

# GENialt

Tidsskrift fra Bioteknologirådet // 3-2023 // 32. årgang

småGENialt  
Skal sekvensere  
alle arter i Norge  
SIDE 22

Gensaks deler

## *Genteknologi- utvalget* s. 4

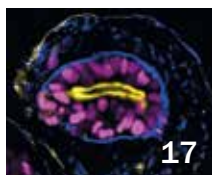
Nytt fôr  
*til norsk laks*  
s. 6

Må vi tenke nytt  
*om aldring?*  
s. 14

Leiar: Genteknologiloven må moderniseres – men hvordan? .....	3
Gensaks deler Genteknologiutvalget .....	4
Nytt fôr til norsk laks .....	8
Reprogrammerte bakterier med innebygget virussikring .....	12
Ny genterapi mot nervesjukdom .....	12
Olje fra GM-raps godkjent .....	13
Må vi tenke nytt om aldring? .....	14
DNA fra løse luften .....	16
Frå mus til menn .....	17
Donorvalg med kunstig intelligens .....	18
Gjør katter sterile med genterapi .....	20
Lager protein-sprøyte med kunstig intelligens .....	20
Smertefri genfeil .....	21
Skal sekvensere alle arter i Norge .....	22



16



17



18



Genteknologiutvalet leverte NOU-en *Genteknologi i en bærekraftig fremtid* til klima- og miljøminister Espen Barth Eide i juni i år. Bilete frå produksjon av mikroalgar til fiskefôr ved Nasjonal algepilot Mongstad. Foto: Thor Brødreskift

## GENjalt 3-2023 // 32. årgang

Redaksjonen avslutta: 31.08.2023

Ansvarleg redaktør: Petter Frost

Redaktør: Mette Risa

Redaksjon: Anne Marit Ryen, Caroline Bianchi Strømme, Eirik Joakim Tranvåg, Håvard Øritsland Eggestøl, Stine Hufthammer Indrelied.

Opplag: 4850

Utgivar: Bioteknologirådet

Adresse: Bioteknologirådet,

Edvard Griegs vei 3b, 5059 Bergen

Internett: [www.bioteknologiradet.no](http://www.bioteknologiradet.no)

E-post: [post@bioteknologiradet.no](mailto:post@bioteknologiradet.no)

Design: Dugg Design AS

Trykk: Byråservice AS

ISSN (trykt utgave) 0804-225X

ISSN (nettutgave) 1502-7619

Bioteknologirådet er eit frittstående, regjeringsoppnemnd organ, og vart første gong oppnemnd i 1991. Rådet er heimla i lov om humanmedisinsk bruk av bioteknologi m.m. (bioteknologiloven) og lov om framstilling og bruk av genmodifiserte organismar.

Bioteknologirådet gir råd i saker som gjeld bruk av bio- og genteknologi i samband med menneske, dyr, plantar og mikroorganismar. Rådet skal óg tilby informasjon og skape debatt. I vurderingane sine skal rådet særleg leggje vekt på dei etiske og samfunnsmessige konsekvensane ved bruk av moderne bioteknologi.

Bioteknologirådet har 15 medlemmer og fem vararepresentantar som er oppnemnde for perioden 2023-2027. I tillegg inviterast seks departement til møta som observatørar. For 2023 har Bioteknologirådet eit budsjett på 13,3 millionar kroner.



# Genteknologiloven må moderniseres – men hvordan?

**Da Bioteknologirådet ble opprettet i 1991 var det med et tydelig mandat: Å bidra til at vi fikk den viktige debatten om hvordan bioteknologi og genteknologi skal brukes til det beste for mennesker, samfunn og miljø/natur. En debatt basert på kunnskap om teknologien, hvilke muligheter den gir og hva bruk av teknologien kan føre til. Det er en jobb Bioteknologirådet (kalt Bioteknologinemda fra 1991-2014) har forvaltet i over 30 år.**

I nesten like lang tid har en av rådets hovedoppgaver vært å følge med på bruk av genteknologi brukt på planter, dyr og mikroorganismer slik det er regulert i genteknologiloven. Samme år som denne loven kan feire sitt 30-årsjubileum, står vi overfor en ny, stor debatt.

Norge har en genteknologilov som i liten grad har blitt endret siden den kom i 1993, med unntak av et tydelig forbud mot kloning. Det gjør at vi i dag har en lov som ikke er utformet med tanke på ett av de største teknologiske fremskrittene innen genteknologi; genredigering med Crispr-metoden. Siden metoden ble presentert i 2012, har det store spørsmålet vært om man fortsatt skal regulere en slik bruk av genteknologi på samme måte som tradisjonell genmodifisering, eller om man trenger nye regler. Et eget utvalg ble nedsatt i 2020 for å vurdere blant annet dette, etter initiativ fra Bioteknologirådet. Nå har Genteknologiutvalget kommet med sine konklusjoner, og de er enige om én ting; genteknologiloven må moderniseres. Men utvalget er uenige om hvordan.

Et flertall av utvalgets medlemmer ønsker en oppmykning av dagens lov, som legger til rette for bruk av genredigering for gode formål, som klimatilpassing, sykdoms-

resistens og bedre avlinger. Et mindretall mener også at loven må moderniseres, men at vi fortsatt skal være forsiktige med bruk av genredigering, nettopp på grunn av de enorme mulighetene teknologien åpner for. Med en teknologi som er så kraftfull, mener de at vi bør være varsomme med å liberalisere for eksempel krav til risikovurdering og merking.

Debatten om fremtidens genteknologilov bør ikke bli en debatt om ytterpunktene. Den bør ikke bli en debatt om hvem som har rett eller galt, men om hva de ulike teknologiene kan gjøre, og om hvilke impli-

» Fakta og innsikt gir det beste grunnlaget for en viktig debatt om genteknologi som kommer uansett.

kasjoner bruken fører med seg. Bioteknologirådet ser frem til å diskutere utvalgets utredning i høst, og vi håper du også vil være med på den debatten som vi nå ser konturene av.

For å få en opplyst debatt er det viktig at så mange som mulig av oss skjønner hva dette dreier seg om, hva de ulike genteknologien gjør og hvordan de kan brukes, på godt og vondt. Bioteknologirådet har egen podkast. Nettsiden vår har mange temaside som gir deg et innblikk i genteknologi og viktige etiske spørsmål, video fra foredrag med eksperter, informasjonsmøter og debatter. Sidene er mye brukt av skolene, men like tilgjengelige for alle. Fakta og innsikt gir det beste grunnlaget for en viktig debatt om genteknologi som kommer uansett.



Du kan lese mer om forslagene i NOU-en i denne utgaven av GENiAlt, og når du har gjort det så foreslår jeg at alle, fra bønder, fiskeoppdrettere og miljøvernere til byråkrater, fra meningmann og -kvinne til politikere og beslutningstakere, la seg inspirere til å lære enda mer. Den nye utviklingen innen genteknologi vil påvirke livene våre. Hvordan? Og hvordan sikre oss mot mulige negative virkninger samtidig som vi kan dra nytte av det positive? For å forme fremtidens regulering av genteknologi krever det innsikt. Ikke bare om teknologiens potensial, men også dens mulige risikoer og konsekvenser. Det er nødvendig for at debatten skal bli god og opplyst nå når loven skal på høring. Det vil bidra til at vi etter hvert lander på en ansvarlig og etisk bruk av genteknologi til det beste for naturen og oss som bor her i landet.

*Marianne Aasen*





Leder i Genteknologiutvalget Anna Wargelius overleverte NOU-en Genteknologi i en bærekraftig fremtid til klima- og miljøminister Espen Barth Eide 6. juni 2023. Foto: Petter Frost

## Gensaks deler Genteknologiutvalget – men alle mener loven må endres

I likhet med DNA-et den klipper, så deler gensaksen Crispr det norske Genteknologiutvalget i to. Det nobelprisvinnende genredigeringsverktøyet er like lovprist som det er kontroversielt.

Av Håvard Øritsland Eggestøl

**I 30 ÅR HAR DEN NORSKE** genteknologiloven (se faktaboks) stått nesten urørt, mens forskning på og bruk av genteknologi har gått i enorm fart. Siden november 2020 har Genteknologiutvalget jobbet med en NOU om fremtidens regulering. Utvalgets medlemmer er enige om at loven må moderniseres, men ikke om hvordan.

## » Det er uetisk å la være å bruke genteknologi som kan bidra til å løse presserende globale utfordringer.

### Flertallet

Flertallet mener at dagens lovverk er mer forsiktig enn nødvendig og er et hinder.

– Det er uetisk å la være å bruke genteknologi som kan bidra til å løse presserende globale utfordringer, skrev NOU-flertallet i et debattinnlegg i Dagsavisen 12. juni i år.

Flertallet foreslår å åpne opp reguleringen ved at organismer med midlertidige endringer, som DNA- eller RNA-vaksinerte organismer, ikke lenger skal omfattes av genteknologiloven, men matloven. De introduserer også begrepet «presisjonsavlede organismer» fra britisk lovverk (PBO –precision bred organism) og skiller det fra "genmodifiserte organismer" (GMO). Med PBO menes organismer som har genetiske endringer som kunne oppstått gjennom vanlig avl.

Ifølge flertallet er risikoen til PBO-er mer å sammenligne med konvensjonell mat enn genmodifisert mat. Derfor foreslår de en nivådelt lovgivning som skiller mellom ulike former av PBO-er og GMO-er. På det laveste nivået (PB1) foreslår flertallet å fjerne de fleste teknologispesifikke reguleringene, mens de vil beholde de fleste på det høyeste nivået (GM2). De foreslår også å flytte forvaltningsansvaret for genteknologi brukt i mat fra Klima- og miljødepartementet til Mattilsynet.

I tillegg foreslår de at Bioteknologirådet ikke lenger skal vurdere bærekraft, samfunnsnytte og etikk for hver GMO, men at en vurdering av etisk forsvarlighet skal gjøres av en nyopprettet etikk-komité.

### Mindretallet

Mindretallet er uenig i flertallets forslag til innsnevring av GMO-definisjonen, og mener at det ikke er grunnlag for å generelt hevde at noen genetiske endringer er mindre risikable enn andre.

– Det er ikke en lineær sammenheng mellom teknikken brukt, omfanget av en genmodifisering og endringen i organis-

mens risikoprofil, skriver mindretallet i NOU-ens kapittel 10.3.1.

