

Genetikk og avl

-eller:

Ikke kluss det til enda mer!

1. Gener og naturlig
variasjon

2. Mitokondrie-DNA

3. Kjønnssalleler

4. 3 typer avlsopplegg

Samfunnet i fokus

- ▶ Det er *samfunnets* egenskaper som er gode eller dårlige, enten det gjelder egen overlevelse eller nytteverdi for birøkteren. Vi er ikke lenger på individnivå, men på et slags familie-nivå: mor med arbeider-døtre som er halvsøstre
- ▶ Plus droner som bærer dronningas gener videre
- ▶ Plus dronningdøtre som bærer arbeidernes egenskaper videre

DNA og kromosomer

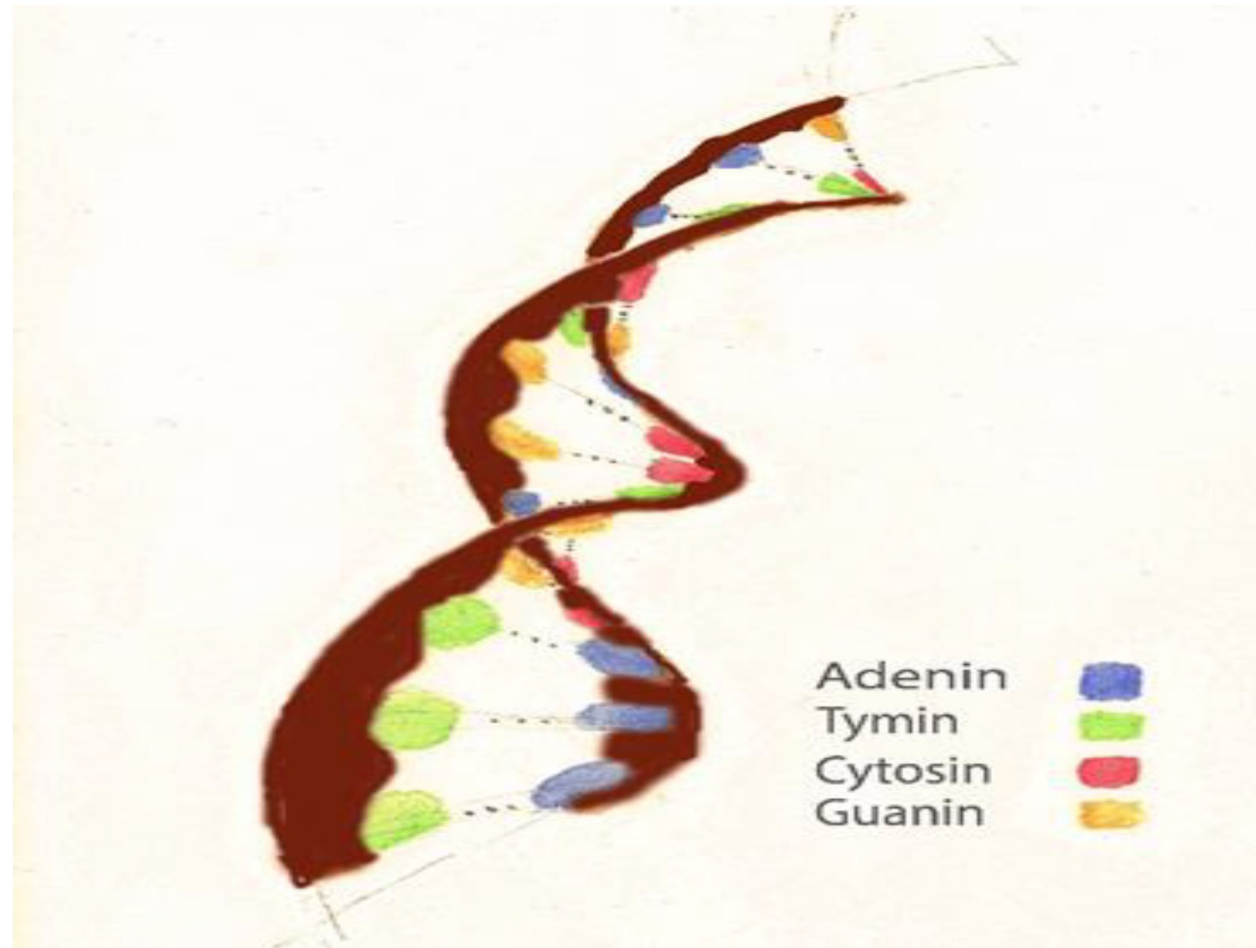
Mennesket har 23 par, hunnbiene 16 par, dronene 16 enkle



DNA - hovedbestanddel av kromosomet

- ▶ DNA har form som en lang stige som er bygget opp av to tråder. Trådene er bygget opp av små byggesteiner som kalles nukleotider.
- ▶ Nukleotidene har en sukker-ende og en fosfat-ende, der sukker og fosfat suksessivt kjeder seg sammen i en fast kjemisk forbindelse. Men den delen som har betydning for den genetiske koden er den nitrogenholdige delen som stikker ut til siden: nitrogenbasen
- ▶ Basen finnes i fire ulike varianter, som kalles **A** (adenin), **C** (cytosin), **T** (tymin) og **G** (guanin).
- ▶ A vil binde seg til T og C vil binde seg til G med forholdsvis løse bånd. De to trådene er derfor komplementære. Der den ene tråden har A, har den andre tråden T og omvendt. Tilsvarende med C og G. Den ene tråden har kodene, den andre fungerer som lås og mal for den første.
- ▶ DNA-stigen er vridd som en spiral, og kalles derfor en dobbelheliks. Men trinnene er ikke så sterke og trådene kan enkelt skilles fra hverandre.

DNA - en dobbeltspiral med 4 elementer



Gener og proteiner

- ▶ Koden er digital og består av sett på 3 og 3 nukleotider (altså ikke binær 0, 1 som i en datamaskin). For eksempel AGG, CTC, GGT
- ▶ En slik triplett i gen-kjeden tilsvarer en aminosyre (=byggestein) i protein-kjeden
- ▶ Et gen består av alle de triplettene som trengs for å kode for et protein
- ▶ Triplettene er ikke separert med skilletegn, så hvis en gen-kode skulle starte feil, eller et nukleotid ha falt ut, blir hele koden feil. (Fatal mutasjon)

