotoper til thorium-232

På hvilken måte kan datterisotoper av thorium-232 gjenkjenne og finne kreftceller for å så ta liv av cellen med lite skade på omliggende vev, og hvordan fremstilles disse isotopene på pilotanlegget til Thor Medical som ligger på Herøya Industripark?



thor medical

Navn: Mathilde Nikman og Louise Rinde

Klasse: 3STC

Fag: Kjemi II

Termin & år: 25/26

Innhold

Sammendrag **2**

Forord **2**

1. Innledning **3**
1.1. Bakgrunn 3
1.2. Avgrensning, problemstilling og disposisjon 4

2. Teori **4**
2.1. Om grunnstoffet Thorium-232 4
2.2. Ulike typer radioaktiv stråling 5
2.3. Henfallskjeden og halveringskjeden til thorium-232 6
2.4. Kreftceller og alfapartikkelens rolle i kroppen som kreftbehandling 7
2.5. Prinsippene for grønn kjemi 9

3. Metode **9**
3.1. hvilken metode? 9
3.2. Begrunnelse for valg av metode og person 10
3.3. Metodiske avveininger 10
3.4. Validitet og reliabilitet: 11
3.5. Styrker og svakheter ved metoden: 11

4. Resultater og analyse **12**
4.1. Ionebytterkromatografi for å isolere radium-224 og thorium-228 12
4.2. Målrettet kreftterapi med radiofarmasi 13
4.3. Hvorfor er alfaemitterende isotoper egnet i kreftbehandling? 14
4.4. Skalerbar, kostnadseffektiv og bærekraftig produksjon av ønskede isotoper hos Thor Medical 16

5. Refleksjon og drøfting **17**
5.1. I hvilken grad kan denne teknologien anvendes? 17
5.2. Refleksjon rundt bærekraftig kjemi 19
5.3. Svakheter ved målrettet alfaterapi 20
5.3.1. Svakheter i medisinsk bruk 20
5.3.2. Svakheter i produksjon og et bærekraftig perspektiv 21

6. Konklusjon **21**

7. Kilder **22**

8. Vedlegg **26**
8.1. Vedlegg 1: Prinsippene for grønn kjemi 26
8.2. Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical 28

8.3. Vedlegg 3: Intervju av Alf Bjørseth 32
8.4. Vedlegg 4: Samtykkeerklæring 34

Sammendrag

I denne forskningsoppgaven har vi fordypet oss i et nytt og eksperimentelt fagfelt som til dags dato har lykkes med å redde kreftsyke pasienter som har nådd terminalt stadium i sykdomsforløpet. Fagfeltet handler om å bruke radioaktiv alfastråling i behandling av kreft. Derfor har vi undersøkt hvordan alfastråling kan målrette og ødelegge kreftcellene. I tillegg har vi gått i dybden på hvordan produksjonen av de nødvendige isotopene fungerer.

I undersøkelsen har vi brukt eksisterende forskning, samt gjennomført et intervju med kjemiker Alf Bjørseth. Han var med på å starte opp selskapet Thor Medical, som produserer de nødvendige isotopene for denne typen kreftbehandling. Thor Medical selger alfaemitterende isotoper til farmasøytiske kunder, som videre bruker dem i behandling. Isotopene thorium-228, radium-224 og bly-212 er spesielt interessante på grunn av deres egenskaper. Selskapet må kunne utvinne thorium fra naturlige forekomster for å kunne produsere de nødvendige isotopene. Dette gjøres ved hjelp av separasjonsmetoden ionebytterkromatografi.

For at kreftbehandlingen skal fungere, må molekylene bindes til biologiske molekyler som kan frakte dem til kreftcellene i kroppen. Når de radioaktive isotopene da henfaller, befinner isotopen seg i nærheten av kreftcellen. De radioaktive partiklene sender ut ioniserende alfastråling som vil skade DNA-et og andre celleorganer i cellene våre og dermed ødelegge kreftcellene.

Videre fant vi også ut at Thor Medical jobber mot prinsippene i grønn kjemi. Deres fremstillingsprosess gir svært lite avfall, i tillegg til at Thor Medical fjerner avfall fra andre bedrifter ved å kjøpe deres thorium-232. Det er et stoff som ofte oppstår som et radioaktivt avfall som er vanskelig å håndtere hos bedrifter som utvinner sjeldne jordarter. Oppgaven viser dermed hvordan moderne kreftbehandlinger kan kombineres med bærekraftige kjemiske prosesser.

Forord

Denne forskningsoppgaven er skrevet i faget kjemi 2, hvor arbeidet har gitt oss muligheten til å fordype oss i skjæringspunktet mellom kjemi, medisin og teknologi. Gjennom oppgaven har vi fått større forståelser om hvordan kjemisk prosesser kan bidra til en viktig utvikling på et tema som

trenger nye behandlingsformer, og hvordan miljøet ivaretas samtidig som man fokuserer på medisinske fremskritt.

Prosessen med oppgaven har gitt oss erfaring med å jobbe selvstendig med fagstoff til et relativt ukjent tema. Dette har bidratt til et arbeid med mye kildevurderinger og omforming av avanserte forklaringer til mer forståelig faglig fremstilling. Dette har vært utfordrende, lærerikt og tidskrevende, men det har gitt et større innblikk i hvordan vitenskapelig arbeid gjennomføres i praksis. I tillegg har det gitt oss en forståelse over hvor langt teknologien har kommet i vår tid.

Vi vil takke Trine Breirem som veileder gjennom hele oppgaven, med gode råd, oppfølging og faglige forklaringer. Vi vil også rette en stor takk til Thor Medical og spesielt Alf Bjørseth som lot seg intervjue og bruke tid på dele sin kunnskap og erfaring. Vi fikk forklarte nøye hvordan denne prosessen skjer, som ga oss verdifull innsikt i en viktig utvikling. Vi vil også takke familie og venner for hjelp, støtte og motivasjon gjennom hele oppgaven, samt nettverkskoblinger vi ikke kunne vært foruten.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Behandling av kreft ved bruk av henfallet til thorium-232 (radium-224 og thorium-228) er et eksperimentelt fagfelt som har blitt forsket på siden muligheten for å behandle kreftsvulster med alfapartikler først ble publisert i 2007 (Arazi, Cooks, Schmidt, Keisari, & Kelson, 2007). I senere år har kliniske studier blitt gjennomført hyppigere, og i oktober 2024 åpnet Thor Medical sitt pilotanlegg på Herøya Industripark, hvor de skal raffinere Thorium som kan brukes i kreftbehandling i en liten, men likevel industriell skala.

I denne forskningsoppgaven vil vår kompetanse innenfor radioaktivitet, grønn kjemi, biokjemi, molekyloppbygging og kjemiske bindinger gi oss et faglig grunnlag for å beskrive hvordan henfallet til

thorium-232 kan brukes i kreftbehandling. Siden vi ikke har forutsetninger for å kunne utføre eget forsøk knyttet til temaet, vil oppgaven vår basere seg på eksisterende forskning, samt et intervju med bedriftseier i Thor Medical, Alf Bjørseth. Vi vil gjennom denne oppgaven analysere produksjonen av kreftmedisinen opp mot prinsippene i grønn kjemi, samt gjøre faglig forskning mer tilgjengelig for flere med lavere kompetanse, ved å bearbeide og omskrive den.

1.2. Avgrensning, problemstilling og disposisjon

Vi har bestemt oss for å undersøke hvordan henfallet til thorium-232 kan brukes i bekjempelse av kreftceller på et molekylært nivå: På hvilken måte kan datterisotoper av thorium-232 gjenkjenne og finne kreftceller, for å så ta liv av cellen med lite skade på omliggende vev? I tillegg ønsker vi å undersøke hvordan utvinningen av naturlige forekomster av thorium-232, og produksjonen av dets datterisotoper som kreftbehandling, samsvarer med prinsippene for grønn kjemi.

For å kunne gi et korrekt og presist svar på dette vil vi undersøke hvordan bedriften arbeider med disse radioaktive isotopene, samt hvordan de produserer selve produktet og håndterer eventuelt avfall. I tillegg vil vi bruke tidligere forskning som utforsker hvordan henfallet til thorium-232 kan angripe kreftceller mer spesifikt enn tidligere, og med mindre unødvendig skader på friske celler.

Innledningsvis gjør vi rede for hva thorium-232, radioaktiv stråling og grønn kjemi er, samt dets rolle i kreftbehandling. Deretter vil vi beskrive hvordan henfallet til thorium-232 brukes som kreftmedisin, for å videre se på hvordan produksjonen av ønsket henfall fra thorium-232 gjennomføres av Thor Medical på en trygg og bærekraftig måte.

2. Teori

2.1. Om grunnstoffet Thorium-232

Thorium er et naturlig forekommende, radioaktivt metall som hovedsakelig brukes i industrielle og teknologiske anvendelser som eksempelvis legeringer med magnesium som anvendes i fly-teknikk og i kjernereaktorer (Simonsen, 2023) (Alstad, Bjørnstad, & Hofstad, 2025). Det er grunnstoff nummer 90 i periodesystemet, og ble funnet lokalt på Løvøya ved Brevik av en norsk prest i 1828 (Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical). Fensfeltet i Telemark har en av verdens største forekomster av Thorium hvor det antydes at utvinnbare ressurser ligger mellom 56 000 og 650 000 tonn (Bryhni, Askheim, Hofstad, & Fossen, 2025).

Ett grunnstoff består av en kjerne med protoner og nøytroner, omgitt av elektroner som beveger seg i skall rundt kjernen. Det er antall protoner som avgjør hvilket grunnstoff det er, og et nøytralt atom har like mange elektroner som protoner. Antall nøytroner kan variere, og når det skjer, så får vi et isotop av grunnstoffet (Bedin, 2025). Den vanligste thoriumforbindelsen Th-232 har 90

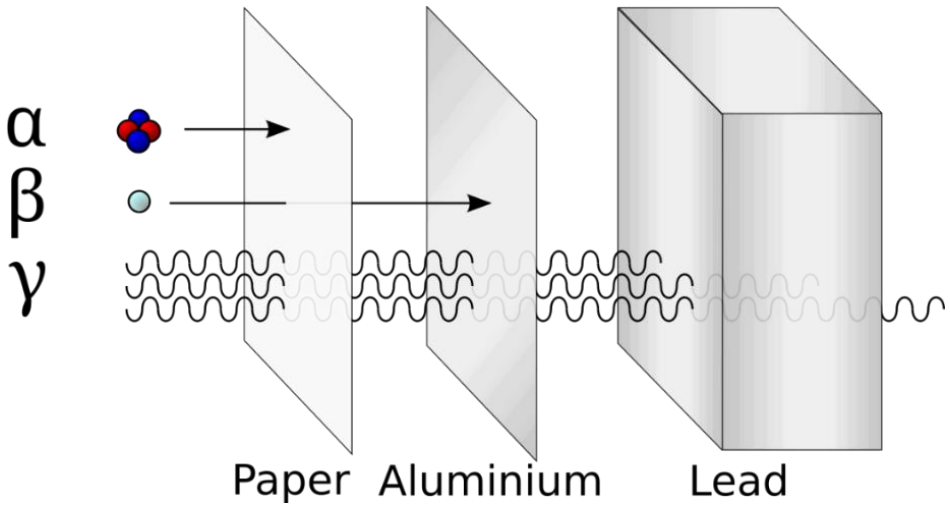
protoner, 90 elektroner og 142 nøytroner. Mengden nøytroner forhold til protoner gjør at atomet blir ustabilt, altså radioaktivt. Denne isotopen har en halveringstid på 14 milliarder år. (Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical)

2.2. Ulike typer radioaktiv stråling

Alfastråling består av partikler som sendes ut fra atomkjernen. Disse alfapartiklene består av to protoner og to nøytroner. Den er derfor identisk med atomkjernen til grunnstoffet helium og har to positive elektriske ladninger. Alfapartikler har høy energi, men kort rekkevidde, noe som gir en lav gjennomtrengningsevne, dette kan man se på figur 1. (Bedin & Johansen, 2025). Betastråling derimot har lang rekkevidde, men mindre strålingsenergi som betyr at den har litt lenger gjennomtrengningsevne. Betastråling kan være av to typer, positroner, som har samme masse, men positiv ladning, og negatroner, som er det samme som elektroner (Holtebekk, 2025) Disse kommer fra at et nøytron splitter seg (Bedin & Johansen, 2025).

Radioaktiv stråling er ioniserende. Dette betyr at partikler som alfa eller beta kan slå løs elektroner fra atomer i DNA og dermed gjøre elektroner om til et positivt ladd ion (Steen, Finland, & Juel, 2021, s. 273).