Mindretallet mener det er nødvendig med en sterk regulering for å «oppretholde tillit, trygghet og åpenhet». De foreslår at dette skal skje blant annet gjennom videreføring av store deler av loven slik den er i dag og flere tiltak som å lovfeste føre-var-prinsippet og å styrke uavhengig forskning. Samtidig anerkjenner mindretallet at genredigering kan føre godt med seg og foreslår flere mindre endringer. Blant disse foreslåtte endringene er å utarbeide bedre og flere veiledere for å ta ned den regulatoriske byrden til utviklere og å forenkle risikovurderingskrav for GMO-er uten fremmed DNA.

### Enigheten

Et samlet utvalg foreslår altså en modernisering av genteknologiloven, men med noen forskjeller i hvor langt en skal gå. Blant de felles forslagene er det en oppmykning i reglene for å sette ut GMO-er i naturen ved forskning, omskrive de særnorske kriteriene bærekraft, samfunnsnytte og etikk til etisk forsvarlighet, og å utvikle entydige definisjoner av sentrale begrep. I tillegg er utvalget samlet om å flytte vedtaksmyndigheten for GMO-legemidler til mennesker fra Miljødirektoratet til Statens legemiddelverk.

### Veien videre

Fremover vil NOU-en sendes ut på høring, hvor samtlige interessenter kan levere sine innspill til departementet. Etter høringsrunden er fullført vil departementet, sammen med politisk ledelse, ta med seg innspillene og eventuelt forberede et lovforslag eller en melding til Stortinget.

### Genteknologiloven – lov om framstilling og bruk av genmodifiserte organismer m.m. (1993):

Genteknologiloven skal «sikre at framstilling og bruk av genmodifiserte organismer og framstilling av klonede dyr skjer på en etisk og samfunnsmessig forsvarlig måte, i samsvar med prinsippet om bærekraftig utvikling og uten helse- og miljømessige skadevirkninger».

Første versjon av loven kom i 1993, og den har siden blitt oppdatert for blant annet å inkludere et forbud mot kloning av virveldyr og krepsdyr.

I Norge må alle genmodifiserte organismer dokumenteres trygge for helse og miljø, bidra til bærekraftig utvikling og samfunnsnytte og være etisk forsvarlig.

De eneste GMO-ene som er godkjent for salg i Norge i dag er seks sorter lilla nelliker som er snittet ved import. I tillegg er en rapsolje utvunnet fra genmodifisert raps tillatt å importere til Norge for bruk i fiskefôr.

I 2018 påpekte Bioteknologirådet at bioteknologiloven burde revideres og foreslo en offentlig utredning (NOU).

Genteknologiutvalget begynte sitt arbeid i 2020, og leverte NOU-en til Klima- og miljøminister Espen Barth Eide i juni 2023.

Utvalget var enig om at lovverket må endres men delte seg i to på hvordan dette bør gjøres.



# Genteknologi i en bærekraftig fremtid – veien videre

Etter over to år har Norge nå fått en utredning om hvordan fremtidens genteknologilov bør se ut, og det er varslet en høring i høst. En tilsvarende prosess, men kun for planter, skjer samtidig i EU. GENialt har snakket med to eksperter om NOU-ens innhold og veien videre.

Av Håvard Øritsland Eggestøl



## Gaute Lenvik

Administrerende direktør i Norsk Landbrukssamvirke

– Jeg mener det blir viktig å se på hva man er enige om. Det kan være utfordrende når NOU-en, presentasjonen av denne og ikke minst debatten i etterkant fokuserer på forskjellene mellom de to ulike synene, sier

Gaute Lenvik, administrerende direktør i Norsk Landbrukssamvirke og medlem i Bioteknologirådet, til GENialt.

Lenvik har lang erfaring fra forskjellige stillinger knyttet til norsk landbruk og trekker frem at utvalget er enig både om behovet for endringer i regulering og forvaltning av genteknologi for alle arter. Klinisk utprøving av GMO-legemidler må forenkles, det må stimuleres mer til forskning og innovasjon og at det er behov for endrede krav til forsøksutsetting av GMO er blant punktene han mener bør få mer oppmerksomhet.

– Et samlet utvalg er klar på at forbrukerinteresser og åpenhet må ivaretas og at et modernisert regelverk må vektlegge bærekraft, samfunnsnytte og etikk, sier Gaute Lenvik.

Når det er sagt peker Lenvik på uenigheten om risikovurdering, merking og forvaltning som vesentlig.

– Dette er temaer som kan ha stor betydning for om nye genteknologiske metoder tas i bruk, og ikke minst er interessant for hvor-

dan deler av norsk næringsliv kan posisjonere seg i en internasjonal konkurranse framover, sier Gaute Lenvik.

## Europa

I tillegg ser Lenvik at diskusjonen innad i EU om EU-kommisjonens forslag om nytt regelverk for genredigerte planter (se faktaboks) vil ha stor betydning for de politiske veivalgene i Norge. Selv om forslaget i første omgang kun drøfter genredigering av planter, mener Lenvik at den vil ha stor betydning for de politiske veivalgene også i Norge.

– Dette er naturlig både med tanke på Norge sitt forhold til EU gjennom EØS-avtalen og at EU er vår viktigste handelspartner, sier Gaute Lenvik.

## Nytt EU-regelverk for genredigerte planter?

I juli 2023 foreslo EU-kommisjonen et nytt regelverk for genredigerte planter uten fremmed DNA for EU-parlamentet.

Forslaget går blant annet ut på at:

- Genredigerte planter uten fremmed DNA, som kunne blitt til gjennom vanlig avl, ikke må godkjennes av myndighetene, men bare meldes fra om til myndighetene.
- Genredigerte planter som kommer ut på markedet skal behandles som vanlige planter med tanke på merking og sporbarhet.
- Alle genredigerte planter skal registreres i et eget register for å sikre oversikt og tillit.

Dette lovforslaget skal nå videre behandles i EU-parlamentet.



### Reidunn Birgitta Aalen

Professor ved Institutt for Biovitenskap, UiO

– Det viktigste forslaget er flertallets forslag om fire reguleringsnivåer, to for målrettet genredigering (også kalt presisjonsavl) og to for genmodifiserte organismer som inneholder fremmed DNA, sier Reidunn Birgitta

Aalen, professor ved Institutt for Biovitenskap på Universitet i Oslo.

Aalen mener at forenklete godkjenningprosedyrer, tilpasset risikoen for organismen, vil gjøre det mulig for mindre aktører å ha råd til å benytte presisjonsavl rettet inn mot norske behov.

– Til nå har dette feltet vært dominert av multinasjonale firmaer som ikke nødvendigvis har hatt bøndernes og forbrukerens interesser som første prioritet, sier Aalen.

Aalen er opptatt av hvilke konsekvenser mindretallet og flertallets forslag vil få i praksis.

– Både flertallet og mindretallet ønsker å stimulere til forskning, men jeg er redd for at mindretallets krav til risikovurdering også for presisjonsavlede planter, vil gjøre det for dyrt å utnytte teknologien på best mulig måte. Det er alvorlig, for klimaendringene med flom og hetebølger gjør det presserende å utvikle mer robuste landbruksvekster her til lands, understreker Aalen.

Hun synes det er beklagelig at det fort-

satt fokuseres på at presisjonsavlede planter er laget med genteknologi, og ikke på tidsbesparelsen og resultatet av genredigeringen, for eksempel at planter har fått tilført bedre sykdomsresistens.

– Hvis vi ikke raskt satser på å utvikle planter som er mer robuste, vil det vil gjøre oss mer sårbare for følgene av den globale oppvarmingen, sier Aalen.

### Europa

Aalen påpeker også at EU-kommisjonens forslag til regulering av genredigerte planter ligger nært opp til det flertallet i NOU-en foreslår.

– Norge er bundet opp mot EUs regelverk for GMO gjennom EØS-avtalen, sier Aalen.

EU-forslaget kom i juli, rundt en måned etter at NOU-en hadde blitt overlevert til Klima- og miljøminister Espen Barth-Eide. Det er fortsatt usikkert om kommisjonens forslag vil gå gjennom, da det er stor uenighet om regulering av genteknologi innad i EU. ♦





Nasjonal Algepilot Mongstad ligger ved siden av Teknologisenteret på Mongstad. Der bruker de blant annet CO2 gjenvunnet fra oljeraffineriet for å dyrke mikroalgene. Foto: Thor Brødreskift

# Ny mat til norsk laks

Norge er verdens største eksportør av oppdrettslaks, men nesten alt oppdrettslaksen spiser kommer fra utlandet. Kan grantrær, insekter eller mikroorganismer bli til laksefôr? Og hvorfor betyr det noe hva laksen spiser?

Av Anne Marit Ryen og Stine Hufthammer Indrelid

**MILLIARDER** av mikroalger flyter rundt i sjøvannet i bioreaktorene på Mongstad nord for Bergen. Mikroalgene, noen ganger grønne, men i dag en brun art, lever i en lang rekke glassrør inne i et stort drivhus, slik at mest mulig lys kommer til. Når GENialt er på besøk ved Nasjonal Algepilot Mongstad, og ganske mange vinterdager på Vestlandet,

trommer regnet på glasstaket og algene får i tillegg kunstig lys. Og CO<sub>2</sub>. Like ved algedrivhuset ruver nemlig Equinor sitt oljeraffineri på Mongstad, Norges største utslippspunkt for CO<sub>2</sub> på fastlandet.

## Liten løsning på stor utfordring

– Mikroalgene vokser i vann, bruker CO<sub>2</sub>

som karbonkilde i fotosyntesen og får energi fra lyset, forteller Dorinde Kleinegris, seniorforsker ved NORCE.

Det er Universitetet i Bergen som eier anlegget, og forskningsinstituttet NORCE som driver det. Etableringen av testanlegget er et resultat av samarbeid mellom forskningsmiljø og næring, og er et forsøk på å



Dorinde Kleinegris, seniorforsker ved NORCE.  
Foto: Mette Risa/Bioteknologirådet



» Hvis du spiser et stykke norsk laks er tre fjerdedeler av klimaavtrykket knyttet til hva fisken selv har spist.