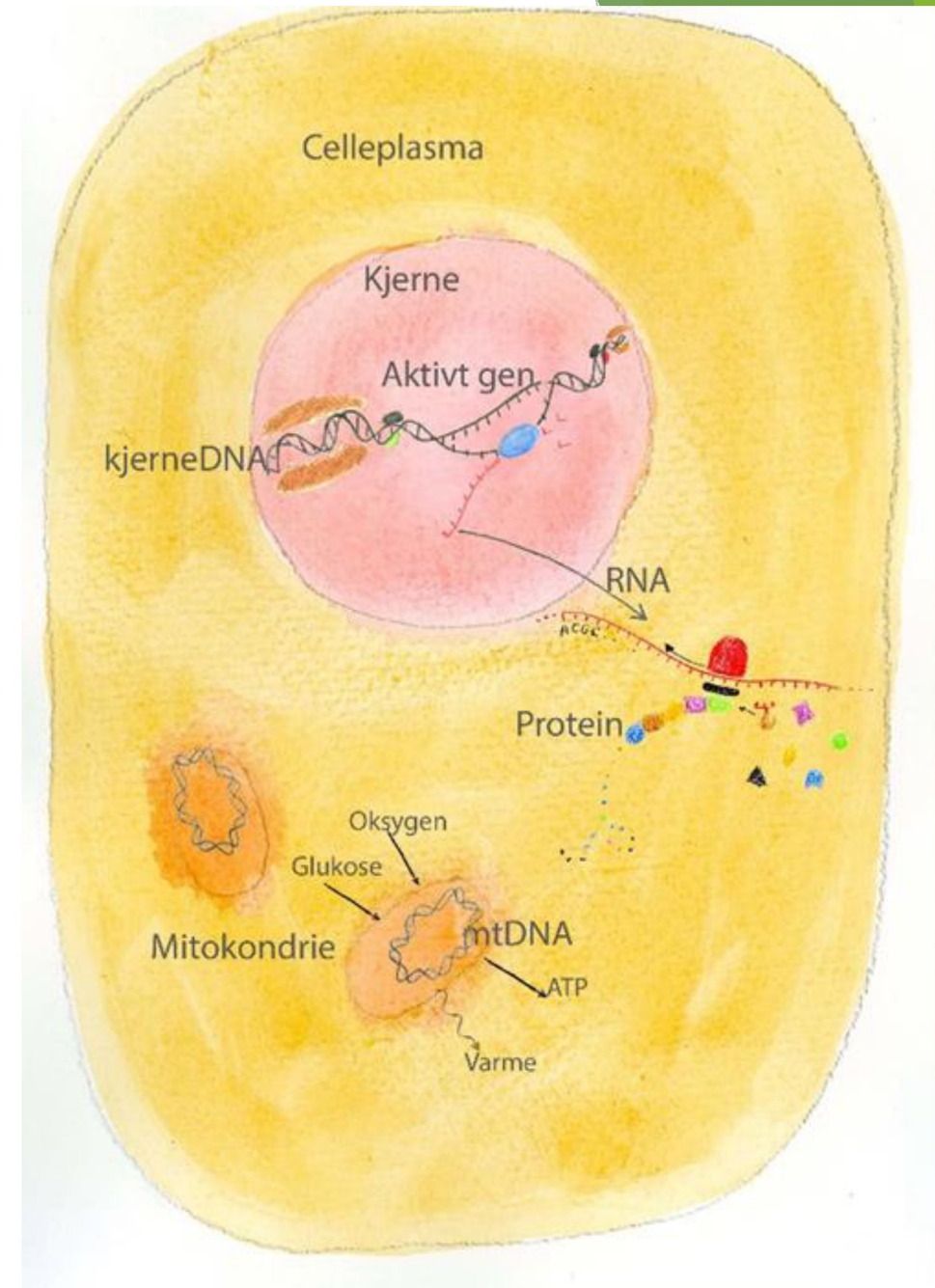
(Nukleotid brukes om basene på tråden som har kodene, basepar når vi tenker på dobbeltspiralen)

Proteiner

- ▶ Proteinene lages for det meste i celleplasmaet utenfor kjernen. I stedet for å gå gjennom kjernemembranen og ut i celleplasmaet, lager DNA en kopi av genene sine i et mer ustabilt materiale, RNA, og sender disse ut i celleplasmaet som oppskrift på proteinene.
- ▶ Proteinene kan være byggesteiner i skall, muskler og andre organer og delta i et mønster for hvordan organismen skal bygges opp. De kan være enzymer i cellens «fabrikker» og de kan lage hormoner og signalstoffer som sørger for intern kommunikasjon, og ekstern, slik som dronningas feromon.

Alt vev i en organisme er bygd opp av celler med samme DNA
Der lages det proteiner etter oppskrift av DNA

Legg merke til at mitokondriene har sitt eget DNA: mtDNA



Samme genom, ulike vev

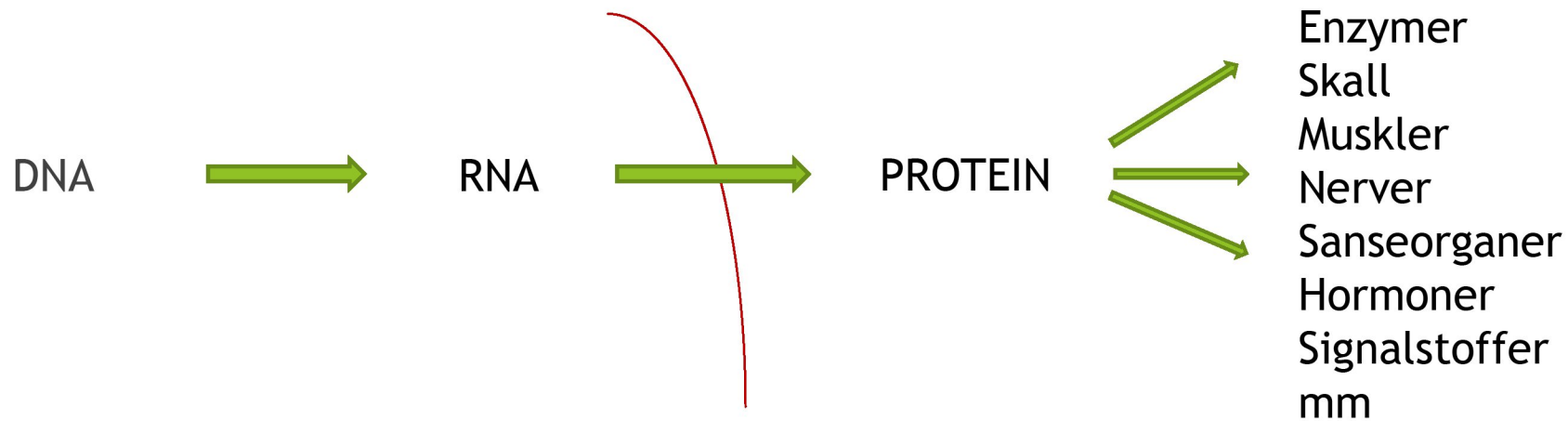
- ▶ Genene er programmert
- ▶ Ikke alle er aktive
- ▶ Noen er pakket inn av proteiner produsert av andre gener
- ▶ Noen har fått start koden låst av micro-RNA fra andre gener
- ▶ Programmeringen skjer i de forskjellige vev under utviklingen fra egg til voksen bie.

DNA - deoksyribonukleinsyre

- Men glem det med syre. Husk:

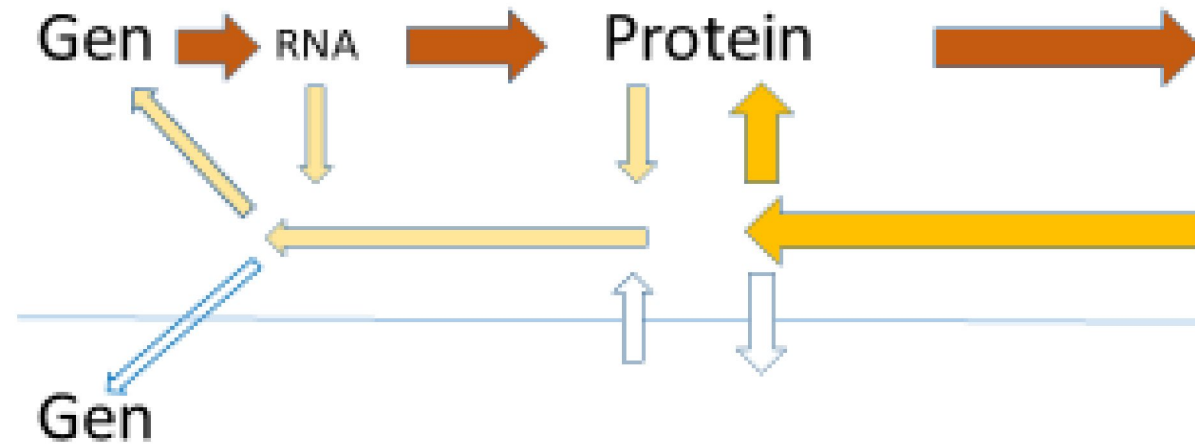
- ▶ DNA - kjede av 4 ulike *nukleotider*, A, T, C, G som også kalles *baser*
- ▶ 2 tråder henger sammen i en spiralsnodd stige der trinnene er *basepar*
- ▶ DNA er delt i 16 deler hos biene og nøstet opp på proteiner og danner de mikroskopiske *kromosomene*
- ▶ Utstrekning av en DNA-del kan være rundt 4 - 5 cm
- ▶ Mye av DNA-et har ingen kjent funksjon: «non-coding DNA»
- ▶ Alt DNA som befinner seg i cellen kalles organismens *genom*
- ▶ Et *gen* er en del av DNA-et som koder for en elementær egenskap, slik som et protein.
- ▶ Genet har en start- og en stopp-kode og kan være aktivt eller inaktivt, alt etter programmeringen

Protein-syntesen skjematisk



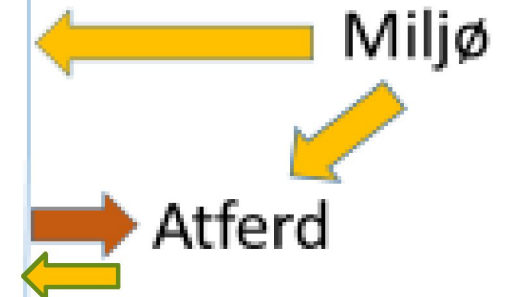
Men hvor er det plass til naturlig variasjon?