Den siste strålingstypen heter gammastråling, og skiller seg ut fra de andre ved at den er elektromagnetisk og sender ut fotoner av atomkjernen istedenfor protoner og elektroner. Denne har sterk strålingsenergi og lang rekkevidde som gir den en sterk gjennomtrengningsevne. (Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical). Kortbølget elektromagnetisk stråling som gammastråling, kan også gjøre atomet om til et positivt ladet ion. Ifølge grunnboken i kjemi 2 så vil «Dette ionet kalles et fritt radikal og inneholder et uparet elektron i stedet for det vanlige elektronparet. Slike forbindelser er ekstremt elektrontiltrekkende og derfor oksiderende». Denne evnen som gammastråling har, gjør den farlig for celler, men heldigvis har kroppen antioksidanter som har mulighet til å gi fra seg elektroner til de frie radikalene, så lenge man ikke blir utsatt for sterk stråling. (Steen, Finland, & Juel, 2021, s. 273)

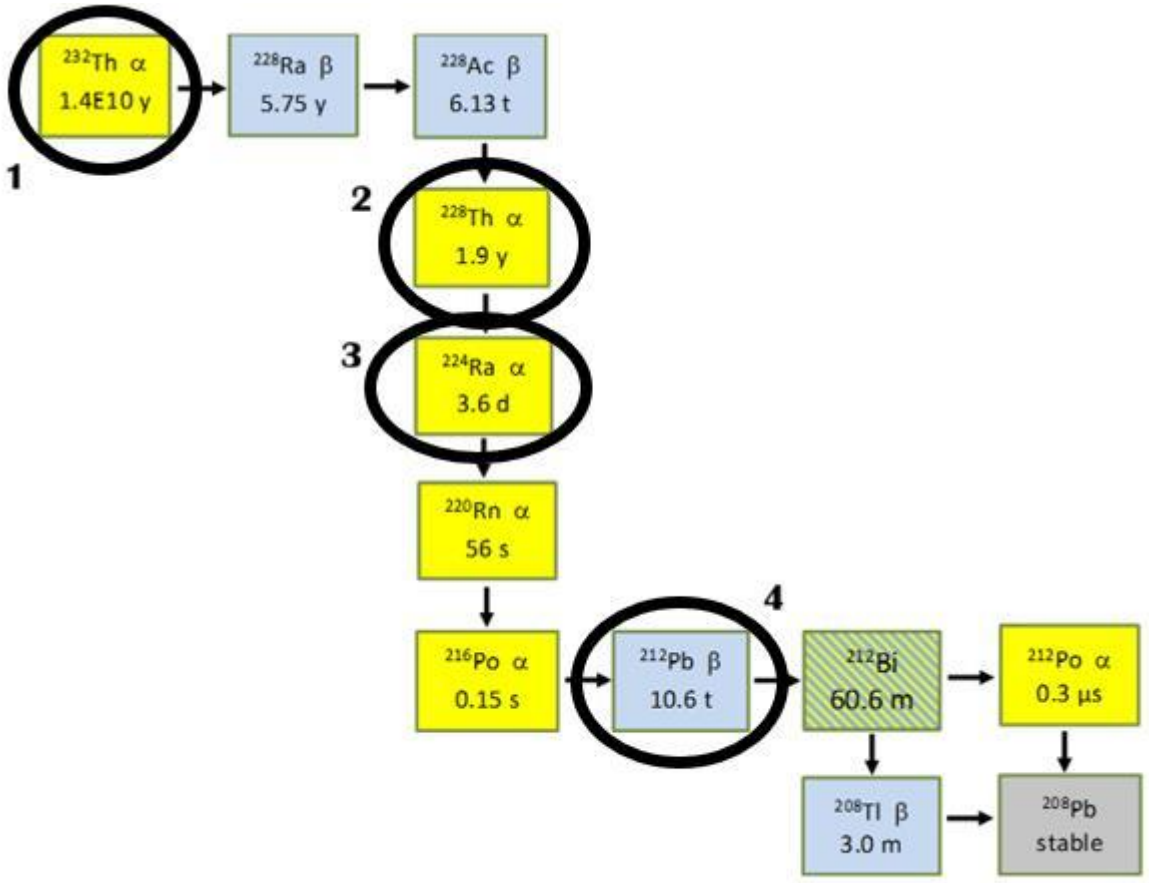


Figur 1: hentet fra Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical. Bildet illustrerer hvilken penetrasjonsevne de ulike strålingstypene alfa (α), beta (β) og gamma (γ) har på materialene papir, aluminium og bly.

2.3. Henfallskjeden og halveringskjeden til thorium-232

Radioaktive nuklider som Th-232 gjennomgår henfall, også kalt desintegrasjon. Det betyr at dets ustabile atomkjerne sender ut overskuddsenergien i form av stråling, for å bli mer stabil, og omdannes da til en annen atomkjerne (Hofstad & Bjørnstad, 2024). Th-232 vil ikke bli stabilt etter første henfall, og må gjennomgå flere påfølgende alfa- og beta-henfall før den til slutt blir et stabilt grunnstoff, bly-208. Denne rekken med henfall kaller vi henfallskjeden til Th-232, og den kan du se på figur 2. (Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical)

Hvert ledd i kjeden avgir stråling med ulik intensitet og varighet. Dette forklares med halveringstiden til de ulike isotopene. Den angir hvor lang tid det tar før halvparten av atomkjernen i en prøve henfaller. Henfallskjeden til Th-232 inneholder spesielt to alfa-emittere, Ra-224 og Pb-212, som er velegnet til radiofarmasøytiske formål.



Figur 2 viser henfallskjeden til Thorium-232, Hentet fra Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical. Thorium-232 (1) er naturlig forekommende og sender ut alfa-stråling med en halveringstid på omtrent 14 milliarder år. Videre i kjeden vises Thorium-228 (2), også en alfa-emitter med halveringstid på 1,9 år, som produseres av Thor Medical for transport over lengre avstander. Radium-224 (3) har en halveringstid på 3,6 dager og sender ut alfa-stråling, noe som gjør den egnet til medisinsk bruk. Bly-212 (4) gjennomgår først beta-henfall før videre henfall til polonium-212, som sender ut alfa-partikler brukt i kreftbehandling. Radium-224 og Bly-212 er særlig aktuelle i medisinsk behandling på grunn av deres gunstige halveringstider (Bjørseth, 2025)

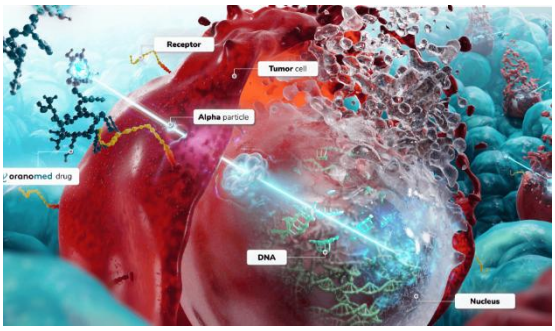
2.4. Kreftceller og alfapartikkelens rolle i kroppen som kreftbehandling

Kreft er en fellesbetegnelse for en stor gruppe sykdommer der det er ukontrollert celledeling (Hofsli, Roald, Sauer, & Klepp, 2026). Vanligvis er cellevekst og celledeling nøye regulert av gener i DNA-et, men dersom balansen mellom celledeling og celledød forstyrres, noe som er tilfellet i kreftceller, vil cellene vokse uten å bli stoppet av denne reguleringsmekanismen (Hofsli, Roald, Sauer, & Klepp, 2026). En kreftcelle oppstår altså når det skjer endringer (mutasjoner) i genene i arvestoffet (DNA-et) som styrer sentrale reguleringsmekanismer for cellevekst og celledeling (Klepp, Kreft (årsak), 2024).

DNA-et vårt er bygd opp av to DNA-tråder som er tvunnet om hverandre og danner en dobbeltspiral som kalles for en DNA-dobbelheliks. Disse trådene er bygget opp av fire byggesteiner, nemlig nitrogenbasene adenin (A), cytosin (C), guanin (G) og tymin (T). Basene er komplementære, noe som betyr at det er bestemte baser som hører sammen. Videre er det sekvensen og utvalget av disse nitrogenbasene som utgjør genene våre, og bestemmer hvilke proteiner cellene våre skal bygge. Det er disse proteinene som påvirker ulike prosesser i cellene, deriblant celledeling og celledød. (Bøhle, 2019)

Mutasjoner i genene som forstyrrer disse reguleringsmekanismene kan oppstå på flere ulike måter: En av basene i DNA-et vårt kan endre seg til en annen, falle ut eller det kan komme inn en helt ny base (Steen, Fimland, & Juel, Kjemi 2 grunnbok, 2021, s. 272). Slike mutasjoner kan medføre økt cellevekst ved økning av kjemiske signaler eller reseptorer, bortfall av bremsemekanismer eller ved at kreftcellen ikke begår programmert celledød (Klepp, Kreft (årsak), 2024). Dersom en slik mutasjon oppstår, og kroppens reperasjonssytemer ikke gjenkjenner og retter opp feilen, vil en kreftsvulst kunne oppstå og skade kroppens organer og deres funksjoner (Hofsli, Roald, Sauer, & Klepp, 2026).

Som tidligere nevnt er både isotopene thorium-228 og radium-224 alfaemitterende isotoper som man finner i henfallskjeden til thorium-232. Det er også den ioniserende alfastrålingen fra disse isotopene som anvendes i behandlingen av kreft ved hjelp av thorium.



Figur 3: Hentet fra (Orano Med). Figuren viser at en alfapartikkel bryter opp DNA-et i en celle

Alfastråling er, som tidligere nevnt, ioniserende og har dermed egenskapen til å kunne slå løs elektroner fra atomer i DNA-et og danne et positivt ladd ion som kalles for ett fritt radikal. Slike frie radikaler inneholder et uparet elektronpar og er derfor svært reaktive sammenlignet med ikke-radikaler. Eksempler på frie radikalene som dannes ved ioniserende stråling er reaktive oksygenforbindelser (ROS) og reaktive nitrogen forbindelser (RNS) (Tudek, et al., 2010). ROS angriper blant annet alle cellulære komponenter og forårsaker oksidasjon og fragmentering av nukleinsyrer, proteiner og lipider i cellen (Tudek, et al., 2010). Oksidasjon betyr at ROS oksiderer andre molekyler og dermed «tar» elektroner fra molekylet, noe som kan endre molekylets struktur og funksjon (Steen, Fimland, & Juel, Kjemi 2 grunnbok, 2021, s. 33). Fragmentering vil si at ROS bryter opp molekylene i mindre biter (Kåss, 2024). Dersom disse prosessene skjer i nukleinsyrenes DNA og RNA, vil nitrogenbasene oksideres og dermed kjemisk endres eller så kan brudd i DNA-trådene (fragmentering) forekomme (Tudek, et al., 2010). Resultatet er at DNA-et ikke lenger er i stand til å bestemme hvilke proteiner som skal produseres og cellens funksjoner stopper opp, noe som ofte setter i gang celledød (apoteose) (Klepp & Kløw, Stråleskade, 2026). Dette gjelder også kreftceller, og er mekanismen som utnyttes i strålebehandling av kreft som man kan se i figur 3 (Ystenes, Hol, & Kløw, 2026). Samtidig finnes det også kreftceller hvor genene som inneholder oppskriften på proteinene som setter i gang celledød er forstyrret. I slike kreftceller

vil ikke strålebehandling alltid ha noen virkning, siden cellen ikke klarer å gjennomføre celledød (Ystenes, Hol, & Kløw, 2026).

2.5. Prinsippene for grønn kjemi

Grønn kjemi går ut på å utvikle bærekraftige og miljøvennlige produkter, samt å redusere eller unngå bruk og produksjon av farlige stoffer (Online Resources for Chemical Safety in Science Education, 2025). Hovedfokuset for grønn kjemi er å hindre utslipp som er skadelig for mennesker og natur, gjennom hele livsløpet til et kjemisk produkt (Uggerud & Guttormsen, grønn kjemi, 2025). Dette innebærer avfallsforebygging og energisparing, vurdering av livssyklusen til produkter, altså om det er fornybare råvarer eller om det brytes ned på en miljøvennlig måte. (Online Resources for Chemical Safety in Science Education, 2025)

Grønn kjemi baserer seg på 12 prinsipper, som ble introdusert av Paul Anastas og John Warner gjennom boken *Green Chemistry: Theory and Practice*, som kom i 1998. De forklarer at ikke alt av produkter og prosesser kan være direkte miljøvennlig, men at prinsippene fører til redusering av negative påvirkninger. (Online Resources for Chemical Safety in Science Education, 2025)

De tolv prinsippene og hva de omfatter kan du finne i vedlegg 1.

