

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



Temahæfte 2015



Naturen
i computeren



INDHOLD

- 3 Modellering i gymnasiet
Af Kristoffer Stensbo-Smidt
- 5 Målinger med infrarødt lys hjælper slagterierne til at bestemme fedtkvalitet
Af Klavs Martin Sørensen
- 6 Kemometri afslører mønstre
Af Lykke Thostrup
- 8 Matematikken i nervecellers dynamik
Af Susanne Ditlevsen
- 12 Matematik på hjertet – bedre diagnosticering af hjertesygdomme
Af Jon Sparring
- 14 Universets big data
Af Kristoffer Stensbo-Smidt
- 16 Når overlevelse bare er et 'gunstigt udfald'
Af Mogens Steffensen
- 18 Ulven kommer – socioøkonomiske effekter
Af Christian Gamborg
- 20 Modeller forudsiger klimarespons hos træer og buske
Af Henrik Meilby



Denne produktion er Svanemærkegodkendt

UDGIVER

Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet
Københavns Universitet
Bülowsvej 17
1870 Frederiksberg C
2015

REDAKTØR

Lykke Thostrup (ansvh.)

REDAKTION

Lykke Thostrup
Gudrun Lau Bjerno
Nils Koudahl

DISTRIBUTION

SCIENCE Kommunikation
Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet

TRYK

GraphicCo

DESIGN

Kenneth Velling Johansen
SCIENCE Kommunikation

Flere temahæfter kan bestilles gratis på
www.science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/undervisningsmateriale/

Oplag: 10.000 stk.

ISBN: 978-87-996295-1-0



En af de mest omtalte simulationer de seneste år er fra filmen *Interstellar*. Simulationen af skiven omkring det sorte hul blev lavet udelukkende til filmen, men er den bedste, der nogensinde er lavet. Filmen havde astrofysiker Kip Thorne som konsulent, og han udgav efterfølgende en videnskabelig artikel baseret på simulationen. ©Paramount Pictures/Warner Bros.

MODELLERING I GYMNASIET

Vi møder computere overalt i vores hverdag. Vi tjekker vores smartphones konstant og bruger computere til at søge informationer, skrive opgaver og snakke med vennerne – selv kaffemaskinen har fået et touch display, så vi kan få kaffen, præcis som vi vil, hvis ikke de 25 forprogrammerede typer lige skulle være sagen. Det er derfor ikke overraskende, at programmerings-erfaring er en efterspurgt evne. Men programmering bruges i dag i mange flere sammenhænge, end man måske lige skulle tro.

Af Kristoffer Stensbo-Smidt, ph.d.-studerende ved Billedgruppen, Datalogisk Institut, Københavns Universitet

Modellering er et felt, der er vokset i takt med computerudviklingen: De største simulationer i dag bruger over en billion (10^{12}) "partikler", mens detektorerne på Large Hadron Collider (LHC) på CERN hvert sekund opsamler omkring 1 PB data, som lynhurtigt analyseres, og kun cirka 1 GB bliver gemt – det svarer til en milliontedel af den oprindelige datamængde! At skrive programmer til den slags modellering handler ikke kun om at skrive kode. Man skal kunne forstå og håndtere abstrakte problemer, og det kræver stærke kompetencer i matematik, statistik og datalogi.

DATAANALYSE I VIDENSKAB OG VIRKSOMHEDER

Dataanalyse handler om at få mening ud af målinger ("data"). Måske vil man se, om en adfærd ændring i





befolkningen skyldes en bestemt lovændring. Måske vil man sænke rejsetiden for folk ved at analysere rejsemønstre i kollektiv trafik, eller måske vil man vide, om en bestemt sygdom er relateret til ændringer i et gen. Brugen af dataanalyse er de seneste år vokset enormt, og med den mængde og variation af data, vi ser i dag, er færdiglavede løsninger tæt på ubrugelige. Nye løsninger kræver programmering – ikke mindst i videnskabelig data-analyse. For eksempel vurderer man ofte usikkerheder i forbindelse med et resultat ved at simulere millioner af lidt forskellige forsøg og så se på udfaldene.

Man kan også gå et skridt videre og bruge machine learning. *Machine learning* er en betegnelse for programmer, der kan træne sig selv til at blive bedre til en opgave på baggrund af erfaring – det vil sige en form for kunstig intelligens. På Datalogisk Institut arbejder man for eksempel på at få computere til at opdage personer med Alzheimer. Ved at sammenligne billeder af raske og syge personer kan computerne forhåbentligt lære at se tegn på begyndende Alzheimer, før mennesker kan.

MODELLERING MED DIN EGEN COMPUTER

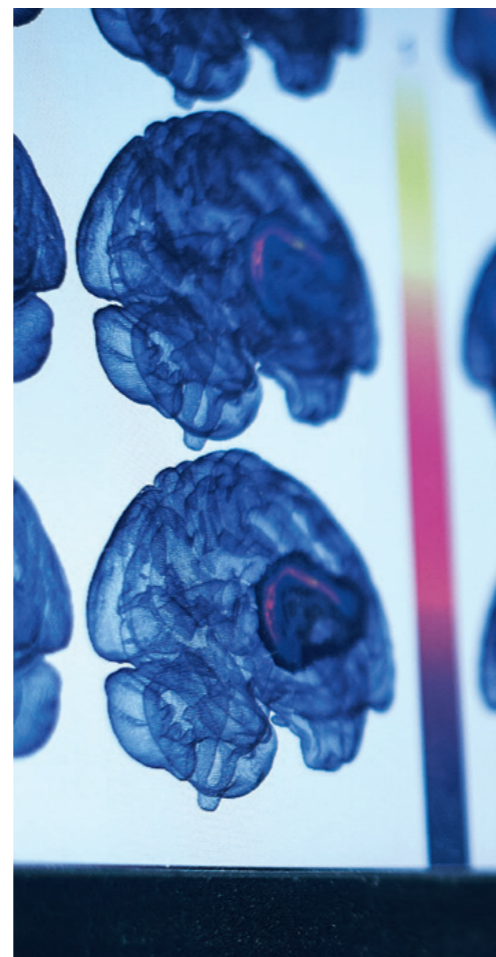
Selvom det kan være svært – og tage lang tid – at udvikle metoder til dataanalyse, er de ikke nødvendigvis svære at bruge. Nogle vil man kunne anvende, hvis man har viden om matematik på gymnasieniveau.

En del gratis programmeringssprog har endda mange af disse metoder indbygget.

Vil man gerne lave simulationer, er NetLogo værd at kigge på. Her kan man relativt let modellere og visualisere en lang række processer, for eksempel atomers bevægelser i en beholder, fugleflokkes bevægelsesmønstre, kemiske bufferopløsninger og erosion af landskab. Der ligger en masse eksempler på NetLogos hjemmeside, som kan afprøves direkte i browseren.

Et mere moderne programmeringssprog, der kan lave flotte, interaktive simulationer, er Processing. Man kan få en god introduktion i bogen *The Nature of Code*, der kan læses gratis på nettet (se faktaboksen). Datalogisk Institut er i gang med en overbygning til Processing, så det bliver endnu lettere at lave selv ret komplicerede simulationer. Det vil være ideelt til større projekter som for eksempel SRP.

Der er derfor masser af muligheder, hvis man vil prøve modellering af selv. At simulere, eksempelvis hvad der ville ske, hvis et sort hul fløj gennem Solsystemet, er ikke blot spændende, det er også enormt lærerigt. Programmering er ikke kun noget, der er relevant efter gymnasiet – det kan hjælpe med til at give en dybere forståelse og mere spændende undervisning, mens man er der.



Datalogisk Institut tilbyder gennem gymnasietjenesten at afholde en række forløb, hvor eleverne får mulighed for at arbejde med dataanalyse, machine learning eller simulation.

Se mere på www.diku.dk
Bogen om Processing kan findes på www.natureofcode.com

Læs mere om NetLogo på ccl.northwestern.edu

MÅLINGER MED INFRARØDT LYS HJÆLPER SLAGTERIERNE TIL AT BESTEMME FEDTKVALITET

For svineslagterierne er kvaliteten af svinefedtet afgørende for værdien af kødudskæringerne. Forskere fra Institut for Fødevidenskab på Københavns Universitet har derfor i samarbejde med industrien udviklet en metode, der lynhurtigt kan måle kvaliteten af svinefedtet.

Af postdoc Klavs Martin Sørensen, professor Søren Balling Engelsen og journalist Lene Hundborg Koss, Institut for Fødevidenskab, Københavns Universitet

Målingen foregår direkte på slagteriets produktionslinje – nemlig i det korte øjeblik grisekroppene, mens de hænger i slagtekroge, passerer det nye måleinstrument, forskerne har udviklet. Måleinstrumentet sender nærinfrarødt lys gennem fedtet i grisekroppen og bruger spektroskopi og kemometri til at beregne fedtets kvalitet.



“Baconpistol” med de to lysfibre, der prikkes ind i kroppen, samtidig med at der måles nærinfrarøde spektre af hele grisens fedtlag. Foto: Carometec A/S, Herlev.

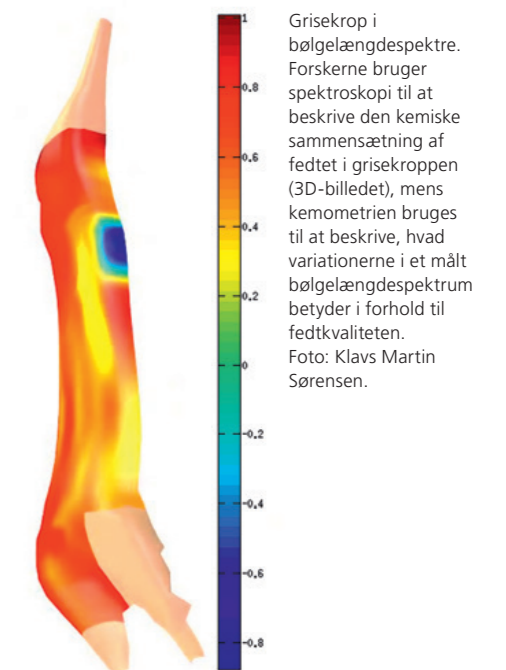
SPEKTROSKOPI VISER KEMI I 3D

Lys kan opfattes som bølgeenergi med forskellige bølgelængder. Rødt lys har én bølgelængde, blåt lys en anden. Det nærinfrarøde lys ligger uden for det område, øjet kan se. Men man kan visualisere det ved hjælp af et bølgelængdespektrum – det vil sige den kurve, der opstår, når man ser på intensiteten af de forskellige bølgelængder, lyset indeholder. En regnbue er for eksempel også et bølgelængdespektrum. Den kemiske sammensætning af et stof (her svinefedtet) er afgørende for, hvordan de forskellige bølgelængder af lys bliver absorberet af stoffet. Derfor kan man via det nærinfrarøde lys få en række kemiske oplysninger om svinefedtet, der kan bruges til at bestemme fedtkvaliteten. De kemiske data kan efterfølgende visualiseres i et 3D-billede, der viser kvaliteten af fedtet på hele slagtekroppen.