Genetikk og egenskaper



Egenskaper:

Fargestoffer
Byggestoffer
Energibærere
Energilagre
Signalstoffer
Hormoner
Feromoner
Nerver, sanser
Enzymer, mm.



Miljøet virker også inn på utviklingen av individet:

- ▶ Noen blir arbeidere, andre dronninger
- ▶ Med brunbier som cellebyggere blir dronningene best

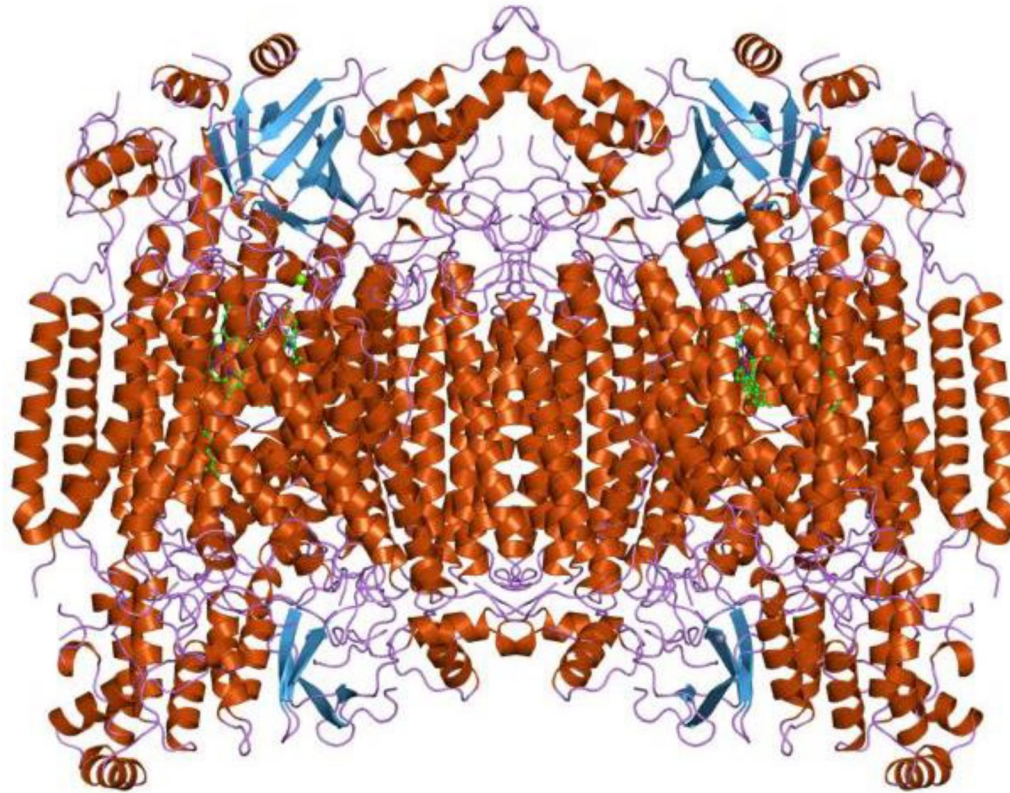
Hva med Mitokondriene?

- ▶ Cellenes energiverk basert på enzymer i mitokondrienes membraner og indre plasma.
- ▶ Lite DNA, men betydningsfullt
- ▶ Mitochondria play a fundamental role in aging and in prevalent acute or chronic diseases.

Front. Physiol., 31 July 2014 | <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00282>

- ▶ Bidrar også med noen bygge-elementer til celleplasmaet
- ▶ Mitokondriene arves *bare fra mor* - slik også hos biene

