



Projekt forskerspirer 2019

Space bees - a future necessity

Marie-Louise Lykke Nielsen

Vejle Tekniske Gymnasium NAT

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	2
Indledning	3
Afgrænsning	4
Teori	5
Tidligere forsøg	5
Livscyklus	6
Klasserne	6
Apis melliferas muskelstruktur	6
Forsøgsdesign	7
1. Miljøboks	7
2. Bistade	8
3. Mekanik	9
Fremgangsmåde	9
Pilotforsøg	9
Forsøg	9
Tidsplan	9
Budget	10
Konklusion og perspektivering	11
Tak til	11
Bibliografi	12

Indledning

Mennesket har til evig tid været opdagelsesrejsende. Først til fods, så til vands og siden gennem luft. Og hvor end vi kom frem, slog vi os ned - nogle steder med mere besvær end andre. Derfor er vi blevet skubbet til at udvikle nye teknologier, tilpasse vores levestil og finde på kreative løsninger. Nu er vi ved at løbe tør for uopdagede steder på vores lille jord, så naturligvis har vi kastet vores blik på himlen og alle dens hemmeligheder.

Permanent ophold og kolonisering af fremmede planeter rykker tættere og tættere på, og allerede nu er der planer om at returnere til månen for derefter at tage videre til Mars (NASA, 2018).

Et centralt problem inden for længere rumrejser, er forsyninger, især mad (Perchonok, Douglas, & Cooper, 2012). Det ville være en fordel hvis vi blev i stand til at effektivt dyrke vores egne afgrøder på rumstationerne eller nye planeter.

Der er mange måder at dyrke afgrøder på, men rigtig mange af dem involverer bestøvere af forskellige arter. Ikke nok med at bestøvere er vigtige for landbrug, de er også en central del af verdens økosystemer da de står for bestøvning af ca. 87,5% af verdens blomstrende planter (Ollerton, Winfree, & Tarrant, 2011). Hvis vi derfor ønsker at sprede planter, opdyrke økosystemer, danne levestrukturer for andre dyrearter og på andre måder bringe liv til universets gamle områder, bliver vi nødt til at undersøge hvordan bestøvere tilpasser sig rummets fjendtlige miljø.

I dag benytter vi honningbier inden for det kommercielle landbrug til at bestøve planter (U.S. Food & Drug Administration, 2018).

For at skabe et varieret bæredygtigt landbrug er det derfor vigtigt at forstå, hvordan vægtløshed påvirker honningbier. Og bier er især interessante, da de i modsætning til mange andre insekter er enormt sociale væsner (Wilson-Rich, 2015, s. 53). Det er derfor ikke nok at få én bi til at trives, men en hel koloni.

Ønskelisten af forsøg og projekter, som verdens forskere gerne vil have sendt ud i rummet, er lang. Især forsøg, der skal passes af mennesker, er svære at få plads til, da der på nuværende tidspunkt kun er ét sted de kan udføres, ISS. Derfor ligger der et stort potentiale i forsøgsdesign, der ikke kræver nogen direkte menneskelig assistance.

Afgrænsning

Apis mellifera er sjældent blevet sendt ud i rummet. To tidligere forsøg (Nelson & Peterson, 1982) (Poskevich, 1984), der hhv. omhandlede flyve- og navigationsevne og evnen til at bygge vokstavler, har vist, at bier godt kan overleve under vægtløse forhold. Jeg vil undersøge de samme ting, så vi kan sammenholde observationer og danne et mere komplekst billede af biers adfærd i rummet. Desuden vil jeg induktivt undersøge, hvordan vægtløshed påvirker en koloni i sin helhed - noget, der endnu ikke er blevet gjort.

Dertil vil jeg designe et habitat, der gør det muligt at holde honningbierne i rummet uden menneskelig indblanding.