KEMOMETRIEN GIVER SVARET

Kemometri er et dataanalyseværktøj til at fortolke multivariate (mange va-

riable) målinger på kemiske systemer, for eksempel nærinfrarød spektroskopi. I tilfældet med slagtekroppene laver man en matematisk kobling mellem det bølgelængdespektrum, der ses på 3D-billedet, og nogle allerede kendte faktorer – nemlig noget svinefedt, man på forhånd ved er af henholdsvis høj og lav kvalitet. Denne sammenkobling af en række målte faktorer med nogle få kendte kaldes også en multivariabel kalibrering. Konceptet er altså at bruge lysmålinger (spektroskopi) og ved hjælp af kemometri omdanne lysmålingerne til et kvalitetsmål for svinefedtet. Forskerne arbejder nu på at omdanne kvalitetsmålingen fra en måling et enkelt sted på grisekroppen – for eksempel i nakken – til at kunne sige noget om fedtkvaliteten på hele grisens og dermed noget om værdien af de forskellige kødudskæringer.



Vil du vide mere?

Scan QR-koden med din mobiltelefon, og se en animation af, hvordan fedtets kvalitet fordeler sig på en slagtekrop. Du kan også se animationen på din computer på adressen models.life.ku.dk/nitfom/cor.html



KEMOMETRI AFSLØRER MØNSTRE

Når Arla flytter produktionen af Riberhus-osten fra én fabrik til en anden, kan det ske, at osten pludselig ikke smager, som kunderne er vant til. En osts smag er nemlig en kompliceret affære, som udgøres af en kombination af mange forskellige aromastoffer, og de er følsomme over for skift i produktionen. Når Arla skal tjekke, om osten, der produceres det nye sted, er magen til den fra det gamle mejeri, bruger de en type avanceret dataanalyse, der er udviklet af en gruppe nørder på Institut for Fødevarer videnskab på Københavns Universitet. Kemometri hedder metoden. Rasmus Bro er professor i kemometri og er efter eget udsagn den mest nørdede i gruppen, der faktisk udvikler metoderne, så man ikke behøver at være specielt god til matematik og statistik for at kunne bruge dem.



Rasmus Bro, professor i kemometri ved Københavns Universitet. Arbejder med dataanalyse inden for sundhed, produktion, fødevarer, miljø og gastronomi.

Af kommunikationsmedarbejder Lykke Thostrup, SCIENCE Kommunikation, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Kemometri er dataanalyse med meget store mængder af kemiske data. Rasmus Bro og resten af kemometrigruppen arbejder med anvendelsen af matematik og statistik i forbindelse med konkrete problemstillinger.

“Vi ligger fagligt inde imellem matematik, statistik og kemi. Du kan sige, at vi er dårlige til det hele,” siger Rasmus Bro med et smil og fortsætter: “Det vil de oprigtigt mene, dem, der er statistikere, kemikere og matematikere. Det, vi til gengæld er gode til, er selve dataanalysen. Vi ved noget om data, og vi kan bruge matematik og statistik til at finde mønstre i store mængder af data og dér finde en masse interessant information.”

DET SPÆNDENDE LIGGER I MØNSTRENE

I næsten al videnskab kigger man på én ting ad gangen, når man laver undersøgelser – det kan være, når man undersøger bivirkninger af medicin, laver befolkningsundersøgelser eller overvåger fødevarer – men det er en skam, mener Rasmus Bro:

“Man overser den interessante information, når man ser på tingene enkeltvist. Den spændende viden ligger i, hvordan de forskellige informationer relaterer sig til hinanden. Så for at hente den interessante information ud af data bliver man nødt til at se på mønstrene. Vi kan gøre det for tusinder af prøver på én gang. Vi kigger på alle variable og ser på, hvilke mønstre der findes, og det er langt mere relevant end at kigge på enkeltdele. Vi plotter det hele ind i et koordinatsystem med lige så mange dimensioner, som der er typer af data. Der bliver vi som mennesker forvirrede, men matematikken er ligeglad med, om der er tre eller ni dimensioner – den kan håndtere mønstrene for os.”

I eksemplet med Riberhus-osten bruges gaskromatografi til at måle de mange forskellige kemiske aromastoffer, der er i osten. Hvis osten fra det nye mejeri ligger i et andet mønster end osten fra det gamle produktionssted, skal ingeniørerne bruge deres mejerividen for at justere på ingre-

dienserne, men metoden hjælper og beskriver, hvorledes profilen er forskellig fra det vante.

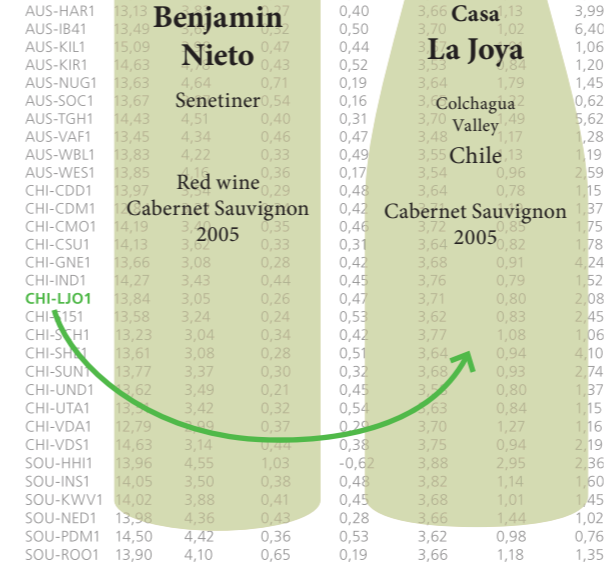
AVANCERET UDSTYR, STANDARD-COMPUTERE OG SUND FORNUFT

Det er meget ofte spektrometri og kromatografiske metoder, der bliver brugt, når kemometri bruges inden for biologisk produktion som fødevarer og lægemidler. Kemometrigruppen på Institut for Fødevarer videnskab har mange forskellige instrumenter, så når de får en ny prøve ind, kan de med stor sandsynlighed finde det relevante instrument i deres egen bygning.

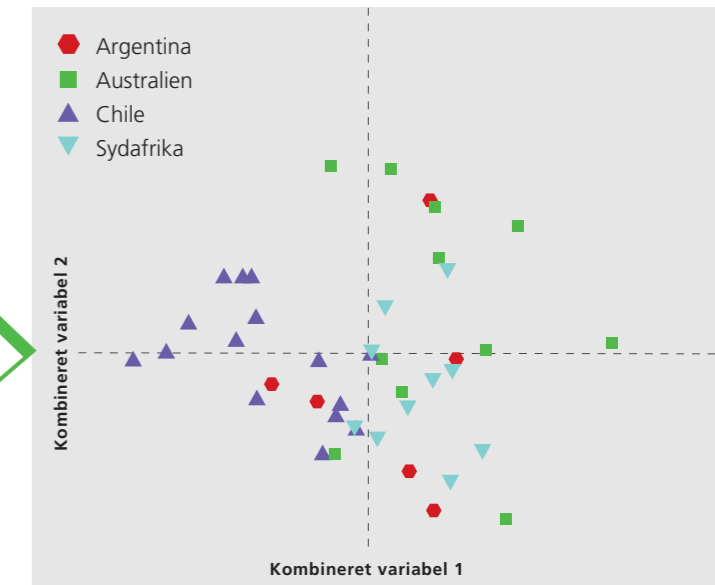
Til gengæld behøver de ikke specielt avancerede computere for at analysere tallene, fortæller Rasmus Bro:

“Hvis vi måler 50.000 tal på hver prøve og vi har 1000 prøver, kan det stadig være på en almindelig computer. Det er ikke magi, det, vi laver. Vi håndterer data på en måde, der respekterer, hvor informationen kan være. Det er ikke sådan, at hvis du smider fuldstændig nonsens ind i