Joakim Hauge, teamleder bioøkonomi i Bellona.  
Foto: Bellona



Karl Almås er spesialrådgiver ved SINTEF Ocean.  
Foto: Privat



Kristina Sigurdsdottir Hansen, statssekretær for fiskeri- og havminister Bjørnar Selnes Skjæran (Ap).  
Foto: Yngve Angvik, Nærings- og fiskeridepartementet



Professor Margareth Øverland lager fiskefôr av granskog. Foto: Foods of Norway

bruke klimagassen CO<sub>2</sub> fra oljeindustrien til å dyrke alger fulle av marin omega-3 som kan brukes i fiskefôr i oppdrettsnæringen. En del av forsøket har vært å bruke CO<sub>2</sub> som er fanget ved Teknologisenteret like ved. En annen del går på å prøve ulike typer fiskeavfall som næring til mikroalgene.

– Equinors utslipp av CO<sub>2</sub> er i prinsippet nok til å dyrke mikroalger som dekker hele den norske oppdrettsnæringens behov for marin omega-3, sier Kleinegris.

Det finnes over 45 000 ulike alger i verden og til sammen står disse for mer enn 40 prosent av verdens fotosyntese. Alger er svært forskjellige; fra noen av de største plantene som finnes til mikroalger som er små, encellede mikroskopiske former. For tiden er det *Phaeodactylum tricornutum* som vokser og formerer seg i glassrørene på Mongstad, en mikroalge som NORCE har hentet fra Puddefjorden i Bergen.

#### Hvorfor betyr det noe hva fisken spiser?

– Verdens matsikkerhet er under press. Det skyldes både knapphet på arealer og ressurser, men også klimaendringer. Samtidig

er klimaendringer også et resultat av global matproduksjon. En tredjedel av verdens klimautslipp kommer nettopp fra matproduksjon, sa Kristina Sigurdsdottir Hansen, statssekretær for fiskeri- og havminister Bjørnar Selnes Skjæran (Ap), på en konferanse om bærekraftig fôr i regi av NMBU og SINTEF i mai i år.

I dag er norsk havbruksnæring verdensledende når det gjelder produksjon av oppdrettslaks, og både næring og politikere har en ambisjon om at Norge skal produsere enda mer laks i årene fremover. Men når klimaregnskapet til laksefiléten på middagstallerkenen gjøres opp, er det ikke likegyldig hva fisken selv har spist. Dagens norske oppdrettsfisk er nesten blitt vegetarianer, og har lagt seg til eksotiske matvarer: 92 prosent av råvarene som brukes for å lage fôr til oppdrettslaksen er importerte, og når norsk laks skal spise seg mett på blant annet på soya fra Brasil, påvirker det også oppdrettslaksens klimaavtrykk.

– Hvis du spiser et stykke norsk laks er tre fjerdedeler av klimaavtrykket knyttet til hva fisken selv har spist. Lakseoppdrett er Norges nest største eksportnæring og vi må

finne nye og bærekraftige råmaterialer til fiskefôr. Mulige nye råvarer er alt fra alger, krill, blåskjell, tunikater og insekter til produkter fra sopp og bakterier, samt animalske og vegetabiliske biprodukter, sier Joakim Hauge fra miljøorganisasjonen Bellona.

Bellona har, sammen med Sjømat Norge og ni norske fôrprodusenter, utarbeidet rapporten «Råvareløftet» som ser nærmere på flere ulike råvarekandidater til fiskefôr og muligheter for å oppskalere produksjonen slik at det faktisk monner. Det er en ambisjon også dagens regjering deler. I Hurdalsplattformen, som beskriver Ap og Sp-regjeringens målsetninger for kommende periode, er målet at innen 2030 skal alt fôr til havbruksnæringen stamme fra bærekraftige råvarer, og at råvarene skal produseres lokalt.

#### Det nye føret

Norge har ikke rett klima for å produsere store mengder soya, den vil helst vokse i et tropisk klima, men flere andre råvarer kan være aktuelle å høste eller dyrke her hjemme. Blåskjell, tunikater (kappedyr), tang og tare og insekter kan dyrkes i havet, eller på land. >>



Tørket algepulver. Foto: Hanna Böpple/NORCE

Biprodukter fra landbruk eller fiskeri kan foredles videre slik at de kan bli til verdifulle fôringredienser. Man kan også ta i bruk råvarer som i liten grad brukes i dag. Det kan innebære å høste nye råvarer fra havet, som krepsdyr eller småfisk som er lavt i næringskjeden og som ikke brukes til menneskemat. Men det kan også bety at vi må utvikle og dyrke nye typer råvarer til fiskefôret, som mikroorganismer.

En av forskerne som jobber med å finne og utvikle nye bærekraftige fôrråvarer fra fornybare naturressurser fra land og hav er professor Margaret Øverland, som leder Foods of Norway, et senter for forskningsdrevet innovasjon. Øverland har over flere tiår jobbet med å utvikle en rekke råvarer til oppdrettslaks. Alt fra planteråvarer som erteproteinkonsentrat, lupiner, raps og byggproteinkonsentrat, til insekter som svart soldatfluelarver og mikroorganismer.

Øverland har særlig stor tro på mikrobielle råvarer som mikroalger, sopp og bakterier. Dette er råvarer med mange fordeler.

– Mikroorganismer kan dyrkes i store bioreaktorer, og produseres hele året, uavhengig av vær og klima. Produksjonen legger ikke beslag på jordbruksareal, og konkurrerer ikke med menneskemat. Mange mikroorganismer har også en annen fordel: De kan vokse på restråstoff, biprodukter eller restgasser fra annen industri. Slike hjelper de oss å utnytte ressurser bedre, og kan gjøre klimagass eller avfall om til høyverdige protein- og fettkilder, forklarer professor Øverland.

#### Fra sirkulære ressurser til næring

Ettersom algene formerer seg i rørene på Mongstad gir de sjøvannet i rørsystemene mer og mer farge. Ved høsting blir algene sentrifugert for å få ut vannet, og så fryst ned. Når det er samlet opp tilstrekkelig mengde sendes algene til forskere ved matforskningsinstituttet Nofima, som undersøker hvor godt fisken fordøyer algene eller hvilke andre mulige bruksområder utover fiskefôr som kan være aktuelt.

Noen av fordelene med marine mikroalger er at det ikke er behov for dyrkbar mark og ferskvann, og at algene kan ha et høyt innhold av ulike næringsstoffer. Forskerne ved algepiloten skal også teste ut bruk av avfallsvann fra lakseoppdrettsanlegg som næring til mikroalgene.

– Nå gir vi algene gjødsel som i hovedsak består av nitrogen og fosfor. I et nytt EU-prosjekt, INNOAQUA, skal vi gjøre forsøk ved oppdrettsanlegg hvor vi skal bruke avfallsvannet fra laks som gjødsel til algene, forteller Kleinegris.

Kleinegris viser frem poser med frossen algemasse, klare til videre forsøk. Rikt på de lange omega-3-fettsyrene som både fisk og mennesker trenger for god helse. Men den kanskje største utfordringen gjenstår; å gå fra forskning til konkurransedyktig produksjon i stor skala. Forskningsanlegget ved Mongstad kan i dag produsere rundt 500 kilo tørket algepulver med marin omega-3 på et år. Til sammenligning bruker næringen i dag i underkant av 200 000

» Noen av fordelene med marine mikroalger er at det ikke er behov for dyrkbar mark og ferskvann, og at algene kan ha et høyt innhold av ulike næringsstoffer.

tonn fiskeolje årlig, ifølge Nofima.

Ved Mongstad har de også nylig ansatt en person som skal bruke genredigeringsverktøyet Crispr for å se på hvordan algenes egenskaper kan forbedres, for eksempel ved gi mer effektiv vekst eller et høyere innhold av omega-3.

Per i dag finnes det ingen annen kommersiell produksjon av mikroorganismer som fôrråvare i Norge, selv om flere norske forskningsmiljøer jobber med spennende prosjekter på dette feltet. Foods of Norway har tidligere fått mye oppmerksomhet for å lage fiskefôr av skog. Dette får de til ved å dyrke mikrosopp på sukker fremstilt fra treflis, eller på rimeligere restråstoff etter treindustrien.

– Vi trenger en overordnet nasjonal strategi for å utvikle en rekke råvarer, men spesielt trenger vi en satsning på kunnskap, teknologi og infrastruktur for å få til produksjon av nye mikrobielle råvarer basert på foredling av biprodukter fra annen industri og karbonfangst til de volumene som trengs for å dekke oppdrettsnæringens behov, sier Øverland.

#### Ønsker norsk satsning på mikroorganismer

Øverland er ikke den eneste som mener at det bør satses mer på nye råvarer til fiskefôret. Karl Almås er spesialrådgiver for SINTEF Ocean hvor de har regnet på hva som kreves for å nå målet om at Norge skal bli selvforsynt fiskefôr. Protein utgjør den



største komponenten i fôret, og SINTEFs regnestykke viser at selv om man utnytter alle råvarene som vi i dag har fra land og hav, så vil dette ikke være nok til å dekke oppdrettsnæringens behov for fôrprotein.

– Ved å utnytte marine råvarer, landbruksbaserte råvarer og nye kultiverte organismer som insekter, børstemark og annet, kan vi kanskje hente ut cirka 700 000 tonn protein, mens vi i 2050 vil trenge 2 millioner tonn fôrprotein. Å få til 100 prosent selvforsyningsgrad kan derfor bli vanskelig, sier Almås til GENiAlt.

Selv om man skulle nedjustere målet til 50 prosent, vil næringen fortsatt måtte fremskaffe 300 000 tonn protein.

– For å dekke dette behovet med lokale, bærekraftige råvarer vil man måtte etablere en ny industri basert på mikrobielt protein i Norge. Våre tall viser at en slik industri vil være helt avgjørende om vi skal øke lakseproduksjonen og samtidig produsere mer av råvarene til lakseforet selv, sier Almås.

### Den nye oljen

Både Øverland og Almås understreker at å etablere en ny industri for produksjon av mikrobielt fôrstoff vil kreve både betydelig politisk vilje og økonomisk satsning.

– Her trenger vi et tett samarbeid mellom forskningssektoren, industri og ikke minst politikere for å få på plass gode virkemidler, men det vil også kreve store investeringer, noe som næringen ikke klarer å ta alene, sier Øverland.

