



## HOLD ØJE MED VERDENSHAVENE VED BRUG AF ARGO-ROBOTTER.

Blair J. Greenan<sup>1\*</sup>, Annie P. Wong<sup>2</sup>, Tammy Morris<sup>3</sup>, Emily A. Smith<sup>4</sup> and Marine Bollard<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans Canada, Halifax, NS, Canada

<sup>2</sup>School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, United States

<sup>3</sup>South African Weather Service, Cape Town, South Africa

<sup>4</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, United States

<sup>5</sup>Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC), Brest, France

Har du nogensinde undret dig over, hvordan forskere ved, hvad der sker dybt under havets overflade? Der findes mange typer af robotter, der kan dykke under havoverfladen og bringe data tilbage fra dybet. En type af disse robotter hedder en Argo-bøje. Den bevæger sig i middeldybderne med havstrømmene og kommer til overfladen en gang hver 10. dag for at fortælle forskerne, hvad den har observeret. Lige nu er der omkring 4000 Argo-robotter, der holder øje med verdenshavene hver dag. Disse robotter måler havets temperatur og saltindhold, og nogle af robotterne kan også overvåge mere komplekse kemiske og biologiske parametre. Argo-robotter er endnu et værktøj i oceanografernes værktøjskasse, som hjælper forskere med at forstå, hvordan havene fungerer, og hvordan de påvirker livet i havet og hele verden.

### HVORFOR HOLDER FORSKERE ØJE MED VERDENSHAVENE?

Havene er meget vigtige for menneskets liv, fordi de bidrager med mad, medicin, transport og fritidsaktiviteter. Havene er også et hjem for mange dyrearter, hvilket gør, at vi kan leve på jorden. For eksempel producerer små **plankton** i havet mere end 50% af det oxygen, som vi bruger til at trække vejret. Havene fylder mere end 70% af jordens overflade og spiller en kæmpe rolle i jordens klima. Af alle disse grunde har forskere vidst i mange år, at det er vigtigt at holde øje med havene, at forstå dem og at kunne forudsige de ændringer, der måske sker.

#### PLANKTON

Flydende planter, alger og nogle bakterier, der kan lave fotosyntese.

## KLIMA

Beskrivelsen af det langsigtede vejrmonster i et bestemt område. Dette estimeres typisk som et gennemsnit af indsamlet data (f.eks. temperatur) over mindst to årtier.

## DRIVHUSGASSER

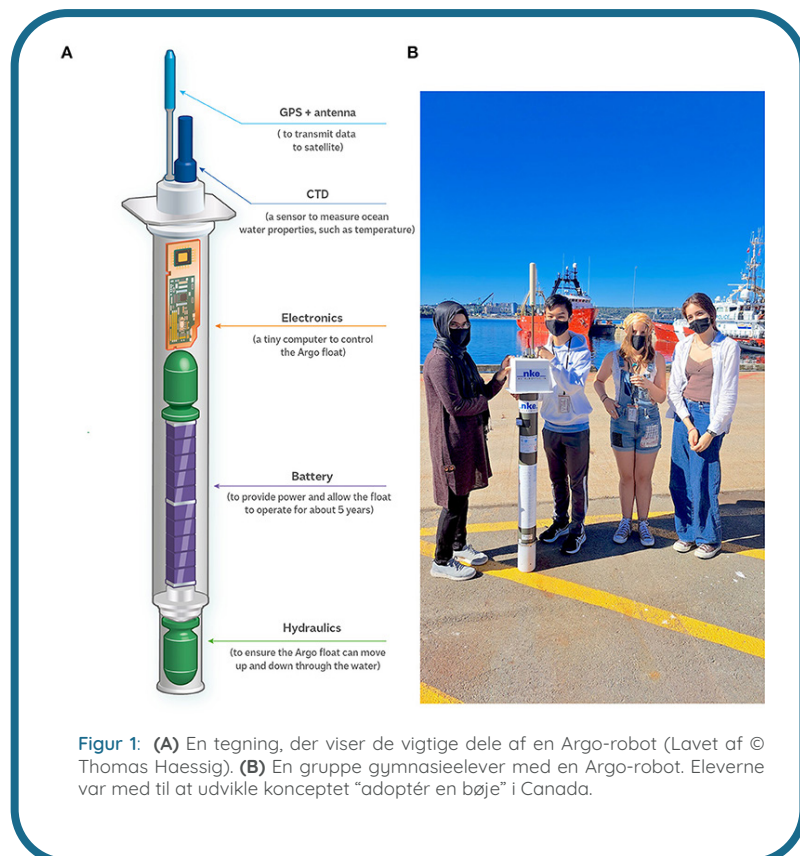
Gasser, der fanger varme i atmosfæren, herunder kuldioxid (CO<sub>2</sub>), metan, lattergas og fluorerede gasser.