	Ethanol	TotalAcid	VolatileA	MalicAcid	pH	Lactic Acid	Res
ARG-BNS1	13,62	3,54	0,29	0,89	3,71	0,78	1,46
ARG-DDA1	14,06	3,74	0,59	0,24	3,73	1,25	2,42
ARG-FFL1	13,74	3,23	0,47	-0,07	3,87	1,13	1,52
ARG-FLM1	13,95	3,66	0,47	0,09	3,79	1,00	4,17
ARG-ICR1	14,47	3,66	0,38	0,61	3,70	0,81	1,25
ARG-SAL1	14,61	3,45	0,52	0,16	3,92	1,76	1,40
AUS-CAV1	13,65	4,31	0,32	0,18	3,60	1,37	3,80
AUS-EAG1	14,12	3,88	0,37	0,36	3,70	1,02	4,32
AUS-HAR1	13,13	3,77	0,40	0,40	3,66	1,13	3,99
AUS-IB41	13,49	3,77	0,50	0,50	3,70	1,02	6,40
AUS-KIL1	15,09	4,07	0,44	0,44	3,66	1,13	1,06
AUS-KIR1	14,63	3,77	0,43	0,52	3,70	1,02	1,20
AUS-NUG1	13,63	4,64	0,71	0,19	3,64	1,79	1,45
AUS-SOC1	13,67	4,54	0,54	0,16	3,64	1,79	0,62
AUS-TGH1	14,43	4,51	0,40	0,31	3,70	1,19	5,62
AUS-VAF1	13,45	4,34	0,46	0,47	3,48	1,17	1,28
AUS-WBL1	13,83	4,22	0,33	0,49	3,55	1,13	1,19
AUS-WES1	13,85	4,16	0,36	0,17	3,54	0,96	2,59
CHI-CDD1	13,97	3,99	0,48	0,48	3,64	0,78	1,15
CHI-CDM1	14,19	3,77	0,55	0,42	3,72	0,85	1,37
CHI-CMO1	14,19	3,77	0,55	0,46	3,72	0,85	1,75
CHI-CSU1	14,13	3,62	0,33	0,31	3,64	0,82	1,78
CHI-GNE1	13,66	3,08	0,28	0,42	3,68	0,91	4,24
CHI-IND1	14,27	3,43	0,44	0,45	3,76	0,79	1,52
CHI-LJO1	13,84	3,05	0,26	0,47	3,71	0,80	2,08
CHI-LJ1	13,58	3,24	0,24	0,53	3,62	0,83	2,45
CHI-SHI1	13,23	3,04	0,34	0,42	3,77	1,08	1,06
CHI-SH1	13,61	3,08	0,28	0,51	3,64	0,94	4,10
CHI-SUN1	13,77	3,37	0,30	0,32	3,68	0,93	2,74
CHI-UND1	13,62	3,49	0,21	0,45	3,63	0,80	1,37
CHI-UTA1	13,74	3,42	0,32	0,54	3,63	0,84	1,15
CHI-VDA1	12,79	3,99	0,37	0,28	3,70	1,27	1,16
CHI-VDS1	14,63	3,14	0,44	0,38	3,75	0,94	2,19
SOU-HHI1	13,96	4,55	1,03	-0,62	3,88	2,95	2,36
SOU-INS1	14,05	3,50	0,38	0,48	3,82	1,14	1,50
SOU-KWV1	14,02	3,88	0,41	0,45	3,68	1,01	1,45
SOU-NED1	13,98	4,36	0,43	0,28	3,66	1,44	1,02
SOU-PDM1	14,50	4,42	0,36	0,53	3,62	0,98	0,76
SOU-ROO1	13,90	4,10	0,65	0,19	3,66	1,18	1,35



KEMOMETRI



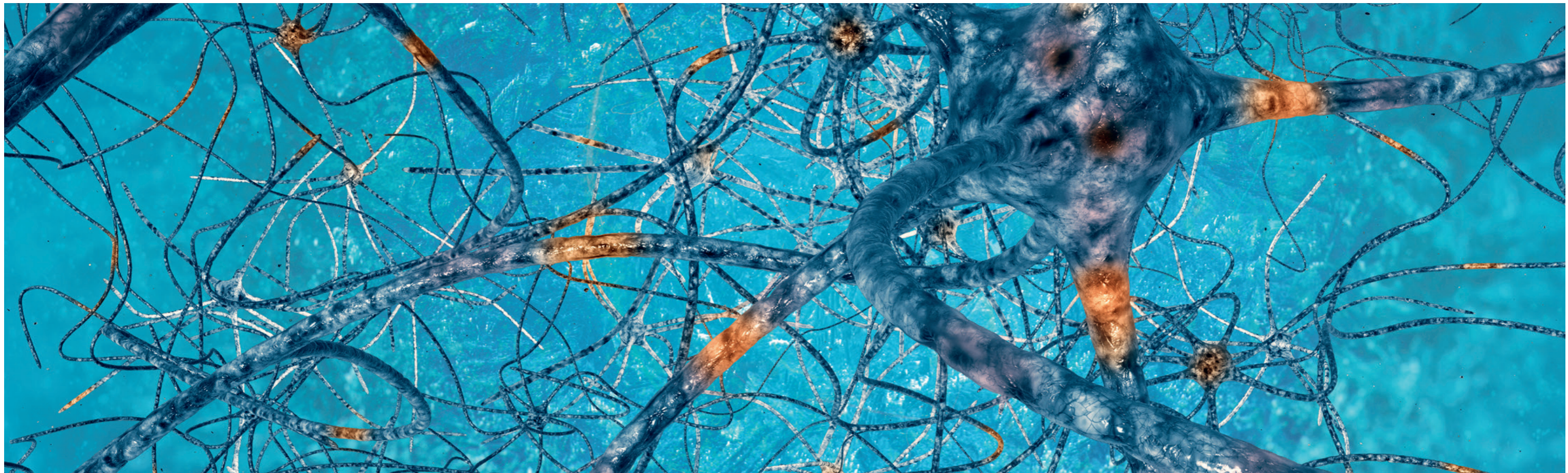
Dusinvis af kemiske målinger i forbindelse med forskellige flasker vin giver en mængde information om alkohol, restdsukker, metanol m.m. Men det er svært at få overblikket ud fra tabellen. Kemometri giver visuelle afbildninger af hele datasættet, der gør det nemt at se, hvordan vinen for eksempel fordeler sig efter region. Dette kan eksempelvis bruges til at kontrollere for snyd med, hvor vinen kommer fra.

Det kan kemometri også bruges til

ER DET ÆGTE?
Er ekstra jomfruolivenolie nu også ekstra jomfru – det vil sige fra det allerførste pres af olivenene – eller er der blandet olie fra et senere og mindre fint pres? Eller er der måske endda blandet rapsolie?
Er honningen ren dansk honning?

SMAGER DET ENS?
Når man skal teste ny medicin for første gang, tester man den mod noget placebo. Det skal helst smage af det samme, og det kan kemometri bruges til. Aktive komponenter er tit meget bitre, så derfor bliver placeboen også nødt til at være bitter, for ellers kan noget af virkningen tilskrives den smagsmæssige oplevelse af det aktive stof. Desværre kan man ikke testsmage, om placebo og den aktive komponent smager ens, for medicinen er endnu ikke testet! Forskerne arbejder med at lave metoder, der måler, om smagen er ens, eller om bitterheden er ens.

HVOR MEGET ER DER I?
Kemometri kan bruges til at måle mængden af bestemte stoffer i fødevarer – for eksempel dioxin i fisk og protein i korn. Ved hjælp af kemometri kan mængderne fastsættes langt hurtigere end ved klassiske kemiske metoder, hvor svartiden kan være på flere uger. På den måde kan fiskemelsproducenten med det samme få svar på, om dioxinindholdet i et læs dyrefoder holder sig på den rigtige side af de meget skræppe grænseværdier, og kornproducenten kan hurtigt få den rigtige pris for sit læs korn. Proteinindholdet og dermed bagekvaliteten er med til at bestemme prisen på kornet.



MATEMATIKKEN I NERVECELLERS DYNAMIK

Matematiske modeller kan bruges til at studere komplicerede fysiologiske processer, som vi kun i ringe grad forstår. Ligningerne giver en præcis forklaringsmodel, der kan efterprøves med eksperimentelle målinger, og modellen kan analyseres for at få en større biologisk forståelse og fortolke data. Selv hvis de biologiske mekanismer er velkendte, kan computersimuleringer fra modellen udforske ekstreme fysiologiske situationer eller sygdomstilstande, der ellers ville være uetiske eller umulige at udføre eksperimentelt.

Af professor Susanne Ditlevsen, Institut for Matematiske Fag,
Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Matematisk modellering i samspil med eksperimentelle målinger kan i de biomedicinske videnskaber belyse og afdække underliggende biologiske processer, der ellers ikke kan observeres. Et exceptionelt vellykket eksempel på dette samspil er Hodgkin-Huxley-modellen for, hvordan nervecellers aktionspotentialer opstår.

UDLØSTE NOBELPRIS

De to fysiologer Hodgkin og Huxley havde i årene op til 1952 en genial

ide til, hvordan man kunne måle den elektriske aktivitet på en stor nervecelle i en blæksprutte, og var i stand til at formulere en elegant matematisk model, der ikke alene kunne reproducere de målte data, men som også gav en fysiologisk forklaring på, hvordan nerveceller fungerer, ud over hvad de kunne observere direkte. Det fik de Nobelprisen for i 1963.

Modellen var kompliceret, og uden at have computere til rådighed løste de

ligningerne i hånden. Hvad der i dag kan løses på sekunder i en computer, tog dem flere uger.

MODELLEREDE KANALERNES DYNAMIK

Nerveceller (neuroner) er ligesom alle andre celler omgivet af en cellemembran. Inde i cellen er koncentrationen af ladede ioner såsom K^+ og Na^+ anderledes end uden for cellen. Denne koncentrationsforskel skaber et elektrisk potentiale, kaldet membran-

potentialet, som er helt essentielt for dynamikken i neuronerne. Cellemembranen er en god elektrisk isolator, men i cellemembranen sidder der nogle proteiner, der fungerer som ionkanaler. Der er forskellige slags kanaler, der lader specifikke ioner krydse cellemembranen, afhængigt af om ionkanalen er åben eller lukket. Det er den matematiske modellering af disse kanalers dynamik, som Hodgkin og Huxley havde så stor succes med.

De målte membranpotentialer og K^+ - og Na^+ -konduktanserne over tid. Jo højere konduktans for en given ion, jo hurtigere bevæger ionerne sig over cellemembranen. Ionkanalerne kunne de derimod ikke måle, men de antog, at de var der, at der var mange af dem, og at de åbnede og lukkede uafhængigt af hinanden med en sandsynlighed, der afhang af membranpotentialer. De konstruerede så en matematisk model, der med stor præcision kunne reproducere aktionspotentialer.

MATEMATIKKEN FORKLARER FYSIOLOGIEN

Hodgkin og Huxleys matematiske model af aktionspotentialer var den første kvantitative beskrivelse af de elektriske egenskaber i nerveceller. Men det var meget mere end det; modellen indarbejdede en generel fysisk forklaringsmodel for, hvordan ionkanaler virker, som først for nylig er blevet påvist eksperimentelt. Det er et af de bedste eksempler på, hvordan en matematisk model afledt af eksperimentelle målinger kan afdække de underliggende mekanismer, før de overhovedet kan observeres direkte.

Aktionspotentialer, membranpotentialer og konduktans

Et *aktionspotential* er en hurtig stigning i neuronens membranpotential efterfulgt af et brat fald og derefter en kort periode, hvor der ikke kan forekomme et nyt aktionspotential. Det varer kun et par millisekunder. Aktionspotentialer er den måde, som neuroner sender signaler videre til andre neuroner på.