Almås forteller at det vil være behov for en industrireising på flere titalls milliarder, på linje med for eksempel havvind og sammenligner det med satsingen på oljeutvinning da man fant olje på norsk sokkel.

– Det er vilje på det nivået som trengs for å realisere nødvendig produksjon av fôrråvarer til en voksende lakseindustri. Samtidig har vi både kapital og kompetanse til å få dette til. En satsning på mikrobielt protein vil dessuten være nødvendig for å kunne argumentere for en bærekraftig lakseproduksjon. Det må til for å få en produksjon basert på egne ressurser, der vi ikke lenger konkurrerer på verdensmarkedet etter proteiner som kan, og bør, gå direkte til menneskemat, i en verden der rundt 800 millioner mennesker får for lite mat, sier Almås. ♦

#### Kilder:

Råvareløftet: Hva skal laksen spise? – BELLONA  
Veikart for industriell fremstilling av norske fôrråvarer (protein) – SINTEF

### Hva spiser laksen i dag?

- Fôrets sammensetning og næringsinnhold tilpasses etter hvor laksen er i livsløpet.
- Laksen spiser både karbohydrater, proteiner (gir nødvendige byggesteiner til å bygge muskulatur) og fett (gir mye energi og gjør at fisken kan bygge opp fettreserver). Fiskefôret blir også tilsatt funksjonelle stoffer som betaglukaner og antioksidanter for å styrke immunsystemet, og astaxanthin, en syntetisk versjon av et stoff fra krepsdyr som gir fiskekjøttet rød farge.
- Et gjennomsnittlig tørrfôr til laks inneholder omtrent 30 prosent marine og 70 prosent vegetabiliske råvarer. De marine råvarene kommer fra fisk som ikke brukes som menneskemat og avskjær fra fiskeindustrien. De vegetabiliske råvarene stammer typisk fra planter som soya, hvete, solsikke, raps og favabønner.

Kilde: <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/hva-er-i-foret-til-laksen/>



Foto: Thor Brødreskift



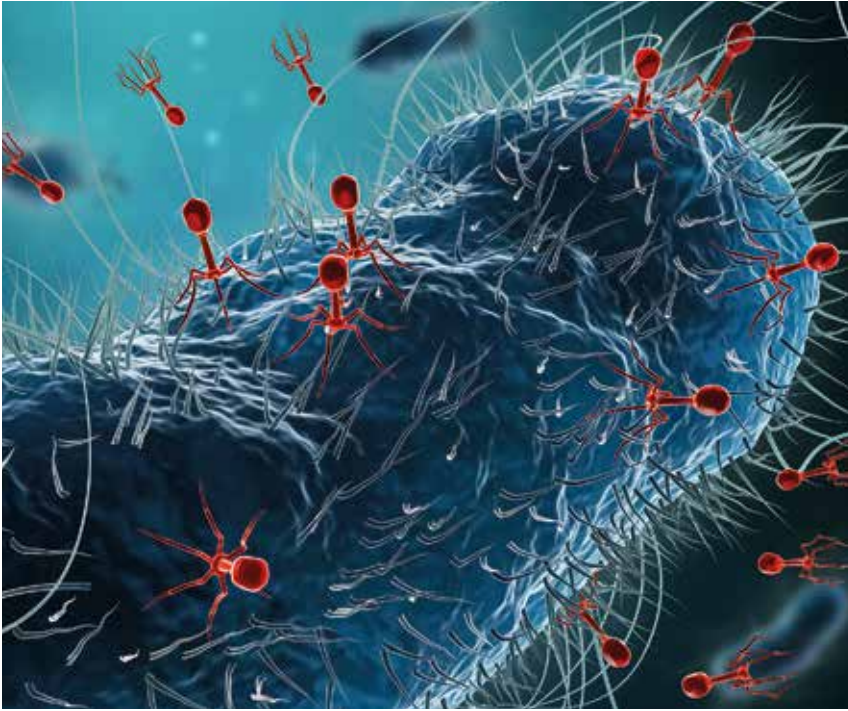


Foto: iStock

## Reprogrammerte bakterier med innebygget virussikring

En forskningsgruppe i USA tror at de kan ha laget den første bakterien som ikke lar seg angripe av noe kjent virus.

Av Stine Hufthammer Indrelied

**HAR DU HATT** en virusinfeksjon i sommer? Det har kanskje bakteriene dine også. Bakteriofager er virus som angriper og formerer seg i bakterier, og er et problem innen legemiddelproduksjon og annen industri som bruker bakterier som «protein-fabrikker».

Bakteriofager formerer seg ved å bruke bakterier til å produsere proteiner for seg. Et protein er bygget opp av kjeder av aminosyrer, og rekkefølgen av aminosyrer i bakteriofagens proteiner bestemmes av virusets arvemateriale. Når den genetiske oppskriften i arvematerialet skal oversettes til et protein, leses den genetiske koden av som et «kodeord» på tre bokstaver kalt kodon.

En forskningsgruppe fra Cambridge forsøkte i fjor å gjøre E.coli-bakterier immune mot virusangrep ved å fjerne tre av de 64 kodon-ene bakterier bruker. Det viser

seg imidlertid at noen bakteriofager har med seg «oversettingsverktøy» som gjør at den genetiske koden likevel kan leses av. En gruppe forskere ved Harvard, ledet av Michael Baym og George Church, la til en mekanisme som gjør at noen kodon vil feiltolkes, slik at bakteriene ikke lager proteinene viruset trenger for å formere seg. Forskerne har lett etter virus som klarer å infisere de modifiserte bakteriene ved både datanalyse og laboratorieforsøk, men har hittil ikke funnet noen bakteriofager som klarer dette. ♦

**Kilde:**  
Nyerges. Nature (2023). <https://doi.org/gsb9zv>



Foto: iStock

## Ny genterapi mot nervesjukdom

Tidleg diagnose og behandling av sjukdommen truleg òg bli ein del av ny

Av Eirik Joakim Tranvåg

**I NOREG BLIR DET** kvart år fødd i snitt eitt barn som vil utvikle den arvelege sjukdommen metakromatisk leukodystrofi (MLD). Denne sjeldne sjukdommen skuldast ein genfeil som førar til at kroppen manglar eit enzym som er spesielt viktig for myelin – isolasjonen rundt nervecellene våre. Dette gir ein raskt framskriden sjukdom med symptom frå nervesystemet, til dømes svake musklar, stivheit, smerter og etter kvart også talevanskar og epilepsi. Barn med den mest alvorlege typen MLD blir vanlegvis sjuke før dei fyllar to år, og lev berre nokre få år etter dette.

Rett før sommaren godkjende Beslutningsforum for nye metodar medisinen Libmeldy. Det er ein genterapi der stamceller frå pasienten får tilført ein normal variant av genen som gir sjukdommen. Slik kan kroppen igjen produsere enzymet som manglar, og



# skdom

skdomen MLD er viktig – difor vil  
føddecreeninga.

nervecellene får den isolasjonen dei trenger for å fungere normalt.

For best mogleg effekt av behandlinga er det viktig at den gis tidleg – og helst før symptoma har starta. Difor vart det same dag som medisinen vart godkjent sendt ein søknad om å inkludere MLD i den genetiske masseundersøkinga av nyfødde (nyføddecreeninga). Så godt som alle nyfødde blir i dag testa for 26 sjeldne, alvorlege medfødde sjukdommar, og det er høgst truleg at MLD blir nummer 27. Eit viktig kriterium for å leite etter sjukdommar hjå det som i utgangspunktet er friske nyfødde er nemleg at det er behandling tilgjengeleg for dei sjukdommane som ein finn. ♦

**Kjelde:**

<https://www.dagensmedisin.no/beslutningsforum-genterapi/beslutningsforum-sier-ja-til-genterapi-for-barn-med-sjelden-arvelig-sykdom/572180>



Foto: iStock

## Olje fra GM-raps godkjent

En olje til fiskefôr, laget av genmodifisert raps, har blitt godkjent til bruk i Norge.

Av Mette Risa

**MATTILSYNET GODKJENTE** i juni at Aquaterra-oljen kan brukes i Norge. På forhånd hadde Vitenskapskomiteen for mat og miljø gitt grønt lys i sin risikovurdering. Skretting sier de ønsker å bruke oljen, som er rik på lange omega-3-fettsyrer, for å bedre fiskens helse.

Fiskeolje har gradvis blitt erstattet med en økende andel soya- og rapsolje i fôr til oppdrettsnæringen og i 2020 ble det brukt rundt 400 000 tonn planteolje og 200 000 tonn fiskeolje til å produsere nesten to millioner tonn norsk laksefôr. Planteoljene inneholder også omega-3, men der er det korte fettsyrer, og ikke de lange fettsyrene man finner i marine ressurser. Rapsoljen som nå er godkjent til bruk i Norge kommer fra raps som er genmodifisert slik at den inneholder de lange fettsyrene man finner i fisk og fiskeolje.