Apis mellifera er valgt ud fra deres betydning i det moderne landbrug, og på grund af deres rolle findes der også en stor mængde viden om deres anatomi, adfærd og optimale levevilkår – især i fangenskab.

Habitatet skal bruges til et forsøg, hvor bierne udsendes til rummet i en afgrænset tidsperiode for herefter at blive returneret til Jorden til sammenligning med en kontrolgruppe. På baggrund af min empiri vil jeg analysere, hvilken effekt rejsen havde, og til slut vil jeg diskutere, hvilke skridt man kan tage i fremtiden for at optimere udenjordiskbiavl.

Teori

Apis mellifera, den europæiske honningbi, er en af de mest udbredte biarter i verden. Den kan findes stort set alle steder, bortset fra Antarktis.

NB. 'bier' og 'honningbier' refererer i denne rapport altid til arten Apis mellifera.

Apis mellifera spiser derfor også en lang række forskellige planter og vil bygge bo i nærmest alle typer af hulrum. (Wilson-Rich, 2015, s. 185)

Denne biart har en eusocial levevis. Dvs. at de overlever gennem komplekst samarbejde mellem forskellige klasser af bier (Wilson-Rich, 2015, s. 53). En *Apis mellifera*-koloni kan opnå en størrelse på 50.000 bier (Wilson-Rich, 2015, s. 185)

Tidligere forsøg

Som nævnt før er der blevet foretaget to forsøg med at sende bier ud i rummet.

I 1982 sendte NASA 14 voksne bier sammen med to andre insektyper, ud i rummet for at observere og sammenligne deres flyveevne i vægtløshed. Videoptagelser viste, at bierne ikke var i stand til at kontrollere deres flyvning og i stedet gik rundt. De to andre insekter, fluer og møl, formåede at opnå en vis grad af kontrol (Nelson & Peterson, 1982). Alle bierne døde under forsøget, og man formoder, det skyldes mangel på mad. Enten fordi de ikke var i stand til at lande nær maden, da bierne havde svært ved at lande på insektmodulets glatte plastoverflade, eller fordi fodringsmetoden ikke var optimal for bier (Poskevich, 1984). Manglen på mad kan også have ført til nedsat flyve og orienteringsevne (Nelson & Peterson, 1982).

Derfor er det vigtigt at sikre at det nye habitat har en overflade hvorpå bierne kan gå.

I 1984 sendte NASA igen bier i rummet, denne gang for at undersøge honningbiernes evne til at bygge vokstavler i rummet.

Apis mellifera bygger vokstavler, hexagonale celler af voks, til opbevaring af foder og æglægning. Cellerne bygges under jordlige forhold hovedsageligt horisontalt, mens celler til dronningæg bygges vertikalt da de skal være større (Buttstedt, et al., 2018). Netop denne vinkling gør dem interessante i rummet, da man her ikke kan tale om op eller ned.

I dette forsøg formåede bierne at tilpasse sig vægtløshed, så det efter nogle dage kunne flyve rundt. Ud af de ca. 3400 bier døde blot 120. Dette viser, at under de rigtig betingelser kan honningbier godt overleve under vægtløse forhold. Bierne formåede også at bygge vokstavler. Dronningen om bord på modulet i rummet lagde 35 æg, men ingen af dem klækkede (Poskevich, 1984).

Livscyklus

Biers livscyklus kan opdeles i fire stadier; æg, larve, puppe og voksen. Æggene lægges af dronningen i små celler. Efter klækning fodres larverne af arbejderbierne. I naturen fodres larverne med en blanding af honning og 'bee-bread' der hovedsageligt er lavet af pollen. Den specifikke sammensætning af maden og tilføjelse af Gelé royal afgør, hvorvidt larven bliver til en arbejderbi eller en dronning (Wilson-Rich, 2015, s. 47).

