

# Populationsgenetik og - genomics: Værktøjer til forståelse og overvågning af biodiversitet

Michael M. Hansen

Institut for Bioscience, Aarhus  
Universitet



# Biodiversitet

- Convention on Biological Diversity definerer 3 niveauer:
- Økosystemer
- Arter
- Gener

*Conservation Biology* 

*Conservation Practice and Policy*

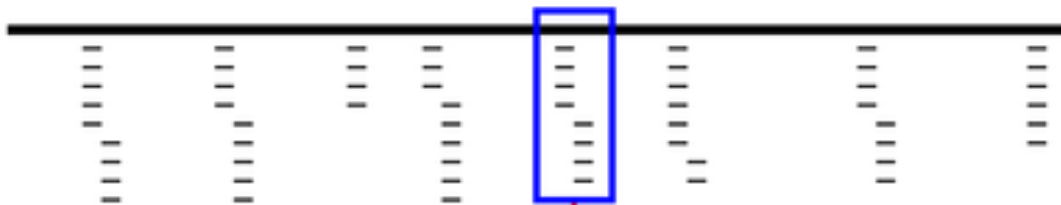
## **Neglect of Genetic Diversity in Implementation of the Convention on Biological Diversity**

LINDA LAIKRE,\* FRED W. ALLENDORF,† LAUREL C. ARONER,† C. SCOTT BAKER,‡  
DAVID P. GREGOVICH,§ MICHAEL M. HANSEN,\*\* JENNIFER A. JACKSON,‡  
KATHERINE C. KENDALL,†† KEVIN McKELVEY,‡‡ MAILE C. NEEL,§§ ISABELLE OLIVIERI,\*\*\*  
NILS RYMAN,\* MICHAEL K. SCHWARTZ,‡‡ RUTH SHORT BULL,† JEFFREY B. STETZ,††  
DAVID A. TALLMON,††† BARBARA L. TAYLOR,§ CHRISTINA D. VOJTA,‡‡‡  
DONALD M. WALLER,§§§ AND ROBIN S. WAPLES\*\*\*\*

- Genetisk variation -> råstof til nutidig og fremtidig tilpasning og evolution
- Mangel på variation -> "små-populations-problemer", indavl etc.
- **Værktøjer** til forståelse og overvågning af biodiversitet

# Revolution i DNA-sekventeringsteknikker og statistiske analyser

- **Microsatelliter** – mest anvendt de sidste 20 år
- **Next Generation Sequencing**
- Sekventering af hele genomer
- RAD sekventering
- Sekventerer ca. 200 basepar 10.000'er af steder i genomet



- **Eksempler**



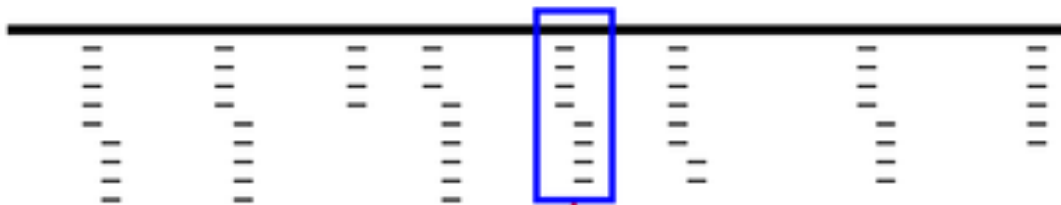
Trepigget hundestejle  
> 25,000 SNPs



Europæisk ål:  
> 450,000 SNPs

# Revolution i DNA-sekventeringsteknikker og statistiske analyser

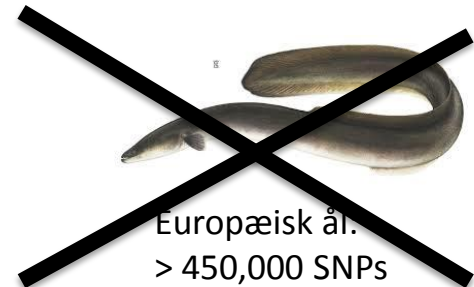
- **Microsatelliter** – mest anvendt de sidste 20 år
- **Next Generation Sequencing**
- Sekventering af hele genomer
- RAD sekventering
- Sekventerer ca. 200 basepar 10.000'er af steder i genomet



- **Eksempler**



Trepigget hundestejle  
> 25,000 SNPs



# Ørredpopulationer i Danmark



- Nutidig negativ påvirkning – habitatødelæggelse og udsætninger
- Menneskelig påvirkning af ørredpopulationer muligvis langt tilbage i tid
- "Industriel revolution" i Middelalderen - vandmøller
- Fra ca. 1100 – 1500 permanente møller med opstemninger -> spærringer som ørreder ikke kan passere



Åerne må ikke løbe i stranden uden først at have gjort landegavn!