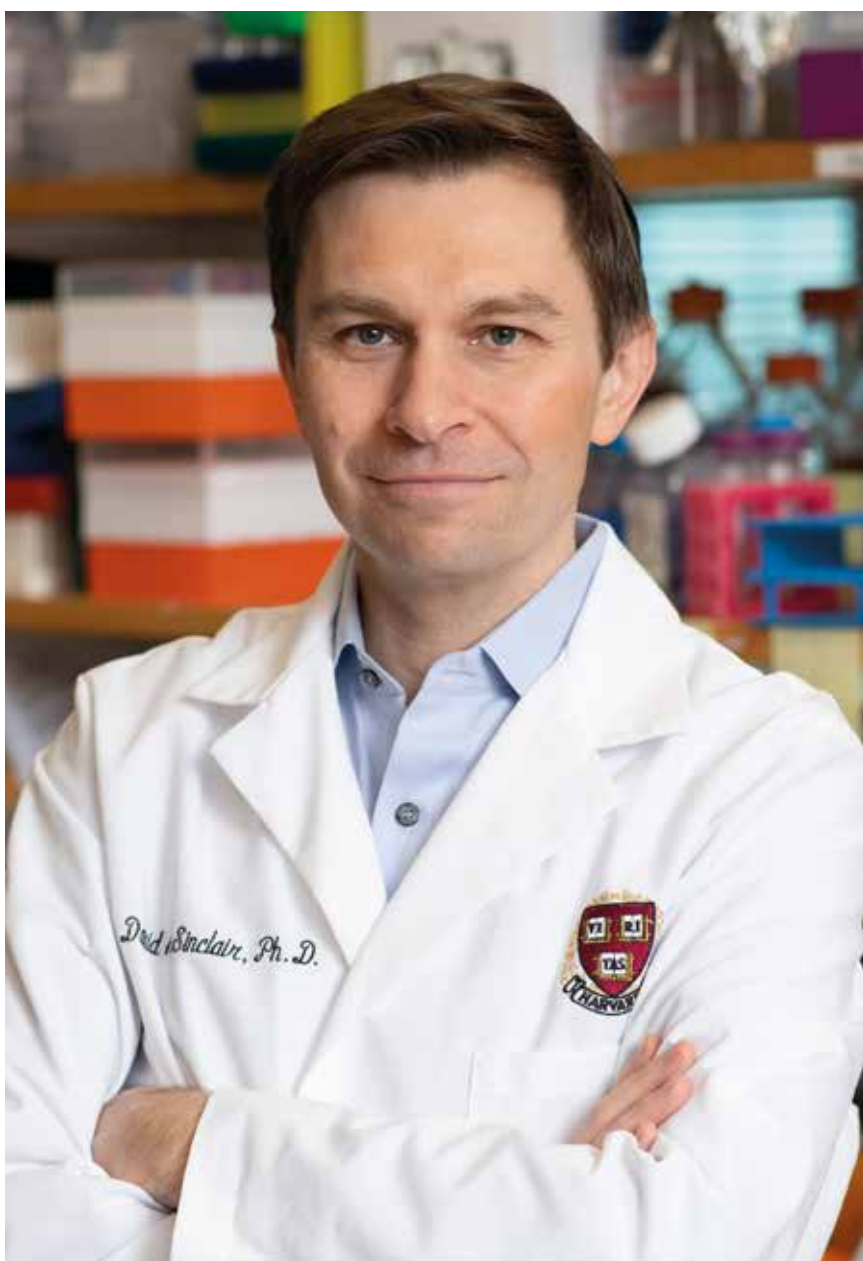
Aquaterra-oljen blir allerede brukt i andre land og fiskefôrprodusent Skretting vil nå tilby fiskefôr med oljen til sine kunder i Norge. Rapsoljen og fôrvarer der oljen inngår må nå merkes enten som «genmodifisert» eller «produsert fra genmodifisert raps» etter krav i fôrforskriften. Det betyr at oljen og fiskefôret må merkes, men ikke laksen som spiser fôret.

Bonde- og Småbrukarlaget har klaget på godkjenningen og krever ifølge Nationen at også fisken skal merkes, men det er det ikke hjemmel til, ifølge Mattilsynet. Mattilsynet viser til at man heller ikke merker importert kjøtt fra dyr som har spist dyrefôr med genmodifiserte råvarer. ♦

# Må vi tenke nytt om aldring?

Forskere finner stadig nye måter å bremse aldring på. Men det hersker fortsatt uenighet om ett kontroversielt spørsmål: er aldring en tilstand som bør behandles?

Av Caroline Bianchi Strømme



Harvard-professor og aldringsforsker David Sinclair mener at en formell endring i definisjonen på aldring vil gjøre det lettere å utvikle nye metoder for å bremse aldring og å teste disse i mennesker. Foto: Editor5627, CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons

– **JEG MENER ALDRING** er en sykdom.

Jeg mener aldring kan behandles. Jeg mener vi kan behandle det innenfor vår levetid. Og ved å gjøre det, mener jeg, at alt det vi vet om menneskelig helse vil bli grunnleggende forandret, skriver David Sinclair, den kjente Harvard-professoren og aldringsforskeren, i sin bok *Lifespan – why we age and why we don't have to*.

Drømmen om evig liv har fulgt mennesker i århundrer. I 1513 oppdaget den spanske oppdageren, Juan Ponce de León, den amerikanske delstaten Florida mens han var på jakt etter «ungdomskilden». Spoler vi tiden frem 500 år – til 2023 – mener stadig flere at aldring er et teknisk problem som kan løses.

## Livsforlengende cocktails

Fra et biologisk perspektiv skjer det mye når vi eldes. Vev og organer forfaller fordi cellene i kroppen vår blir gamle (se fakta-boks). Studier på dyr har imidlertid vist at det er mulig å øke livslengden radikalt hos flere dyrearter. Dette har fått forskere til å håpe at det også vil bli mulig å bremse aldringsprosessen i mennesker.

Allerede på 90-tallet klarte forskere å få rundorm til å leve dobbelt så lenge bare ved å endre ett enkelt gen i rundormens genetiske kode. Siden er det kommet mange flere studier. Genterapi med enzymet telomerase – som forlenger endestykkene på cellenes kromosomer – kan øke levetiden i mus med opptil 20%. Gir man ungt blod til eldre mus, har dette også en livsforlengende og helsefremmende effekt: musene blir kvikkere, får friskere organer og bedre hjernefunksjon. De lever også lengre.

Forskere har også klart å gjøre selve cellene yngre. Gjennom en prosess kalt reprogrammering har forskere lyktes i å skru tilbake den biologiske klokken i celler og gi tilbake egenskaper som de ikke lengre hadde. Da forskere nylig gjorde en slik reprogrammering i gamle mus, fikk musene yngre og friskere organer.

Også ulike kosttilskudd har vist å kunne ha en livsforlengende effekt. I en nyere studie publisert i det anerkjente tidsskriftet *Science*,





Aldring – ett av livets grunnvilkår, eller en sykdom som skal behandles? Foto: iStock

har forskere vist at regelmessig inntak av det naturlige stoffet taurin kan bremse aldringsprosessen i gjærceller, rundormer og mus. Nå vil forskerne teste om kosttilskuddet – som blant annet finnes i kjøtt og energidrikker – også har en livsforlengende effekt i mennesker.

## » Drømmen om evig liv har fulgt mennesker i århundrer.

Det er fortsatt usikkert om og når det vil bli mulig å bremse aldringsprosessen i mennesker, men de mange vitenskapelige fremskrittene har satt fyr på en viktig debatt: er aldring en sykdom som bør behandles?

### Aldring som et medisinsk problem

– Jobben med å utvikle nye behandlinger som kanskje vil kunne forebygge og behandle de vanligste sykdommene, går sakte fordi vi ikke anerkjenner at aldring er et medisinsk problem, sier David Sinclair til tidsskriftet Medium.

Argumentasjonen for at aldring bør defineres som en sykdom bygger på at tilstanden utvilsomt fører til fysisk forfall. Alderdom er også den største risikofaktoren for å utvikle en rekke sykdommer: jo eldre vi blir, jo større er sannsynligheten for å kreft, hjerte-

og karsykdom og demens. I takt med at verdens befolkning blir eldre, blir disse sykdommene stadig vanligere i samfunnet.

– Dersom aldring hadde blitt definert som en tilstand som kan behandles, ville man fått mye mer penger til forskning, innovasjon og utvikling av nye legemidler. Hvem vil utvikle en behandling for aldring, hvis tilstanden ikke eksisterer? sier Sinclair, som selv har vært med å starte flere biotech-virksomheter som har som mål å finne effektive behandlinger for aldring.

### En vanskelig debatt

Metformin er et kjent medikament som i mange år har blitt brukt til å behandle stoffskiftesykdommen diabetes. I de senere årene har man funnet ut at stoffet også kan bremse aldringsprosessen i mus.

En gruppe amerikanske forskere har planer om å sett i gang en klinisk studie for å teste metformin på mennesker over 65 år som ikke har diabetes. Studien heter TAME (Targeting Aging with Metformin) og målet er å undersøke om bruk av metformin hos friske kan forhindre forekomst av aldersrelaterte sykdommer som kreft, hjerte- og karsykdom og demens. Forskerne ønsker med dette å undersøke om aldring i seg selv er en tilstand som kan behandles og om dette også kan ha helsemessige fordeler.

Uavhengig av om TAME-studien lykkes, er det flere som vil ha betenkeligheter ved å definere aldring som en sykdom. Én bekymring ligger i at vi ved å definere aldring som en sykdom, vil sykeliggjøre noe som alltid

har vært ansett som et naturlig grunnvilkår og en del av det å være menneske. Andre mener også at vi ved å klassifisere aldring som en sykdom ikke nødvendigvis vil hjelpe de eldre, men at det heller kan føre til at eldre mennesker blir ytterligere stigmatisert. Det åpner også for en ny diskusjon; når begynner vi egentlig å eldes? Aldringsprosessen starter allerede i 20-års alderen.

– Hvis aldring er en sykdom, vil alle de 7,7 milliarder mennesker som lever på kloden ha denne sykdommen. De som er over 65 vil ha en avansert form, skriver forfatter Joelle Renstrom i tidsskriftet Slate.

Å endre definisjonen på hva aldring er gir også en ny utfordring: skal alle ha rett til en «behandling» for aldring? ♦

### Biologiske kjennetegn for aldring

- Skader på arvematerialet
- Telomere blir kritisk korte
- Epigenetiske forandringer
- Proteinavleiringer
- Endringer i næringsopptak
- Mitokondrier fungerer dårligere
- «Zombiceller» (senescente celler) hopper seg opp i kroppen
- Stamceller blir gamle og mister evnen til å fornye seg selv
- Celler kommuniserer dårligere

# DNA fra løse luften

– All denne veldig personlige informasjonen, om opphav og helse, er fritt tilgjengelig og svever rundt oss i luften akkurat nå, sier David Duffy, professor ved University of Florida til CNN.

Av Anne Marit Ryen

**DNA FRA MENNESKER** og dyr kan nå hentes fra et fotavtrykk på en strand, fra en rennende elv eller fra luften. Hvilken betydning kan dette ha?

Da David Duffy og en gruppe forskere ved Universitet i Florida sporet utrydnings-truede skilpadder ved hjelp av DNA i miljøet, oppdaget de at de fant menneskelig DNA overalt. DNA-et de fant var av så høy kvalitet at de kunne identifisere genvarianter som er knyttet til sykdom og den genetiske avstamningen til befolkningen som levde i området. Dette resulterte i en ganske annen studie enn den de hadde begynt på, en studie som tar opp viktige etiske spørsmål om samtykke, privatliv og sikkerhet knyttet til vår genetiske informasjon.