Klasserne

Voksne bier inddeles i tre klasser; arbejdere, droner og dronninger. Dronninger og arbejdere er hunner. Dronningens primære opgave er at lægge æg. Ubefrugtede æg udvikler sig til hanner, dvs. droner. Dronernes formål er at parre sig med dronningen. Dette er evolutionært smart, da en mangel på droner vil føre til ubefrugtede æg, og dermed kommer der nye droner (Wilson-Rich, 2015, s. 34).

Det betyder også, at alle andre arbejdsopgaver bliver udført af arbejderbierne.

I en kort periode kan man derfor godt udføre forsøg med udelukkende arbejderbier, men for at sikre en bikolonis overlevelse, kræver det tilstedeværelse af alle tre klasser.

*Apis mellifera*s muskelstruktur

Musklerne inddeles i seks kategorier; somatisk, splanknisk, hjerte, dorsal membran, ventral membran og reproduktive. Undtaget de reproduktive muskler, så varierer den generelle muskelstruktur sig ikke mellem arbejderbier og dronninger (Morison, 1927).

Især de dorsale membranmuskler er af interesse da bien bruger disse til at flyve. Det førnævnte 1984 NASA-forsøg (Poskevich, 1984) viste, at bier er i stand til at flyve i vægtløs tilstand. Vedligeholdelse af muskelmasse har løbende været et problem for astronauter, og i dag er træning af forskellig former en vigtig del af astronauternes dagsrytme (NASA Information, 2019).

Hvis bierne skal introduceres til en anden planet, fx Mars, er det vigtigt, at bierne enten er i stand til at genopbygge den nødvendige muskelmasse for overlevelse, eller at vi finder en metode til at 'træne' bierne undervejs på rejsen.

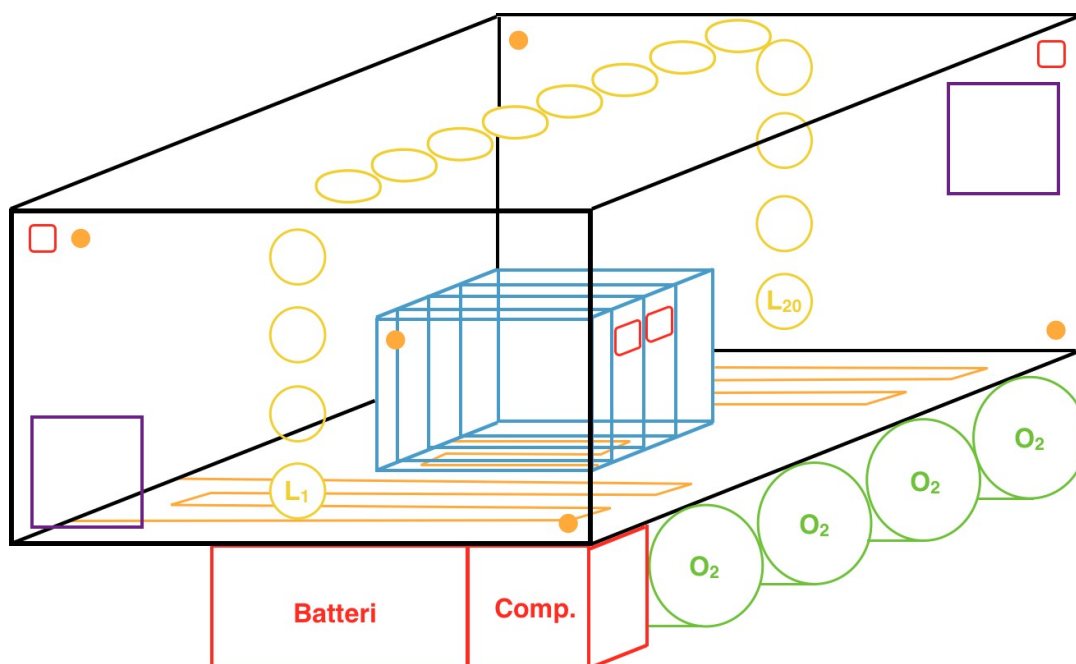
Forsøgsdesign

Forsøgshabitatet er opdelt i tre sektioner, der er beskrevet i detaljer herunder. Habitatet er bygget til en bikoloni på ca. 1.500 bier¹. Habitatet er ikke designet til selvstændig rumrejse, og skal derfor placeres på et rumfartøj for at kunne forlade jordens overflade.