Valdemar Atterdag  
(1321-1375)

# Ørredpopulationer i Danmark

- Bækørred – bliver i ferskvand
- Havørred – søger ud i havet men vender "hjem" for at gyde
- Søørred – som havørred, men vandrer ud i en sø

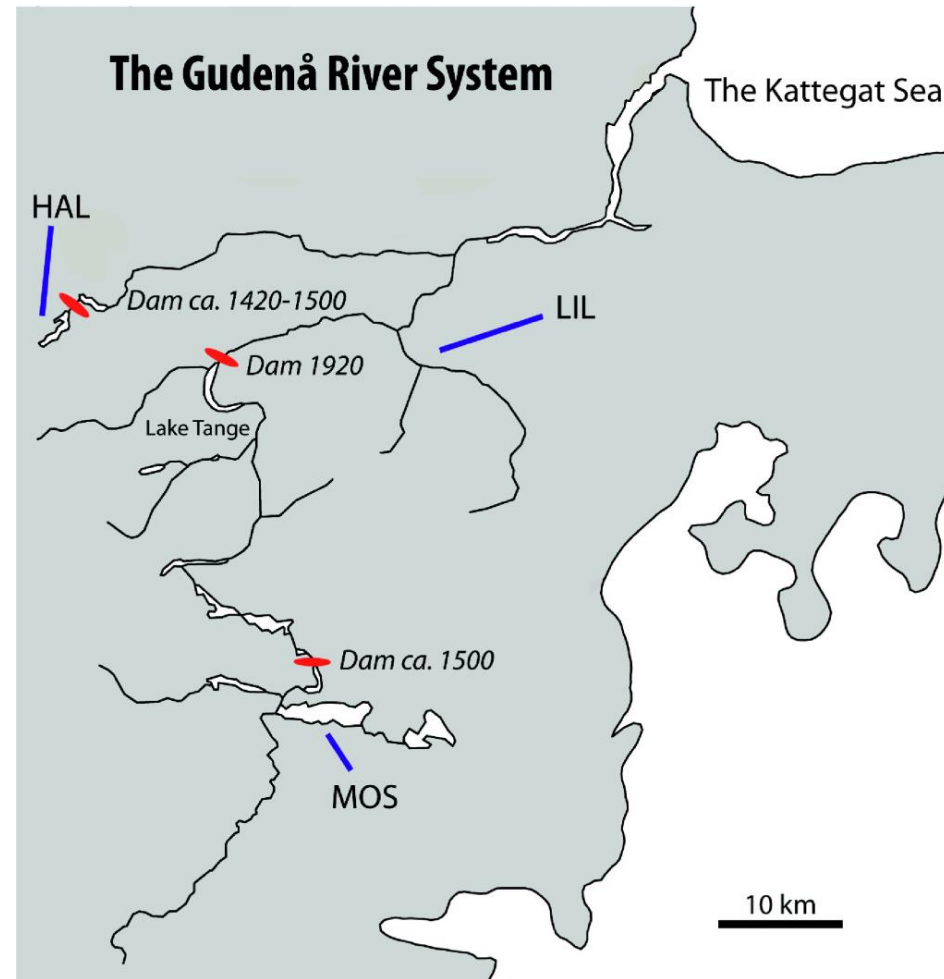


- Søørred i DK anses ofte for "noget særligt" – lokalt tilpassede
- Findes oftest i søer med spærringer.