3. Metode

3.1. hvilken metode?

Et av hovedformålene med denne forskningsoppgaven er å undersøke hvordan datterisotopene til thorium-232 kan gjenkjenne og eliminere kreftceller, samt fordeler og ulemper med denne behandlingen. Forskningsfeltet knyttet til bruk av thoriumbaserte isotoper i kreftbehandling er relativt nytt og kompleks, og dermed ikke mulig for oss å etterprøve gjennom egne eksperimenter med de ressursene vi har tilgjengelig. For å kunne besvare problemstillingen var vi avhengig av å kunne samle inn informasjon fra en fagperson med høy kompetanse innenfor feltet. Derfor har vi valgt å bruke kvalitativ metode, altså et semistrukturert dybdeintervju med Alf Bjørseth.

3.2. Begrunnelse for valg av metode og person

I vår oppgave var det avgjørende å få innsikt i hvordan temaet fungerer i praksis, hvilke prinsipper som ligger bak og hvordan fagpersoner vurderer behandlingen. Denne typen innsikt vil være umulig å få tak i ved å bruke kvantitativ metode, fordi det krever forklaring, refleksjon og utdypning. Dette oppnådde vi gjennom det semistrukturerte intervjuet. Intervjuet innebærer at man på forhånd utarbeider planlagte spørsmål og temaer, samtidig som man åpner opp for fleksibilitet og oppfølgingsspørsmål underveis. (Silfverström, 2023). Denne typen intervju er hensiktsmessig fordi temaet er komplekst og krevde faglige utdypninger, derfor er det essensielt å kunne få oppfølging slik Bjørseth gir oss i figur 4. Alf Bjørseth hadde i tillegg en presentasjon han gikk gjennom mens han forklarte spørsmålene vi lurte på, som ligger i vedlegg 2.



Figur 4: Alf Bjørseth som forklarer kromatografi til Louise og Mathilde.

Ved å intervjue Bjørseth fikk vi tilgang til førstehåndskunnskap fra en person med direkte erfaring til temaet. Alf har vært viktig for utviklingen i prosjektet, hvor han har god kunnskap på flere områder. Han er en norsk kjemiker, med doktorgrad i faget, og gründer, hvor han har bidratt til næringslivet i Norge. Han har hatt ledende stillinger i Norsk Hydro og Elkem, og har etablert flere selskaper som ScanWafer i 1994 og Norsun i 2005 (Alf Bjørseth , u.d.) I nyere tid har Bjørseth engasjert seg i medisinsk teknologi gjennom selskapet Thor Medical. Han tok del i oppstartingen av prosjektet, og har vært administrerende direktør (Hagel, 2023). Nå har han en rolle som ESV business Development i firmaet. Dette gjør han til en troverdig aktør med verdier og erfaringer som bidrar til økt fokus på temaer som bærekraft og grønn kjemi.

3.3. Metodiske avveininger

En viktig avveining vi måtte gjøre var valget mellom kvalitativ eller kvantitativ metode, fordi ved kvantitativ metode kan man få mer innsikt i temaet. Vi forsto relativt tidlig at dette ble vanskelig med tanke på problemstillingen vår, og fokuserte derfor på kvalitativ metode gjennom det semistrukturerte intervjuet. Det krever faglig ekspertise for å kunne forstå og videreformidle slik informasjon, og derfor ville undersøkelser eller forsøk vært unødvendig for vår del. Det finnes også et begrenset antall personer med denne kompetansen i området, som gjorde det vanskelig å få informasjon fra flere kanter og vinkler, som igjen bidro til valget av kvalitativ metode.

En annen avveining vi stod ovenfor handlet om hvor mange informanter vi eventuelt skulle inkludere. Å ha forskjellig intervju med andre mennesker spesialisert innenfor område kan gi en vinkel på temaet som kan forbedre oppgaven vår. Til tross for dette valgte vi på bakgrunn av at det er et begrenset antall informanter, å fokusere på intervju med en aktør, som vi vet har god nok kompetanse. Dette gjør at vi kan gå dypere inn i informasjon fordi vi hadde mer tid til å fokusere på det vi fikk fra vedkomne. For å prøve å redusere risikoen for et ensidig perspektiv, har vi brukt skriftlige kilder og fagartikler som kan gi oss en generell fremstilling av temaet.

3.4. Validitet og reliabilitet:

I denne oppgaven vurderer vi validiteten som relativt høy, ettersom intervjuet ble gjennomført av en fagperson som har direkte erfaring med temaet. Spørsmålene vi stilte som du kan se i vedlegg 3, var også direkte knyttet til problemstillingen, om hvordan behandlingen fungerer, hvilke fordeler og utfordringer den vil ha, samt hvordan det arbeides i samsvar med prinsippene for grønn kjemi. Det er også verdt å nevne at behandlingen gjennomgår kliniske undersøkelser, slik at den i nærmeste framtid kan bli godkjent. Dette gjør det i større grad mulig å etterprøve og stryker validiteten.

I kvalitative intervjuer kan reliabiliteten være noe begrenset med tanke på at svarene kan være påvirket av individets erfaringer og perspektiver. Det er også viktig å nevne at vår informant har økonomiske og profesjonelle interesser gjennom selskapet Thor Medical. Dette kan bidra til å påvirke fremstillingen av temaet, spesielt når det gjelder fordelene ved teknologien og framtiden for behandlingen. Samtidig styrkes reliabiliteten fordi informanten har faglig kompetanse og lang erfaring med både temaet, men også med næringsliv generelt. Sammenligning med kilder øker også reliabiliteten, fordi det underbygger at informasjonen vi har fått fra vår fagperson er pålitelig.

3.5. Styrker og svakheter ved metoden:

En av styrkene ved å bruke kvalitativ metode i form av dybdeintervju er at vi får mer inngående forståelse for et komplekst tema. Vi kunne stille oppfølgingsspørsmål og få utdypende informasjon som gjorde mulighetene våre mer fleksible. I tillegg fikk vi tilgang til førstehåndskunnskap fra en ekspert som har vært direkte involvert i utviklingen av teknologien som bidrar til å gi oppgaven høyt faglig nivå.

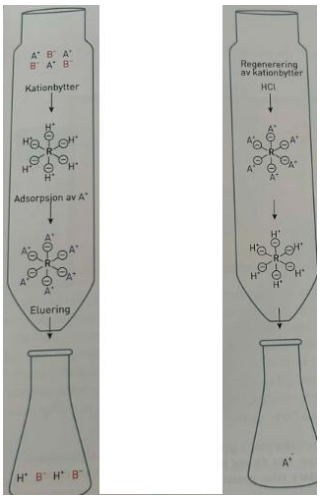
Samtidig finnes det noen svakheter ved metoden, og dette går ut på at vi får informasjon fra en kilde. Det kan gjøre at informasjonen på noen sider kan bli subjektivt, og intervjuet blir derfor ensidig. I tillegg så vil den sentrale rollen gjøre at kvalitativ forskning ikke kan repliseres, samt at resultatene ikke kan generaliseres til hele forskningsfeltet.

4. Resultater og analyse

4.1. Ionebytterkromatografi for å isolere radium-224 og thorium-228

For å kunne skille ut isotoper som radium-224 og thorium-228 fra forbindelsene de naturlig forekommer i, benytter Thor Medical seg av en kjemisk analysemetode som heter væskekromatografi (LC). Mer spesifikt bruker de ionebytterkromatografi, en metode som forklares nedenfor og er illustrert på figur 5. Da løser de først opp radium-224 og thorium-228 forbindelsene slik at man får en løsning som inneholder Ra^{2+}-ioner og Th^{2+}-ioner. Siden disse to kationene (positivt ladde ioner) har den samme positive ladningen kan de også isoleres ved samme seperasjonsmetode (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025).

Når man skal isolere slike ioner ved hjelp av kromatografi har man en vertikal kolonne (ionebytteren) som fylles med et resin (R) som inneholder en kationbytter. En kationbytter vil ha en negativt ladd atomgruppe som er bundet til et vanlig kation som kalles for et motion. Hvilket motion og atomgruppe Thor Medical bruker er forretningssensitiv informasjon, men typiske motioner kan være hydrogenioner, H^+, eller natriumioner, Na^+. En typisk atomgruppe kan være SO_3^-. Resinen (R) i kolonnen er små «kuler» som har de negativt ladde atomgruppene bundet til motionet på overflaten sin. Atomgruppen og motionet utgjør den stasjonære fasen i kolonnen. (Steen, Fimland, & Juel, Kjemi 2 grunnbok, 2021). Videre lar man løsningen med Ra^{2+}-ionene og Th^{2+}-ionene, som utgjør den mobile fasen i kolonnen, renne gjennom ionebytteren. Da vil vi få følgende ionebytting som her er illustrert ved å bruke atomgruppen SO_3^- og motionet H^+ som eksempel:



Figur 5: Hentet fra Aqua 2, s.215. Figuren illustrer hvordan en kationbytter fungerer.

$$2(R - SO_3^-H^+) + Ra^{2+} \leftrightarrow 2(R - SO_3^-)_2Ra^{2+} + 2H^+$$

$$2(R - SO_3^-H^+) + Th^{2+} \leftrightarrow 2(R - SO_3^-)_2Th^{2+} + 2H^+$$

Resten av løsningen vil sammen med H^+-ionene renne igjennom ionebytteren slik at Ra^{2+}-ionene og Th^{2+}-ionene blir igjen i den stasjonære fasen. For å nå rive ionene løs fra den negativt ladde atomgruppen bruker Thor Medical en syre med såpass høy H^+ konsentrasjon at likevektene ovenfor skyves mot venstre og Ra^{2+}-ionene og Th^{2+}-ionene igjen byttes ut med H^+-ioner. En slik syre kan være saltsyre, HCl. Nå vil et eluat, det som renner ut av ionebytteren, inneholde de ønskede ionene, og ionebytteren vil være klar til bruk på nytt (Vedlegg 3: Intervju av Alf Bjørseth). (Steen, Fimland, & Juel, Kjemi 2 grunnbok, 2021, s. 213)

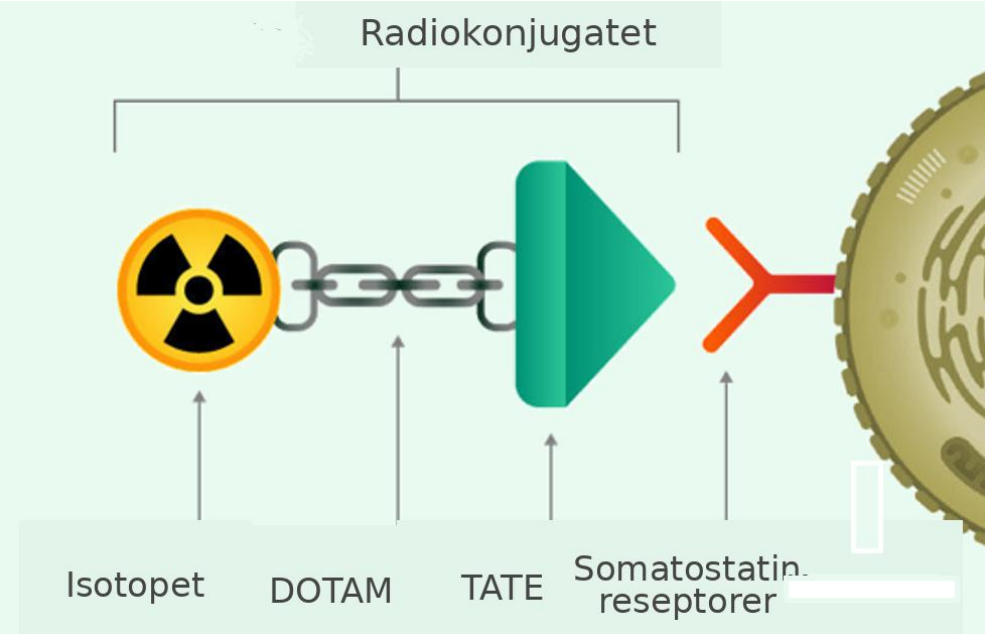
4.2. Målrettet kreftterapi med radiofarmasi

For å videre kunne frakte de alfaemitterende isotopene til målcellene bruker man radiokonjugatet. Et eksempel på et slikt radiokonjugatet som Thor Medicals kunder anvender er det sammensatte radiokonjugatet 212-Pb-DOTAMTATE (Vedlegg 3: Intervju av Alf Bjørseth). Jeg vil nedenfor forklare hvordan dette radiokonjugatet frakter Pb-212 til kreftcellene slik at Pb-212 sine datterisotoper kan emittere alfa partikler slik at det skader kreftcellen. Pb-212 er en datterisotop av radium-224 og thorium-228 som er isotopene Thor Medical selger til sine kunder. I eksempelet nedenfor er det Pb-212 som injeksjoners inn i kroppen sammen med et målrettet molekyl i bruk av kreftbehandling.