Membranpotential er spændingsforskellen hen over cellemembranen, der skabes af forskellige koncentrationer af ladede ioner inde i cellen og uden for cellen.

Konduktans, angivet ved symbolet G , er en egenskab ved cellemembranen, der udtrykker dens evne til at lede elektrisk strøm, her givet ved ladede ioner. Konduktansen er det reziprokke af *modstanden* R , det vil sige $G = 1/R$. Konduktansen ændrer sig over tid afhængigt af membranpotentialer, da ionkanaler i cellemembranen kan åbne og lukke.

Ligningen for membranpotential

Hodgkin og Huxley fandt tre forskellige typer af ionstrømme, nemlig to for K^+ og Na^+ , der ændrer sig over tid, og en generel strøm med konstant konduktans, de kaldte "leak current", angivet ved L . Specifikke spændingsafhængige ionkanaler, én slags for K^+ og én for Na^+ , kontrollerer strømmen af disse ioner hen over cellemembranen. De antog, at ionkanalerne havde en række gates (porte), og at hver gate åbnede med en vis sandsynlighed afhængigt af membranpotential. Sandsynligheden for, at en gate i en K^+ -kanal er åben, kaldte de for n og modellerede den med en differentialligning

$$\frac{dn}{dt} = \alpha \cdot (1 - n) - \beta \cdot n$$

Her er α en rate (med enhed 1/tid), der angiver, med hvilken hastighed en lukket gate åbner, og tilsvarende er β en rate, der angiver, med hvilken hastighed en åben gate lukker. Disse rater afhænger af membranpotential v . De fandt så rent empirisk, at konduktansen G_K i en K^+ -kanal kunne udtrykkes ved

$$G_K = g_K \cdot n^4$$

hvor g_K er den maksimale konduktans. Det svarer til, at kanalen har fire gates, der alle skal være åbne, for at en given ion kan passere. De fandt også, at ligningerne passede med fire gates i en Na^+ -kanal, men her fandt de to forskellige slags: en aktiveringsgate som i en K^+ -kanal, beskrevet ved m , og en inaktiveringsgate, beskrevet ved h . Inaktiveringsgaten fungerer modsat i forhold til de to andre gates, ved at h bliver mindre, når membranpotential stiger. De er modelleret på samme måde som n , men med andre rater α og β . Konduktansen G_{Na} i en Na^+ -kanal udtrykkes ved

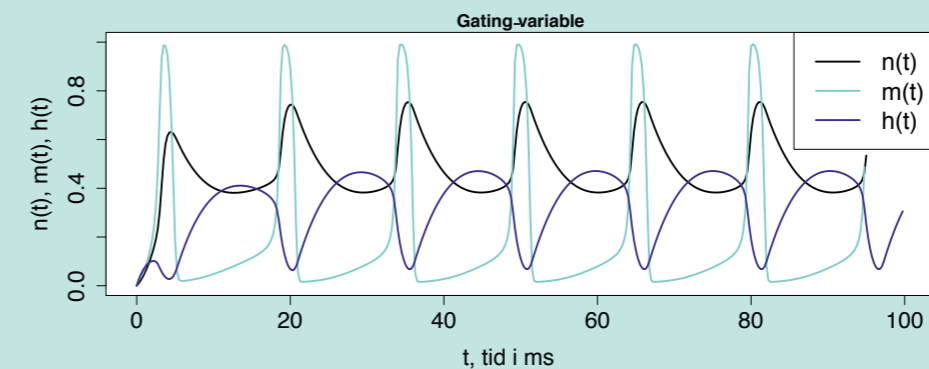
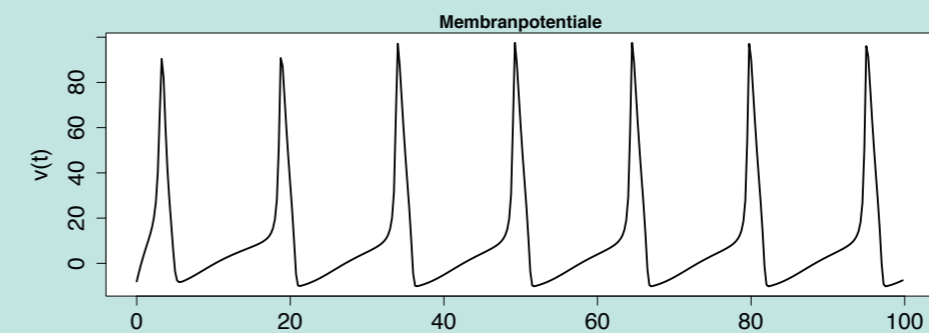
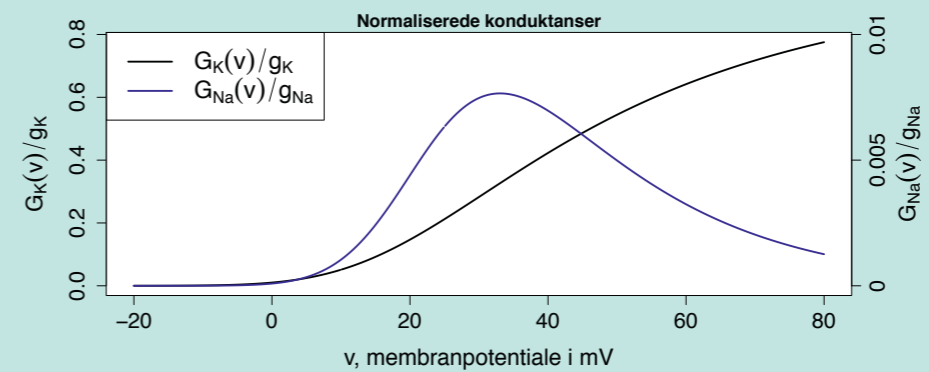
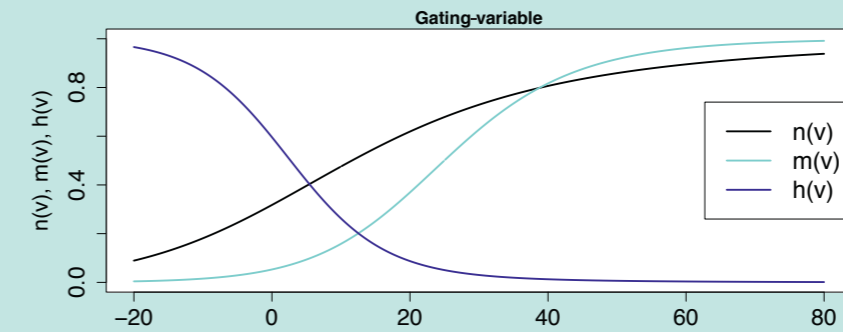
$$G_{Na} = g_{Na} \cdot m^3 \cdot h$$

Den totale strøm hen over cellemembranen er en sum af de tre ionstrømme og en kapacitansstrøm, der skabes ved ændringer i membranpotential, og afhænger af egenskaber ved cellemembranen, kapacitansen C . Strøm angives ved bogstavet I . Den totale strøm bliver så

$$I = C \frac{dv}{dt} + I_K + I_{Na} + I_L$$

Her er $I_K = g_K \cdot n^4 \cdot (v - E_K)$, hvor E_K er det potential, der ville være, hvis kun K^+ -ioner var til stede, og tilsvarende for de andre strømme. Hvis neuronen ikke modtager strøm udefra, da er $I = 0$. Endelig fås ligningen for membranpotential

$$C \frac{dv}{dt} = -g_K \cdot n^4 \cdot (v - E_K) - g_{Na} \cdot m^3 \cdot h \cdot (v - E_{Na}) - g_L \cdot (v - E_L) + I$$



Øverst ses ligevægtsværdier for gating-variablene for givne værdier af membranpotential, det vil sige de værdier, de ville tage efter et stykke tid, hvis membranpotential ikke ændrede sig. Det ses, at n og m er aktiverende, da de stiger for stigende værdier af membranpotential, mens h er deaktiverende, da det falder med membranpotential. Nederst ses normaliserede K^+ - og Na^+ -konduktanser. Bemærk, at de er på forskellige skalaer givet ved henholdsvis venstre- og højreakserne. Hvis man ganger med de maksimale konduktanser, fås de rigtige værdier af konduktanser, G_K og G_{Na} , se ligningerne i faktaboksen. Det ses, at G_{Na} først stiger og dernæst falder, hvilket kun kan lade sig gøre, fordi ionkanalerne har både aktiverende og deaktiverende gating-variable, i modsætning til G_K , der altid stiger, da disse ionkanaler kun har aktiverende gating-variable.

Dynamikken i Hodgkin-Huxley-modellen. Øverst ses udviklingen over tid af membranpotential; de pludselig høje værdier svarer til aktionspotentialer. Nederst ses udviklingen af gating-variablene.

MATEMATIK PÅ HJERTET

– BEDRE DIAGNOSTICERING AF HJERTESYGDOMME

Hjertet er kroppens vigtigste muskel. Holder det op med at slå, dør man med det samme. Der vides overraskende lidt om hjertet som en muskel, men på Datalogisk Institut på Københavns Universitet sidder en gruppe forskere, som forsøger at få et bedre billede af, hvordan hjertets muskelceller arbejder. Målet er at udvikle computermodeller, der ud fra stikprøver kan forudse sygdomme i hjertet, før de bliver fatale.

Af lektor Jon Sparring, Datalogisk Institut, Københavns Universitet

Lår- og benmuskler er opbygget som reb – mange fibre, der sidder i bundter for at gøre arbejdet i fællesskab. Med hjertemuskulaturen er det anderledes: Her sidder muskelcellerne som små, aflange celler i lag som på et løg rundt om hjertekammerne. Muskelcellerne sidder i et hullet materiale, der kan minde om en svamp, og er ikke direkte forbundne. Ydermere, hvis man undersøger cellerne fra ydersiden og vinkelret ind mod hjertekammeret, så vil man se, at cellerne er drejet en lille smule fra lag til lag, således at den yderste celle er drejet cirka 120 grader i forhold til den inderste. Det gør sig gældende stort set over hele hjertet og for mange pattedyr. Denne struktur minder om en helix, og derfor kaldes denne drejning for cellernes helixvinkel.