# Sjørreder og spærringer fra Middelalderen

Hansen et al. (2014). BMC Evolutionary Biology

- Hald Sø og Mossø
- Impassable spærringer i mindst 5-600 år
- Havørreder nedstrøms Tangeværket
- **Er sjørrederne et resultat af naturlig kolonisering, for op til 13.000 år siden?**
- **Er sjørrederne et resultat af fragmentering p.gr.a. spærringer 5-600 år siden?**
- 44 microsatelliter
- Sjørredpopulationer + nedstrøms havørredpopulation



# Søørreder og spærringer fra Middelalderen

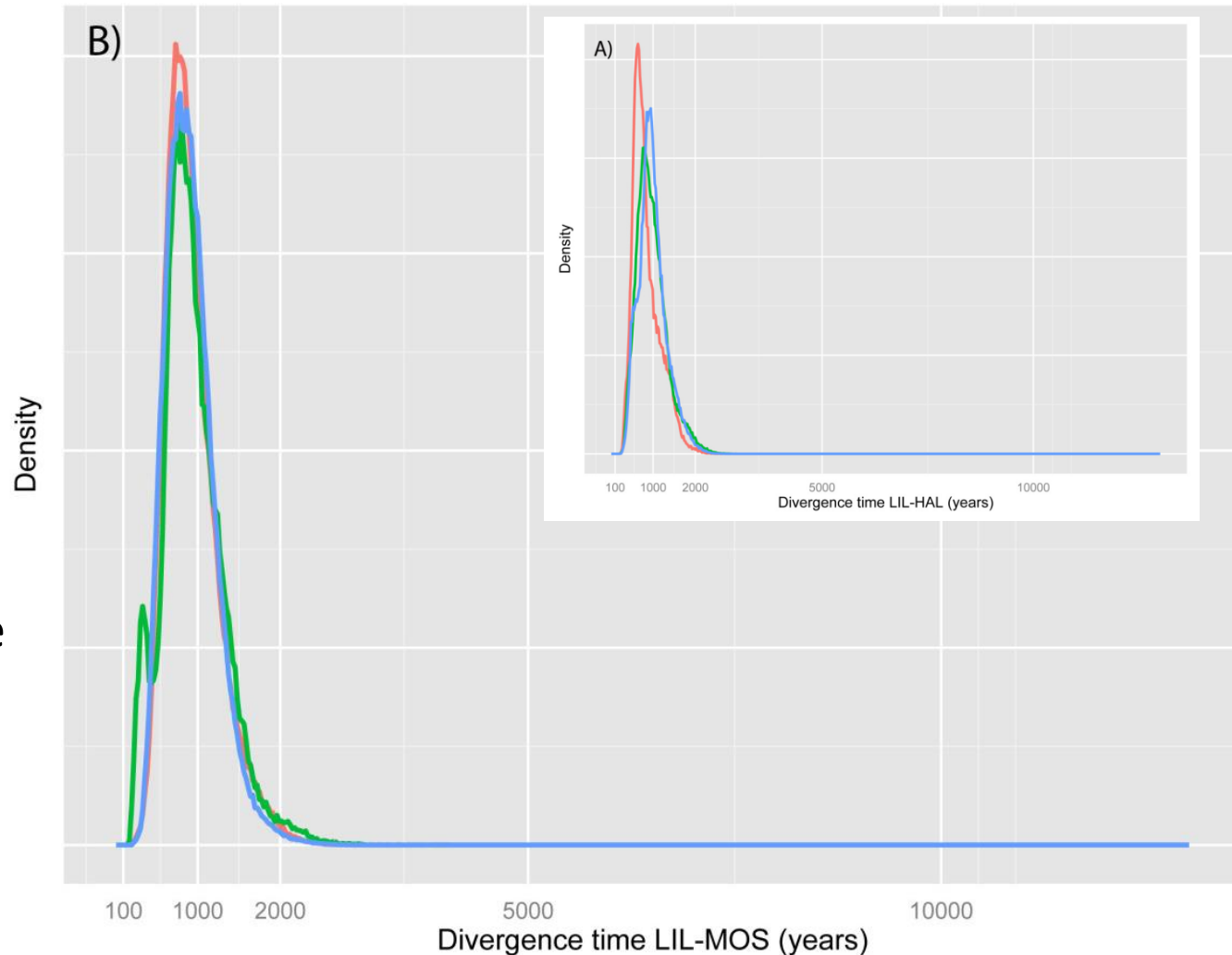
- IMa (Hey & Nielsen 2007): Statistisk metode -> **estimere tidspunkt for opsplitning af populationer**
- **Effektiv populationsstørrelse** i den oprindelige population og de nutidige populationer
  - mål for hvor meget indavl og tilfældig genetisk drift en given gruppe individer giver anledning til
  - typisk < 10% af det faktiske antal individer