Videnskabsfolk, der forsker i atmosfæren, er også interesserede i observationer fra havet, da vejret, vi oplever hver dag, er påvirket af havet. Har du for eksempel nogensinde set vand fordampe på en varm asfaltvej? Det samme sker ude på havet. Når overfladevandet opvarmes, sker der en fordampning, som overfører vand fra havet til atmosfæren. Når vandet kommer op i atmosfæren, former det skyer, sne og regn. Så bedre monitoring af havene kan give bedre vejrudsigter.

Nogle videnskabsfolk er specialister i at forsker i jordens **klima**. Områder med et "tropisk klima" får meget solskin hele året. Det gør, at havoverfladen er varm og producerer skyer og regn, så klimaet i disse områder er typisk varmt og fugtigt. Men klimaet kan ændre sig med tiden. For eksempel kan nogle menneskelige aktiviteter, såsom at køre bil eller opvarme vores hjem, udlede **drivhusgasser** til atmosfæren. Drivhusgasser fungerer som et tæppe, der holder varmen inde og opvarmer jordens overflade. Det er vigtigt at lave målinger i havene for at forstå, hvordan drivhusgasser bidrager til klimaforandringer. Havene kan nemlig optage kuldioxid og varme fra jordens atmosfære og fordele det rundt med havstrømmene.

## ARGO-ROBOTTER : OPDAGELSESENDE I HAVET

For at forsker i havet må videnskabsfolk konsekvent indsamle data i mange år. En måde at gøre dette på er ved at tage på forskningstogt på et skib (se også denne artikel: *Frontiers for Young Minds*). Men nogle områder er svære at sejle til, som f.eks. Nordpolen og Sydpolen. Om vinteren kan havene også være mere voldsomme, hvilket gør det svært for skibene at operere. For at indsamle data fra hele verdens have i alle årstider har forskere udviklet Argo-robotter (se figur 1).