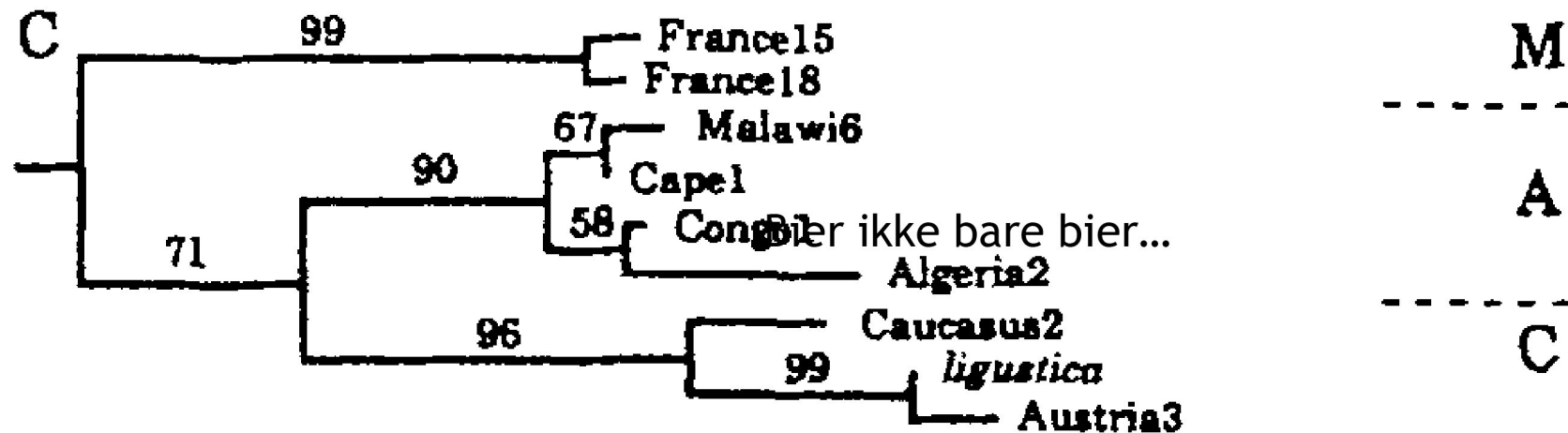
Cytochrome c oxidase 1



Kodet fra
mitokondrie-
genet
CO-1

Kilde: Wikipedia.en

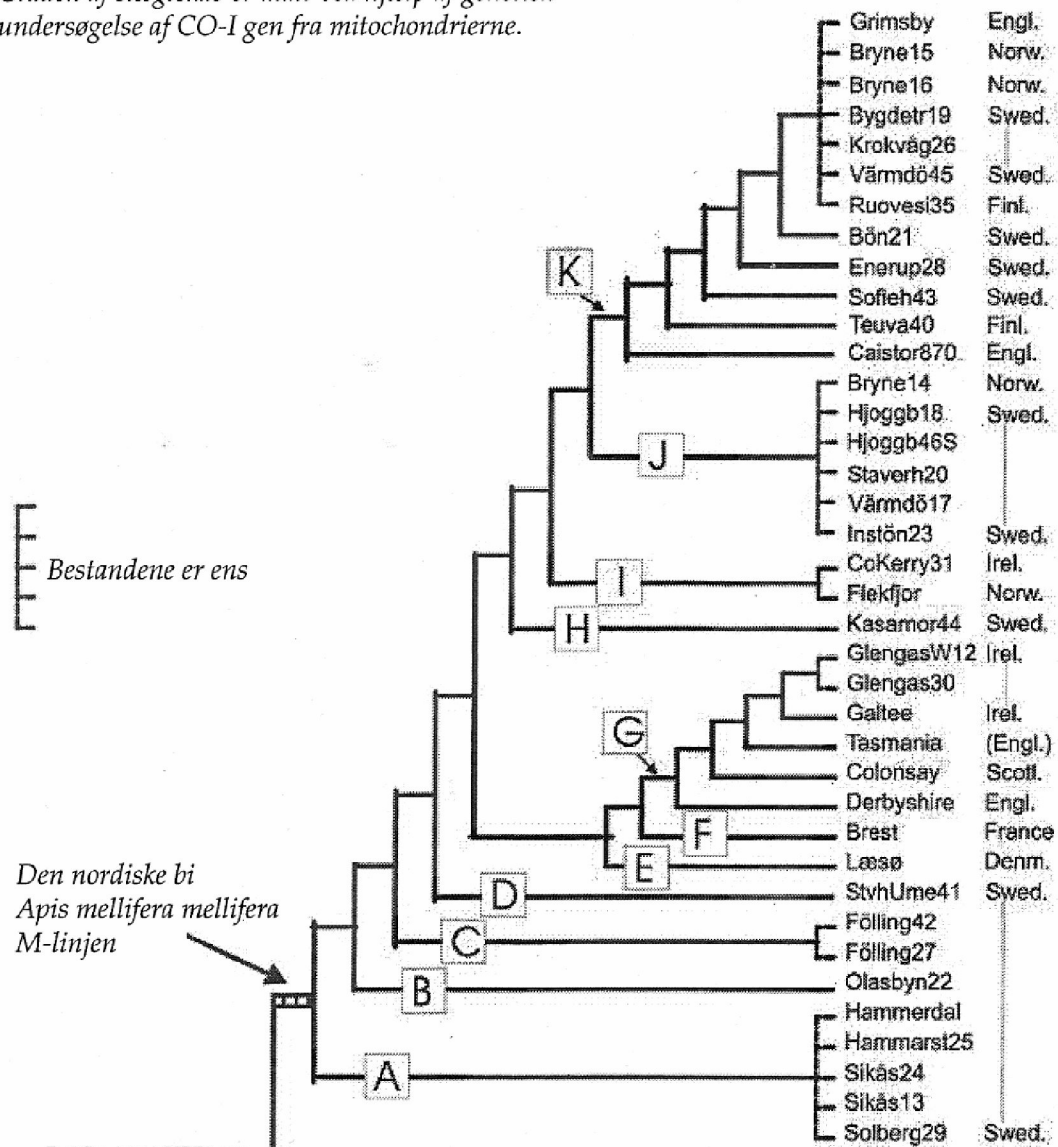
Bier er ikke bare bier...



Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis

L. CARNERY, J.-M. CORNUET and M. SOLIGNAC. *Molecular Ecology* 1992

Graden af slægtskab er målt ved hjælp af genetisk undersøgelse af CO-I gen fra mitochondrierne.



Nordiske brunbier:

- ▶ Genet CO-1 ble sekvensert hos mange stammer av brunbier og andre underarter av *Apis mellifera* av Bo Vest Pedersen for finne posisjonen til brunbiene på Læsø.
- ▶ Brunbienes gen hadde 15 av 900 nucleotider som var forskjellig fra krainere og italiener-bier. 1,7 % forandring. Kilde: Egil Holm 2009
- ▶ Dette henger sammen med tiden som er gått siden de skilte lag, 600 000 til 1 mill år.
- ▶ Men også naturlig seleksjonspress til lavere temperatur, behov for lengre levealder eller annen næring
- ▶ Blant brunbiene var det også ulikheter i DNA-sekvensen for CO-1-genet.
- ▶ CO-1-genet har altså forskjellige varianter - *alleler* - hos de nordiske brunbiene.

Mendels lover

- ▶ **Mendels første lov: Prinsippet om segregering**
- ▶ Når kjønnscellene lages (sperm og egg) blir genparene adskilt slik at det kommer kun en genutgave i hver kjønnselle.
- ▶ **Mendels andre lov: Prinsippet om uavhengig fordeling**
- ▶ Mendel antok at de ulike genparene ble atskilt og fordelt uavhengig av hverandre. Denne loven kalles også *prinsippet om uavhengig fordeling*. Det gjelder når genene sitter på hvert sitt kromosom.

Arvegangen hos biene

Figuren illustrerer bakkropp av dronning (lang med sædblære) drone (kort og bred) og arbeider (liten). Fargene viser hvor genene kommer fra.

Dronning og arbeidere utgjør til sammen et bifolk med målbare egenskaper.

Vi ser at bifolket nederst har halvparten av genene fra bifolket som er kalt Mor og halvparten fra bifolket kalt Far.

Halvparten av genene til dronegiveren blir ikke ført videre gjennom dronene. Det er derfor dronegiverens mor-bifolk som er avgjørende for farsarven.

Generasjon

-1

.....

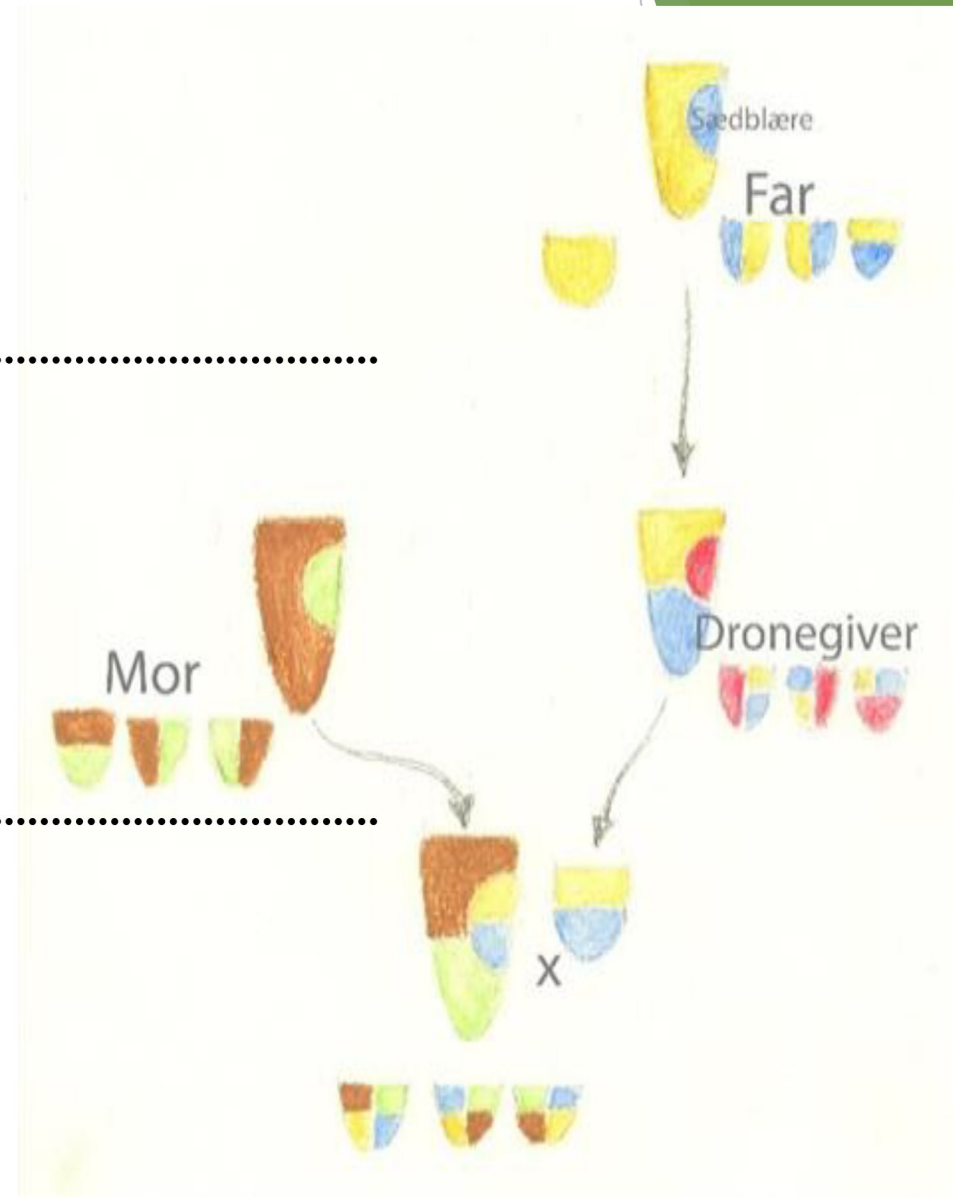
..