Ifølge NCI (National Cancer Institute) består radiokonjugatet 212-Pb-DOTAMTATE hovedsakelig av tre deler som illustrert i figur 6: Den første delen er det tyrosinholdige somatostatinanaloget TATE (Tyr3-oktreotat). TATE er et målrettet peptid som etterligner hormonet somatostatin. Den andre delen av konjugatet er DOTAM, som er en makrosyklisk chelator. En makrosyklisk chelator er en slags metallholder som vanligvis brukes til kompleksering av metallioner (Zhang, et al., 2011), i dette tilfellet isotopet Pb-212. Den tredje delen av radiokonjugatet er selve Pb-212 isotopen. (National Cancer Institute (NCI))

Dette Radiokonjugatet kan finne frem til kreftcellene på grunn av sitt målrettede og somatostatin etterlignede molekyl TATE. Somatostatin reseptorer er nemlig proteiner som binder seg til hormonet somatostatin, et hormon som kontrollerer andre hormoner i kroppen. Disse reseptorene finner vi unormalt mange av på blant annet enkelte typer kreftceller, som nevroendokrine tumorceller. Ifølge Helsenorge er nevroendokrin kreft er en sjelden kreftform som oppstår i hormonproduserende celler (Helsenorge, 2025). Ettersom TATE molekylet etterligner hormonet somatostatin vil denne delen av radiokonjugatet 212-Pd-DOTAMTATE binde seg til somatostatin reseptorene i overflaten på kreftcellene. (National Cancer Institute (NCI))

På denne måten vil altså isotopet Pb-212 befinne seg i nærheten av kreftcellen når den henfaller til sine alfaemitterende datterisotoper og sender ut alfastråling.



Figur 6: En forenklet illustrasjon av hvordan radiokonjugatet er satt sammen og binder seg til reseptor i overflaten av kreftcellen. Hentet fra (Bjørseth, Presentasjon av Thor Medical , 2025).

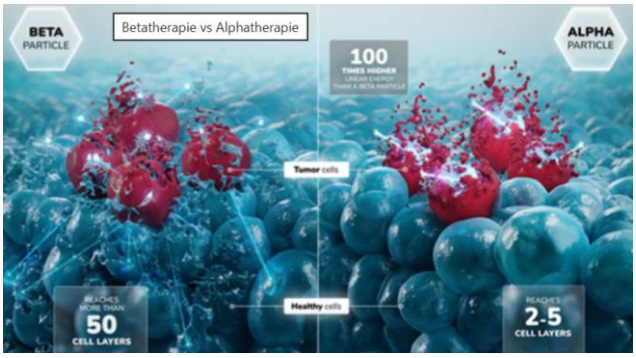
Ovenfor har jeg beskrevet hvordan radiokonjugatet 212-Pb-DOTAMTATE virker målrettede på nevroendokrine kreftceller ved hjelp av molekylet TATE. På samme måte som TATE er målrettete mot kreftceller med somatostatin reseptorer finnes det andre målrettede molekyler som kan frakte de alfa-emitterende isotopene til andre typer kreftceller i kroppen. Eksempelvis PSMA (prostata-spesifikt membranantigen) og GRPr (gastrin-frigjørende peptid-reseptorer). På samme måte kan også DOTAM byttes ut med andre makrosykliske chelators slik at andre isotoper kan fraktes med radiokonjugatet. Eksempler på dette er DOTA som kan frakte blant annet Lutetium-177 og NOTA som kan frakte enkelte kobber-isotoper. (Scaffidi-Muta & Abell, 2025)

4.3. Hvorfor er alfaemitterende isotoper egnet i kreftbehandling?

I dagens kreftbehandling finnes det to målrettede kreftterapier på markedet, hvor begge utnytter en radioaktiv isotop av grunnstoffet lutetium. Denne isotopen kalles for Lu-177 og er en såkalt beta emitter (Vedlegg 2). Det vil si at når isotopet henfaller sender det ut radioaktiv betastråling. Som tidligere nevnt består betastråling av en partikkel, enten et positron eller et elektron, som skytes ut med høy energi i det et nøytron i isotopens kjerne deler seg. I liket med alfastråling er betastråling ioniserende, og kan dermed slå løs elektroner fra atomer og danne frie radikaler som kan være skadelig for cellene i kroppen, som forklart i kapittel 2.4. Forskjellen mellom alfastråling og betastråling er at betastråling har lavere masse og har en langt bedre gjennomtrengelighetsevne enn alfastråling, som vist i figur 1. Rekkevidden på betapartikler og alfapartikler i ulike materier

måles ofte i LET (lineær energioverføring), som er et mål på den gjennomsnittlige strålingsenergien som avsettes per lengdeenhet i partikkelens bane i en materie. (Lindsay, 2023) Ifølge NCBI (National Center for Biotechnology Information) har betapartikler en rekkevidde på 0.05-12mm i materie som etterligner vev med høy vannkonsentrasjon, slik vi finner i kroppen. (Kassis, 2008) Dette tilsvarer en rekkevidde på 50–12 000µm. Alfastråling skal derimot kun ha en rekkevidde på 40-100µm i det samme materie. (Kassis, 2008) I tillegg har betastråling en lavere LET i dette materie enn alfastråling som har en veldig høy LET. (Kassis, 2008)

En typisk dyrecelle, som er celletypen kroppen vår er bygd opp av, har en diameter på 10-20µm. (Alberts, et al., 2002) Det vil si at betapartikler har en mulig rekkevidde på alt fra 2.5-1200 cellelengder i det kroppsligetterlignende materie. Alfapartikler vil kun ha en mulig rekkevidde i det samme materie på 2-10 cellelengder. Disse rekkeviddene vil selvfølgelig avhenge av den enkeltes partikkels LET og hvilken materie i kroppen partikkelen beveger seg i (Kassis, 2008).



Figur 7: Hentet fra (Orano Med). Figuren viser at betapartikler har en lenger cellerekkevidde enn alfapartikler

I praksis betyr dette at en isotop som er alfaemitterende vil gjøre langt mindre skade på friskt vev rundt kreftcellen den er bundet til i det den desintegrerer sammenlignet med en betaemitterende isotop som man kan se på figur 7. Altså vil kreftbehandling ved hjelp av isotopen thorium-228, hvor man finner alfaemitterende isotoper i henfallskjeden, være mye mer skånsomt for pasienten sammenlignet med eksisterende kreftbehandling ved hjelp av Lu-177. (Vedlegg 2)

I tillegg til at kreftbehandling med alfaemitterende isotoper er mer skånsomt for pasienten har, som tidligere nevnt, alfapartikler i kroppsetterlignene materier høyere LET enn betastråling (Kassis, 2008). Det vil si at på samme avstand partikkelen reiser vil en alfapartikkel sende ut mer ioniserende stråling (energi) enn det en betapartikkel vil. Alfapartikkelen har altså høyere ioniserende tetthet. Derfor er ikke kreftbehandling ved hjelp av alfapartikler mer skånsomt for friskt vev hos pasienten, men vil også maksimere terapeutisk ytelse ved at sannsynligheten for at den ioniserende strålingen skader kreftcellen tilstrekkelig øker (Vedlegg 2).

4.4. Skalerbar, kostnadseffektiv og bærekraftig produksjon av ønskede isotoper hos Thor Medical

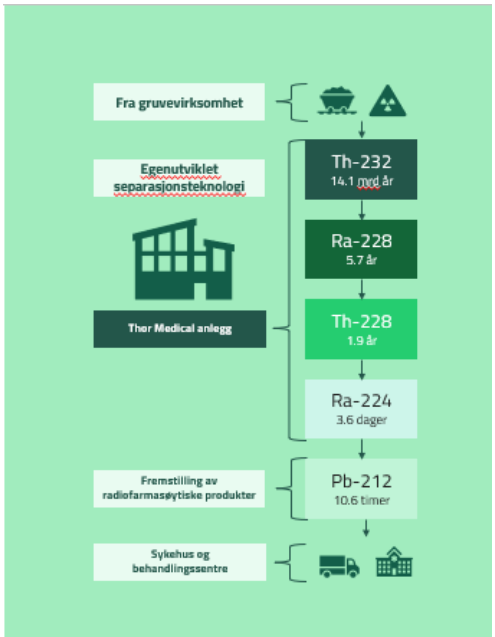
Produksjon av medisinske isotoper er en avgjørende forutsetning for å kunne utnytte målrettet alfaterapi (Saga, 2024). Thor Medical fokuserer på å utvikle en industriell produksjonsprosess for basert på naturlig forekomster av Thorium-232. Videre som nevnt i 2.3, vil Thorium-232 henfalle til Thorium-228 som igjen gir opphav til radium-224 og bly-212. Disse isotopene er spesielt interessante i radioformasi fordi den sender ut alfa partikler som man ønsker å bruke i kreftbehandling. (Bjørseth, Presentasjon av Thor Medical , 2025).

En av utfordringene med denne produksjonen er at mengdene av ønsket isotoper er veldig lite. Ifølge intervjuet med Alf Bjørseth kan man kun utvinne omtrent 0.4mg Thorium-228 fra 1 tonn naturlig forekommende thorium-232 (Bjørseth, Presentasjon av Thor Medical , 2025). Dette illustrerer hvor krevende prosessen er, og hvor viktig det er med effektive seperasjonsmetoder. (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025)

Pilotanlegget Thor Medical på Herøya representerer en viktig industriell utvikling innenfor produksjonen av isotopene. Anlegget har foreløpig en kapasitet på å produsere 0.1 mg thorium-228 per år, som foreløpig brukes til forskning. Selv om dette er små mengder, har anlegget i dag kapasitet til 200 pasientdoser som brukes til kliniske undersøkelser. (Bjørseth, Presentasjon av Thor Medical , 2025).

På lengre sikt ønsker de å utvikle produksjonskapasiteten ved å åpne et nytt anlegg, AlphaOne. «Thor Medical ASA har tatt den endelige investeringsbeslutningen for AlphaOne, selskapets første kommersielle anlegg for produksjon av alfa-emittere til presisjonskreftbehandling.» (Brekke, 2025). Dette gjør de på grunnlaget av at de allerede har ledende radiofarmasøytiske aktører ventende, som sikrer dem nær full kapasitetsutnyttelse og pålitelige råstoffleverandører. (Brekke, 2025)

Grunnen til at Thor Medical har muligheten til å gjennomføre en slik prosess er fordi de har lagt til rette for en bærekraftig og miljøvennlig fremgang som gir gode premisser for videre utvikling og produksjon i fremtiden. Noe som er spesielt med Thor Medical er at råstoffet de bruker, Thorium-232, er naturlig forekommende, og fremstilling av isotopene Th-228 og Ra-224 kommer fra en naturlig henfallskjede. Det er ikke behov for kunstig bestråling i reaktorer eller akseleratorer som gjør det mer bærekraftig. I tillegg vil produksjonsprosessen unngå radioaktiv forurensing og urenheter som vanligvis oppstår i strålingsbaserte produksjonsprosesser. (Bjørseth, Presentasjon av Thor Medical , 2025)



Figur 8: hentet fra presentasjonen til Alf Bjørseth. Viser henfallskjeden til Thorium 232, samt hvilken del Thor Medical fremstiller.

I tillegg så er Thorium 232 et biprodukt som blir et avfall for produsenter som skal utvinne sjeldne jordarter flere steder. Et fransk selskap har et avfallsproblem med Thorium 232 blant annet, og dette utnytter Thor Medical. (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025).

Thorium regnes som en bærekraftig ressurs fordi den har en halveringstid på omtrent 14 milliarder år. Når thorium henfaller dannes blant annet radium-228, som har en halveringstid på omtrentlig 5,75 år. Det betyr at etter noen år vil ny datterisotop bygge seg opp i materialet. Thoriumet kan derfor fortsette å utnyttes over lang tid, og i en lukket brenselssyklus kan mye av materiale resirkuleres. Dette gjør at utnyttelsen av Thorium regnes som en mer bærekraftig ressurs (Orano Med).