1. Miljøboks

Denne sektion udgør det yderste lag af habitatet. Dets formål er at give bierne noget bevægeplads, et sted at komme af med affald og bibeholde deres naturlige døgnrytme.

Boksen skal være 635x560x365 mm, hvilket giver bierne 200 mm 'flyverum' omkring bistaden. Boksen består af tre lag; yderst et lag af stål, derefter et lag isolerende styrolit og inderst, et tyndt lag krydsfiner. Træ er et udbredt materiale til bistader og krydsfiner skal sikre, at bierne er i stand til at lande og gå på alle siderne af boksen.



Figur 1: Skitse af forsøgshabitat. Sort: Miljøboks. Gul: Lamper. Orange: Temperatursensorer og varmelegemer. Rød: Batteri, computer og kameraer. Lilla: Ventilatorer. Blå: Bistad. Grøn: Ilt-tanke

Forholdene i boksen vil variere i et 24-timers interval lig jordens og er baseret på en gennemsnitlig, dansk sommerdag.

Højeste temperatur vil forekomme i perioden 12-15t og vil være på ± 20 °C. Laveste temperatur vil være ± 12 °C i perioden 5-6t (Danmarks Meteorologiske Institut, 2019). Habitatet skal udstyres med et bånd af lamper, der efterligner solens naturlige lys, fra én side af boksen til den anden.

¹ Antal er fastsat på baggrund af vejledning fra min forskerkontakt, Per Kryger

Lampe 1 vil tænde kl. 4 hvorefter lamperne på skift vil tænde og slukke så lyskilden bevæger sig på tværs af boksen. Lampe 20 vil slukke kl. 23 (Almanak, 2019). Lampe 1, 2, 19 og 20 vil have en lavere lysintensitet.

To ventilatorer skal sikre udluftning i boksen.

Boksen vil blive udstyret med fire kameraer til observation af biernes bevægelse uden for bistadet.

2. Bistade

Denne sektion vil være består af et parringsstade af mærket Swi-Bine² (Swienty, 2019).

Parringsstadet er valgt frem for et normalt bistade, da de er af mindre størrelse. Der kan være ca. 1500 bier i dette stade, hvilket er nok til dette formål. Stadet har målene 235x160x165 mm og vil blive placeret midt i bunden på miljøboksen. I stadet er der en foderboks, hvori foderet placeres.

Bistadet vil blive udstyret med en temperatursensor og et varmelegeme. Korrekt temperatur er central for ynglens udvikling. Bierne skulle som udgangspunkt selv være i stand til at holde den nødvendige temperatur på 34-36°C (Wilson-Rich, 2015, s. 76) (Abou-Shaara, Owayss, Ibrahim, & Basuny, 2017). Varmelegemet er derfor blot en sikkerhedsforanstaltning.

Stadet vil blive udstyret med to kameraer mellem tavlerne til observation af biernes opførsel inde i bistadet.

Ernæring

Korrekt ernæring er central for ikke blot de voksne arbejderes overlevelse, men også for ynglens udvikling. Voksne bier kan i længere perioder overleve på udelukkende kulhydrater, mens ynglen har brug for en række mineraler, proteiner, vitaminer og lipider (Williams, et al., 2013, s. 19).

Alle disse næringsstoffer forekommer naturligt i pollen som bierne opbevarer i 'bee-bread'. Man kan lave kunstige erstatninger, men for at sikre de mest virkelighedstro forhold, vil jeg i stedet høste 'bee-bread' direkte fra en bikoloni.