# Sjørreder og spærringer fra Middelalderen

- Begge sø-  
populationer splittet  
ud fra havørred for  
ca. 6-700 år siden
- Sjørrederne er  
"kunstige"  
populationer, opstået  
p.gr.a. spærringer
- Ville under naturlige  
omstændigheder  
have været en del af  
sammenhængende  
havørredpopulation

## Sandsynlighedskurver

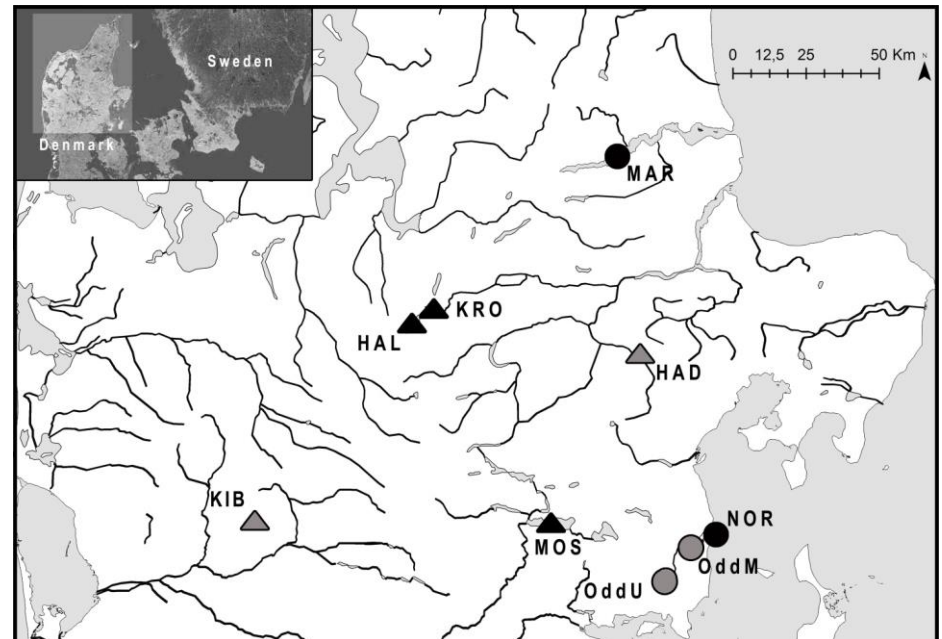


# Søørreder og spærringer fra Middelalderen

- Hald Sø, nuværende effektiv populationsstørrelse **153**
  - "50-500" regel
  - > 50, minimum for at undgå indavlsproblemer på kort sigt
  - < 500, minimum for at opretholde potentiale for evolutionær tilpasning til miljøændringer
  - "Halveringstid" for evolutionært potentiale  $\approx 1,4 \times$  effektiv populationsstørrelse = 214 generationer  $\approx 750$  år.
  - Ca. 50% af ørredernes evolutionære potentiale forventes at være tilbage 😊 / ☹️
- **Søørredpopulationerne opstået p.gr.a spærringer i Middelalderen**
- **Ville under naturlige omstændigheder være del af sammenhængende havørredpopulation**
- **De indespærrede populationer for små til at klare sig på længere sigt, ikke tilstrækkeligt evolutionært potentiale**