Videre har Thor Medical ingen avfall. Alle løsningsmidler som brukes i fremstillingsprosessen kan brukes på nytt. Under produksjon brukes kjemikalier til å løse opp råmaterialet og skille thorium fra andre stoffer. Etter seperasjonen blir løsningsmidlene renset slik at de kan brukes igjen til neste produksjonsrunde. Dette gjør at metoden fungerer litt som et lukket kretsløp, hvor kjemikaliene blir brukt igjen, istedenfor å bli kastet. (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025).

5. Refleksjon og drøfting

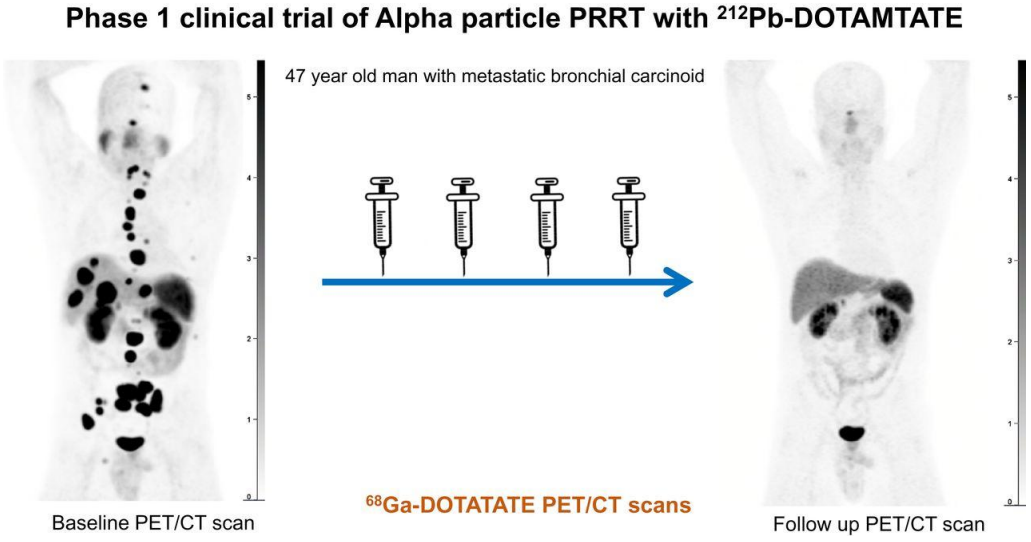
5.1. I hvilken grad kan denne teknologien anvendes?

I kapittel 4.2 gjør vi rede for hvordan de alfaemitterende isotopene virker målrettede på kreftceller. Da bruker vi radiokonjugatet DOTAMTATE som eksempel, hvor vektoren TATE kun virker målrettede på nevroendokrine kreftceller. Til tross for dette er det mulig å bytte ut både denne vektoren slik at

radiokonjugatet binder seg til andre typer kreftceller og man kan bytte ut DOTAM chelatoren slik at andre isotoper kan fraktes med radiokonjugatet. Dette betyr at for å kunne bruke målrettet alfaemitterende kreftterapi er vi avhengig av å kunne identifisere kreftcellen.

I eksemplet beskrevet i kapittel 4.2 gjenkjennes den nevroendokrine kreftcellen ved sine somatostatin reseptorer. På samme måte har andre kreftceller lignende biomarkører. En biomarkør er ifølge SNL et stoff eller et molekyl som kan måles eller påvises i en kropp eller celle, og som forteller noe om en underliggende tilstand (Monsen, 2024). I forbindelse med kreftceller kalles slike biomarkører for tumorassossierte antigener og finnes ofte på overflaten av kreftcellene, og er essensielle i målrettet kreftterapi (Liu, 2019). Å finne vektorer som kan identifisere disse tumorassossierte antigene og frakte den radioaktive isotopen til målcellene slik TATE gjør er et fagfelt som stadig forskes på og utvides. Dermed har målrettet alfaterapi med bruk av ulike målrettede vektorer vist lovende resultater på en rekke ulike krefttyper, deriblant nevroendokrine tumorer, prostatakreft, eggstokkreft, melanom (føflekkreft), brystkreft, hjernesvulster, leukemi, lymfekreft, nyrekreft, lungekreft og flere (Jabbar, Bashir, & Babar, 2023) (Sollini, Marzo, Chiti, & Kirienko, 2020).

Målrettet kreftterapi ved alfapartikler egner seg også veldig som behandling hos pasienter hvor kreften har nådd metastase (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025). Metastase er spredning fra en kreftsvulst til andre deler av kroppen, hvor spredningsevne og spredningsmønster varierer mellom krefttypene (Hofsli & Klepp, 2025). På figur 10 kan man se bilder av kreft spredningen til en 47 år gammel mann med metastatisk bronkial karsinoid som er pasient hos en av Thor Medicals kunder før og etter kun èn behandling med målrettet alfaterapi (Vedlegg 2). Som man ser på bildet, har kreftspredningen blitt svært redusert.



Figur 10: Hentet fra vedlegg 2. Figuren viser bilder av kreftspredning til en 47 år gammel mann med metastatisk bronkial karsinoid før og etter behandling med målrettet alfaterapi.

I tillegg til at målrettet kreftterapi ved alfapartikler egner seg i behandling av metastatisk kreft er også sannsynligheten for at denne behandlingsformen lykkes i å drepe kreftcellene større enn ved bruk av både betastråling og gammastråling, som begge deler brukes i dagens kreftbehandling. Dette er fordi alfapartikler kan gi 3-7 ganger større biologisk skade på cellene siden de har så høy LET (lineær energioverføring) (Sollini, Marzo, Chiti, & Kirienko, 2020).

5.2. Refleksjon rundt bærekraftig kjemi

Produksjonen av alfaemitterende isotoper fra thorium-232 kan på flere måter settes under prinsippene for grønn kjemi. Samtidig er det viktig å drøfte at prosessen ikke er uten utfordringer, men at den heller kan være mer ressurs- og miljømessig fordelaktig enn andre produksjonsmetoder. Spørsmålet blir derfor ikke om prosessen er grønn, men i hvilken grad den følger de ulike prinsippene for grønn kjemi.

Det som er spesielt med Thor Medical sin produksjon, er at de fremstiller Thorium fra naturlige kilder. Den andre målrettede kreftterapien i dag utnytter Lu-177, noe som fremstilles kunstig. Den produseres i atomreaktorer ved å bestråle stabile isotoper som Yb-176 med nøytroner. (Weber, Vogel, & Maecke, 2021). Selskaper som ITM bruker slike reaktorer for å fremstille isotopen til kreftbehandling, men denne prosessen krever mye energi og kan produsere radioaktivt avfall fra bestrålingen. Derfor vil Thor Medical med sin produksjon redusere energibruk og mengden radioaktive biprodukter, som går under prinsipp 1, avfallsforebygging og 6, energieffektivitet som du kan lese om i vedlegg 1.

Som nevnt i kapittel 4.4 er Thorium ofte et biprodukt ved utvinning av sjeldne jordarter, og dette er et problem hvis man ikke kan utnytte det. Geologen Sven Dahlgren sier gjennom kanalen.no at «Thorium må håndteres og det kan ikke gå i avgangsdeponi. Det må enten brukes eller gå i spesialdeponi». (kanalen.no, 2026). På fensfeltet som har signert intensjonsavtaler med Thor Medical, har thorium vært et usikkerhetsmoment, men når det kan håndteres industrielt vil dette problemet forsvinne. Administrerende direktør i Thor Medical, Jasper Kurth, sier gjennom kanalen.no at de «ser frem til å gjøre norske forekomster av thorium om fra å være et biprodukt av gruvedrift til en essensiell komponent». (kanalen.no, 2026). Thor Medical vil på den siden være med å forebygge radioaktivt avfall som går under prinsipp 1, avfallsforebygging.

I tillegg vil Thor Medical bidra til en mer bærekraftig bruk av råstoffer. Etter første utvinning av datterelementene det inneholder, blir thorium-232 værende igjen. På grunn av den lange halveringstiden, vil den danne nye henfallsprodukter slik at de kan ekstraheres nytt noen år senere. (Orano Med). Dette inngår i prinsipp 7 i vedlegg 1, fordi Thorium-232 er naturlig forekommet, altså råmateriale, som kan brukes igjen senere. Dette er derfor en langsiktig ressurs.

5.3. Svakheter ved målrettet alfaterapi

5.3.1. Svakheter i medisinsk bruk

Nettopp noe av det som gjør målrettet alfaterapi så unikt, nemlig dens presisjon, kan dessverre også være en svakhet i behandling av tumorer. For å kunne behandle kreft med målrettet alfaterapi er man avhengig av at kreftcellene kan gjenkjennes med biomarkører (Reccia, Pai, Kumar , Spalding, & Frilling, 2023). Slike biomarkører kan for eksempel være unormalt mange somatostainreseptorer i overflaten av nevroendokrine kreftceller som beskrevet i kapittel 4.2. Kun når kreftcellen har denne biomarkøren kan radiokonjugatet Pb-212-DOTAMTATE finne og ødelegge kreftcellen.

Dersom tumorcellene ikke uttrykker disse somatostainreseptorene i tilstrekkelig grad kan man få en situasjon hvor behandlingen ikke finner og ødelegger alle lesjoner. En lesjon er et uttrykk som brukes om forandringer i alle organer, og i kreftsammenheng referer man da ofte til svulster og metastase (Johnsgaard, 2024). Altså kan tilfellet være at ikke alle lesjoner i metastatisk kreft uttrykker like mange biomarkører som er nødvendig for at et målrettet radiokonjugatet skal kunne finne lesjonen. Da er tumoren heterogen: Hver kreftsvulst inneholder kreftceller med ulike biologiske egenskaper (NBTC). (Reccia, Pai, Kumar , Spalding, & Frilling, 2023)

En annen svakhet knyttet til behandlingens presisjon handler om at ca. 30% av en av bly-212 sine datterisotoper, nemlig Bi-212 kan løsne fra chealtoren i radiokonjugatet Pb-212-DOTAMTATE etter henfall. Det samme problemet kan også oppstå hos Ra-224 sine datterisotoper. Konsekvensene av dette kan være at isotopene ikke utfyller sin målrettede hensikt, men kan gjøre skade på annet friskt vev. Dette problemet kan heller ikke elimineres, da datterisotopene også er alfaemitterende og bidrar til å ødelegge kreftceller i behandling. (Scaffidi-Muta & Abell, 2025)

Videre kan også alfapartikkelens korte rekkevidde være en svakhet i større tumorer. I slike tilfeller er problemet at vektoren som virker målrettende ikke når den indre tumoren, og alfapartikkelens korte strålingsrekkevidde når derfor ikke alle tumorcellene. Derfor er ikke nødvendigvis målrettet alfaterapi egnet i behandling av alle typer tumorer og kliniske situasjoner. Senere forklarer samme litteratur at behandlingen egner seg bedre til mindre, men spredte tumorer. (Scaffidi-Muta & Abell, 2025)

En siste svakhet ved målrettet alfaterapi i medisinsk bruk kan være at utviklingen av denne behandlingsformen fortsatt er i et tidlig stadium. Kliniske undersøkelser pågår fortsatt, og viser trolig lovende resultater, men vi mangler dokumentasjon på langtidseffektene av denne behandlingen og resultater på massebruk.

Det er også verdt å nevne at man i målrettet alfaterapi unngår mange av de medisinske bivirkningene som er en konsekvens av dagens kreftbehandlinger (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025). Både cellegift og strålebehandling fra utsiden av kroppen skader også friske celler langt mer enn det alfastråling gjør. Det er også nettopp skaden på disse friske cellene som ofte er

kilden til de bivirkningene som vi tradisjonelt forbinder med kreftbehandling (National Cancer Institute , 2025).

5.3.2. Svakheter i produksjon og et bærekraftig perspektiv

Selv om produksjonen av det medisinske isotope er bærekraftig i noen aspekter, finnes det noen utfordringer. Mengden av de ønskede isotopene er svært små. (Bjørseth, Samtale med Alf Bjørseth, 2025). Når bare en svært liten del av Thorium-232 til enhver tid henfaller til isotopen man ønsker å bruke medisinsk, betyr det at det kreves store mengder råmateriale for å få en liten mengde produkt. Dette kan forstås som lav atomøkonomi, som er prinsipp 2. Selv om resten av materiale kan brukes over tid, vil selve utbytte per seperasjon være lite. Dette blir derfor litt komplekst, råstoffet kan utnyttes bedre på langsikt, men kortsiktig er den medisinske utnyttelsen lav. Det kan gjøre at det kreves mer energi, enn hvis vi hadde hatt stort utbytte fra start.