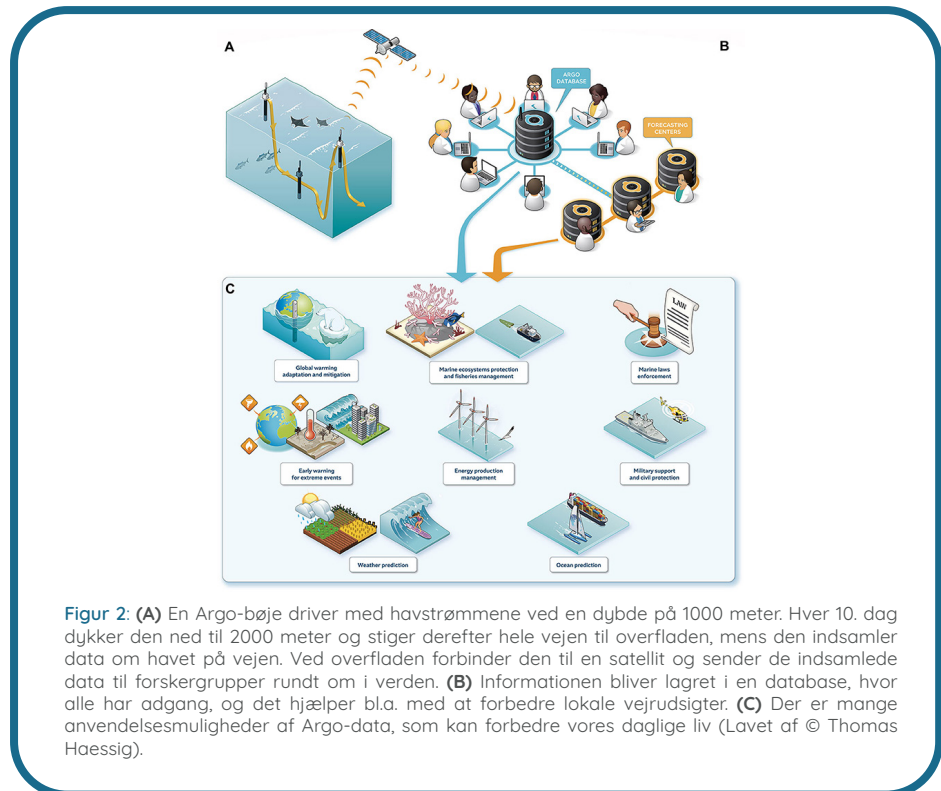


**Figur 1:** (A) En tegning, der viser de vigtige dele af en Argo-robot (Lavet af © Thomas Haessig). (B) En gruppe gymnasieelever med en Argo-robot. Eleverne var med til at udvikle konceptet "adoptér en bølge" i Canada.

## SENSORER

Et instrument, der registrerer og reagerer på en eller anden form for input fra det fysiske miljø.

Disse Argo-robotter kaldes "bøjer", og de er udstyret med **sensorer**, der kan indsamle data om havet. Selvom de kaldes "bøjer", ligger de ikke bare i overfladen, men de kan bevæge sig op og ned i havet. Forskerne søsætter Argo-robotterne fra skibe. Når de så er i havet, synker de ned til 1000 m, hvor de bevæger sig frit med havstrømmene i 9 dage. På den 10. dag dykker de ned til 2000 m og så hele vejen til overfladen, mens de laver målinger på vejen. Når de er i overfladen, kan de sende de data, de har indsamlet, og deres lokation til forskere via satellitter. På den måde opbygger forskerne en database med information fra det område. Efter de har sendt deres data, dykker de ned på 1000 m igen og fortsætter cyklussen. Forskerne bruger computerprogrammer til at tjekke målingernes kvalitet og overføre informationen til en database. Inden for 24 timer fra Argo-robotten har været ved overfladen, er dataene frit tilgængelig for alle (se figur 2).



**Figur 2:** (A) En Argo-bøje driver med havstrømmene ved en dybde på 1000 meter. Hver 10. dag dykker den ned til 2000 meter og stiger derefter hele vejen til overfladen, mens den indsamler data om havet på vejen. Ved overfladen forbinder den til en satellit og sender de indsamlede data til forskergrupper rundt om i verden. (B) Informationen bliver lagret i en database, hvor alle har adgang, og det hjælper bl.a. med at forbedre lokale vejrudsigter. (C) Der er mange anvendelsesmuligheder af Argo-data, som kan forbedre vores daglige liv (Lavet af © Thomas Haessig).

## SALINITET

En måling af saltkoncentrationen i havet. Det kan også kaldes saltholdighed.

Argo-robotterne måler trykket, temperaturen og **saliniteten**. Saliniteten er en måling af koncentrationen af salt i havet. Salinitet og temperatur udgør sammen **massefylden** af havvandet. Trykket fortæller forskerne dybden, hvor salinitets- og temperaturmålingerne er taget. I havet svarer en meters dybde cirka til 1 decibar (dbar) i tryk. I atmosfæren kan høj- og lavtryk forårsage vejrsystemer. I havet kan områder med høj og lav massefylde skabe strømme, som transporterer store mængder vand rundt på hele kloden. At forstå, hvordan havvandet bevæger sig, er vigtig forskning for klimaet, men også for at beskytte de planter og dyr, der bor i havet.

## MASSEFYLDE

Forholdet mellem et stofs masse (hvor meget det vejer) divideret med dets rumfang (hvor meget det fylder). Det kan også kaldes densitet.

Da forskerne først designede netværket af Argo-robotter tilbage i slutningen af 1990'erne, ønskede de, at dataene skulle supplere målinger af havoverfladehøjder, som blev indsamlet af en satellit kaldet Jason. I græsk mytologi sejlede Jason på et skib, der hedder Argo, i søgen efter det gyldne skind. Derfor valgte forskerne at kalde de nye robotter for Argo-bøjer. Målinger af havoverfladehøjder fra satellitten kan kombineres med målinger fra Argo-robotterne og dermed give indsigt i ændringer i havstrømmene. Argo-robotterne har drevet rundt i havet de sidste 20 år og indsamlet mere end 2 millioner målinger rundt om i verden<sup>1</sup>. I dag er der næsten 4000 Argo-robotter, der indsamler data om havet.