Som kilde til kulhydrater vil jeg benytte mig af en sukkerdej af mærket Apifonda[®]. Dejen består af 85% sukker. Den høje mængde af sukker sikrer at der ikke vokser nogle mikroorganismer.

Sukkerdejen vil blive placeret i foderkammeret i bistadet efter anvisninger fra Apifonda[®] (APIFONDA[®], 2019).

² Stad er udvalgt efter vejledning fra min forskerkontakt, Per Kryger

3. Mekanik

Habitatet skal være udstyret med en 2500L lufttank³ ud fra en tilnærmelse på et gennemsnitligt iltforbrug på 81,1 μ L O₂ min⁻¹ pr. voksne bi (Stabentheiner, Vollmann, Kovac, & Crailsheim, 2003). Denne skal løbende tilføre frisk luft til miljøboksen. Den brugte luft vil blive sendt ud i rummet.

Der skal desuden være et batteri til at drive varmelegemer, ventilationssystem, lamper mm. samt en forprogrammeret computer til at regulere varme og belysning.

Fremgangsmåde

Pilotforsøg

Da det ikke er nemt at sende noget ud i rummet, er det vigtigt at sikre os, at bierne kan overleve i det nye habitat. Derfor skal der først foretages et pilotforsøg, hvor vi har mulighed for at opdage og rette fejl og mangler. Fremgangsmetoden er den samme som beskrevet for det fulde forsøg, vi undlader blot at sende habitatet ud i rummet.

Forsøg

Opsendelsen er ikke beskrevet i nærmere detalje her, da det ikke er direkte relevant til forsøget. Hvilke eksperimenter der kan sendes op bliver udvalgt af de enkelte rumagenturer. At få forsøget udført i sin helhed kræver derfor grønt lys fra en af disse.

- ▶ Bikolonien introduceres til habitatet via metoden beskrevet af University Of Georgia, College of Agriculture & Environmental Science (Honey Bee Program, 2019). Bikolonien udvælges ud fra retningslinjerne beskrevet i Standard methods for maintaining adult *Apis mellifera* in cages under in vitro laboratory conditions⁴ (Williams, et al., 2013).

- ▶ Habitatet sendes ud rummet. Samtidig igangsættes et kontrolforsøg på jorden
- ▶ Efter 21 dage returneres habitatet til jorden

³Hvis habitatet bliver sendt til ISS er denne sektion unødvendig da ISS er i besiddelse af sit eget iltsystem.

⁴Vise overvejelser som fx. tidspunktet af Året af indfangelse undlades, da dette vil afhænge af hvornår det er muligt at få sendt bierne ud i rummet.

Tidsplan

Table 1: Tabel over formodet tidsplan for forsøg inklusiv udsendelse til rummet.

Opgave	Periode
Introducering af bier til habitat	12 dage
Opsendelse	1 dag
Videoobservation af biernes adfærd	3 uger (21 dage)
Returnering til jorden	1 dag
Udtagelse af prøver, databehandling mm.	~7 dage
I alt	32 dage

- ▶ Databehandling
- ▶ Videoptagelser gennemses for afvigende opførsel eller manglen heraf. Især evt. flyvning er af interesse.
- ▶ Bier fra alle tre klasser (dronning, arbejder og drone) udtages til nærmere undersøgelse. Især muskelmasse er interessant.
- ▶ Æg og larver på forskellige udviklingsstadier udtages og sammenlignes med jordbundne kontrolgrupper. Alle former for afvigelse er her af interesse.

Disse er kun retningslinjer for dataindsamling. Da det er svært at få sendt forsøg ud i rummet, gælder det om at få så meget data ud af hvert eksperiment som muligt.

Budget

Budgettet lagt på baggrund af pilotstudiet. Angivet pris er rundet op ud fra eksempler fundet online for at sikre at budgettet holder, selvom en komponent skulle vise sig at være dyrere end angivet online.