## eDNA

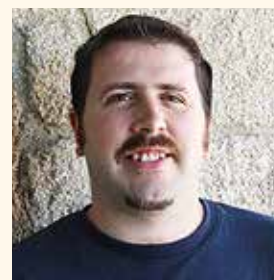
Feltet miljø-DNA (eDNA – environmental DNA) er i vekst. DNA fra miljøet rundt oss kan blant annet hentes fra luft, jord, hav og snø. På Grønland er det for eksempel funnet to millioner år gammelt eDNA i sedimenter. eDNA-et viste at det da hadde vært et yrende plante- og dyreliv med blant annet store elefantlignende dyr og reinsdyr der det i dag er snø og is. Metoden blir brukt av forskere for å overvåke fremmede arter i naturen eller dyrearter som er skye eller utrydningstruet. Men Duffy og kollegene peker på en rekke andre mulige bruksområder: innenfor politietterforskning, identifikasjon av savnede, overvåking av sykdommer i en befolkning og for å lokalisere steder av arkeologisk betydning.

## Luftige spor

En gruppe norske forskere har samlet inn menneskelig DNA fra luft og støv for å se hvilken nytte dette kan ha innenfor rettsgenetikk og politietterforskning.



Ane Elida Fonnelop, forsker ved seksjon for rettsgenetikk i straffesaker ved Oslo universitetssykehus. Foto: OUS



David Duffy, professor i zoologi, University of Florida. Foto: UF

– Vi hentet DNA med en luftprøvetaker direkte etter at forsøkspersonene hadde forlatt et kontor. I mange av tilfellene var dette DNA-et av så god kvalitet at det var mulig å identifisere den enkelte forsøksperson gjennom en fullstendig eller delvis DNA-profil, sier Ane Elida Fonnelop, forsker ved Seksjon for rettsgenetikk i straffesaker ved Oslo universitetssykehus.

Dagen etter at forsøkspersonene hadde vært i rommet fant forskerne derimot lite DNA i luften. Men i støvet i krokene på kontoret fant man DNA fra en rekke personer, også noen som ikke hadde vært på kontoret på to år.

– Vi tenker at DNA fra luften kan være relevant i kriminalsaker hvor det ikke er berøringsspor, for eksempel hvis gjerningspersonen bruker hansker. Hypotesen vi arbeider med er at støv gir et historisk tilbakeblikk, mens luften viser hvem som

nylig har vært i et rom. Men vi trenger å gjøre forsøk i flere ulike miljøer for å kunne vite mer, forteller Fonnelop.

## Verdifulle gendata

Informasjonen som nå kan hentes ut fra eDNA utfordrer muligheten til selv å bestemme over egne genetiske data. eDNA kan brukes til genetisk overvåking av individer og folkegrupper i et område, og innsamlet eDNA kan også kobles med andre genetiske data fra andre databaser. Legemiddelselskap, forsikringsselskap eller folkehelseforskere har for eksempel stor interesse for og nytte av genetiske data om en populasjon.

Forskerne ved Universitet i Florida håper deres studie vil skape diskusjon om etikk og regulering av bruk av menneskelig eDNA. Hvem eier egentlig de genetiske dataene når de samles inn fra miljøet? ♦

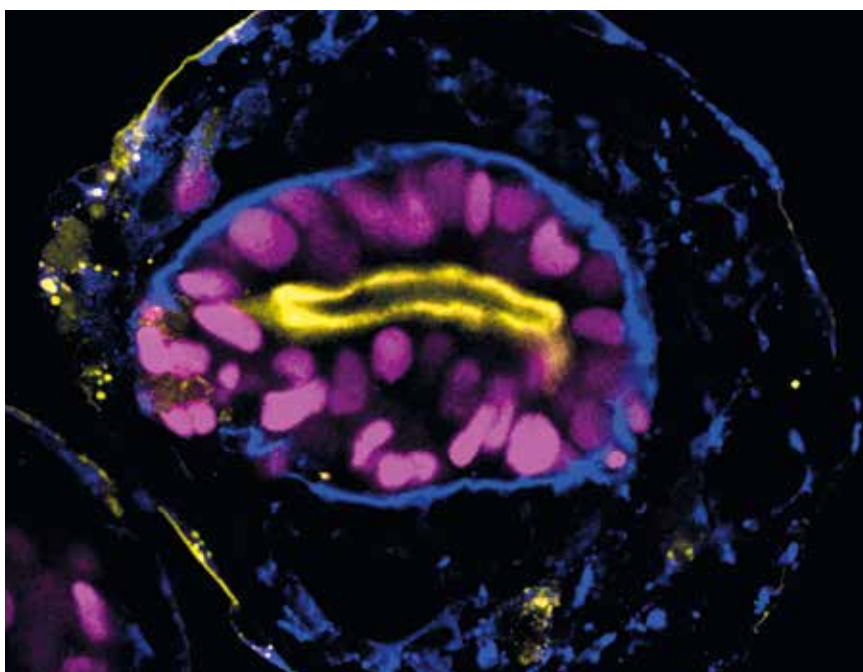


DNA fra mennesker og dyr kan nå hentes fra et fotavtrykk på en strand, fra en rennende elv eller fra luften. Foto: iStock

# Frå mus til menn

Med stamcelleteknologi kan forskarar lage embryo utan egg- og sædceller. No har eksperimenta teke eit viktig steg frå dyreceller til menneskeceller, og med det aukar behovet for betre regulering.

Av Eirik Joakim Tranvåg



Utsnitt av figur som viser eit fire dagar gammalt embryo danna av stamceller frå menneske.  
Foto: Universitetet i Cambridge

**I FJOR SKREIV GENIALT** om korleis to ulike forskargrupper fekk stamceller frå mus til å utvikle seg til embryo med bankande hjarte og begynnande organ. Rett før sommaren i 2023 publiserte fleire grupper nye forskingsfunn der teknologien er nytta på stamceller frå menneske, i forsøk som tar utviklinga eit stort steg framover – og som i enda større grad utfordrar dei etiske og juridiske grensene for slik forskning.

Før vi går nærare inn på det vitenskaplege framsteget er det nyttig å ta to skritt tilbake for å sjå på den underliggande biologien: Kimen til nytt liv startar når ei sædcelle befruktar ei eggcelle. Frå denne første cella vil heile menneske utvikle seg, med hud og hår, hjarte og lungar. I den første perioden av svangerskapet, fram til om lag veke ni,

omtalast denne organismen som eit embryo.

Den befrukta eggcella delar seg først i to, så til fire, seksten og så bortetter. Etter om lag fjorten dagar byrjar gastruleringa, prosessen der den tredimensjonale strukturen og tre separate cellelag som gir opphav til ulike kroppslege strukturar dannast: Endoderm blir mellom anna til tarmar, mage-sekk, lungar og ulike kjertlar; mesoderm dannar musklar, bein, fett- og bindevev; medan ektoderm dannar hjernen, ryggmarg, hår og neglar.

### Omstridt milepæl

– Vår modell er den første humane embryo-modellen med tre cellelag. Den er vakker og laga berre av embryonale stamceller, uttala forskingsgruppeleiar Magdalena Zernicka-

Goetz til the Guardian rett før ho la fram forskinga si på ein konferanse i juni 2023, før artikkelen var publisert.

Utsegna til Zernicka-Goetz vart raskt møtt med kritikk, mellom anna for at ho uttala seg til media utan at resultatane faktisk var publisert og dermed mogleg å vurdere. Ein av dei som var kritisk, er den palestinske forskaren Jacob Hanna. Han leiår den andre forskargruppa som i 2022 publiserte banebrytande forskning på stamceller frå mus, og han hevdar òg at han har klart å forske fram ein human embryo-modell med tre cellelag etter gjennomgått gastrulering. Hanna si forskning er i skrivande stund enda ikkje fagfelle-vurdert og publisert, og berre tilgjengeleg som preprint, men omtalast av fleire ekspertar som ein betre modell.

### Regulering naudsynt

Uavhengig av kven som har forska best eller dyrka humane embryo-modellar lengst dei siste åra, så framstår det klart at ei oppdatert regulering er naudsynt. Til dømes er den norske bioteknologilova skreva i ei tid der embryo-modellar ikkje var aktuelle og det er derfor uklart om lova faktisk regulerer denne nye teknologien. Dette peikte Bioteknologirådet på i 2022.

Under behovet for regulering ligg ei rekkje etiske problemstillingar som forskarar, politikarar og til sist heile samfunnet må ta stilling til: kva for moralsk status bør slike embryo-modellar ha? Bør dei likestilast med humane befrukta egg, med alle dei følgene det har? Elles sjåast på som noko anna, med sine egne reglar? ♦

### Kjelder:

<https://www.theguardian.com/science/2023/jun/14/synthetic-human-embryos-created-in-groundbreaking-advance>

Weatherbee et al. Nature 2023 <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06368-y>

<https://www.bioteknologiradet.no/filarkiv/2022/12/Bioteknologiradets-uttalelse-om-14-dagersregelen-og-stamcellebaserte-embryomodeller-UU.pdf>





Det kan vere mange grunner til å velje ein donor som liknar på den blivande mora eller faren. Foto: iStock

## Donorvalg med kunstig intelligens

Ved å skanne eit bilete av andletet finn kunstig intelligens ein egg- eller sæddonor som likner mest mogleg på den blivande forelderen. Internasjonalt er det stadig fleire som tilbyr denne teknologien, men vil den og komme til Noreg?

Av Eirik Joakim Tranvåg

**INTERNASJONALT** er trenden tydeleg. Under ESHRE, verdas største kongress for assistert befruktning, i København i år var fleire kommersielle aktørar synlege i si marknadsføring av kunstig intelligens for donorutveljing. Metoden er stort sett den same: Først lastar ein opp eit portrettbilete av den som donor skal likne på. Deretter nyttast avanserte algoritmar til å analysere bilete, før programmet leitar seg gjennom ein database med bilete av donorar og finn den som liknar mest.