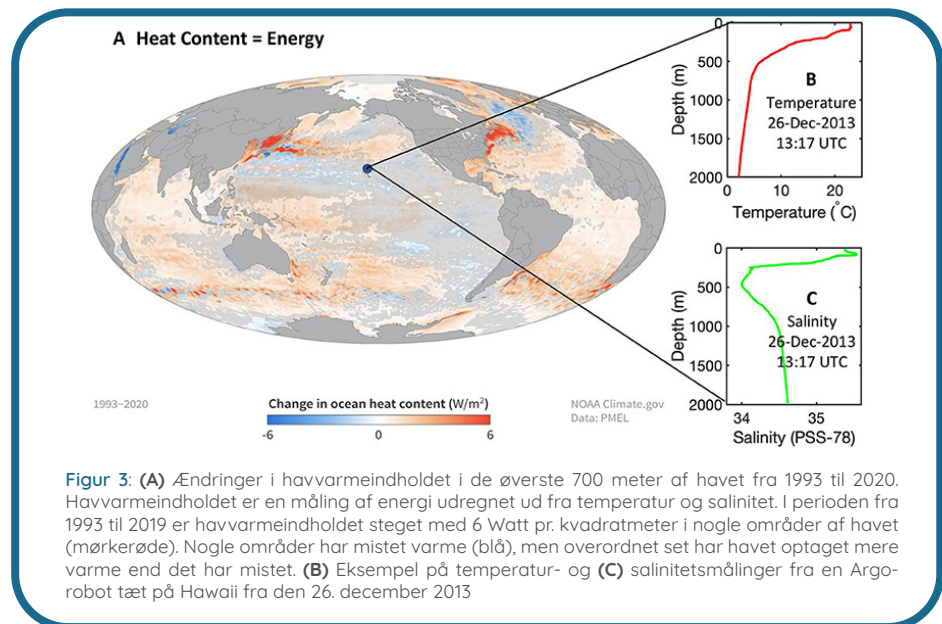
Argo-robotterne får strøm fra et batteri og arbejder 24-7 hele året rundt. Med disse robotter kan forskere nu overvåge havet på en måde, der aldrig før har været mulig. Batterierne i Argo-robotterne holder normalt i mindst 5 år. Når batteriet løber tør, bliver robotterne inaktive og synker til bunds. Dette kan muligvis ses som forurening af havene, men den miljømæssige påvirkning på havene er ekstremt lille sammenlignet med andre forureningskilder, og indsamlingen af data er utroligt værdifuld for forståelsen af vores verden.

## HVAD KAN ARGO-ROBOTTERNE FORTÆLLE OS OM HAVET?

### HAVVARMEINDHOLD

Mængden af energi i form af varme, der lagres i havet.

Siden 1970 har havet optaget mere end 90% af de drivhusgasser, der er blevet udledt på grund af menneskelige aktiviteter. I mange områder af verdenshavene er temperaturen steget. En måde, forskerne holder øje med dette på, er ved at bruge temperatur- og salinitetsmålinger til at udregne, hvor meget varme der er blevet tilføjet til havet; dette kaldes **havets varmeindhold** (se figur 3). Den data, som Argo-robotterne har indsamlet, viser, at ekstreme hændelser såsom hvedebølger sker oftere og oftere i havet, ligesom i atmosfæren. Marine hvedebølger gør, at havdyr bliver nødt til at flygte til andre områder med køligere vand. Planter og dyr, der ikke kan flygte, må desværre lide under disse marine hvedebølger.



En anden stor konsekvens af klimaforandringerne er globale stigninger i havniveauet. Når havet opvarmes, udvider det sig, hvilket resulterer i havniveaustigninger. En stigning i havniveauet kan have dramatiske konsekvenser på vores liv, da det forårsager oversvømmelser, nedbrydning af kysterne og kan gøre ferskvand udrikkeligt, da det blandes med salt havvand (for mere information om havniveaustigninger, se denne artikel: *Frontiers for Young Minds*). Argo-robotter er et essentielt værktøj til at holde øje med havniveaustigningerne, da de overvåger ændringerne i verdenshavene.