Tabel 2: Budget over udførelse af pilotforsøg.

Produkt	Mængde	Pris [DKK]
Lampe	20 stk.	1.500,00
Apifonda®	1 2,5kg pakke.	32,00
Ilttank (640L)	4 stk.	1.500,00
Kamera	4 stk.	800,00
Varmelegemer	3 stk.	1.500,00
Varmesensor	5 stk.	50,00
Ventilator inkl. filter	2 stk	400,00
Swi-Bine parringsstad	1 stk.	120,00
Bier	1.500	900,00*
Computer	1 stk.	400,00
Batteri	1 stk.	2.000,00
Stålblader	6 stk. (af varierende størrelse)	560,00
Styrolitplader	6 stk. (af varierende størrelse)	60,00
Krydsfiner	6 stk. (af varierende størrelse)	330,00
I alt		10.152,00

*Pris er baseret på online køb af bier. Disse har dog ikke den nødvendige kvalitet til eksperimentelle formål, og dette er derfor blot et overslag. Budgettet efterlader dog en del plads til uforudsete omkostninger.

Konklusion og perspektivering

Baseret på NASA's 1984 (Poskevich, 1984) forsøg forventer jeg at se, at bierne tilpasser deres flyvning til de nye forhold. Desuden forventer jeg at dronningen fortsat lægger æg og at arbejdsbierne vil passe dem som forventet - der vil dog være et øget antal af døde æg, larver og pupper på grund af stressfaktorer fra omgivelserne og arbejderbiernes tilpasningsperiode.

Baseret på studier af menneskers muskler forventer jeg at se en reduktion af muskelmassen hos bierne.

Forhåbentligt vil vi have mulighed for at undersøge en voksen bi hvis æg blev lagt under vægtløse forhold.

Der er lang vej fra 1.500 bier i en kasse i rummet til et fuldt udviklet økosystem på en fremmed planet - dette er blot et lille skridt på den lange rejse.

Ud fra de indsamlede data skal der lægges en arbejdsplan for fremtidige forsøg. Først og fremmest skal man så vidt muligt finde metoder til at udligne faktorer, der skader bierne og deres yngel. Lykkes det, vil næste skridt være at undersøge hvordan 'rum-fødte' bier reagerer på at blive introduceret til tyngdekraft. Dette er vigtigt hvis vi skal bruge dem på fremmede planeter.

Forsøgsdesignet som en helhed kan være et skridt mod flere rumforsøg med levende organismer. Der ligger et stort potentiale i forsøg, der ikke er afhængige af menneskelig assistance under forløbet, da vi på nuværende tidspunkt kun har ét sted at udføre dem.

Vores fremtid ligger blandt stjernerne, men vi har ikke den luksus at træde ud i universet i blinde. Det er vigtigt at forstå, hvordan vi på bedst mulig måde bevæger os ind i denne nye æra af menneskehedens historie.

Tak til

Stort tak til min forskerkontakt Per Kryger, seniorforsker fra Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi – Emologi og Plantepatologi. Hans faglige ekspertise og engagement i projektet har haft stort betydning for forløbet – ikke blot det faglige, men også for min egen motivation.

Desuden tak til mine to koordinatore Peter Ruby Schmidt og Dorte Lind Damkjær, lektorer fra Vejle Tekniske Gymnasium for deres vejledning og støtte gennem forløbet.