0

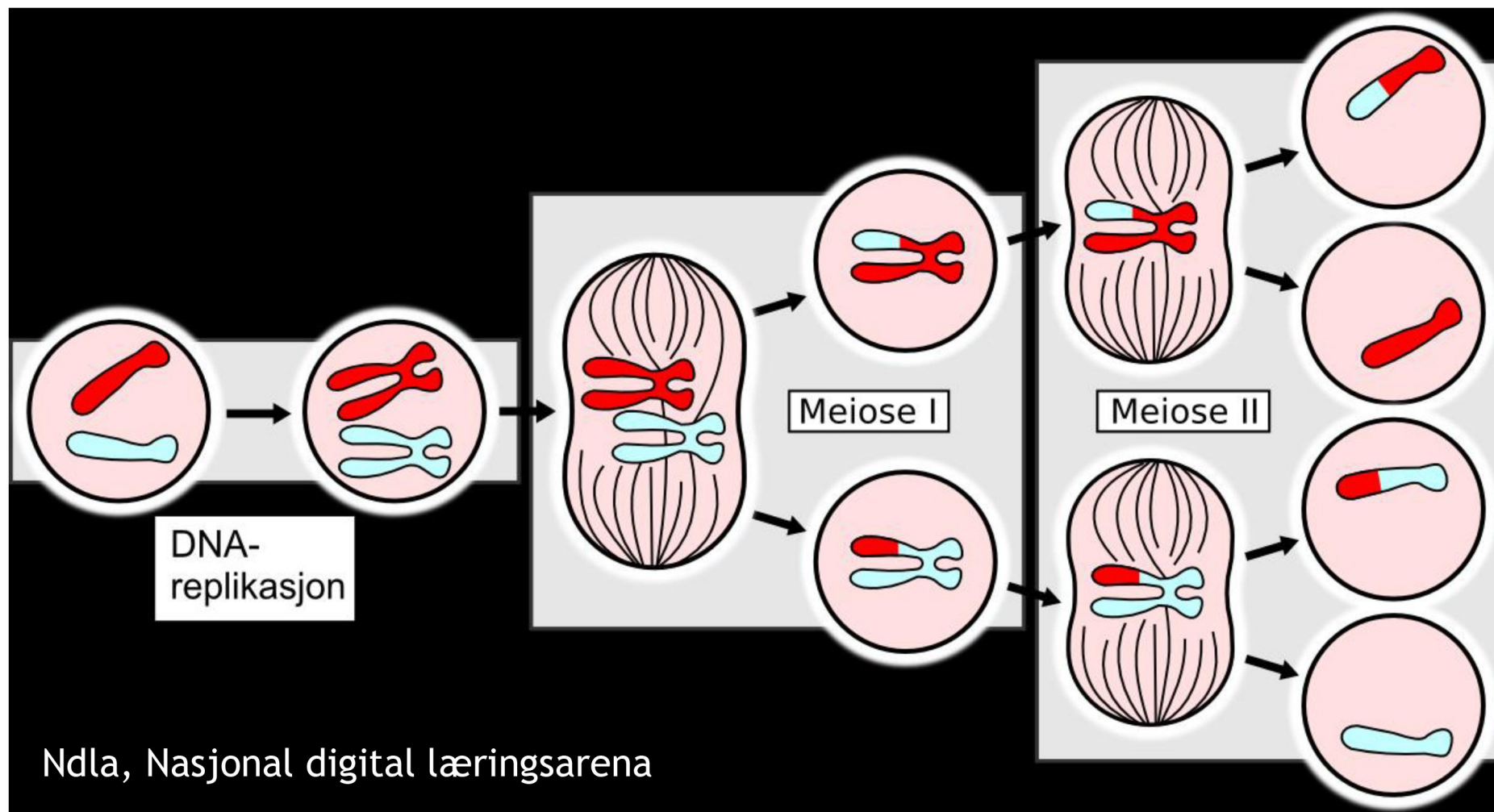
.....

...

1



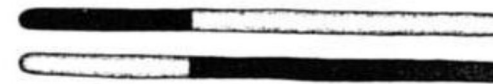
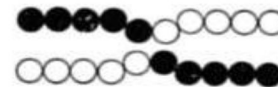
Dronningen lager 4 egg av en celle



Overkryssing

eller «*crossing over*» som det heter på engelsk, er med og gjør at gener kan skilles og settes sammen i nye kombinasjoner selv om de sitter på samme kromosom. Det gjør at arv blir mer mangfoldig i det lange løp.

og at innkryssing av andre underarter blir mer skadelig....

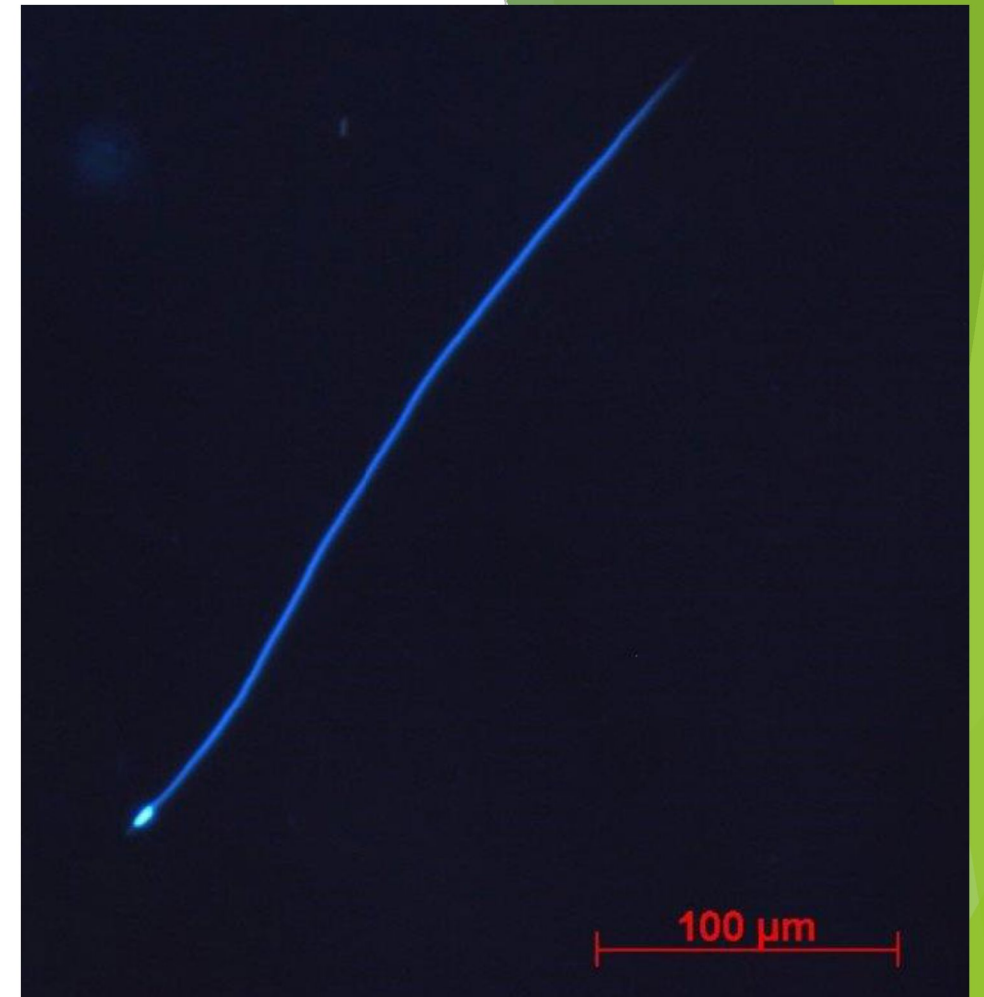


Thomas Hunt Morgans illustrasjon fra 1916. Wikimedia Commons

Dronenes sædceller produseres ved vanlig celle-delning - *mitose* - siden de allerede har bare et kromosom av hvert slag (*haploide*)

Alle sædcellene fra en drone inneholder det samme gen-materialet

Dronene fra samme mor har forskjellige genkombinasjoner fra morens kroppsgener på grunn av kromosomfordelingen, 65 536, pluss noen ekstra på grunn av overkryssing



ResearchGate

This figure was uploaded by [Rodolfo Jaffé](#).