Et annet problem er at radioaktive stoffer krever strenge sikkerhetssystemer. Produksjon, lagring, transport og seperasjon må foregå i spesialiserte anlegg med skjerming, kontrollrutiner og avansert håndtering. (internation atomic energi agency, 2018). Dette innebærer blant annet bruk av teknologi og utstyr som i seg selv er miljøbelastende. Det er viktig å ikke bare se på den kjemiske prosessen alene, men også se på total energibruk i anlegget, transporten av råstoffer og isotoper, samt håndteringen av sikkerhet. (U.S. Environmental Protection Agency, 2024).

Det finnes også et etisk og samfunnsmessig dilemma knyttet til dette. Produksjon, transport og bruken av radioaktive materialer kan vekke meninger og motstandere. Det er et felt med mye skepsis, og mange mener at dette er en risiko som kan påvirke samfunnet (Pandit, 2024). Samtidig vil denne forskninga kunne gi store helsegevinster, og hvis man ser på den sosiale bærekraften og individets livskvalitet, vil mange forsvare det. Siden sluttresultatet er behandling av en alvorlig sykdom som de fleste har dårlige forbindelse med, vil det derfor bli sett på som positivt fordi det er medisinsk nyttig.

6. Konklusjon

I denne oppgaven ønsket vi å undersøke om datterisotoper fra naturlig forekommende Thorium kan brukes i kreftbehandling, og eventuelt hvordan dette produseres og fungerer som en kreftmedisin. Ved hjelp av eksisterende forskning og et uvurderlig et intervju med Alf Bjørseth kan vi konkludere med at Thorium absolutt kan, og burde, anvendes i behandling av kreft. Thoriums alfaemitterende datterisotoper fremstilles så bærekraftig som mulig i selskapet Thor Medical på Herøya. Her samsvarer produksjonen med samtlige punkter innenfor det vi kaller grønn kjemi. Selskapet har nærmest ingenting avfall, gjenbruker andres radioaktive avfall, og bruker en lite energikrevende kjemisk prosess til å fremstille sine produkter. Videre har vi også undersøkt hvordan thoriums datterisotoper fungerer som kreftbehandling. Vi har funnet ut av at alfa-partiklene som isotopene sender ut i det de desintegrer kan skade kreftceller nok til at cellene dør. Skaden partiklene gjør på

kreftcellene er også betydelig større enn hos eksisterende strålebehandlinger av kreft som utnytter betastråling og gammastråling. Dette øker igjen sannsynligheten for at strålingen lykkes i å drepe kreftcellen. Til slutt har vi også undersøkt hvordan de alfaemitterende isotopene virker målrettede. Dette er mulig på grunn av et tredelt radiokonjugatet hvor den ene delen velges spesifikt for å kunne være kompatibel med biomarkører på kreftcellene og dermed oppsøke kreftcellene i kroppen. Dette er også grunnen til at målrettet alfaterapi egner seg hos pasienter med metastatisk kreft, en tilstand som er svært farlig i kreftforløpet.

Vi har i vår undersøkelse og funnet noen svakheter ved målrettet alfaterapi. For eksempel kan svakheter være radiokonjugatets presisjon og alfapartikkelens rekkevidde, krevende ressurser i produksjon og at vi mangler informasjon om forskningsfeltet. Til tross for dette mener vi at de positive sidene ved målrettet alfaterapi utveier de negative, og at det er viktig å trekke frem at kliniske undersøkelser viser svært lovende resultater på en rekke ulike krefttyper (Jabbar, Bashir, & Babar, 2023).

I videre undersøkelser av dette emnet hadde det vært interessant å studere hvordan andre radioaktive isotoper kan fungere bedre eller dårligere enn thorium-228 sine datterisotoper i målrettet kreftbehandling. Det samme gjelder ulike radiokonjugater som kan virke målrettende på ulike typer kreft. I tillegg kan man se nærmere på, og sammenligne, målrettet alfaterapi med eksisterende kreftbehandlinger. Da både cellegift, strålebehandling med gammastråling og målrettende strålebehandling med betapartikler, som for eksempel Lu-177-DOTAMTATE. Til slutt kunne det også vært interessant å vurdere hvor en slik type behandling burde brukes i kreftforløpet, med tanke på at behandlingen foreløpig er i begrenset produksjon. Burde behandlingen forbeholdes for de pasientene som ikke har effekt av annen behandling eller tilbydes i tidligere stadier av sykdommen.

Samlet sett viser oppgaven at thoriums datterisotoper illustrer et skifte i hvordan radioaktive stoffer forstås og anvendes. Slike radioaktive stoffer er ikke lenger et avfallsproblem, men en del av løsningen på en av vår tids største utfordringer. Vi har gått fra å tradisjonelt forbinde egenskapene til disse stoffene med risiko og fare til å nå anvende nettopp de samme egenskapene i kampen mot kreft, en sykdom nesten halve landets befolkning rammes av før de fyller 80 (Larsen, 2025). I et større perspektiv viser dermed også denne oppgaven at fremtidens kreftbehandling ikke nødvendigvis ligger i å finne opp ny teknologi, men i å forstå å utnytte ressursene vi har på en smartere og mer bærekraftig måte.

7. Kilder

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). I *Molecular Biology of the Cell* (s. Looking at the Structure of Cells in the Microscope). New York: Garland Science.

Alf Bjørseth . (u.d.). Hentet fra industriuka.no: https://industriuka.no/foredragsholdere/alf-bjorseth/

Alstad, J., Bjørnstad, T., & Hofstad, K. (2025, Juni 30). *Store Norske Leksikon.* Hentet fra Thorium: https://snl.no/thorium

Arazi, L., Cooks, T., Schmidt, M., Keisari, Y., & Kelson, I. (2007, August 01). Treatment of solid tumors by interstitial release of recoiling short-lived alpha emitters. Tel Aviv, Israel: Physics In Medicine And Biology, IOP Publishing Ltd.

Bedin, T. (2025, oktober 10). *atomer*. Hentet fra ndla.no: https://ndla.no/nb/r/naturfag-sf/atomer/4af44ae17b

Bedin, T., & Johansen, A. (2025, oktober 13). *stråling fra radioaktive kilder*. Hentet fra ndla.no: https://ndla.no/nb/r/naturfag-sf/straling-fra-radioaktive-kilder/e524a9cc50

Bjørseth, A. (2025, november 27). Presentasjon av Thor Medical . Thor Medical .

Bjørseth, A. (2025, Desember 4). Samtale med Alf Bjørseth. (M. N. Salvesen, & L. Rinde, Intervjuere)

Brekke, T. (2025, mars 26). *Thor Medical invisterer i AlphaOne-produksjon*. Hentet fra heroyaindustripark.no: https://www.heroya-industripark.no/aktuelt/2025/thor-medical-investerer-i-alphaone-produksjon

Bryhni, I., Askheim, S., Hofstad, K., & Fossen, H. (2025, november 12). *fensfeltet*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/Fensfeltet

Bøhle, K. (2019, November 02). *Gener, kromosomer og DNA.* Hentet fra NDLA: https://ndla.no/nb/r/naturfag-sf/gener-kromosomer-og-dna/f1511db1a9

Hagel, S. B. (2023, august 31). *Thor medical åpner testanlegg i Porsgrunn*. Hentet fra medwatch.no: https://medwatch.no/nyheter/legemidler_biotek/article16395860.ece

Helsenorge. (2025, September 12). *Nevroendokrin kreft.* Hentet fra https://www.helsenorge.no/sykdom/kreft/nevroendokrine-svulster/

Hofsli, E., & Klepp, O. (2025, Mars 6). *Metastase.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/metastase

Hofsli, E., Roald, B., Sauer, T., & Klepp, O. (2026, Februar 08). *Kreft.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/kreft_-_%C3%A5rsak

Hofstad, K., & Bjørnstad, T. (2024, november 21). *bakgrunnstråling*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/bakgrunnsstr%C3%A5ling

Holtebekk, T. (2025, februar 22). *positron*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/positron

internation atomic energi agency. (2018). *Regulations for the safe transport of radioactive material*. Hentet fra International Atomic Energy Agency: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1798_web.pdf

Jabbar, T., Bashir, S., & Babar, M. I. (2023, mars 21). Review of current status of targeted aplha theraphy in cancer treatment. *Nuclear Medicine Review. Central & Eastern Europe*, ss. 54-67.

Johnsgaard, N. (2024, November 26). *Lesjon.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/lesjon

kanalen.no. (2026, februar 10). Hentet fra To nye avtaler skal sikre utnyttelse av thorium fra Fensfeltet: https://www.kanalen.no/nyheter/to-nye-avtaler-skal-sikre-utnyttelse-av-thorium-fra-fensfeltet/400375

Kassis, A. I. (2008, september). Therapeutic radionuclides: biophysical and radiobiologic principals. *Semniars in Nuclear Medicine*, ss. 358-366.

Klepp, O. (2024, November 26). *Kreft (årsak).* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/kreft_-_%C3%A5rsak

Klepp, O., & Kløw, N.-E. (2026, Januar 15). *Stråleskade.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/str%C3%A5leskade

Kåss, E. (2024, November 25). *Fragmentering.* Hentet fra Store Medisinske Leksikon: https://sml.snl.no/fragmentering

Larsen, I. K. (2025, September 04). *Kreft i Norge.* Hentet fra FHI: https://www.fhi.no/he/fr/folkehelserapporten/ikke-smittsomme/kreft/#risikofaktorer-for-kreft

Lindsay, P. (2023). *Linear Energy Transfer (LET) and Relative Biological Effectivenedd (RBE).* Hentet fra University of Toronto Department of Radation Oncology; Princess Margaret Cancer Center (UHN): https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwip_YzPhImTAxXBPhAIHe3MK3IQFnoECCoQAQ&url=https%3A%2F%2Fradonc.utoronto.ca%2Fmedia%2F2685%2Fdownload%3Fattachment&usg=AOvVaw2pxkRcVW4wXZEx3Qzt4IMs&opi=89978449

Liu, D. (2019, november 15). Cancer biomarkers for targeted therapy. *Biomarker Research* , s. volum 7 artikkelnummer 25.

Mathisen, R. (2018, april 4). *grunnstoffer*. Hentet fra ndla.no: https://ndla.no/nb/r/konstruksjons--og-styringsteknikk-tp-tip-vg1/grunnstoffer/3d3a0a737e

Monsen, A.-L. B. (2024, november 26). *Biomarkører.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/biomark%C3%B8rer

National Cancer Institute . (2025, Mai 15). *Chemotherapy to Treat Cancer.* Hentet fra NIH: https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/chemotherapy?utm_source=chatgpt.com

National Cancer Institute (NCI). (u.d.). *Lead Pb 212 DOTAMTATE.* Hentet fra NCI Dictionaries : https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-drug/def/lead-pb-212-dotamtate

National Cancer Institute (NCI). (u.d.). *Somatostatin receptor.* Hentet fra NCI Dictionaries: https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/somatostatin-receptor

NBTC. (u.d.). *Heterogene svulster.* Hentet fra Teknologi: https://www.nbtc.no/teknologi/

Online Resources for Chemical Safety in Science Education. (2025, april 25). *hva er grønn kjemi?* Hentet fra chesse.org: https://chesse.org/no/gronn-kjemi/hva-er-gronn-kjemi/

Orano Med. (u.d.). Targeted Alpha Therapy. *Lead-212 Alpha Therapy*.

Pandit, M. (2024). *Communication of radiation risk in nuclear medicine*. Hentet fra World Journal of Nuclear Medicine: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4157184/

Reccia, I., Pai, M., Kumar , J., Spalding, D., & Frilling, A. (2023, Mars 20). Tumor heterogeneity and the consequent practical challenges in the management of gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms. *Cancers*, ss. 15(6), 1861.

Saga, T. A. (2024, desember 13). *Medisinske isotoper: En nødvendighet og mulighet for Norge*. Hentet fra dagensmedisin.no: https://www.dagensmedisin.no/medisinske-isotoper-en-nodvendighet-og-mulighet-for-norge/666079?utm_campaign=2024-12-15%3A+Skjermbruk+og+folkehelse+-+Kiropraktikk+-+Palliativ+medisin%3A+De+viktigste+debattene+fra+Dagens+Medisin&utm_source=newsletter&utm_med

Scaffidi-Muta, J. M., & Abell, A. D. (2025, Juli 1). 212-Pb in targeted radionnuclide therapy: a review. *EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry*.

Silfverström, N. (2023, desember 12). *Semistrukturert intervju - hvordan komme i gang*. Hentet fra klang.ai: https://klang.ai/no/blog/semistrukturert-intervju/

Simonsen, T. E. (2023, desember 12). *thorium i fensfeltet*. Hentet fra fensfeltet.no: https://fensfeltet.no/om-thorium/

Sollini, M., Marzo, K., Chiti, A., & Kirienko, M. (2020, mai 9). The five “W”s and “How” of Targeted Alpha Therapy: Why? Who? What? Where? When? and How? *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, ss. 231-247.

Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2021). Kjemi 2 grunnbok. I *Aqua 2* (ss. 213-219). Bø, Oslo, Trondheim: Gyldendal.

Steen, B. G., Finland, N., & Juel, L. A. (2021). aqua 2. I *kjemi 2 grunnbok* (s. 273). Bø, Oslo, Trondheim: gyldendal.

Tudek, B., Winczura, A., Janik, J., Siomek, A., Foksinski, M., & Olinski, R. (2010, Mai 15). Involvment of oxidatively damaged DNA and repair in cancer development and aging. *American Journal of Translational Research* , ss. 254-284.

U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Basics of Green Chemistry*. Hentet fra U.S. Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry

Uggerud , E., & Guttormsen, H. (2025, april 1). *grønn kjemi*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/gr%C3%B8nn_kjemi

Uggerud, E., & Pedersen, B. (2024, november 25). *Alf Bjørseth*. Hentet fra snl.no: https://snl.no/Alf_Bj%C3%B8rseth

Weber, W. A., Vogel, W. V., & Maecke, H. R. (2021, juni). *Challenges and future options for the production of lutetium-177*. Hentet fra PubMed Central: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8241800/

Ystenes, M., Hol, K. P., & Kløw, N.-E. (2026, januar 14). *Radioaktivitet - fysiologisk virkning.* Hentet fra Store Norske Leksikon: https://sml.snl.no/radioaktivitet_-_fysiologisk_virkning

Zhang, X., Liu, H., Miao, Z., Fan, F., Cheng, Z., & Kimura, R. (2011, Juni 1). Macrocyclic chelator assembled RGD multimers for tumor targeting. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, ss. 3423-3426.

8. Vedlegg

8.1. Vedlegg 1: Prinsippene for grønn kjemi

Vedlagt er de tolv prinsippene for grønn kjemi og hva de innebærer.

1. **Avfallsforebygging**
   Avfallsforebygging har som mål å redusere eller eliminere avfall fra kjemiske prosesser for å øke ressurseffektiviteten og redusere miljøpåvirkning. Eksempler er å minimere mengden avfall, gjenbruk og resirkulering av avfallsmaterialer.

2. **Atomøkonomi**

Kjemiske synteser bør designes slik at atomer som inngår i utgangsstoffer i størst mulig grad inngår i det endelige produktet.

3. **Mindre farlige kjemiske synteser**
   Fremstilling av kjemiske stoffer og materialer bør være minst farlige for menneskers helse og for miljøet.

4. **Lag tryggere kjemikalier**
   Fremstilling av kjemiske stoffer og materialer bør optimaliseres slik at stoffene som brukes og dannes har ønsket funksjon og er mest mulig effektive samtidig som skadelige effekter på helse og miljø minimaliserer.

5. **Bruk tryggere kjemikalier**
   Løsemidler og andre hjelpestoffer er stoffer som brukes for å lette eller forbedre reaksjonsprosessen, uten å være direkte involvert i reaksjonen. Bruken av løsemidler og andre hjelpestoffer bør unngås der det er mulig. Når slike stoffer er nødvendig, bør man velge de som er minst skadelige for helse og miljø.

6. **Energieffektivitet**
   Kjemiske prosesser bør designes slik at de krever minst mulig energi. Målet er å synteser utføres ved romtemperatur og vanlig trykk.

7. **Bruk fornybare råmaterialer**
   Hvis mulig, skal man bruke fornybare råmaterialer.

8. **Minimer deprivatisering**
   ved å begrense bruken av mellomtrinn eller reaksjonsprodukter som ikke inngår direkte i det ønskede sluttproduktivitet fra kjemiske synteser, kan mengden avfall fra og ressurser som brukes syntesen reduseres. Dette kan også redusere risikoen for forurensing og uønskede biprodukter og gi lavere energiforbruk.

9. **Katalyse**
   Katalyse er en prosess som øker hastigheten på en kjemisk reaksjon ved å bruke en katalysator. Katalysatorer gjør det mulig å produsere større mengder av en ønsket forbindelse på kortere tid, og med mindre energi- og materialkostnader. Katalysatorer kan også forbedre effektiviteten av en reaksjon ved å favorisere dannelsen av ønsket produkt over uønskede biprodukter.

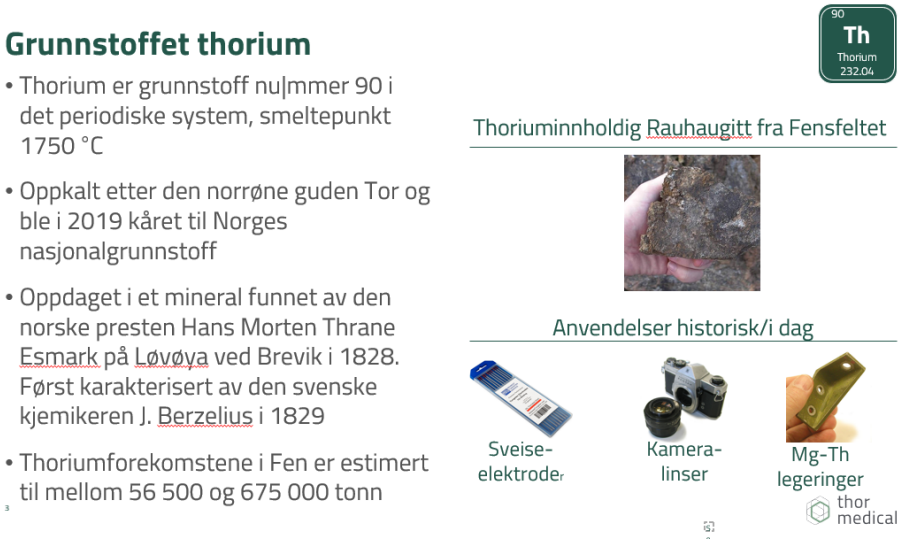
10. **Design for nedbryting**
    Kjemiske stoffer og materialer må designes slik at de ikke lenger kan brukes, brytes de ned til ufarlige stoffer som ikke akkumulerer i miljøet.

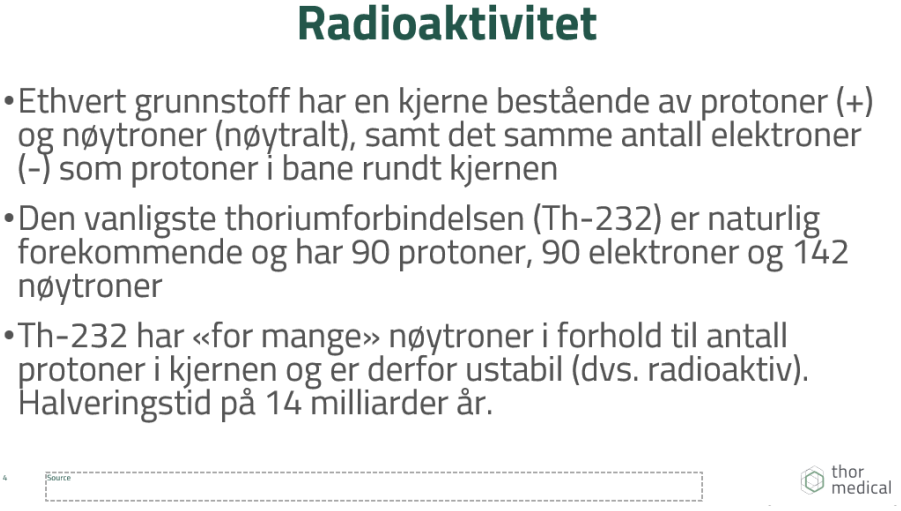
11. **Sanntidsanalyse og overvåking**
    Analytiske metoder må forbedres slik at det blir mulig å overvåke og kontrollere prosesser i sanntid og før farlige stoffer dannes.

12. **Tryggere kjemikalier og prosesser for ulykkesforebygging**
    For å minimere risikoen for uhell og ulykker bør man velge trygge prosesser og trygge kjemikalier.

8.2. Vedlegg 2: Presentasjon av Thor Medical

Vedlagt er en Presentasjon skrevet 27 november og presentert for oss av Alf Bjørseth den 4 desember 2025. Presentasjonen er henvist til i teksten som vedlegg 2.





Radioaktivitet kommer i tre ulike former

Alfastråling - α
Høy energi, kort rekkevidde

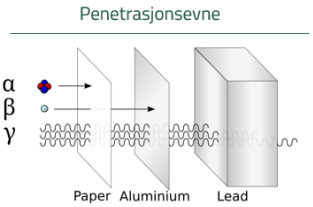
- Alfastråling består av partikler som sendes ut fra atomkjernen
- Alfapartikler består av to protoner og to nøytroner og er identisk med atomkjernen til grunnstoffet helium og har to positive elektriske ladninger

Betastråling - β
Mindre strålingsenergi, lang rekkevidde

- Betastråling kan være av to typer:
1. Negativt ladde elektroner, også kalt negatroner (β^-)
2. Positivt ladde elektroner, også kalt positroner (β^+)

Gammastråling - γ
Sterk strålingsenergi, lang rekkevidde

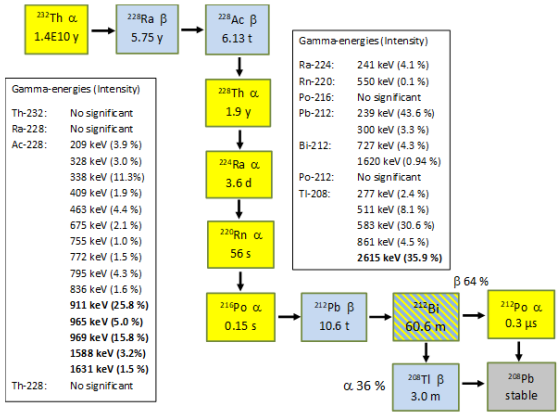
- Gammastråling er elektromagnetisk, det vil si fotoner som sendes ut av atomkjernen



5 Illustration: Wikipedia

thor medical

Spaltningskjeden til naturlig forekommende thorium (Th-232)



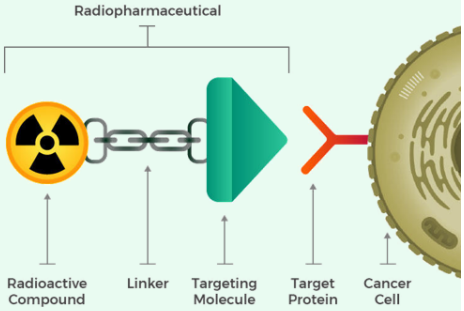
Ett tonn naturlig thorium (Th-232) inneholder rundt 0.4 mg med Ra-228

6 Source

thor medical

Målrettet kreftterapi med radiofarmaka

- Tradisjonelle kreftbehandlinger inkluderer blant annet cellegift og strålingsbehandling (som også er en form for radiofarmasi)
- Disse behandlingsformene kommer ofte med ubehagelige bivirkninger for pasienten
- Målrettet radioterapi minimere bivirkningene ved å levere radioaktiv stråling direkte til kreftcellen
- Det er to målrettede kreftterapier på markedet i dag, begge benytter beta-emitteren Lu-177
- Fremtidens radioterapier vil bruke alfa-emittere for å maksimere terapeutisk ytelse og minimere skadene på friskt vev



8 Kilde: WHO
Illustrasjon: National Cancer Institute

thor medical

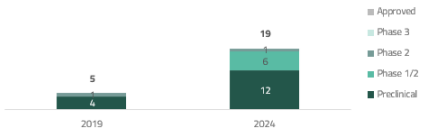
Henfallskjeden til thorium inneholder alfa-emittere som er velegnet til radiofarmasi og kreftbehandling

- Henfallskjeden til thorium inneholder spesielt to alfa-emittere (Ra-224 og Pb-212) som er velegnet til radiofarmasøytiske formål
  - Alfapartikler har 100 – 1 000x så høyt potensiale for å ødelegge kreftceller som betastråling
  - Alfapartikler har lav penetrasjonsevne (omtrent tre cellediametere) som gjør det lettere å begrense strålingen til kreftcellene og skåne friskt vev
  - Kort halveringstid fører til at radioaktiviteten forsvinner fra pasienten raskt, noe som er fordelaktig både for pasient og sykehus
- Ett tonn med thorium kan benyttes til å produsere tusenvis av pasientdoser. Thoriumforekomstene i Fensfeltet kan benyttes til å behandle mange tusen av pasienter