BRUG FOR MULTIDISCIPLINÆR FORSKNING

Vi vil gerne finde ud af, hvordan helixvinklen hænger sammen med

hjertets pumpefunktion, og hvordan denne struktur er en fordel for hjertets evne til at pumpe blod. Dette kræver et multidisciplinært hold af forskere: Der er behov for læger til at skaffe rigtige hjerter (fra mennesker og dyr), fysikere og radiologer til at tage billeder af hjerternes celler i tre rummelige dimensioner (x, y, z) og helst også i tid (t), og endelig dataloger og matematikere til at udvikle computermodeller, hvorved vi kan analysere data og afprøve hypoteser. Til at tage billeder af muskelceller i et hjerte benyttes en teknik kaldet DTI. DTI giver et 3-dimensionalt billede af muskelcellernes orientering i hjertet uden at ødelægge hjertet.

Det er en stor teknologisk udfordring at tage et DTI-billede af et levende menneskehjerte, da et menneskehjerte slår cirka 60 gange i sekundet, når man slapper af, mens det tager timer at tage et enkelt 3D-billede. Derfor tager vi billeder af hjerter fra døde

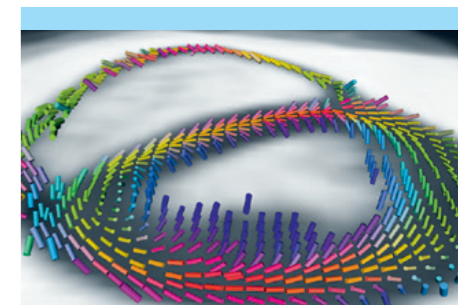
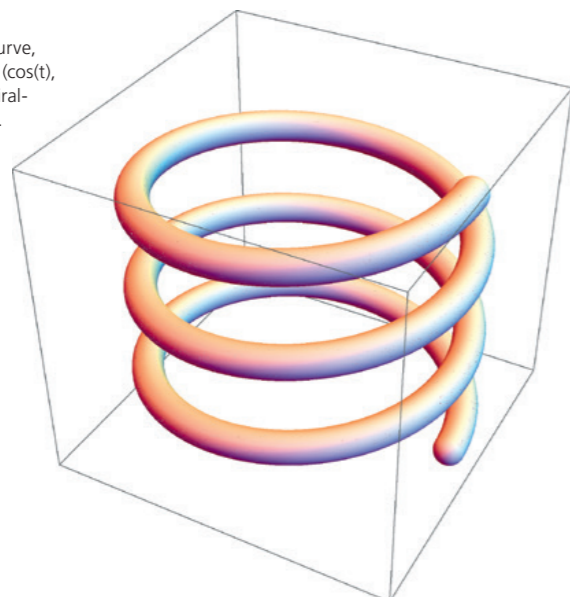
dyr og forsøger at lære så meget som muligt af dem, som kan bruges på levende hjerter. For eksempel antager vi, at musklerne i de døde hjerter ligner et levende hjerte i den afslappede del af hjerteslaget.

FRA STIKPRØVE TIL DIAGNOSE

Hjerte-kar-sygdomme udgør i øjeblikket den andenhøjest dødsårsag i verden. Målet med vores arbejde på Datalogisk Institut er at gøre computermodellerne så præcise, at vi ud fra stikprøver af et levende menneskehjerte kan forudse hele hjertets muskelopbygning. En stikprøve kunne være at tage 3-5 2-dimensionale billeder, for eksempel 256 x 256 pixels, hvilket man godt kan gøre på et levende menneskehjerte. Ud fra disse stikprøvebilleder kan man med vores model interpolere de manglende billeder. Det stiller store krav til modellens korrekthed, og vi arbejder derfor hårdt på at validere vores modeller på både raske og syge hjerter.

Håbet er, at vi med computermodellen og billeder af syge hjerter vil kunne identificere hjertesygdomme med relation til hjertemusklens, inden de får fatale konsekvenser. Den grundlæggende teknologi til optagelse af stikprøverne er til stede, og modellerne er kommet langt, men vi mangler stadig et stort arbejde med at sikre, at modellerne kan bruges til at identificere hjertesygdomme på levende hjerter. Et forsigtigt skøn vil være, at vores model vil blive taget i brug om 10 år.

En helix er en 3-dimensionel kurve, som er defineret ved $(x, y, z) = (\cos(t), \sin(t), t)$, og en fjeder og en spiraltrappe er eksempler på helixer.



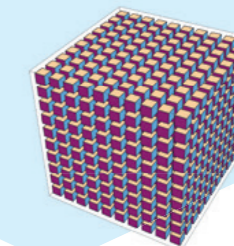
Kilde: Heve Lombert et al.: Human Atlas of the Cardiac Fiber Orientation. *Transactions on Medical Imaging*, Vol. 31(7), pp. 1436-1477

DTI-målinger

DTI står for Diffusion Tensor Imaging og er en variant af Magnetic Resonance Imaging (MRI). DTI giver et 3-dimensionalt billede af vands tendens til at bevæge sig. Selvom der ikke er et egentligt tryk til at skubbe vand i en bestemt retning, vil vand (væsker og gasser) have en tendens til at blande sig. Dette kaldes for diffusion, og hvis vand for eksempel befinder sig i et rørignende organ, vil diffusionen have tendens til at være i rørets retning. DTI-målingerne vil så kunne fortolkes som små pile, der ligeledes peger i rørets retning. I hjertet er muskelcellerne i sig selv små rørignende objekter. Det tager mellem 15 og 30 min. at optage et DTI-billede, og organet skal ligge stille under optagelsen.

Voxels

Et 2-dimensionalt digitalt billede består af billedelementer kaldet pixels, og disse er arrangeret i et gitter, så 256 x 256 betyder 65.536 pixels, med 256 kolonner og 256 rækker. Et billedelement i et 3-dimensionalt billede kaldes for en voxel, og i et 3-dimensionalt billede med størrelsen 256 x 256 x 256 vil der være 256 2-dimensionale billeder stakket efter hinanden, hvor man kan tænke på den ekstra dimension som dybden. Billedet vil indeholde 16.777.216 voxels.



UNIVERSETS big data

Vi bruger i stigende grad avancerede onlinetjenester som for eksempel Google, Facebook og Spotify i vores hverdag. Det gør vi, fordi tjenesterne er gode til at forudsige, hvad vi leder efter, når vi søger information eller leder efter ny musik. Men hvordan kan disse tjenester egentlig vide, hvad vi finder interessant?

Af ph.d.-studerende Kristoffer Stensbo-Smidt, Datalogisk Institut, Københavns Universitet

Når Spotify foreslår et nyt musiknummer, Facebook fremhæver en statusopdatering eller Googles søgning placerer et bestemt link øverst på resultatlisten, skyldes det, at computerprogrammet har lært, hvad der typisk interesserer dig, og på den baggrund har besluttet at vise dig det, du ser. Et program, der på denne måde kan lære sig selv modeller for data, for eksempel lære dine musikpræferencer at kende og derefter foreslå ny musik på baggrund af dets erfaring om dig, bruger algoritmer, der går under betegnelsen machine learning.

FRA FACEBOOK TIL PARTIKELFYSIK
Machine learning er helt uundværligt, når man arbejder med big data. Betegnelsen "big data" dækker ikke nødvendigvis over store mængder data, men simpelthen data, som gemmer på vigtig information, der blot skal graves frem. Machine learning kan netop udtrække denne viden fra dataene, og det er derfor ikke overraskende, at machine learning er blevet et værktøj, de fleste store onlinetjenester bruger i dag.

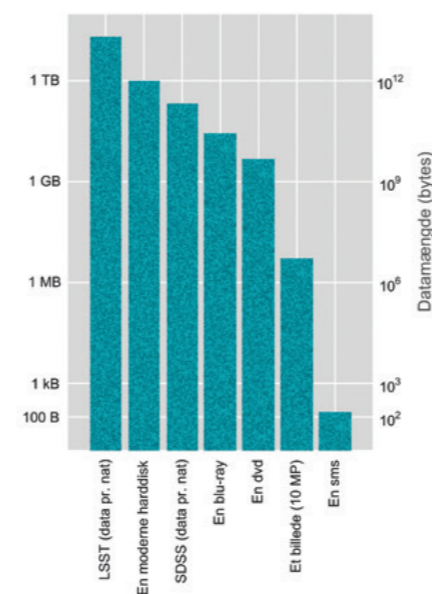
Det er ikke kun på nettet, at machine learning er blevet populært. Naturvidenskabelig forskning bruger i stigende grad machine learning til at gøre nye opdagelser, som ikke ville have været mulige uden den automatiske modellering, machine learning tilbyder. Machine learning er stadig et relativt nyt værktøj for naturvidenskaben, men bruges allerede i alt fra genetik til partikelfysik.

MACHINE LEARNING I ASTRONOMIEN

I min egen forskning kombinerer jeg machine learning og astronomi i forsøget på at lære nye ting om vores univers. Mængden af data i astronomi er eksploderet inden for de seneste 10 år, og der kommer kun mere til i de kommende år. Sloan Digital Sky Survey har taget billeder af nattehimmelen siden 2000 og genererer omkring 200 GB data pr. nat. Mange nye teleskoper er på vej, for eksempel vil Large Synoptic Survey Telescope, der forventes klar i 2022, generere 30 TB data pr. nat! Alle disse data skal undersøges, og nogle af analyserne skal foretages

på få sekunder, hvis man skal nå at fange interessante ting som supernovaeksplosioner, gammastråleudbrud og så videre.

Den store datamængde gør det helt nødvendigt at finde nye måder at analysere dataene på, hvis man skal udnytte dem fuldt ud. Det skal ske fuldt automatisk, hurtigt og præcist. I mit arbejde forsøger jeg at finde ud af, hvor mange stjerner der dannes i de galakser, vi kan se (den såkaldte stjernedannelsesrate). Nogle galakser danner mange stjerner, mens andre stort set er "døde". Dette fortæller os noget om, hvilket stadie af deres udvikling galakserne befinder sig i. Hvis vi præcist kan sige, hvor mange stjerner der dannes i alle de galakser, vi kan se, kan vi lære en masse om galaksernes generelle udvikling og derigennem universets udvikling. Vi har derfor arbejdet på at lave programmer, der selv kan kigge på billeder af galakser og ved hjælp af en kombination af billedanalyse og machine learning lære, hvordan galakser med forskellige stjernedannelsesrater ser ud. Ved at bruge denne viden kan programmerne gætte stjernedannelsesraten for en helt ny galakse blot ved at kigge på et billede af den. Der er stadig lang vej igen, før metoderne kommer til at fungere optimalt, men det er den eneste vej at gå, hvis vi vil bruge vores data maksimalt og få mere viden om det univers, vi er en del af.