### Stor variasjon i regelverk

Å finne ein donor som liknar på foreldra som skal bruke donoregg eller -sæd omtalast internasjonalt som donor-matching. I ein oversiktsartikkel frå 2022 har Rafał Łukasiewicz og Sonia Allan sett på korleis reguleringa av dette er i ulike land i Europa. Dei fleste landa i Europa har lovverk som avgrensar blivande foreldre sin rett til å sjølv velje donor. Slik er det i Noreg. Her seier rettleiinga frå Helsedirektoratet at «... behandlande lege bør

velje ein donor som i størst mogleg grad liknar på foreldra som mottek behandlinga.» Nokre få land, som Danmark, har langt mindre regulering og her kan den eller dei som mottek behandling med assistert befruktning velje donor sjølv ut frå bilete og dels omfattande skildringar av donorane.

### I Noreg vel legen

I tidlegare utgreiingar rundt bioteknologilova står det at ein bør freiste å velje ein donor med same høgde, hudfarge, hår- og augefarge som dei blivande foreldra. Men korleis gjer legen dette i praksis?

– Saman med kvinna eller paret har eg ein generell diskusjon om kva for trekk donoren skal ha. Deretter er det eg, som behandlande lege, som vel donor, seier Jon Hausken, medisinsk direktør og leiar av Klinikkk Hausken, ein av Noregs største private fertilitetsklinikkar.



Jon Hausken, medisinsk direktør og leiar av fertilitetsklinikken Klinikkk Hausken.  
Foto: Øystein R. Lundberg

## » Idéen om å bruke kunstig intelligens og ansiktsgjenkjenning er for så vidt ein god idé, men eg ser ikkje noko direkte bruk for teknologien hjå oss i dag.

– For einslege kvinner, som dei siste åra har blitt ei stor gruppe som nyttar seg av donorsæd, er ikkje dette med likskap så viktig. Men mange heterofile og lesbiske par ønskjer at donor skal likne på far eller mor. I nokre tilfelle hender det òg at ei kvinne eller et par heller vel å reise til Danmark, fordi dei ønskjer meir kontroll over donorutveljinga.

– Idéen om å bruke kunstig intelligens og ansiktsgjenkjenning er for så vidt ein god idé, men eg ser ikkje noko direkte bruk for teknologien hjå oss i dag. Mest av alt ser eg kanskje på det som ein gimmick og ein måte for kommersielle aktørar i utlandet å tene meir pengar på, seier Hausken.

### Frå hysj-hysj til openheit

I artikkelen skriv Łukasiewicz og Allan at føremålet med å velje ein donor som likna mest mogleg på den blivande faren historisk har vore å skjule at paret har nytta donorsæd og assistert befrukting. Det same peikar Hausken på.

– Før var dette meir hysj-hysj. Då var behandlinga berre aktuell for heterofile par der mannen sine sædceller ikkje var befruktingsdyktige. Å velje ein donor som likna på mannen i parforholdet hjelpte para å halde barna sitt opphav skjult. I tillegg er mange av dei som mottok donorsæd i dag

anten einslege kvinner eller kvinner i likekjønna parforhold. I slike familiar gir denne tankegangen mindre mening.

I dag er openheit rundt assistert befrukting og donorbehandling langt meir vanleg, og i tillegg er eggdonasjon blitt tillaten. Etter bioteknologilova har foreldrane plikt til å informere dei barna som har blitt til ved hjelp av donorsæd eller -egg om korleis dei har blitt til. Łukasiewicz og Allan peikar på fleire grunnar til at donor-matching likevel kan vere etterspurd: Det kan gi barna større råderett over si eiga historie ved at det ikkje er beinveges synleg at dei har eit anna genetisk opphav. Vidare kan likskap mellom barn og foreldre forsterke familieband, tilhøyrsløse og sosialt slektskap, samstundes som det kan skape avstand til donor. I likekjønna parforhold kan desse grunnane vere spesielt viktige, skriv Łukasiewicz og Allan.

### Hårfargen til far – eller postmannen?

Sjølv om fysiske trekk som høgde og hår- og augefarge ofte går igjen frå foreldre til born, hender det at naboar og svigermor synes barnet liknar meir på postmannen enn sin far. For ikkje alle barn liknar veldig på sine genetiske foreldre. Eit barn sine fysiske særtrekk er i stor grad bestemt av genane til barnet, og når eggcella og sædcella smeltar saman etter befrukting, blan-

dast genmateriale frå mor og far tilfeldig saman. Nokre gonger førar det til at barnet liknar mest på mor, andre gonger på far – og nokre gongar postmannen.

Og medan nokre trekk, som augefarge, blir bestemt av eit lite antal gen, blir andre og meir komplekse ansiktstrekk bestemt av mange gen. Og for å gjere det enda meir komplisert så blir utsjånaden òg påverka av livsstil og miljø. Eit enkelt døme er vekt, som påverkast av matinntak og fysisk aktivitet. Men miljøfaktorar spelar òg langt fleire og meir samansette roller i korleis ein person ser ut. Epigenetiske forandringar kan slå av og på gen utan å endre sjølve arvematerialet og soleis vere ei direkte kopling mellom arv og miljø. Det står att mykje arbeid før vi fullt ut forstår korleis epigenetikk påverkar oss både generelt, og rolla i utvikling av fysiske trekk.

GENialt har kontakta tre føretak som tilbyr kunstig intelligens for donorutveljing og bede om dokumentasjon på at dette faktisk resulterer i barn som liknar på sin donor; Fenomatch, IVI Fertility og Fairfax Cryobank. Ingen av dei tre har svara på førespurnaden. ♦

### Kjelde:

Łukasiewicz & Allan 2022 doi.  
org/10.1093/lawfam/ebac006



I den italienske hovedstaden Roma bor det svært mange hjemløse katter. Kanskje en ny genterapi kan løse problemet? Foto: iStock

## Gjør katter sterile med genterapi

Én enkel sprøyte hindrer eggøsning hos hunnkatt i minst to år.

Av Caroline Bianchi Strømme

**TALLET PÅ HJEMLØSE** katter øker jevnt og trutt og en hjemløs katt kan i teorien gi opphav til tusenvis av nye kattunger. Kirurgiske steriliseringsmetoder er kostbare og kan være vanskelige å gjennomføre i praksis. Nå kan en ny genterapi få bukt med problemet.

Med en enkel dose genterapi har amerikanske forskere fra Massachusetts General Hospital klart å gjøre katter sterile i minst to år. Forskningsstudien er liten, men resultatet er likevel lovende: de seks kattene som fikk genterapien ble sterile. De tre som ikke fikk genterapi fikk alle kattunger. Studien ble publisert i tidsskriftet *Nature Communications*.

– Dette er et fantastisk arbeid og et stort fremskritt, sier forsker og direktør for dyreforskning ved Cincinnati Zoo & Botanical Garden, William Swanson, til tidsskriftet *Science*.

Den nye prevensjonsmetoden innebærer å injisere genterapien inn i kattens muskler. Genterapien gjør at muskelcellene begynner å uttrykke hormonet «antimullerhormon» (AMH). Hormonet påvirker utviklingen av hunkattens eggfollikler, slik at hun ikke får eggøsning. Siden genterapien ikke blir integrert i muskelcellenes arvemateriale, er det imidlertid sannsynlig at effekten vil avta over tid etter hvert som cellene regenererer.

Studien blir omtalt som svært spennende, men det påpekes også at det trengs mer forskning for å konkludere om metoden er effektiv over lengre tid. ♦

**Kilde:**  
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-38721-0>



Foto: iStock

## Lager protein-sprøye med kunstig intel

Forskere har ved hjelp av kunstig intelligens utviklet et molekylært verktøy som kan revolusjonere

Av Caroline Bianchi Strømme

**GENIALT** har tidligere skrevet om KI-programmet AlphaFold, som kan forutsi hvordan proteiner foldes basert på genkoden. Nå har forskere tatt i bruk programmet til å utvikle et helt nytt verktøy: en programmerbar proteinsprøye som kan levere proteiner rett inn til cellekjernen i menneskeceller.

– En av de største utfordringene for genterapi er levering, sier Feng Zhang, forsker og molekylærbiolog ved Broad Institute (MIT) og Harvard University til tidsskriftet *Nature*.

Det har hittil vært vanskelig å levere genterapi-verktøyet til de riktige cellene i kroppen og til et tilstrekkelig antall celler. Zhang og hans kolleger har basert sin løsning på et system som allerede finnes i naturen: et sprøyte-liknende molekyl som noen bakterier har som kan lage hull i celledisken. Dette molekylet bruker bak-





## yte telligens

ligens laget et helt nytt  
nere genterapi-feltet.

terier blant annet til å sende ulike proteiner inn i insektceller. Nå har forskerne klart å omprogrammere sprøyten slik at den også virker på menneskeceller, ved hjelp av KI-verktøyet AlphaFold.

– Så snart vi hadde bildet, var det lett å tilpasse den til vår bruk. Det var da alle brikkene falt på plass, sier molekylærbiolog og medforfatter, Joseph Kreitz til Nature.

Andre forskere har uttalt at arbeidet vil kunne bli svært viktig for genterapifeltet og potensielt revolusjonere måten genterapi blir levert i kroppen. ♦

#### Kilder:

DOI: 10.1038/s41586-023-05870-7  
Ledford H., 'Astonishing' molecular syringe ferries proteins into human cells. Nature (2023). <https://www.nature.com/articles/d41586-023-00922-4>



Foto: iStock

## Smertefri genfeil

Funn av ukjent genvariant hos kvinne som aldri kjenner smerte kan gi nye måtar å lindre kroniske smerter på.

Av Eirik Joakim Tranvåg

**ETTER EIN OPERASJON** i handa oppdaga sjukepleiarane og legane ved sjukehuset i Skotland at den 66 år gamle kvinna ikkje hadde noko behov for smertestillande medisinar. Når dei prata med ho kunne ho fortelje at ho aldri trong bedøving hos tannlegen, åt sterk chili utan ubehag og først kjende at ho fekk brannsåar når ho lukta brend hud. Etter nærare undersøkingar vart det stadfesta at ho ikkje kjende smerte. I tillegg fant forskarane at kvinna var disponert for glede, at såra hennar grodde raskt, og at ho opplevde lite stress og frykt.

Kroniske smerter er eit stort globalt problem som gir mange menneske sterke plagar kvar einaste dag. Ei stor utfordring er òg at mange av dei mest brukte smertestillande medisinarane inneheld opiat, som skapar avhengigheit og mistar effekt om dei brukast over tid.