Simplifisert henfallskjede for thorium



Pipeline: Legemidler basert på Pb-212

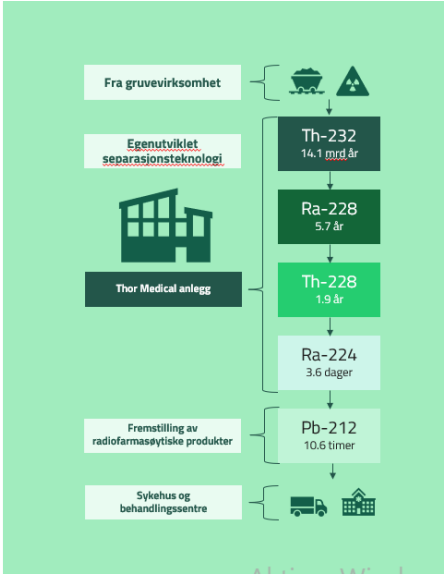


9 Source

thor medical

Skalerbar, kostnadseffektiv og bærekraftig produksjon av isotoper

- **Fremstilling av isotopene Th-228 og Ra-224 fra naturlig henfallskjede,** uten behov for kunstig bestråling i reaktorer eller akseleratorer
- Produksjonsprosessen basert på den naturlige henfallskjeden til thorium **unngår radioaktiv forurensning og andre urenheter** som oppstår i strålingsbaserte produksjonsprosesser
- **Verifisert og skalerbar** produksjonsmetode med 99.9% utbytte basert på evigvarende og resirkulerbar Th-232 råvare
- Både thorium og andre kjemikalier blir resirkulert og benyttet igjen

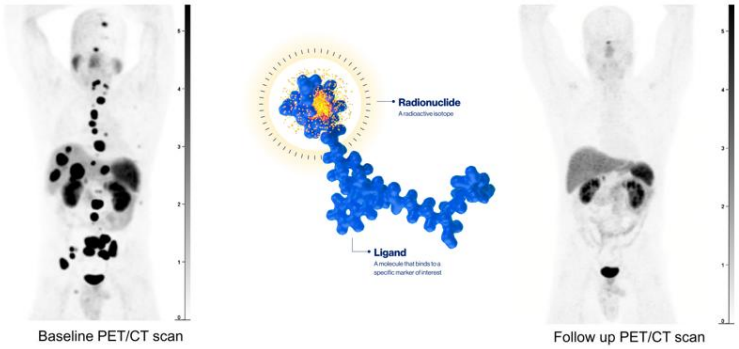


10 Source

Example of a Patient treated with a Pb-212 Therapy

47-year old Male with Metastatic Bronchial Carcinoid

Phase 1 clinical trial of Alpha particle PRRT with ^{212}Pb-DOTAMTATE



Baseline PET/CT scan

Follow up PET/CT scan

12 Source

thor medical

Recent Highlights

- Successfully **completed and commissioned pilot facilities** at Herøya, delivering on time and within budget
- **Delivered first Thorium-228 product samples** to customers with verified confirmation of performance
- Secured **six strategic sales agreements including Telix, ARTBIO, AdvanCell, Oncoinvent** as well as with an undisclosed **big pharma company and global leader in TAT**
- Signed **partnerships with feedstock suppliers** to ensure reliable supply of raw materials
- Successfully **completed capital raise for AlphaOne**, the company's first commercial scale plant set to start production in 2026
- Board of Directors confirmed **investment decision for AlphaOne** in March 2025



13 Source

thor medical

Teknologien er verifisert i pilotanlegget på Herøya

- Thor Medical sitt pilotanlegg på Herøya åpnet høsten 2024
- Isotoper fra pilotanlegget har allerede blitt benyttet i forskning og utprøving hos potensielle kunder
- Anlegget har i dag en kapasitet på rundt 200 pasientdoser i året og vil levere Th-228, Th-224 og Pb-212 til kliniske undersøkelser hos kundene

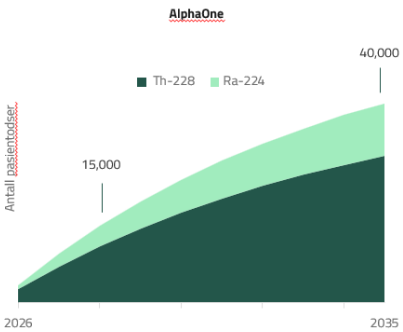


Source

thor medical

AlphaOne – Thor Medicals første industrielle anlegg

- Investeringsbeslutning fattet i mars 2025 – rundt NOK 200m i investeringer. Oppstart planlagt for andre halvår 2026
- Anlegget vil levere Th-228, Ra-224 og Pb-212 til både kliniske undersøkelser og etter hvert godkjente legemidler
- Produksjonskapasiteten vil øke fra 15 000 pasientdoser etter tre år til 40 000 etter 10 år – uten ekstra investeringer
- Ved full kapasitet vil anlegget prosessere flere 10-talls tonn med Th-232 per år, som resulterer i mindre enn 1 gram med ferdig produkt til kundene



15 Source

thor medical

8.3. Vedlegg 3: Intervju av Alf Bjørseth

Spørsmål og svar på intervju gjennomført den 4 desember 2025. Intervjuobjekt er Alf Bjørseth og intervjuerne er Mathilde Nikman Salvesen og Louise Rinde. Spørsmålene nedenfor er forberedte spørsmål til interjuvet som har blitt besvart i etterkant av intervju, men satt sammen på bakgrunn av notater fra interjuvet. Altså er svarene ikke direkte sitat. Informasjon fra møte med Alf Bjørseth som man ikke finner i spørsmålene nedenfor blir henvist til i teksten som «Samtale om Thor Medical». I tillegg til dette er informasjonen nedenfor kun fra selve interjuvet og ikke fra presentasjonen som Alf holdt for oss, som er vedlagt i vedlegg 2.

1. Det finnes grønne prinsipper i kjemi, på hvilken måte jobber dere for å følge disse, og bidra til en bærekraftig utvikling?
   Thor Medical er det eneste selskapet i verden som henter ut Thorium-228 og radium-224 fra naturlige forekomster. Andre fremstiller isotopene kunstig. Dermed unngår Thor Medical radioaktiv forurensing, i tillegg til at å gjøre det på denne måten er energisparende og mer bærekraftig. I ett tonn med thorium-232 kan vi finne og bruke 0.4 mg med thorium-228. Thor Medical kan også gjenbruke de samme råvarene (thorium-232), da nye isotoper naturlig vil dannes og kunne hentes ut etter hvert som henfallskjeden til thorium går sin gang. Videre har Thor Medical ingen avfall. Alle løsningsmidler som brukes i fremstillingsprosessen kan brukes på nytt.
   Thor Medical kan også bruke av andre selskapers avfall, og på denne måten bidra til en mer bærekraftig produksjon hos andre selskaper. Et eksempel på dette er et franskt selskap som jobber med å utvinne sjeldne jordarter, og har problemer med å bli kvitt avfall. Dette avfallet utnytter pilotanlegget på Herøya som råvarer i sin produksjon.

2. Har dere noen rapporter eller forskning knyttet til hvordan thorium-228 fungerer som kreftmedisin?
   Thor Medical har flere kunder som har reddet mennesker som har nådd et terminalt nivå i kreftforløpet, hvor eksisterende kreftbehandling ikke lenger kan redde pasientene. Noen av disse kundene er de farmasøytiske selskapene Unco invent (Norge) som kjøper radium-224, amerikanske Radio Therputics, Advanced Cell i Australia kjøper thorium-228 og amerikanske Artbayo.

3. Har behandlingen noen bivirkninger?
   Dagens behandling av kreft, altså cellegift og strålebehandling er reduserende for kroppen og ubehagelig for pasienten. Disse bivirkningene finner man ikke hos behandling med thorium-228.

4. På hvilken måte kan Thorium-227 partiklene gjenkjenne og finne kreftceller for å så ta liv av cellen med lite skade på omliggende vev?

Den radioaktive strålingen fra alfapartikkelen er i stand til å ta liv av cellene, og de alfaemitterende isotopene thorium-228 og de som følger i dens henfallskjede blir fraktet til cellene ved hjelp av et «Targeting molecule», som er et antistoff. Dette antistoffet er et organisk stoff som bærer isotopene til målcellen, og hele dette radiokonjugatet (isotopene og den målrettete bæreren) kalles for 212-Pb-DOTAMTATE

5. Hvordan foregår produksjonen av isotopene?
   Vi bruker væskekromatografi for å isolere de ønskede isotopene radium-224 og thorium-228. I denne fremstillingsprosessen er det ikke noe avfall, ettersom løsningsmidlene som brukes i fremstillingsprosessen kan brukes på nytt. Ved bruk av væskekromatografi har man en stasjonær fase i en kolonne hvor man fyller på med thorium og radium løsningene. Thorium-228 og radium-224 isotopene vil da binde seg til kuler i den stasjonære fasen. Når disse løsningene har rent gjennom kolonnen fyller man igjen kolonnen, men med en syre-løsning. Syre-løsningen vil løsne isotopene og dermed er det som kommer ut av kolonnen en løsning med kun de ønskede isotopene.

6. Hvordan ser veien videre ut?
   Selskapet venter på at kliniske undersøkelser i Norge skal bli gjennomført slik at denne behandlingsformen er tilgjengelig i Norge. Frem til nå kan man kun selv velge, og betale for, denne behandlingsformen dersom annen kreftbehandling ikke lenger kan redde pasienten. I tillegg har Thor Medical allerede flere avtaler, både med kunder, men også som kunde selv, som sikrer ressurser og kunder i kommende år.

8.4. Vedlegg 4: Samtykkeerklæring

SKRIVESENTERET PVS

Vil du delta i Forskningsoppgava mi?

«Fra stein til kreftmedisin: målrettet kreftbehandling ved bruk av datterisotoper til thorium-232»

Dette er et spørsmål til deg om å delta i Forskningsoppgava vår hvor formålet er undersøke hvordan thorium brukes i kreftforskning samt eventuelle konsekvenser av denne bruken. I tillegg ønsker vi å få et innblikk i hvordan Thor Medical jobber i forhold til prinsippene for grønn kjemi. I dette skrivet gis du informasjon om målene for min forskningsoppgave og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Forskningsoppgavas hovedmål er å undersøke bruken av thorium på molekylært nivå i sammenheng med kjemi, Og jeg skal prøve å svare på følgende problemstilling(er).

1. Vi har bestemt oss for å undersøke hvordan Thorium-232 kan brukes i bekjempelse av kreftceller på et molekylært nivå: På hvilken måte kan henfallet til Thorium-232 gjenkjenne og finne kreftceller for å så ta liv av cellen med lite skade på omliggende vev? I tillegg ønsker vi å undersøke hvordan behandling og produksjon av thorium 232 til kreftbehandling samsvarer med prinsippene for grønn kjemi.

Forskningsoppgava skal leveres våren 2026

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?
Porsgrunn vgs og Skrivesenteret ved skolen.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?
Du får spørsmål om å delta som informant i forskningsoppgava fordi du har faglig kompetanse som kan gi oss en grundig helhetlig vurdering av oppgaven, som kan bidra til en bedre gjennomføring av oppgaven.

Hva innebærer det for deg å delta?

Hvis du velger å delta forskninga, innebærer det at du stiller til intervju og svarer på de spørsmål du vil/kan svare på og at jeg kan bruke svara dine i min oppgave.

Intervjuet kan tas opp på lydbånd og transkriberes til tekst som skal brukes i oppgava.

Det er frivillig å delta
Det er frivillig å delta. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger
Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

- Det er kun jeg/vi som skriver denne Forskningsoppgava som vil ha tilgang til datamaterialet
- Dataene vil lagres og slettes etter bruk.

Hva skjer med personopplysningene dine når forskningsprosjektet avsluttes?
Prosjektet vil etter planen avsluttes mars 2026. Etter prosjektslutt vil datamaterialet med dine personopplysninger anonymiseres. De anonymiserte opplysningene vil ikke bli umiddelbart slettet.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?
Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

Dine rettigheter
Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:
- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål knyttet til Personverntjenester, kan du ta kontakt med:
- Personverntjenester på epost (personverntjenester@sikt.no) eller på telefon: 53 21 15 00.

Med vennlig hilsen

Mathilde Nikman Salvesen og Louise Rinde
Elever ved Porsgrunn VGS

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om Forskningsoppgava «fra stein til kreftmedisin, målrettet kreftbehandling ved bruk av datterisotoper til thorium-232», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

☐ å delta i intervju

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles fram til prosjektet er avsluttet

4/12-25 Rolf Bjørseth

(Signert av prosjektdeltaker, dato)