Bibliografi

- ▶ Abou-Shaara, H. F., Owayss, A. A., Ibrahim, Y. Y., & Basuny, N. K. (2017, November). A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes Sociaux*, 64(4), pp. 455-463.
- ▶ Almanak. (2019, Juni 21). *Almanak*. Retrieved from suninfo.dk: <http://www.suninfo.dk>
- ▶ APIFONDA®. (2019, Oktober 23). *Apifonda 2,5kg pk*. Retrieved from swienty.com: https://www.swienty.com/pi/Apifonda-2-5kg-pk_4003736_164667.aspx
- ▶ Buttstedt, A., Mureşan, I. C., Lilie, H., Hause, G., Pietzsch, M., Moritz, R. F., . . . Schulze, S.-H. (2018, April 2). How Honeybees Defy Gravity with Royal Jelly to Raise Queens. *Current Biology*, 28, pp. 1095-1100.
- ▶ Danmarks Meteorologiske Institut. (2019, Juni 21). *Vejrarkiv*. Retrieved from dmi.dk: <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/>
- ▶ Honey Bee Program. (2019, Oktober 22). *Honey Bee Program*. Retrieved from bees.caes.uga.edu: <https://bees.caes.uga.edu/bees-beekeeping-pollination/getting-started-topics/getting-started-installing-packaged-bees.html>
- ▶ Morison, D. G. (1927). The Helathy Muscles of the Adult Honey-bee. Somatic Musculature. In D. G. Morison, *The Muscles of the Adult Honey-bee (Apis mellifera L.)*. (pp. 396-398). The Quarterley Journal of Microscopical Science.
- ▶ NASA. (2018, September 26). *NASA Unveils Sustainable Campaign to Return to Moon, on to Mars*. Retrieved Oktober 2019, from nasa.gov: <https://www.nasa.gov/feature/nasa-unveils-sustainable-campaign-to-return-to-moon-on-to-mars>
- ▶ NASA Information. (2019, Oktober 23). *Muscle Atrophy*. Retrieved from nasa.gov: https://www.nasa.gov/pdf/64249main_ffs_factsheets_hbp_atrophy.pdf
- ▶ Nelson, T. E., & Peterson, J. R. (1982). Experiment Results: Insect Flight Observation at Zero Gravity. Houston: NASA.
- ▶ Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011, Marts). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), pp. 321-326.
- ▶ Perchonok, M., Douglas, G., & Cooper, M. (2012). Risk of Performance Decrement and Crew Illness Due to an Inadequate Food System. Human Research Program. NASA.
- ▶ Poskevich, D. M. (1984). A Comparison of Honeycomb Structures Built by *Apis mellifera* (SE82-17). NASA, Johnson Space Center. Houston TX: Johnson Space Center.
- ▶ Stabentheiner, A., Vollmann, J., Kovac, H., & Crailsheim, K. (2003, September). Oxygen consumption and body temperature of active and resting honeybees. *Journal of Insect Physiology*, 49(9), 881-889.

- ▶ U.S. Food & Drug Administration. (2018, Juli 30). *Helping Agriculture's Helpful Honey Bees*. Retrieved Oktober 2019, from fda.gov: <https://www.fda.gov/animal-veterinary/animal-health-literacy/helping-agricultures-helpful-honey-bees>
- ▶ Williams, G. R., Alaux, C., Costa, C., Csáki, T., Doublet, V., Eisenhardt, D., . . . Paxton, R. (2013, April 2). Standard methods for maintaining adult *Apis mellifera* in cages under in vitro laboratory conditions. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), pp. 1-36.
- ▶ Wilson-Rich, N. (2015). *Bien: et stykke flyvende naturhistorie*. Turbine.

Forside billeder

- ▶ **Enlig bi:** Hentet 24. oktober 2019 fra: <https://tradevistas.org/honey-bees-pollinate-trade-opportunities/>
- ▶ **Bier:** Mortensen, N. A. Hentet 24. oktober 2019 fra: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/MISC/BEES/euro_honey_bee.htm
- ▶ **SSI:** Hentet 24. oktober 2019 fra: <https://www.universetoday.com/143221/upgraded-iss-now-has-a-600-megabit-per-second-internet-connection/>
- ▶ **NASA mission logo:** Nelson, T. E., & Peterson, J. R. (1982). *Experiment Results: Insect Flight Observation at Zero Gravity*. Houston: NASA.