No har forskarar grove djupare i dei genetiske og molekylære mekanismane hjå den fryktlause og smertefrie skotske dama. Dei fann ein genfeil som gjer at cellene produserer mindre av det viktige FAAH-enzymet, som spelar ei rolle for ei rekke kroppslege funksjonar som angst, stress, smerte og sårtilheling. Ved hjelp av Crispr har forskarane gjenkapt genfeilen i celler på laboratoriet slik at dei kan studere dei molekylære endringane som feilen og enzymmangelen medfører. På lengre sikt kan arbeidet føre til heilt nye typar smertelindrande behandlingar – til glede for svært mange menneske. ♦

#### Kjelde:

Mikaeili. Brain (2023). <https://doi.org/10.1093/brain/awad098>

# Skal sekvensere alle arter i Norge

Visste du at den dyrearten i Norge som ligner mest på mennesker er lemen og andre gnagere? Eller at furu har et mye lengre arvemateriale enn mennesker?

Av Håkon Risa

SmåGENiALT har snakket professor Kjetill S Jakobsen ved Universitetet i Oslo. Jakobsen leder prosjektet Earth BioGenome Norge, hvor målet er å sekvensere alle arter i Norge i løpet av en 10-årsperiode. Det norske prosjektet er en del av det globale prosjektet Earth BioGenome.

## – Hva er målet med Earth BioGenome-prosjektet?

– Det globale Earth BioGenome-prosjektet har som mål å DNA-sekvensere alle eukaryote arter (det vil si alle organismer med unntak av bakterier) på jorda. I praksis betyr dette at det lages et genom som kan brukes som referanse for å kunne undersøke andre individer av samme art.

## – Hvorfor ønsker dere å sekvensere alle arter i Norge?

– Det er flere grunner til dette. En grunn er at mange arter er truet, og kan forsvinne fra Norge på grunn av klimaendringer, forurensing eller beskatning (for eksempel fiskearter). En annen grunn er at informasjonen man får fra et genom bidrar til å forstå biologien og økologien bedre – slik som tilpasninger til et gitt miljø. En tredje grunn er at genominformasjonen kan brukes i forvaltning av arter for eksempel ved bruk av miljø-DNA-analyser og det vi kaller DNA strek-koding. En fjerde grunn er at man i genomet til en art finner gener som kan være viktig framtidig i medisin, for å utvikle en ny grønn økonomi eller for å være bedre rustet til å møte klimaendringer.

## – Hvordan går dere frem når dere skal sekvensere arter i Norge?

– Da må vi først få tak i et eksemplar av arten og det forutsetter vanligvis at vi må ut i naturen for å finne den arten vi er på jakt etter. Ofte må vi ha hjelp av feltbiologer som kjenner til hvor arten finnes, eller av folk som er flinke til å bestemme hvilken art det er. Vi



Håkon Risa (15). Foto: Privat

Professor Kjetill S Jakobsen ved Universitetet i Oslo har ansvar for den norske delen av prosjektet Earth BioGenome. Foto: Digitalt Liv Norge

tar da en prøve av arten, det kan være en liten blodprøve, fjær fra fugl eller vi klipper av en liten bit av en finne på fisk. Når det gjelder planter, så tar vi oftest friske og unge skudd. Deretter renser vi DNA fra prøven og tester at det er av god kvalitet. Etter at det er gjort, behandler vi DNA-et på en spesiell måte slik at vi kan putte det inn i DNA-sekvenseringsmaskinen. Til slutt tar vi DNA-sekvensene som kommer ut av maskinen og setter dem sammen til et genom. Det vil si at vi setter sammen kromosomene som utgjør genomet. Sammenstillingen av genomet må gjøres på store datamaskiner – det er for mye informasjon til at dette kan gjøres på en vanlig PC.

## – Hvor langt har dere kommet med prosjektet i Norge?

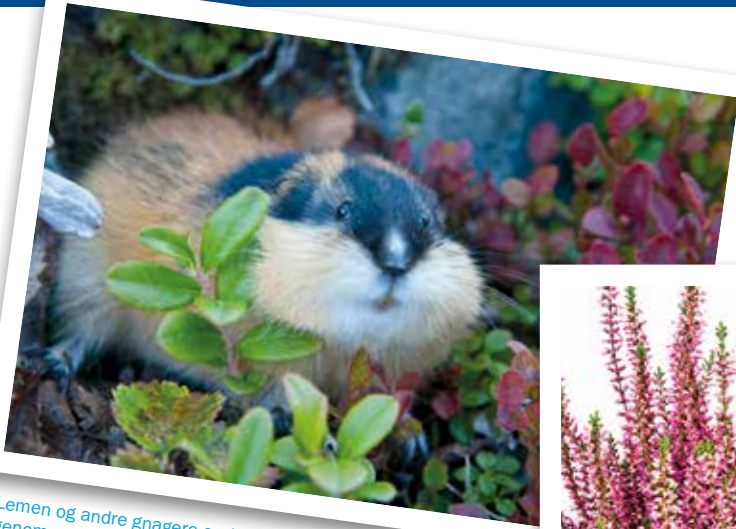
– I Norge har vi sekvensert rundt 70 arter – og en rekke arter er underveis. Det norske prosjektet er i første fase, og for neste fase planlegges det tusenvis av arter.

## – Er det noen arter som er vanskeligere å sekvensere enn andre?

– Ja, det er det. Noen arter er det vanskelig å få rensert DNA av en bra kvalitet, for andre arter er det en utfordring å få tak i nok DNA fra et enkelt individ. Det gjelder for eksempel bitte små insekter.

## – Har noen arter likere DNA enn man skulle tro?

– Hvis noen arter har likere DNA enn man skulle tro, betyr det at de er i nærmere slekt med hverandre enn det man har trodd. Et eksempel er at elefanter,



Lemen og andre gnagere er de dyrene i Norge som har et genom som likner mest på menneskers genom. Foto: iStock



DNA-et til røssløyng er også ferdig sekvensert. I løpet av høsten vil prosjektet ha sekvensert over 100 arter. Foto: iStock



Noen av de vanskeligste artene å sekvensere er små insekter som mygg og biller, da det er vanskelig å få ut store nok mengder DNA til sekvensering. Foto: iStock



Svalbardrein er en reinsdyrsart som man kun finner på Svalbard. Det er en av artene forskerne er ferdig med å sekvensere. Foto: iStock

sjøkuer, jordsvin og et lite pelskledd dyr som kanskje likner på en gnager, klippegrevlingen, har likere DNA enn det man hadde trodd. Det betyr rett og slett at de er i slekt, og danner en gruppe som av fagfolkene kalles afrotheria («afrodyr»). Dette var veldig uventet da man fant dette ut, i og med at disse artene ikke likner på hverandre.

– *Hvilken art i Norge ligner mest på mennesker?*

– Generelt likner jo apenes DNA mest på mennesker, men det er jo ingen aper i Norge annet enn i dyrehager. Så den arten som vi har på vår norske liste som likner mest på mennesket må være en gnager – slik som for eksempel lemen. Mange vil kanskje si at dette er uventet.

– *Hvis isbjørnen dør ut, kan dere bruke gen-sekvensen til å lage nye isbjørner?*

– I prinsippet er dette mulig. Men om vi ønsker å gjøre dette, er et annet spørsmål.

– *Hvilken art har lengst eller mest komplisert genom?*

– Det er ikke så helt enkelt å svare på. I sin tid var det nok uventet at visse planter slik som gran og furu har mye større genom enn mennesket. Mennesket på sin side har ikke mer komplisert genom enn for eksempel

andre pattedyr. Det vi vet så langt er at noen av de mest kompliserte genomene foruten planter finnes hos noen grupper av encellede organismer slik som dinoflagellater.

– *Hvilken ulemper kan det være ved å sekvensere alle arter?*

– Man kan tenke seg at geninformasjon kan misbrukes til for eksempel å genetisk endre organismer, og at dette har uønskede økologiske eller andre effekter. Slike ulemper er jo ofte knyttet til ny informasjon – den kan brukes til noe bra – og til noe som ikke er så bra.

## Ordforklaringer:

- DNA - utgjør arvematerialet i alle levende celler.
- Genom - den genetiske informasjonen som karakteriserer en art. Alt arvestoffet (DNA) i en cellekjerne utgjør et genom.
- Miljø-DNA - et felt hvor man leter etter DNA i luft, jord, hav og snø
- DNA-sekvensering - en metode for å finne en organismes genetiske kode



Returadresse:  
Bioteknologirådet,  
Edvard Griegs vei 3B,  
5059 Bergen



---

## Kommande frukostseminar frå Bioteknologirådet

---

Lov og rett/rett og galt – kva er bioetikk?

Med lege og medisinsk etikar Eirik Joakim Tranvåg frå Bioteknologirådet.

**Tid: 3. oktober kl. 08.30 - 09.15**

**Sted: Litteraturhuset i Bergen og digitalt**

Tannlegen som byggjar bein

Med tannlege Cecilie Gjerde, spesialist i oralkirurgi og oralmedisin ved institutt for klinisk odontologi ved Universitetet i Bergen.

**Tid: 7. november kl. 08.30 - 09.15**

**Sted: Litteraturhuset i Bergen og digitalt**

Når det lønar seg å tukle med naturen – ein diskusjon om berekraft, mat og genteknologi. Med biolog Håvard Øritsland Eggestøl frå Bioteknologirådet.

**Tid: 5. desember kl. 08.30 - 09.15**

**Sted: Litteraturhuset i Bergen og digitalt**

---

[bioteknologiradet.no](http://bioteknologiradet.no)

---

## Biotekquiz

---

### Spørsmål

1. Kva er ein bakteriofag?
2. Kor stor del av fiskeføret oppdrettsnæringa nyttar kjem frå Noreg?
3. Kva er eDNA?
4. Kva ønsker ein å nytte kunnskap om genfeilen som gjer at ei kvinne ikkje kjenner smerte til?
5. Kva for dyreart i Noreg har eit genom mest likt på menneske?

---

1. Virus som angrip og formeiar seg i bakteriar 2. Atte prosent 3. Environmental DNA – DNA ein finn i miljøet rundt oss 4. Utvikle nye smertelindrande behandlingar 5. Lemmen og andre gnagarar