### COMPUTERMODEL

Et program, der kører på en computer og kan simulere et fænomen fra den virkelige verden, såsom jordens atmosfære eller havet.

At holde øje med havet har også ført til forbedringer i vejrudsigterne. Temperatur- og salinitetsmålinger, som Argo-robotterne sender, har forskerne brugt til at udvikle **computermodeller** af havet til deres vejrudsigtsberegninger. Ved at bruge rigtige data fra havet har disse modeller forbedret forskernes forståelse af, hvordan havet og atmosfæren arbejder sammen. Dette er meget vigtigt for at kunne forudsige voldsomme storme såsom orkaner, cykloner og tyfoner, som alle opbygger deres styrke fra varme havoverflader.

## DYKKE DYBERE OG I NYE RETNINGER

Tidligere var Argo-robotterne begrænset til de øverste 2000 meter af havet, hvilket repræsenterer mindre end 50% af det globale rumfang. Det er meget udfordrende at designe robotter, der kan nå hele vejen til bunden af havet, men forskere og ingeniører har for nylig succesfuldt udviklet en robot, der kan dykke helt ned til 6000 meter<sup>2</sup>. Ved at lave målinger hele vejen fra overfladen til havbunden kan forskere endnu bedre forstå ændringerne i varme- og ferskvandsindholdet, og det vil give endnu mere information om de globale havniveaustigninger.

Vi står nu ved begyndelsen af en ny æra, hvor Argo-robotter nu også kan måle på havets kemi og biologi<sup>3</sup>. Dermed kan man eksempelvis få information om ændringer i ilt- og kuldioxidkoncentrationerne i havet. Det globale hav mister i øjeblikket ilt og optager mere kuldioxid fra jordens atmosfære. Dette påvirker de marine økosystemer, herunder fiskeri, som er en vigtig fødekilde for mange af os.

Argo-robotterne er et værktøj i oceanografernes værktøjskasse. De udgør en del af et globalt system kaldet Global Ocean Observing System (GOOS). Sammen med andre partnere i GOOS vil udviklingen af Argo-robotterne hjælpe os med at opbygge et globalt billede af havets sundhed og hvordan det ændrer sig over tid. Du kan blive en del af disse havobservatører. Hvordan? Ved at adoptere en bøjle. Du kan vælge en Argo-robot, give den et navn og følge dens rejse rundt i verden. Du kan også lære mere om Argo på Argo Online School og på Ocean Observers. Der er et hav-eventyr forude!

## REFERENCER

1. Wong, A. P. S., Wijffels, S. E., Riser, S. C., Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D. et al. 2020. Argo data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats. *Front. Mar. Sci.* 7:700. doi: 10.3389/fmars.2020.00700
2. Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J. et al. 2019. On the future of argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Front. Mar. Sci.* 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
3. Bittig, H. C., Maurer, T. L., Plant, J. N., Schmechtig, C., Wong, A. P. S., Claustre, H., et al. 2019: A BGC-argo guide: planning, deployment, data handling and usage. *Front. Mar. Sci.* 6:502. doi: 10.3389/fmars.2019.00502

**INDESENDT:** 13. Maj 2022

**GODKENDT:** 21. September 2023

**UDGIVET ONLINE:** 6 Oktober 2023

**REDAKTØR:** Pedro Morais, Florida International University, United States

**VIDENSKABELIGE MENTORER:** Laura Lorenzoni and Sagi Dalyot

**INTERESSEKONFLIKT:** Forfatterne erklærer, at forskningen blev udført uden kommercielle eller finansielle forbindelser, der kunne fortolkes som en potentiel interessekonflikt.

## UNGE ANMELDERE

### DENIZE, ALDER: 12

Hej, mit navn er Deniz, og jeg kan godt lide at se på stjerner og spille videospil med mine venner. Min yndlingsstjernebob er Messier 45, og mit yndlingsstjernebillede er Orions bælte. Mit yndlingsspil er Call of Duty 2.

