

DIY Robotarm

Automatisk udtagning af byggeplader og spoleskift til Anycubic Kobra S1 Combo med ACE Pro

2.100–3.250 kr

PRISSKØN

~2 kg

NYTTELAST (MÅL)

~550 mm

RÆKKEVIDDE

~20 Nm

SKULDERMOMENT

Strategi

Eget design med inspiration fra **AR4** (geometri), **KasperT00/TheRobotArm** (printede planetgear med BB-kugler), **TaylorAndonian** (cykloide-designregler) og **Thor** (håndled). Egen ophavsret, så armen kan bruges erhvervsmæssigt.

1 Mål og kriterier

Printer: Anycubic Kobra S1 Combo med ACE Pro.

Kriterie	Krav
Opgave 1	Hente byggepladen efter printeren har frigjort den fra magneten, og tømme emnet ned i en kasse
Opgave 2	Skifte filamentspoler på 1 kg i ACE Pro
Nyttelast	≥ 2 kg nominelt. Den samlede last må højst være 70–80 % af det
Budget	Max 3.000 kr
Licens	Skal tillade erhvervsbrug
Styring	Egen styring (næsten færdig)
Andet	Platform til større projekter senere

Vægtbudget

Last	Vægt
Fuld spole (1 kg filament + spole)	~1,25 kg
Byggeplade + emne	0,25–0,75 kg
Let printet griber	~0,3 kg
Værste tilfælde (spole + griber)	~1,55 kg

Momentkrav (ved ~50 cm rækkevidde)

- Last: $1,55 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m} \times 9,81 \approx \mathbf{7,6 \text{ Nm}}$
- Armens egen vægt: $\sim 1,5 \text{ kg} \times 0,25 \text{ m} \approx \mathbf{3,7 \text{ Nm}}$
- **Skulder: mål ~20 Nm** med sikkerhedsmargin
- **Albue: mål ~10 Nm**
- **Håndled:** lille, ~2–4 Nm

Halveres rækkevidden, halveres det **krævede** moment fra lasten (moment = kraft $\times$ arm). Skulderens eget moment er uændret, så armen kan i stedet løfte ca. **dobbelt så meget** på halv afstand. Derfor er placeringen af printer og ACE Pro vigtig.

Designmål for rækkevidde

Arbejdscellen er ikke fastlagt endnu. Armen dimensioneres derfor ud fra udstyrets mål, og cellen tilpasses bagefter.

Udstyr	Mål (B $\times$ D $\times$ H)	Note
Kobra S1	400 $\times$ 410 $\times$ 490 mm	Byggevolumen 250 $\times$ 250 $\times$ 250 mm. Lukket CoreXY

Udstyr	Mål (B × D × H)	Note
ACE Pro	366 × 283 × 235 mm, 4,6 kg	

Antaget opstilling:

- Printer og ACE Pro står side om side på bordet. ACE Pro står **ikke** oven på printeren, for så skulle armen række ~600–700 mm op til spolerne.
- Armens base står foran printeren og forskudt til siden (se nedenfor).

Geometri for byggepladen (antaget: plade ~256 mm og centreret i dybden):

- Pladens forkant ligger ~77 mm inde: $(410 - 256) / 2$.
- Pladens tyngdepunkt ligger ~205 mm inde, og bagkanten ~333 mm inde.
- Griberen tager fat ~20 mm ind på forkanten, dvs. **~100 mm inde i printeren**.
- Hele pladen er først fri af printeren, når griberen er **~256 mm foran fronten**.

Konsekvens:

- Står basen lige foran printeren, rammer pladen armen, når den trækkes ud.
- Basen skal derfor stå **forskudt til siden**. Regneeksempel: 150 mm foran fronten og 250 mm til siden for pladens midterlinje.

Bevægelse	Afstand fra basen (ca.)
Gribe pladens forkant	~355 mm
Pladens tyngdepunkt, hvis den løftes, mens den sidder helt inde	~435 mm
Pladen trukket helt ud (griber / tyngdepunkt)	~270 / ~250 mm
Løfte en spole ud af eller ned i ACE Pro	~300–400 mm
Flytte en tom plade over kassen	~400–500 mm

Designmål:

- **Maks. rækkevidde: ~550 mm** (vandret). Lægges skulderen i samme højde som pladen, f.eks. på en sokkel, slipper armen for at skulle række ekstra lodret.
- **Pladen glides ud, ikke løftes ud**. Armen trækker pladen vandret ud over printerens bund og løfter den først, når tyngdepunktet er tæt på basen.
- **Løftes pladen alligevel helt inde**, bliver lastmomentet: $1,05 \text{ kg} \times 0,435 \text{ m} \times 9,81 \approx \mathbf{4,5 \text{ Nm}}$.
- **Fuld spole og griber (1,55 kg): håndteres inden for 350–400 mm**. Det giver ~5,3–6 Nm.
- **Armens egen vægt**: Længere led betyder et større moment fra armens egen vægt, ca. 4–5 Nm. Skulderens mål på ~20 Nm er stadig rigeligt.
- **Krav til opstillingen**: Spoleskift må aldrig ske med armen fuldt udstrakt.

Designstrategi: eget design med inspiration fra flere projekter

Hvorfor tegne fra bunden

De planlagte ændringer af Thor rammer næsten alle bærende dele:

- skulder, albue og gear
- leddelængder (~550 mm)
- base forskudt til siden
- materialer og lejer

Thors dele er tegnet til at passe præcist sammen. Det er derfor mere besværligt at ændre dem end at tegne nyt.

Fordele ved eget design:

- **Egen ophavsret.** Ingen licensforpligtelser ved salg eller deling, hvilket er enklere til erhverv.
- **Dimensioneret direkte** efter kravene i afsnit 1.
- **Ledmoduler, der kan genbruges** i senere projekter.

Ulemper:

- Mere CAD-arbejde.
- Ingen testet udgangsversion. Det afhjælpes ved at teste hvert ledmodul for sig, før armen samles.

Inspiration pr. modul

Idéer og funktionsprincipper er ikke beskyttet af ophavsret. Licensen har kun betydning, hvis filer kopieres direkte.

Modul	Inspiration	Hvad vi tager med	Licens (ved kopi af filer)
Geometri og leddelængder	AR4 (Annin) / AR2	Tættest på kravene: 1,9 kg, 629 mm rækkevidde, testet af mange brugere	Ikke angivet. Kun idéer
Skulder- og albuegear (billigst)	KasperT00 / TheRobotArm	NEMA 23 + printet 2-trins planetgear ~20:1 med BB-kugler i stedet for kuglelejer	Ingen. Kun idéer
Designregler for cykloidegear	TaylorAndonian / cycloidal-drive	Dokumenterede fejl: tandkontakten er grænsen. Parametrisk Python-CAD	Ingen. Kun idéer
Måledata for printede gear og encodere	kutilz / robotic-arm	Målt 10,7 Nm fra NEMA 17 + cykloidegear 30:1. AS5600 på udgangsakslen	Tjek repoet
Stivhed og materialer	RR1 (surynek)	Aluminiumsprofiler, PC-CF-gear, sildebensfortanding mod slør	AGPL-3.0
Håndled	Thor (AngellM)	Let og kompakt håndled med remtræk	CC-BY-SA-4.0
Stor arm med remtræk	Faze4	Opbygning med steppere og remme. Filerne må genbruges kommercielt	MIT

Modul	Inspiration	Hvad vi tager med	Licens (ved kopi af filer)
Software og kinematik	PAROL6	Python-GUI og kinematik, hvis den egne styring skal udvides	GPLv3

Hovedlinje:

- Geometri fra **AR4**.
- Gear efter **KasperT00's** princip, dimensioneret med **TaylorAndonians** regler og tjekket mod **kutilz'** måling.
- Håndled efter **Thor**.

Fravalgt som inspiration/basis

Design	Årsag
Arctos	Ikke-kommerciel licens, og filerne koster penge
BCN3D Moveo	Lav nyttelast og kendte fejl i BOM'en
Sixi 2	Ufærdigt projekt

Modul A: stort led (skulder og albue)

- **Ét parametrisk design** bruges i begge led. Det skaleres evt. ned til albuen.
- **Motor:** NEMA 23 (~1,9 Nm).
- **Gear:** printet 2-trins planetgear med BB-kugler, ~20–30:1.
 - Skulder: $1,9 \times 20 \times 0,8 \approx 30 \text{ Nm}$ (mål 20 Nm).
 - Albue: mål $\geq 10 \text{ Nm}$.
- **Materialer:** PA-CF eller PC-CF til gear. Det kræver en **hærdet dyse**.
- **Tænder:** brede tænder og mange i indgreb samtidig. Grænsen er tandkontakten, ikke motorens moment.
- **Lejer:** et stort udgangsled (tyndrings- eller aksialleje), så gearet ikke skal bære bøjningsmomentet.
- **Feedback:** **AS5600-magnetencoder** på udgangsakslen (~20–30 kr). Closed-loop-drivere (MKS SERVO57D) er en senere opgradering.
- **Test på bænken:** Byg Modul A først, og test det med 1,55 kg ved 400 mm, før resten tegnes.