Kjønnsalleler

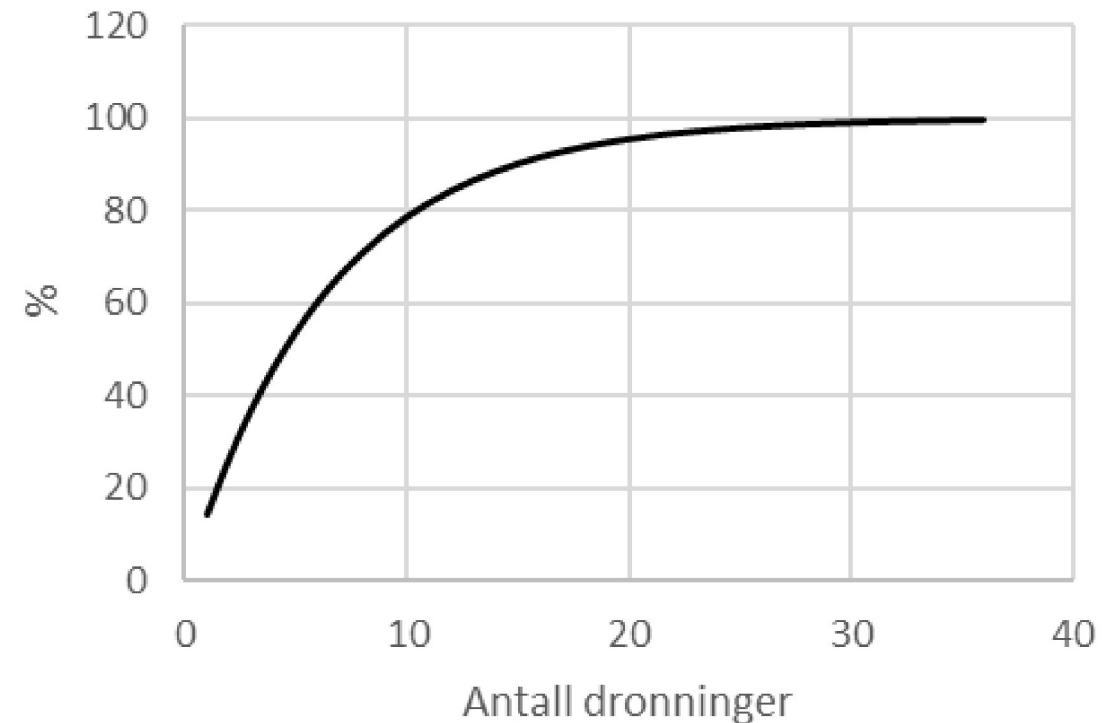
- ▶ På et av bienes kromosomer er det et spesielt gen som påvirker kjønn: kjønnsgenet.
- ▶ Dette genet foreligger i mange utgaver - *alleler*
- ▶ For at et befruktet egg skal utvikle seg til hunnbie (arbeider, dronning) må kjønnsgenet fra mors- og farssiden være forskjellig, dvs ulike alleler.
- ▶ Like kjønnsalleler gir en *diploid* drone

Jo flere kjønnsalleler som forekommer i en bestand av bifolk, jo mindre er sjansen for at det skal bli samme allel i egg- og sædcelle.

NB har operert med 14 kjønnsalleler hos bier i Norge

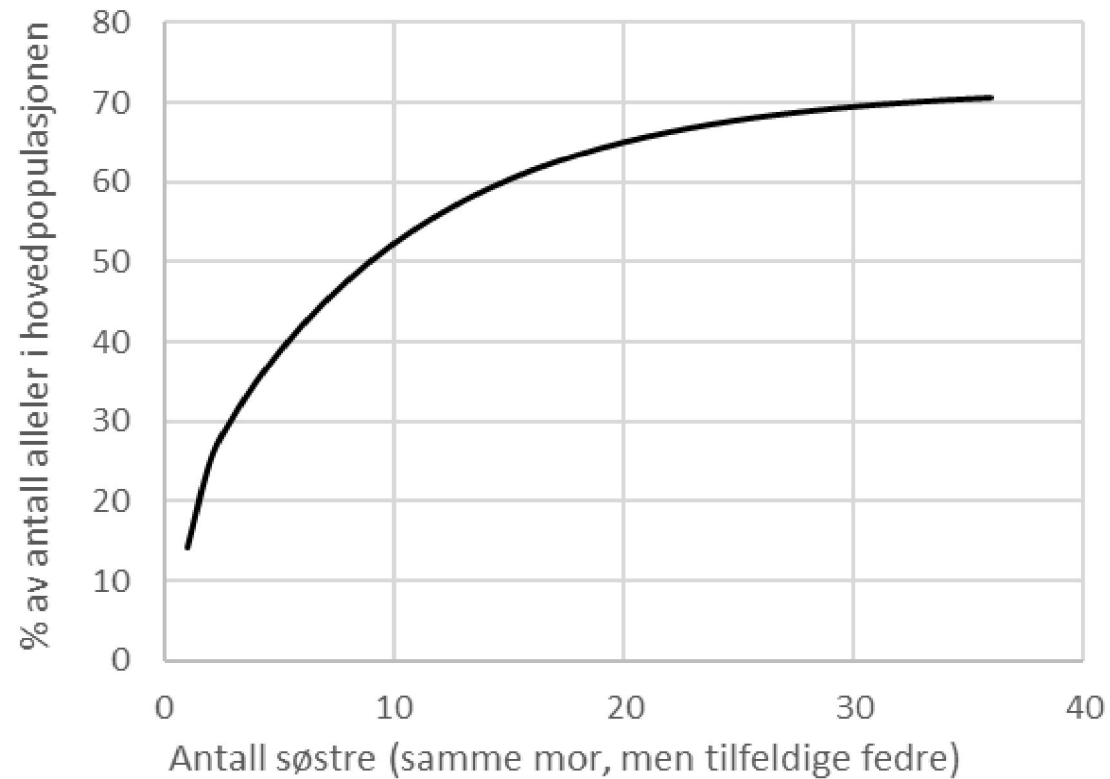
I løpet av 2 - 3 år (en generasjon) bør minst 30 tilfeldige bifolk være involvert i avlen for at ikke antall kjønnsalleler skal gå ned.

Prosent av 14 kjønnsalleler i en stor populasjon som beholdes i et tilfeldig utvalg dronninger



Prosent kjønnsalleler som beholdes i en søstergruppe.