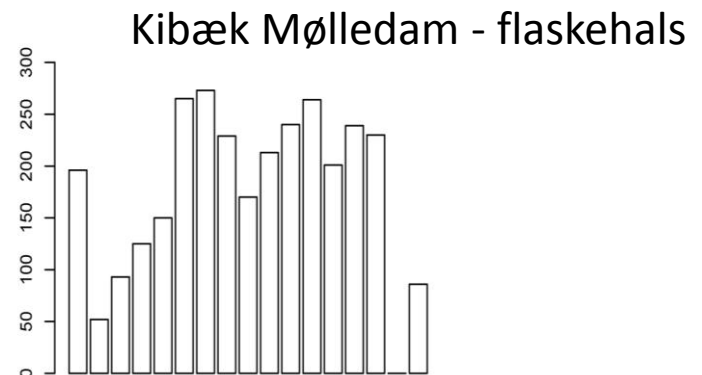
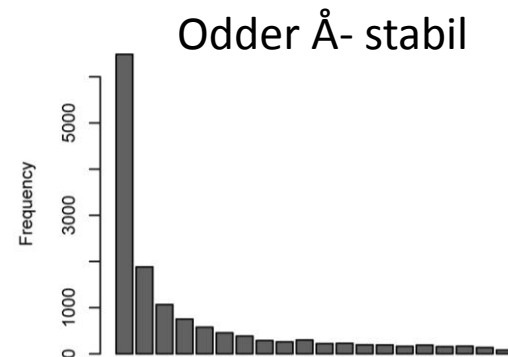
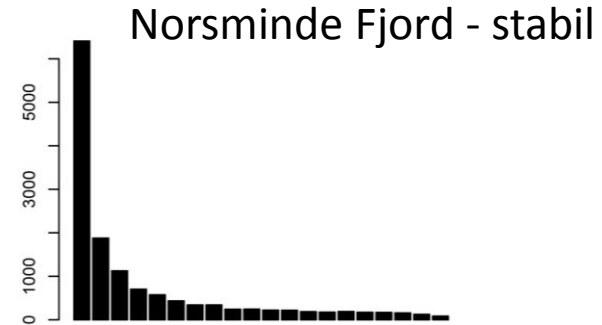
# Trepigget hundestejle

- Vigtig modelart, dens genom sekventeret
- Ikke truet – men fremragende til at afprøve metoder
- Ferskvandspopulationer tusindvis af gange grundlagt af marine hundestejler
- Hundestejler fra DK undersøgt med RADseq – 27.000 SNPs (Ferchaud & Hansen, in prep.)



# Genetiske flaskehalse

- Under uforstyrrede forhold langt flest sjældne alleler
- Populationsnedgang -> sjældne alleler går meget hurtigere tabt end almindelige
- Øadl (Gutenkunst et al. 2010) – test baseret på dette
- Kibæk, overraskende....

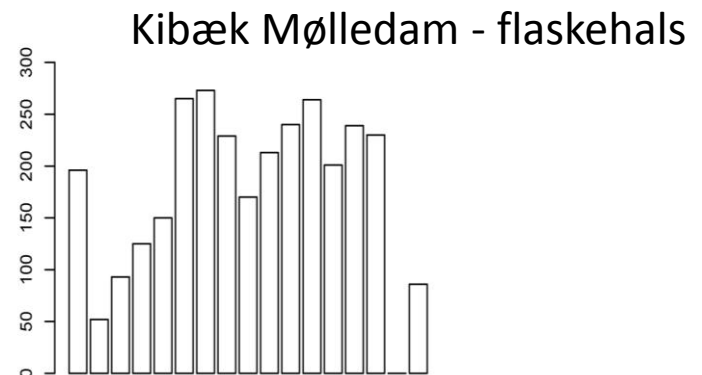
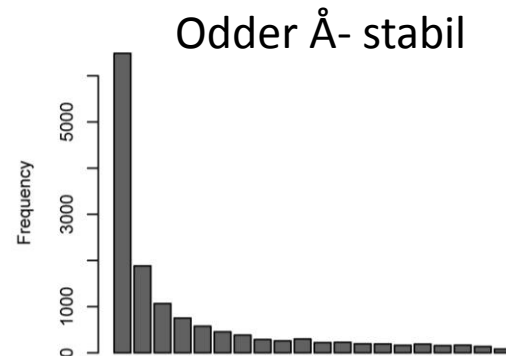
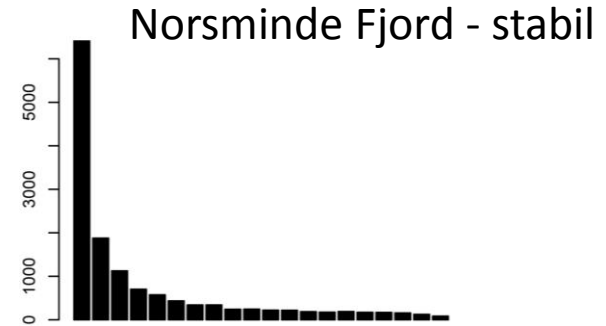


# Genetiske flaskehalse

- Under uforstyrrede forhold langt flest sjældne alleler
- Populationsnedgang -> sjældne alleler går meget hurtigere tabt end almindelige
- Øadi (Gutenkunst et al. 2010) – test baseret på dette
- Kibæk, overraskende....
- og så alligevel ikke....