Mængden af data fra kommende teleskoper som for eksempel Large Synoptic Survey Telescope (LSST) vil være enorm. Hver nat vil LSST producere 150 gange mere data end Sloan Digital Sky Survey (SDSS) og cirka 30 gange mere, end en moderne harddisk kan rumme. Det svarer til enten 6500 dvd'er, 6 millioner familiefotos eller 215 milliarder sms'er pr. nat.

NÅR OVERLEVELSE BARE ER ET 'GUNSTIGT UDFALD'

Danskerne sparer flere tusind milliarder kroner op til pension for at strække indkomsten fra arbejdslivet lidt længere. Når selskabernes aktuarer beregner prognoser og laver regnskaber, bruger de forudsætninger om fremtidens levetider. Men de er svære at modellere. For at prognoser og regnskaber bliver sammenlignelige, har Finanstilsynet indført en model, som alle skal benytte, så ingen bliver snydt i det store lotteri om levetider.

Af Mogens Steffensen, professor, Institut for Matematiske Fag, Københavns Universitet

Når du – eller måske nærmere dine forældre – sparer op til pension, indbetaler du typisk en del af din løn til en pensionsordning. Til gengæld får du udbetalt nogle penge at leve for, når du går på pension. På det tidspunkt har du brug for penge, så længe du lever. Derfor vil du typisk i din pensionsordning have en aftale om, at du skal have penge udbetalt, så længe du lever.

PENSIONSSKABET OVERTAGER USIKKERHED

Pensionsselskabet overtager derved den økonomiske usikkerhed, der følger af usikkerheden om din levetid. Du ved til gengæld, hvad du har at bruge, netop så længe du har brug for det. Du har selvfølgelig stadig usikkerheden om, hvor længe du lever. Ofte lover selskabet dig et bestemt beløb, så længe du lever. Så er det aktuarerne i selskabet, der holder styr på, om det kan holde, hvad det lover. Men det kræver et kig ind i krystalkuglen for at se, hvor længe du – eller nærmere din generation – lever. Selv hvis du har en aftale, som ikke lover dig noget, er du stadig interesseret i, hvad du i det mindste kan forvente at få til forbrug. Også her må aktuarerne bruge fremtidens levetider for at udregne et 'godt gæt'.

HVAD FÅR MAN UDBETALT – OG HVORFOR?

Først må vi forstå levetidsmodellens rolle. Hvad vil for eksempel en

Aktuar

Det er aktuarer, der beregner prognoser og udarbejder risikovurderinger for banker, pensionskasser, forsikringselskaber og finansielle institutioner. Det kræver, at man er god til matematik og regning.

Du kan læse til aktuar på Københavns Universitet.

Som studerende på aktuaruddannelsen beskæftiger du dig med tre hoveddele:

- Sandsynlighedsregning, som handler om forståelse af tilfældighed.
- Livsforsikringsmatematik, som handler om forsikring i forbindelse med store personlige livsforhold som eksempelvis pension, dødsfald, invaliditet og ægteskab.
- Skadesforsikringsmatematik, som handler om forsikring i forbindelse med skader og ulykker vedrørende ting og personer, typisk i forbindelse med brand, naturkatastrofer, tyveri og lignende.

kunde på 30 år med pensionsalder 70 år få udbetalt for en indbetaling på 1 (indsæt selv enhed, for eksempel 100.000 kr.)? Det er altså en mere simpel aftale end så længe du lever-aftalen, fordi den blot udbetaler 1, hvis du bliver 70. Svaret er: forrentningsfaktoren d divideret med overlevelsessandsynligheden P . Men hvorfor?

Vi kigger på selskabets tab om 40 år pr. kunde i en gruppe af n kunder,



der alle får d/P , når de bliver 70, hvis de bliver 70. Hvis en kunde ikke opnår pensionsalderen, får han 0. Den samlede udgift til hele gruppen bliver $d/P \cdot O$, hvor O tæller de overlevende. Selskabet kan investere den indbetalte præmie til forrentningsfaktoren d , så efter 40 år er selskabets præmieindtægt på n blevet til $n \cdot d$. Selskabets samlede tab efter 40 år pr. kunde bliver så

$$(d/P \cdot O - n \cdot d)/n = d/P \cdot (O/n - P)$$

Når n er stor, indtræder en af statistikkens naturlove, eftersom O/n er de såkaldt 'gunstige udfald divideret med mulige udfald'. Her kan man da tale om 'gunstigt udfald'. I hvert fald for kunden. Han overlevede. Det er da noget andet end at slå seks med en terning. Denne brøk nærmer sig udfaldets sandsynlighed, når vi gentager forsøget mange gange, svarende til at vi har mange kunder i gruppen. Størrelsen $O/n - P$ går altså mod nul, så tabet pr. kunde går mod nul. Netop derfor er d/P en rimelig udbetaling.

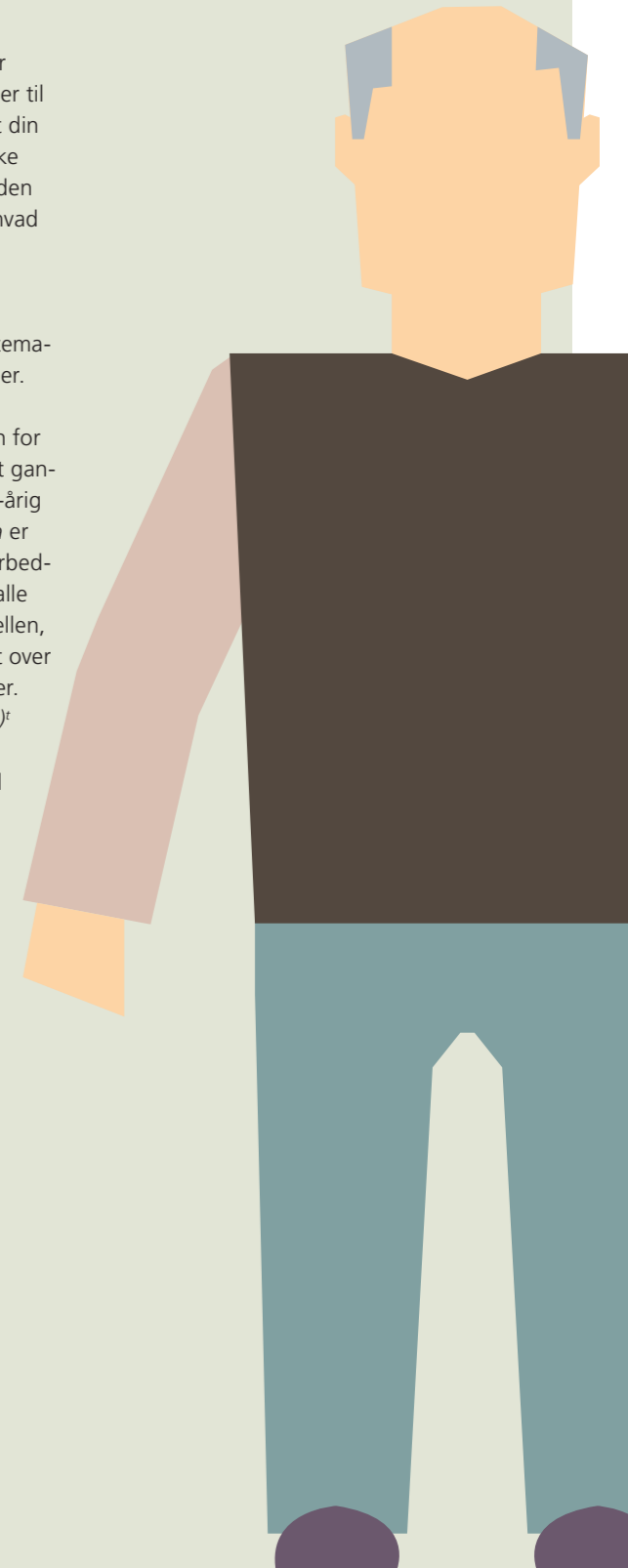
AFHÆNGIGHED

Naturlove virker altid kun under bestemte forudsætninger. Ovenfor forudsættes det faktisk, at forskellige kunders levetider ikke er afhængige. Hvad betyder det? At Bos og Pias levetider er afhængige, betyder, at vi ændrer på forventningen til Pias levetid, hvis vi får at vide, hvor gammel Bo bliver. Der er for eksempel afhængighed, hvis Bo og Pia er gift med hinanden. Især kvindens død har tendens til at 'smitte' ægtemanden, så hans dødelighed stiger. Men det er en helt anden afhængighed, der bekymrer pensionsselskaberne. Den kommer, fordi Bo og Pia er fra samme generation. Usikkerheden om denne generations livsstil og helbred

skaber afhængighed. Overvej for eksempel dine egne forventninger til din levetid, hvis du får at vide, at din kammerat bliver 110 år? Historiske data lærer os, hvor meget levetiden har forbedret sig over tid. Men hvad med fremtiden?