### LEO, ALDER: 12

Leo er født i Florida og kan godt lide stranden; han kan især godt lide at snorkle. Han kan også lide historie og mytologi, især hvis det er under vandet. Han spiller cello og har to hunde, og han kan godt lide at spille videospil i sin fritid.





### OMER, ALDER: 14

Jeg interesserer mig for international politik og kan godt lide at læse om politik, filosofi og historie. Jeg kan godt lide at spille videospil på min Nintendo Switch og computer, og jeg elsker at lytte til musik og spille rollespilsspil såsom D&D og Warhammer 40K.

## FORFATTERE

### BLAIR J. GREENAN

Blair Greenan er forsker ved Bedford Institute of Oceanography, som ligger i Halifax, Nova Scotia, Canada. Han står for det canadiske bidrag til det internationale Argo-program. Hans forskning fokuserer på at hjælpe kystsamfund med at tilpasse sig havets klimaændringer. Dette omfatter håndtering af infrastrukturproblemer ved at stille videnskabeligt baserede værktøjer til rådighed med oplysninger om lokale ændringer i havniveauet som følge af klimaændringer.

### ANNIE P. WONG

Annie er forsker ved University of Washington i Seattle, WA, USA. Hun er en oceanograf, der begyndte sin havforskning med at indsamle data fra skibe. Hun bruger nu Argo-data til at studere havets salinitet og er interesseret i havet omkring Antarktis. Hun er en del af Argo Data Management Team, der hjælper med at distribuere Argo-data til offentligheden.

### TAMMY MORRIS

Tammy Morris er seniorforsker i en marineenhed hos South African Weather Service, som ligger i Cape Town, Sydafrika. Hun er en observationel oceanograf og har tilbragt mange måneder til søs på forskningsskibe, hvor hun har arbejdet med havobservationsinstrumenter som Argo-bøjer, drifters og moorings. Hendes forskning omhandler det større Agulhas Current-system og for nylig interaktionerne med det sydlige ishav.

### EMILY A. SMITH

Emily er leder af flere programmer, herunder det amerikanske Argo-program, Global Sea Level Observing System (GLOSS), ocean gliders i grænsenstrømme og produkter til havvarmeindhold. Emily er ansvarlig for budgetterne og den strategiske planlægning for observationssystemerne. Hun koordinerer også "Adopt a Drifter"-programmet, som faciliterer partnerskaber med skoler i USA og i udlandet, så de kan spore bøjer og bruge dataene i realtid i klasseværelserne. Før hun startede hos NOAA, arbejdede Emily i flere år med at undervise mellemkoleelever, og "Adopt a Drifter"-programmet gør, at hun kan holde fast i uddannelsesverdenen.

### MARINE BOLLARD

Marine er ansvarlig for formidlingsaktiviteterne hos Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC). ERIC står for udviklingen af et langsigtet europæisk bidrag til Argos globale havovervågningssystem med det formål at støtte en bedre forståelse og forudsigelse af havene, deres rolle i klimasystemet og havmiljøets sundhed. Hun har to kandidatgrader, en som hydrogeologiingeniør og en i videnskabsjournalistik. Før hun startede hos Euro-Argo, arbejdede Marine i flere år med at udgive videnskabelige populariseringsbøger og artikler til uddannelsesmæssige formål og til offentligheden.

**REFERENCE:** Greenan BJ, Wong AP, Morris T, Smith EA and Ballard M (2023) Keeping an Eye on Earth's Oceans With Argo Robots Front. Young Minds 11:943491. doi: 10.3389/frum.2023.943491

**OVERSÆTTELSE:** Bodil Tøftegård

**COPYRIGHT** © 2023 Greenan, Wong, Morris, Smith og Pullert. Dette er en artikel med åben adgang, der distribueres under vilkårene i Creative Commons Attribution License (CC BY). Brug, distribution eller gengivelse i andre fora er tilladt, forudsat at de(n) oprindelige forfatter(e) og ophavsretsejer(e) krediteres, og at den originale publikation i dette tidsskrift citeres i overensstemmelse med accepteret akademisk praksis. Ingen brug, distribution eller reproduktion er tilladt, som ikke overholder disse vilkår.