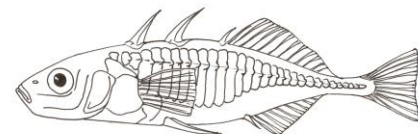
October 2009



# Lokal tilpasning og selektion

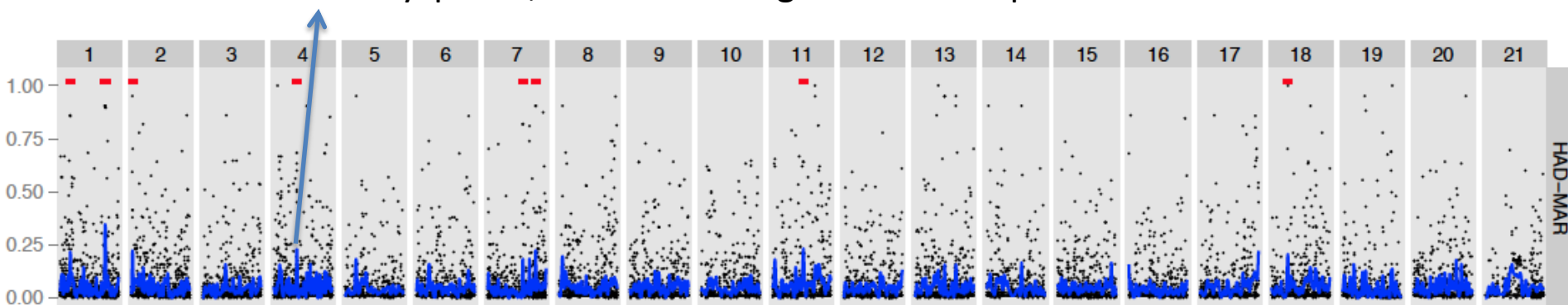
- $F_{ST}$  mål for genetiske forskelle mellem populationer, 0 = helt ens, 1 = helt forskellige
- Regioner med højere  $F_{ST}$  end andre dele af genomet -> under forskellig selektion mellem populationerne.
- Dam v. Hadsten (få sideplader) vs. Mariager Fjord (mange sideplader)
- Rovfisk: fordel med mange sideplader.  
Guldsmedelarver m.m.: fordel med få sideplader
- Røde streger = region i genomet under selektion

Ferskvand, "low-plate morph"



Marin, "high-plate morph"

Ectodysplacin, koder for mange eller få sideplader



# Lokal tilpasning og selektion

- Perspektiver:
- Kan vurdere om populationer er særligt tilpasningsmæssigt unikke
- Hvis nødvendigt, prioritering af hvilke populationer det er vigtigst at bevare
  
- Eks.: Helt-snæbel –problematik: Hvor tilpasningsmæssigt unik er snæbelen?



- Igangværende RAD sekventering -> identificere gener under selektion mellem helt og snæbel

# Acknowledgements

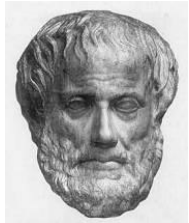
- Forskningsrådet for Natur og Univers - FNU
- Villumfonden
- **Kolleger og studerende:**
  - Marti Pujolar
  - Magnus Jacobsen
  - Anne-Laure Ferchaud
  - Shenglin Liu
  - Louis Bernatchez
  - Beijing Genomics Institute



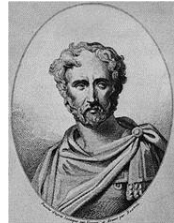


# En eller flere populationer af europæisk ål?

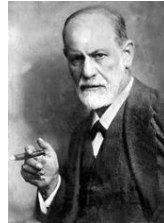
- Europæisk (*Anguilla anguilla*) og amerikansk (*A. rostrata*) ål gyder i Sargassohavet



Aristoteles



Plinius d.æ.