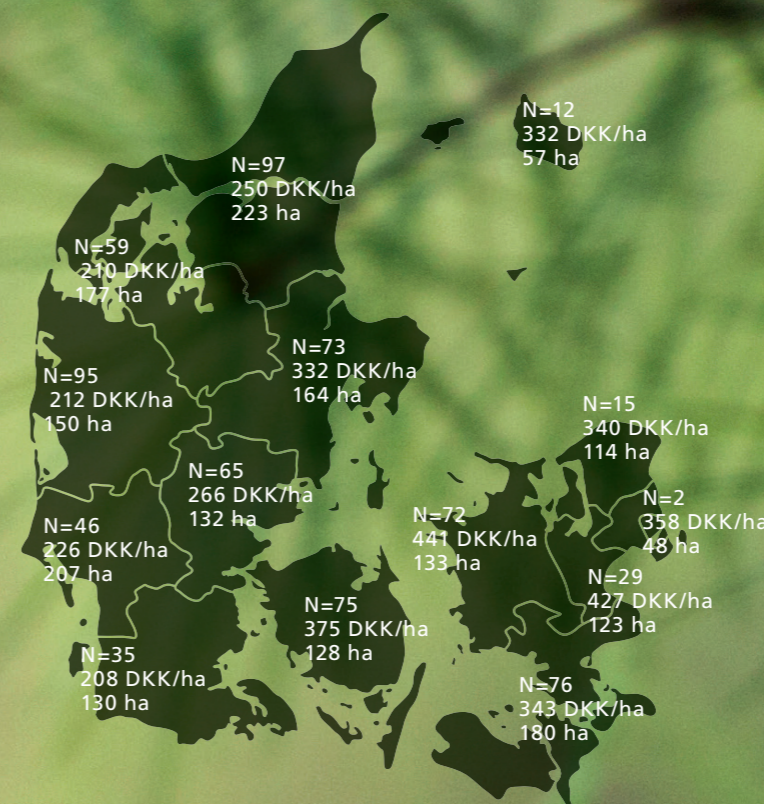
FINANSTILSYNETS MODEL

Finanstilsynet har indført en matematisk model for fremtidens levetider. Her fremkommer dødeligheden (sandsynligheden for at dø inden for et år) for en x -årig om t år ved at gange nutidens dødelighed for en x -årig $m(x)$ med en faktor $(a(x))^t$, hvor a er en funktion af x , fordi levetidsforbedringerne ikke virker ensartet på alle aldre. Til gengæld antager modellen, at forbedringerne virker ensartet over tid, eftersom potensen t er lineær. Dødelighedsmodellen $m(x) \cdot (a(x))^t$ kan nu bruges til at beregne sandsynligheden P ovenfor. Med modellen sikrer Finanstilsynet en vis sammenlignelighed på tværs af selskaber. Men om din generation i gennemsnit lever til 90- eller 120- eller måske bare 60-årsalderen, er der ingen, der ved – heller ikke pensionsselskaberne eller Finanstilsynet.





ULVEN KOMMER – SOCIOØKONOMISKE EFFEKTER



Vil du vide mere?

Socioøkonomiske aspekter af genindvandring af ulv i Danmark. IFRO Rapport 226. Af Gamborg, C., Vogdrup-Schmidt, M., & Thorsen, B.J. 2013. 34 sider. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet. ISBN: 978-87-92591-44-9.

Hvad bestemmer jagtlejen? Af Lundhede, T.H., Jacobsen, J.B., & Thorsen, B.J. 2009. I: Kanstrup et al. (red.), 2009. *Vildt & Landskab. Resultater af 6 års integreret forskning i Danmark 2003-2008.*

Jagtlejens gennemsnitlige størrelse i kroner pr. hektar (2007-tal) i de gamle amter samt det antal observationer, estimaterne bygger på, og den gennemsnitlige jagtlejeaftales antal hektar. Kilde: Lundhede et al. (2009).

Af lektor Christian Gamborg, lektor Thomas Lundhede og professor Bo Jellesmark Thorsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

I de senere år har en række dyrearter holdt deres indtog i Danmark til glæde for nogle og til gene for andre. Ulven er genindvandret til de jyske landskaber efter omtrent 200 års fravær. Det indebærer udfordringer for forvaltere af naturen, men samtidig rejser der sig naturligt en lang række spørgsmål hos danskere i både byerne og på landet – blandt andet i hvilket omfang ulve kan komme i konflikt med andre anvendelser og brugere. Til at svare på disse spørgsmål kan modeller af effekter af ulvens genindvandring være en hjælp.

De samfundsøkonomiske effekter af genindvandring af ulv i Danmark kan – forventer man især – mærkes i jordbruget (husdyrbruget), blandt jægere og jagtudlejere samt nok i mindre grad i friluftslivet og turismen. I andre lande i samme situation har der været mest fokus på tab af husdyr fra græsningsområder. Forskning viser dog, at husdyr kun udgør en forsvindende lille del af byttedyrene for ulve, når rådyr, kronvildt, vildsvin og andre fritlevende byttedyr er til rådighed. En anden aktivitet, der derfor kan påvirkes af en eventuel ulvebestand, er jagten.

Der er særligt to måder, som vildtudbyttet – og dermed jagtlejen – på et areal kan påvirkes på, hvis et ulvekobbelt slår sig ned i et område. Den første og direkte effekt er gennem ulvenes prædation, det vil sige, når ulvene fanger, dræber og eventuelt æder andre vilde dyr. Det er vildt,

som muligvis kunne have været genstand for jagt, og det må betragtes som en samfundsøkonomisk omkostning. Den anden, og indirekte, effekt er, at ulvenes tilstedeværelse muligvis vil påvirke, hvordan vildtet fordeler sig i landskabet. Dermed kan der ske en omfordeling mellem lodsejerne af jagtens værdi.

KONSEKVENNS FOR VILDTUDBYTTE – JAGTLEJEMODE

Der findes relativt lidt dokumenteret viden om de økonomiske effekter på jagtlejen og jagtens værdi af en genindvandring af ulve, så en måde at få et bud på omfanget af de effekter er gennem brug af en model, der indregner jagtlejens følsomhed over for mængden af vildt, der skydes, fordelt mellem råvildt, kronvildt og småvildt. Omtrent halvdelen af alle jægere i Danmark betaler jordejere for at kunne gå på jagt på deres jord. På baggrund af data fra 751 jagtle-

Udbytte	FORMODET ULVEPRÆDATION	ET JAGTAREAL LIDT UNDER GENNEMSNITTET FOR REGIONERNE		ET JAGTAREAL MED HØJERE UDBYTTER	
		Før	Efter	Før	Efter
Råvildt/100 ha	2,00	5,00	3,00	10,00	8,00
Kronvildt/100 ha	0,22	0,50	0,28	5,00	4,78
Jagtleje DKK/ha		231	214	468	434

Simulering af mulige effekter på jagtlejen pr. ha af ulveprædation af råvildt og kronvildt. Kilde: Gamborg et al. (2013).

jeftaler har forskere ved Københavns Universitet lavet en model, der kan skønne jagtlejen på et givet område på baggrund af oplysninger om de forskellige faktorer, der påvirker jagtlejens pris, for eksempel skovandel, beliggenhed og ikke mindst vildtudbytte.

BRUG FOR MODELLER

På baggrund af modellen vurderes den samfundsøkonomiske effekt af tabte jagtlejeindtægter fra det, ulven

fortærer inden for et ulvevir på 250 km², til at ligge i størrelsesordenen 150.000-350.000 kroner pr. år. Det skal understreges, at dette tal baseret på en model hviler på en række afgørende antagelser, og her er den centrale antagelse, at *alt*, hvad ulven dræber, alternativt ville være blevet nedlagt på jagt.

Diskussionen om ulvens genindvandring handler overordnet om samspillet mellem menneske og natur, hvor

meget kontrol skal der være over (de vilde) dyr, og i hvilket omfang skal vi mennesker definere landskabet? For at svare kvalificeret på disse spørgsmål og lave en forvaltningsplan for ulv kan der i mangel af reelle data være god brug for modeller af de samfundsøkonomiske aspekter.

MODELLER FORUDSIGER KLIMARESPONS HOS TRÆER OG BUSKE

Modeller baseret på målinger af træer og buskes årringe afslører, hvilke klimatiske faktorer der lokalt er afgørende for deres vækst. Det kan hjælpe os med at forstå nogle af de ændringer, der sker i vegetationen, for eksempel i Grønland og i alpine områder. Med udgangspunkt i klimafremskrivninger kan det også bruges til at vurdere, hvor meget træ der i fremtiden kan hentes i skovene, uden at de ødelægges. Endelig kan det hjælpe os, når vi prøver at skønne, hvor meget kulstof skovene fremover kan optage fra atmosfæren.

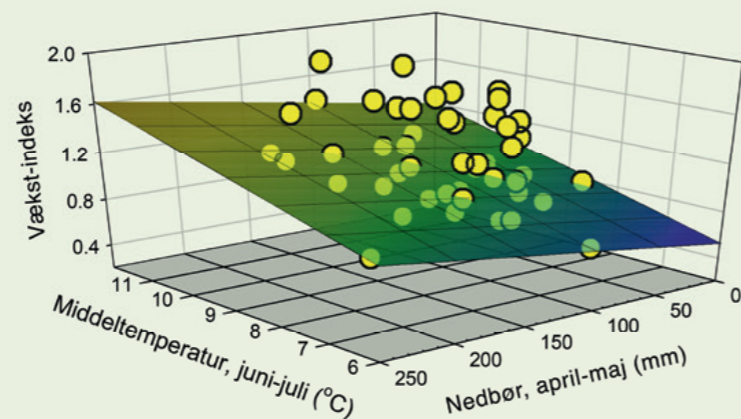
Af Henrik Meilby, lektor på Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

KLIMA, ÅRRINGE OG MODELLER

Variationer i klimaet påvirker alt levende. For planters vækst betyder det enkelte års vejr rigtig meget, og i tværsnit af træer og buskes stammer kan man ofte se de enkelte års vækst aftegnet som årringe af varierende bredde. Hvis man ved, hvordan klimaet var på plantens voksested år for år over en længere årrække, kan man bruge målinger af årringene som grundlag for modeller, der blandt andet beskriver væksten som funktion af klimaet. Planter, der gror nær grænsen for, hvor de kan overleve, påvirkes ofte mest af klimavariationer. Det er også der, klimaforandringer først vil få betydning for dem. Derfor fokuserer vores undersøgelser på vækstmæssige grænseområder.

VED GRÆNSEN MOD NORD

I det meste af Grønland er sommeren for kort og kølig til, at der vokser træer. I de indre dele af Sydvestgrønlands fjorde er der dog dale, hvor klimaet er lunt nok til, at birketræer kan vokse sig 5-7 meter høje, men ellers bliver fjeldets krat af birk, pil og el som regel ikke mere end mandshøjt. Fremtiden ser dog muligvis anderledes ud.