Basert på 14 alleler i hovedpopulasjonen

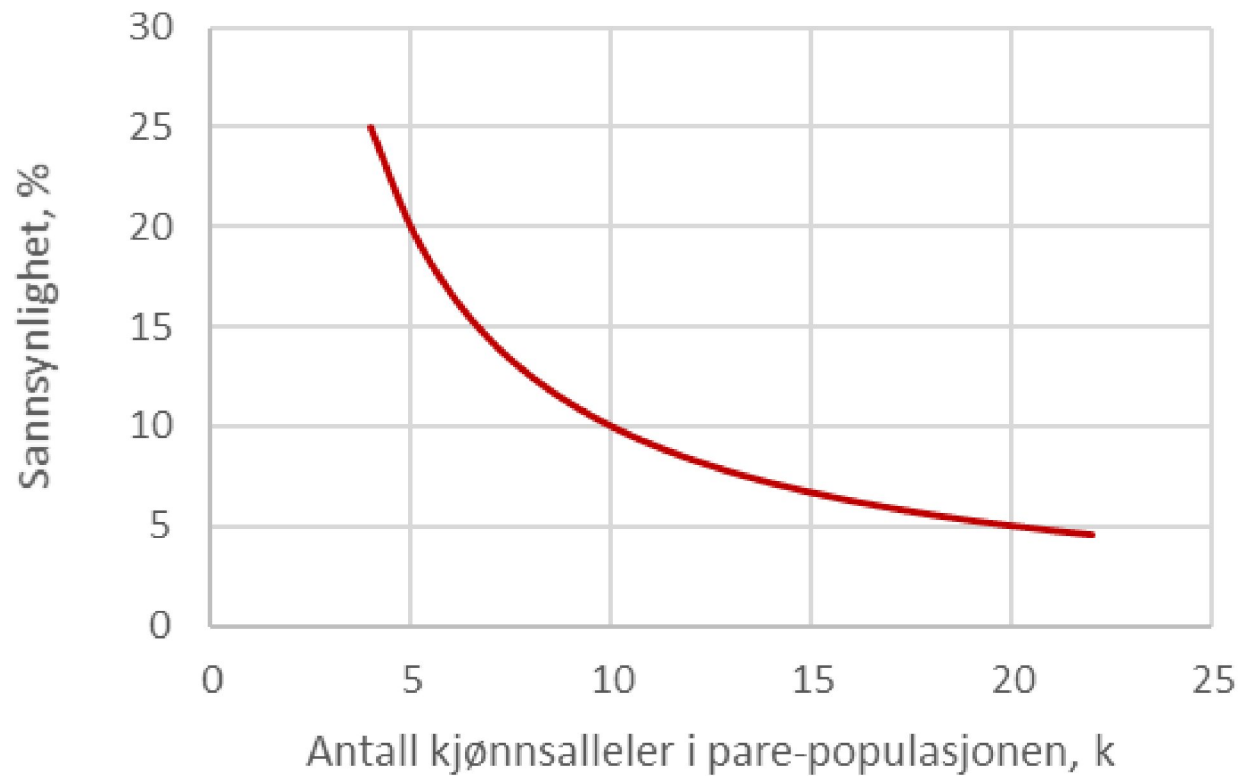


Kjønnsalleler i en søster-gruppe

Søstergruppen har gener fra *en* mor og et begrenset antall fedre. Vi kommer ikke høyere enn 72 %

Også friparing
avhenger av
kjønnsallelen
e

Forventet prosent diploide droner etter paring
i en stor felles-populasjon



- ▶ Hullete yngelleie er et tydelig tegn på at avlspopulasjonen er for snever. Det kom av at vi hadde for få utgaver av kjønnsgenet.
- ▶ Det går an å telle % hull i yngelleiet og få et estimat av antall kjønns-alleler i pare-populasjonen.
- ▶ Er mors- og farssiden beslektet, øker sannsynligheten for at det blir sykdomsgener fra begge sider. Dette er den enkleste forklaringen på innavlsdepresjon.

Genetisk mangfold - økt vitalitet

- ▶ For dronningene kan det påvirke feromon-utskillelsen og muligheten for å ha et unikt feromonuttrykk
- ▶ Det kan tilføre faktorer i det genetiske samspillet som kan ha gått tapt, og dermed gi bedre vitalitet
- ▶ det kan gi bedre tilpasningsmuligheter
- ▶ Spesielt for biene vil det gi et større mangfold av egenskaper som kan brukes i arbeidsdelingen i bisamfunnet

Som vi skal så ovenfor, motvirker dette innavl og tap av *kjønnsalleler*.

Det naturlige for et bisamfunn er å ha mange «fedre». Den naturlige «far» blir da et gjennomsnitt av de aktive bifoldene fra forrige generasjon i populasjonen der dronningen pares.

Nedarving av egenskaper

- ▶ Klassisk Mendelsk arveteori forutsetter definert far og mor - Ikke så lett å anvende på bier. Men vi tar utgangspunkt i lovene hans:
- ▶ 1. **Mendels første lov: Prinsippet om segregering**
- ▶ Når kjønnscellene lages (sperm og egg) blir genparene adskilt slik at det kommer kun en genutgave i hver kjønnselle.
- ▶ 2. **Mendels andre lov: Prinsippet om uavhengig fordeling**
- ▶ Gener som sitter på ulike kromosomer fordeles og nedarves uavhengig av hverandre
- ▶ Denne loven kalles også *prinsippet om uavhengig fordeling*.

De fleste egenskaper beror på flere gener

- ▶ Glenn Apiaries:

Hittil:

Hygienic behaviour: Two recessive genes for uncapping and removing diseased brood.

Men nå:

Recent research suggests that this model of hygienic behaviour may be too simplistic. Evidence shows that there may be as many as seven genes involved.

- ▶ Vi må tenke på biene som intelligente dyr, og atferden deres som sammensatt.

Arvbarhet er et erfaringsresultat

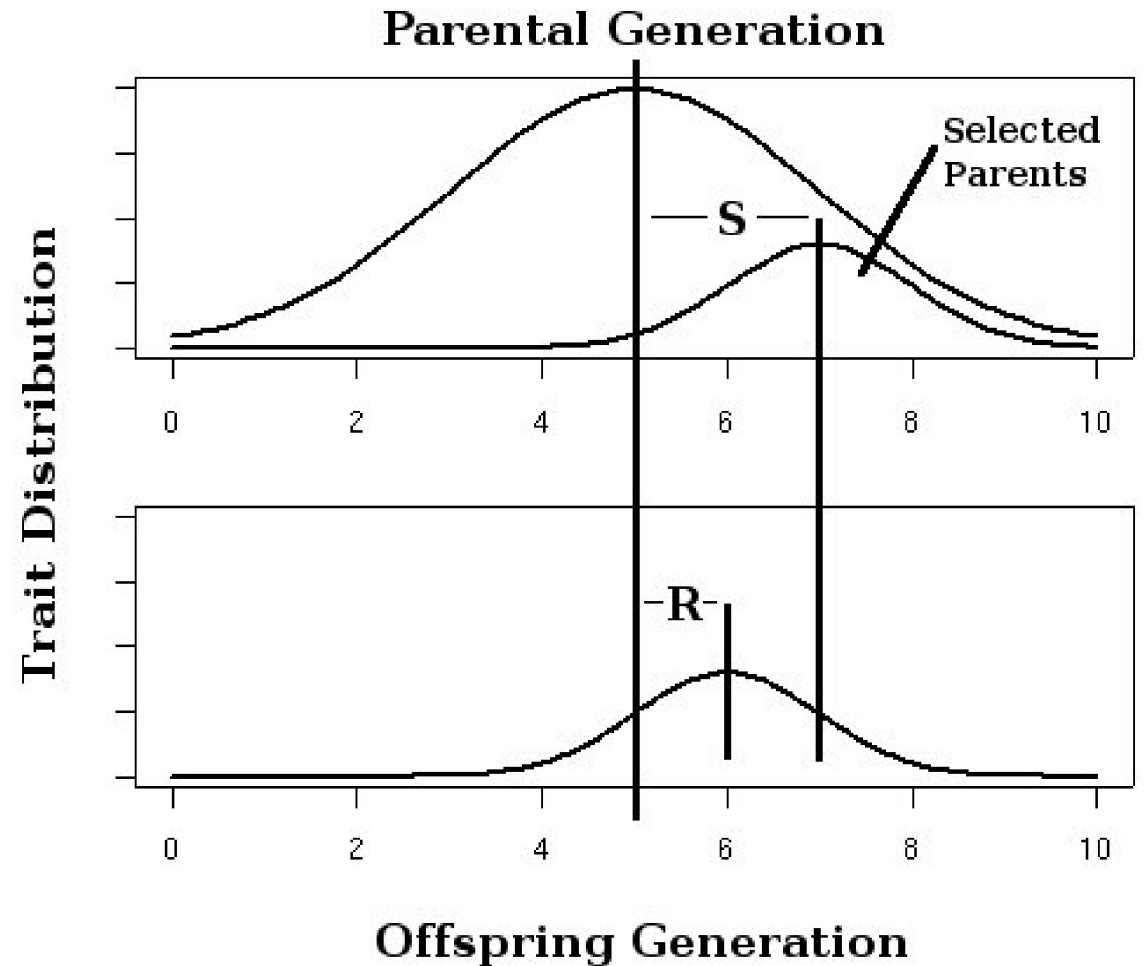
► Definisjon: Den andelen av variansen i egenskapen innen en bestand som skyldes genetisk variasjon: $h^2 = \text{varGenotype} / \text{varPhenotype}$

► Mer anvendelig er *avlerens likning*:

► $h^2 = \text{avkommets respons} / \text{foreldres seleksjonsavstand}$

► $h^2 = R / S$ eller

► $R = h^2 * S$



By Pete Hurd at the English language Wikipedia.en

Eksempel A:

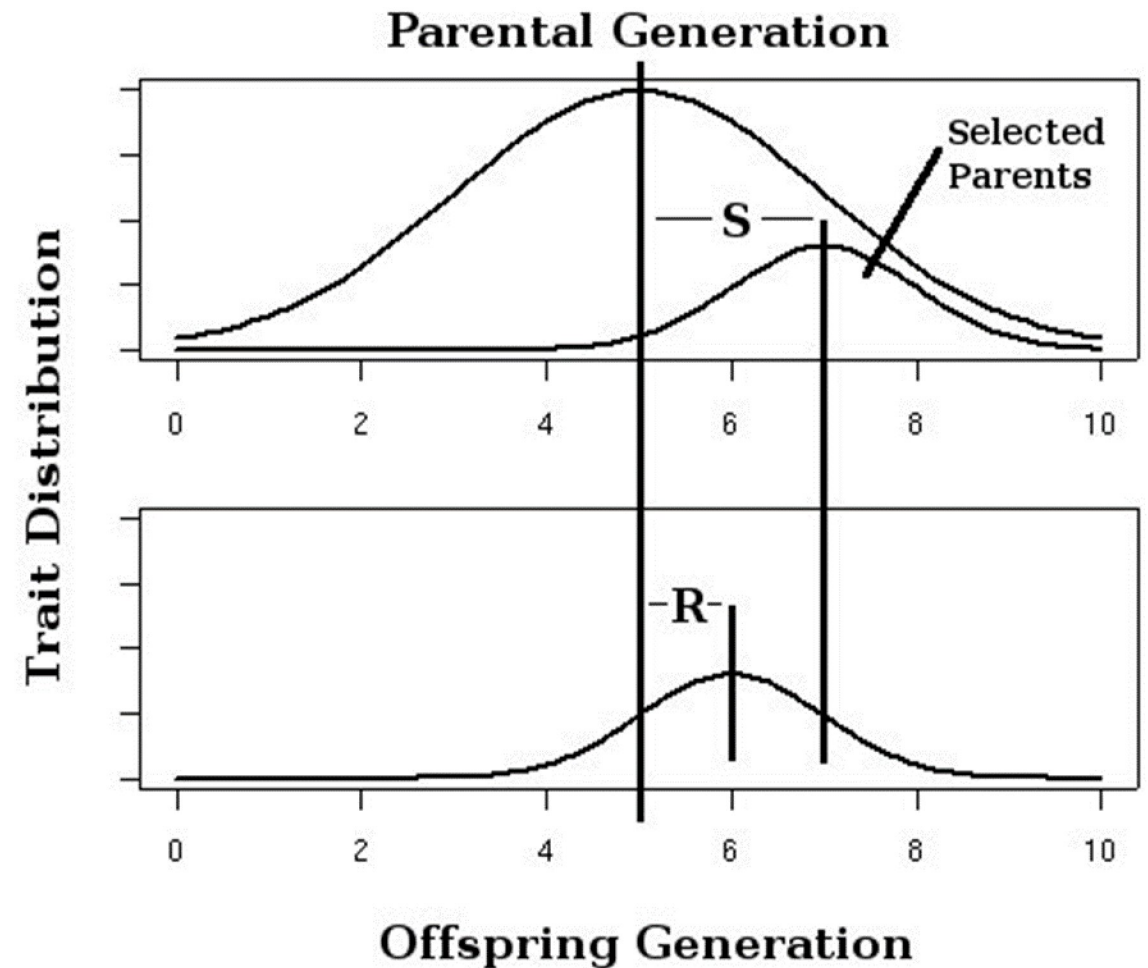
En bestand har gjennomsnittlig 1,8 i kubitalindeks.

Jeg plukker ut en gruppe «fedre» og mødre med gjennomsnitt 1,5 til avlspopulasjon, altså seleksjonsdistanse **0,3**

Avkommet får en gjennomsnittlig kubitalindeks på 1,68, dvs en respons på **0,12**

Da blir arvbarheten:

$$h^2 = 0,12 / 0,3 = \underline{0,4}$$



Eksempel B:

Du vil avle på tavlefasthet. Anta at arvbarheten til egenskapen tavlefasthet er 0,25

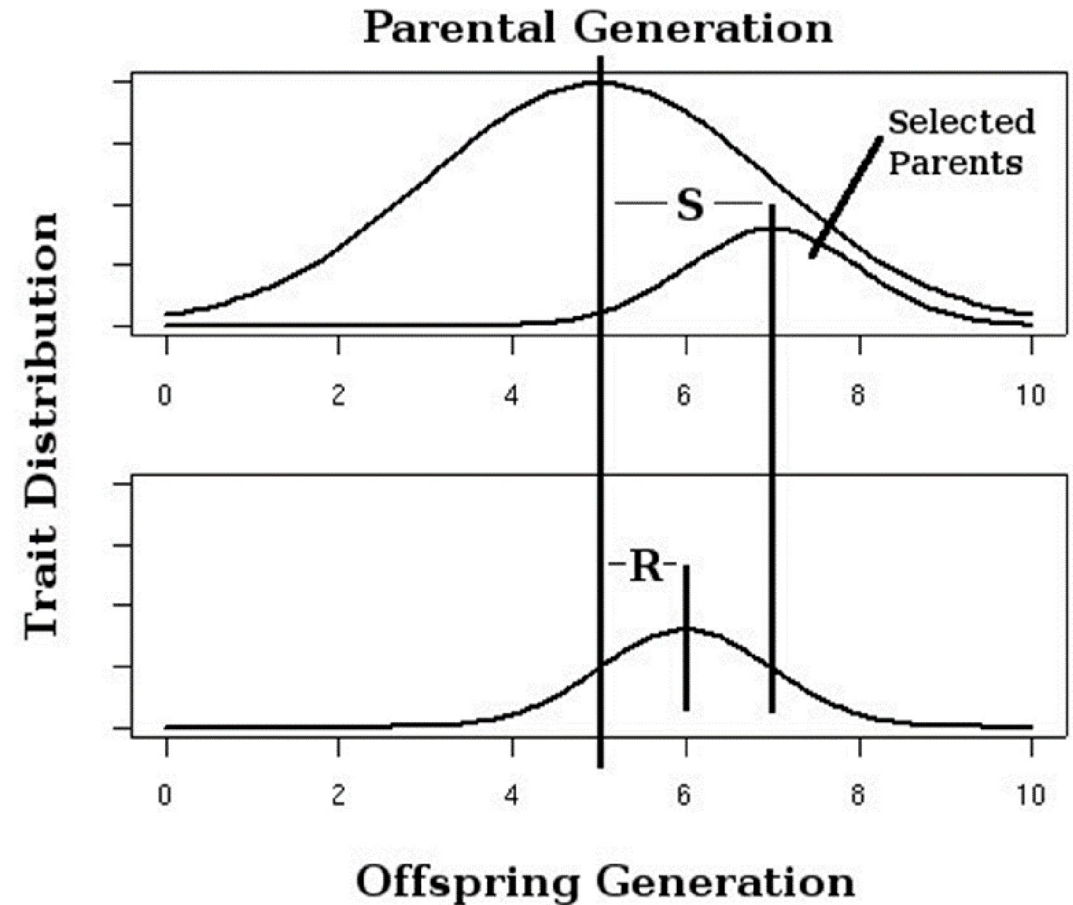
Bestanden din har tavlefasthet 2 i gjennomsnitt. Du plukker ut «fedre» og mødre med gjennomsnitt 3,6, altså seleksjonsavstand 1,6

Du kan da vente at avkommet vil få en respons på

$$R = 0,25 * 1,6 = 0,4$$

Og gjennomsnittlig tavlefasthet, T, på:

$$T = 2 + 0,4 = \underline{2,4}$$



Avlsmodeller

Vi kan dele avlsoppleggene i 3 hovedtyper:

- ▶ Seleksjonen spisses mot farssiden og uavhengig morsside - linjeavl, kombinasjons-avl, modifikasjoner med flere fedre
- ▶ Dronegivere og dronningmødre er de samme - masseseleksjon
- ▶ Seleksjonen rettes mot dronningmødrene - bigårdsparing, enkelt å få til, halv arvbarhet

Spørsmål?

► 1:

Sannsynlighetsfordeling av diploide droner, 2 - 10 dronegivere

Forutsatt 14 kjønnsalleler jevnt fordelt i fellespopulasjonen, paring med 15 droner og like porsjoner sæd fra hver