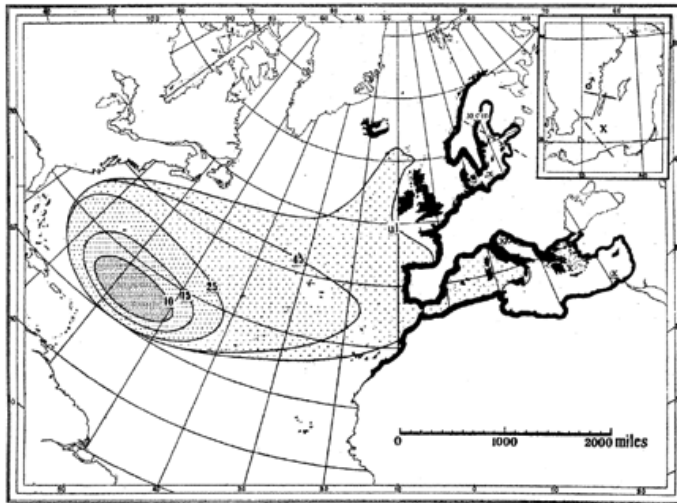
Sigmund  
Freud



Giovanni  
Grassi



**Johannes  
Schmidt**



(Schmidt, 1922)



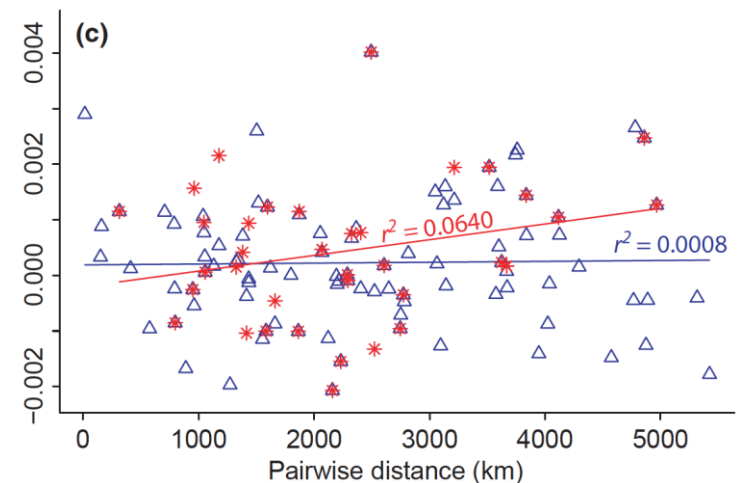
# En eller flere populationer af europæisk ål?

- Katastrofal tilbagegang siden 1980
- IUCN Rødliste: **Critically Endangered**
- Forvaltning på hvilken geografisk skala?
- Genetisk differentieret? Ål fra forskellige områder gyder forskellige steder i Sargassohavet og er genetisk forskellige
- Panmiktisk? En stor bestand, hvor alle ål mødes i Sargassohavet og tilfældigt får afkom med andre ål, uafhængigt af hvor de kommer fra.



# En eller flere populationer af europæisk ål?

- Galathea ekspedition til Sargassohavet i 2007
- 271 ålelarver + 1010 glasål fra Island til Marokko, microsatelliter (Als et al. 2011, Mol.Ecol.)
- **Ingen** genetisk differentiering mellem ålelarver fra forskellige lokaliteter i Sargassohavet
- **Ingen** genetisk differentiering mellem glasål fra Island til Marokko
- **Ingen** sammenhæng mellem genetisk og geografisk afstand hos glasål



# En eller flere populationer af europæisk ål?

- RAD sekventering, > 450.000 SNPs alignet til ålens genomsekvens (Pujolar et al. 2014. Molecular Ecology)
- Ufattelig høj statistisk power
- **Ingen** genetisk differentiering mellem glasål fra Island til Marokko
- **Ingen** sammenhæng mellem genetisk og geografisk afstand mellem glasål
- Alle europæiske ål fra Island til Marokko mødes i Sargassohavet og gyder tilfældigt med hinanden
- Ål skal forvaltes transnationalt
- EU handlingsplan