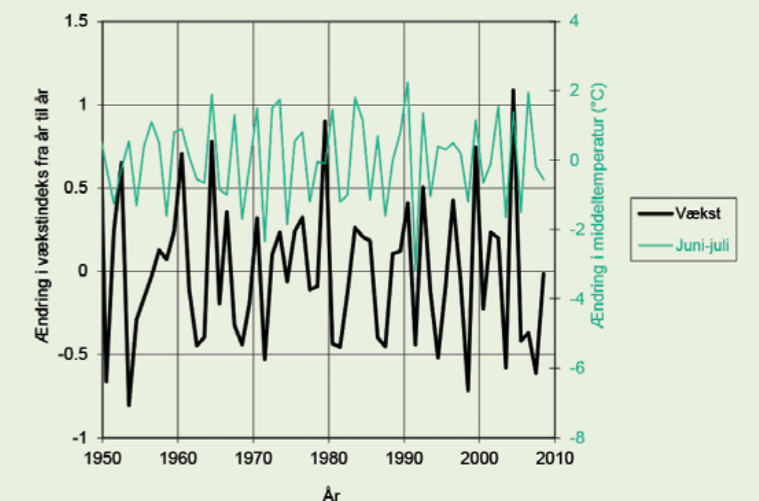


Figur 1. Eksempel på sammenhængen mellem to klimavariabel (middeltemperatur i juni-juli og samlet nedbør i april-maj) og et vækstindeks beregnet som gennemsnit for fem grønlandske ellebuske. Modellen er lineær (en plan) og er givet ved: vækstindeks = $-0,14 + 0,11 \times \text{temperatur (°C)} + 0,0017 \times \text{nedbør (mm)}$. Modellens koefficienter er tilpasset de viste datapunkter ("boblerne"). Hvert datapunkt repræsenterer et enkelt år i perioden 1962-2009. I denne periode varierede middeltemperaturen i juni-juli mellem 7,4 °C og 12,0 °C med et gennemsnit på 9,7 °C. Nedbøren i april-maj varierede mellem 7 mm og 176 mm, og gennemsnittet var 78 mm. Vækstindekset svinger omkring 1 og varierede i 1962-2009 mellem 0,37 og 1,98. Det betyder, at årringene i det bedste vækstår var gennemsnitligt cirka dobbelt så brede (198 %), som man ville forvente uden kendskab til klimaets effekt, mens de i det dårligste vækstår var lidt over en tredjedel (37 %) af det forventede. Som modellen illustrerer, kan en del af denne variation i væksten tilskrives variationer i temperatur og nedbør. Data: Rasmus Halfdan Jørgensen



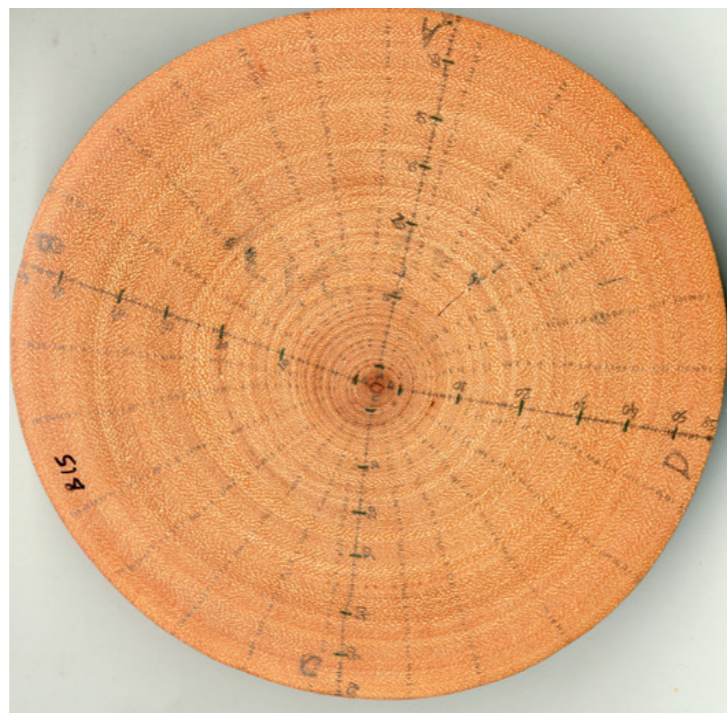
Frodigt krat af el og pil ved Arsuk-fjorden i Sydvestgrønland. Foto: Henrik Meilby

Figur 2. Eksempel på delvis overensstemmelse mellem ændringer fra år til år for en klimavariabel (middeltemperatur i juni-juli) og et vækstindeks beregnet som gennemsnit for fem grønlandske ellebuske. Bemærk, at de to variable er vist på hver sin akse. Ændringer i middeltemperatur og vækstindeks forløber i mange tilfælde parallelt, sådan at en positiv ændring i middeltemperaturen fra et år til det næste ofte ledsages af en positiv ændring i vækstindekset (det vil sige øget årringsbredde). Det omvendte er også tilfældet. I nogle perioder er det særlig tydeligt, at de op- og nedadvendte spidsværdier optræder i de samme år. Det gælder for eksempel i årene omkring 1970. At ændringer i middeltemperaturen ikke altid ledsages af en lignende ændring i vækstindekset, skyldes, at der også er andre faktorer end temperaturen i juni-juli, som indvirker på buskenes vækst (se eksemplet i figur 1), og at disse i nogle tilfælde er af afgørende betydning. Data: Rasmus Halfdan Jørgensen





Tør miomboskov i juni måned i Iringa-distriktet i Tanzania. Foto: Henrik Meilby



Stammeskive af en vigtig træart (*Brachystegia spiciformis*) fra miomboskov i Tanzania, hvor der er udført årringsmålinger (blyantsmærkerne støtter overblikket). Foto: Ezekiel Mwakalukwa

Siden midten af 1980'erne er temperaturen i Sydvestgrønland steget, og tiåret 2001-2010 var usædvanlig varmt. Samtidig er der en del, der tyder på, at den fremvækst af større buske, som er set i andre dele af Arktis, også er på vej i Sydvestgrønland. Modeller baseret på måling af årringe hos el og pil viser således, at væksten påvirkes meget positivt af de senere års højere sommertemperaturer.

VED GRÆNSEN MOD HIMLEN

I Nepal er der stor variation i terrænets højde over havet, og derfor varierer temperatur og nedbør også meget. Den lokale variation er ligeledes stor, dels fordi bjergene skaber nedbørsskygge, dels fordi temperaturforholdene påvirkes af skråninogens orientering i forhold til solen. Trægrænsens højde over havet varierer derfor meget, men i et varmere klima kan man forestille sig, at den i nogle områder vil rykke opad. Modeller baseret på måling af årringe hos ædelgran nær trægrænsen viste dog, at træerne i det undersøgte område ikke drog fordel af højere temperaturer, men i stedet reagerede positivt på

den del af nedbøren, der falder om foråret inden monsunen. Virkningen af et varmere klima vil derfor afhænge af, om varmen ledsages af mere nedbør på denne tid af året.

VED GRÆNSEN MOD SAVANNEN

I Østafrika får store dele af befolkningen deres brændsel fra en skovtype, der kaldes miombo. I Tanzanias indland findes der miomboskove ved en årsnedbør på helt ned til 500-600 mm. Det svarer til, hvad der falder i Storebæltsområdet, men da årsmiddelttemperaturen er over 10 grader højere end i Danmark, er der meget tørt. Træerne vokser langsomt og klarer sig gennem tørtiden ved at stå uden blade i halvdelen af året. Modeller baseret på årringsmålinger hos en af de vigtigste træarter viser ikke overraskende, at træerne er meget følsomme over for nedbøren. Ændringer i nedbøren og regntidens varighed vil derfor have stor betydning for, hvor meget træerne vokser, hvor meget kulstof skoven optager fra atmosfæren, og hvor meget brændsel folk kan hente i skoven, uden at den forhugges*.

Vækstmodel for skov i Nepal

Her er en vækstmodel, som jeg udarbejdede sammen med en nepalesisk studerende, Prativa Sapkota, på grundlag af årringsmålinger, som hun udførte i forbindelse med sit speciale. Målingerne blev udført på en lokalitet i Nepals lavland for en træart (*Shorea robusta*), der er af stor økonomisk betydning. Modellen er udtrykt ved:

$$\Delta D = 1,1206 D^{0,2842} T^{-0,4575} e^{0,1767 R},$$

hvor ΔD er sæsonens diameter-tilvækst i cm, D er diameteren i cm inden vækstsæsonen, T er antallet af årringe i stammen inden vækstsæsonen, $e = 2,71828\dots$ og R er den totale nedbør (i meter) i månederne maj, juni og juli. På denne lokalitet ligger R som regel i intervallet 0,5-2 meter. Diameter-tilvæksten øges altså med stigende diameter, mindskes med stigende alder (antallet af årringe) og øges med stigende nedbør.



Skov af ædelgran og rododendron nær trægrænsen i Mustang-distriktet i Nepal. Foto: Henrik Meilby

*Forhugges

Ordet udtrykker, at der fældes så mange træer i skoven, at trækroneerne ikke længere dækker arealet, og at skovens produktion af træ derfor reduceres betydeligt. Samtidig sker der ofte det, at græs, urter og slyngplanter vokser frem på skovbunden og gør det svært for nye træer at etablere sig. Selv hvis al træfældning ophører, kan det derfor tage mange år, før en forhugget skov har genvundet sin vækstevne.



21 UDDANNELSER OG EN VERDEN AF MULIGHEDER

21 NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:
 Biokemi * Biologi * Biologi-bioteknologi * Datalogi * De fysiske fag
 * Forsikringsmatematik * Fødevarer og ernæring * Geografi og
 geoinformatik * Geologi-geoscience * Have- og parkingeniør *
 Husdyrvidenskab * Idræt * Jordbrugsøkonomi * Kemi * Landskabs-
 arkitektur * Matematik * Matematik-økonomi * Molekylær biomedicin
 * Nanoscience * Naturressourcer * Skov- og landskabsingeniør

LÆS MERE OG SE FILM OM UDDANNELSERNE
 OG DINE MANGE MULIGHEDER PÅ

science.ku.dk

LIKE FACEBOOK-SIDEN

LÆS PÅ SCIENCE - KØBENHAVNS UNIVERSITET

OG FÅ STUDIEINFO DIREKTE PÅ DIN VÆG