Modul B: lille led (base og håndled)

- **Motor:** NEMA 17 (genbrug fra en brugt printer).
- **Transmission:** remtræk (GT2) eller et lille printet gear, inspireret af Thors håndled.
- **Vægt:** hold håndleddet så let som muligt, fordi skulderen skal bære det.

Led (over- og underarm)

- **Længder:** dimensioneret efter ~550 mm maks. rækkevidde. Brug AR4's proportioner som udgangspunkt.
- **Konstruktion:** printet PETG med 4–6 vægge og 40 %+ infill.
- **Stivhed:** aluminiumsprofiler 2020/3030 (~100–200 kr) kun hvis PETG viser sig for blødt.
- **Underarmen:** så let som muligt.

Base

- **Leje:** et stort aksialleje eller drejekrans til basens rotation.
- **Fjeder eller gasfjeder** som modvægt på skulderen. Den halverer det krævede moment fra armens egen vægt.
- **Sokkel**, så skulderen kommer i samme højde som byggepladen.

Griber

- **Opgaven:** Én griber skal kunne både en byggeplade (flad, ~256 mm) og en spole (Ø200 mm, nav Ø55 mm).
- **Forslag:** En parallelgriber med udskiftelige kæber. Alternativt en krog eller dorn ind i spolens nav plus en flad gaffel til pladen.
- **Motor:** en servo på 15–25 kg·cm (~50–100 kr) eller en lille NEMA 17 med gevindstang.

Arbejdscelle (designes efter armen)

- **Placering:** ACE Pro og printer så tæt på armens base som muligt, med basen forskudt til siden.
- **Printerlågen:** den skal enten afmonteres eller automatiseres.

- **ACE Pro-låget:** det skal enten fjernes eller automatiseres.
- **Filamentet:** lav en printet tragt eller fører, så filamentenden kan føres ind i ACE Pro. Det er den sværeste del af spoleskiftet.

4 Prisskøn

Del	Pris (ca.)	Note
Brugt 3D-printer fra DBA	300–500 kr	Giver 4× NEMA 17, 24V-strømforsyning, aksler og lejer
2× NEMA 23	300–500 kr	Skulder og albue
6× TMC2209-drivere	~200 kr	
6× AS5600-encodere	120–180 kr	Kan vente
Kuglelejer, BB-kugler, bolte, GT2-remme og remskiver	400–600 kr	BB-kugler sparer lejer i gearene
Filament: 2–3 kg PETG	300 kr	
Filament: 1 kg PA-CF/PC-CF	300–450 kr	Gear
Fjeder eller gasfjeder	50–100 kr	
Griberservo	50–100 kr	
Hærdet dyse	0–200 kr	Hvis den ikke findes allerede
Nødstop og kontaktor	100–150 kr	Påkrævet, se afsnit 6
I alt	≈ 2.100–3.250 kr	Uden AS5600 ≈ 1.950–3.050 kr

Hvis budgettet bliver presset:

- Køb motorer og strømforsyning brugt.
- Udskyd encoderne.
- Brug PETG til alle gear undtagen skulderens.

5 DIY vs. færdiglavet robotarm

Alternativerne er undersøgt i samme forløb. Priserne er omregnet (1 USD ≈ 6,9 kr, 1 EUR ≈ 7,46 kr). Ved køb uden for EU kommer 25 % moms, told og fragt oveni.

Løsning	Eksempel	Pris (ca.)	Nyttelast	Fordele	Begrænsninger
DIY (denne plan)	Eget design	2.100–3.250 kr	Mål ~2 kg (ikke testet)	Billigst. Egen ophavsret. Fuld kontrol. Lærerigt. Modulerne kan genbruges	Meget tid til design og test. Lavere præcision og mere slør (printede gear). Ingen CE, så du er selv fabrikant. Ingen support
Arctos v2-kit	Kit uden printede dele	~5.000 kr	0,5–2 kg (uklart)	Billigt kit	Ikke-kommerciel licens , så den kan ikke bruges i erhverv. Steppere uden feedback
Open source-motorkit	reBot B601-RS Body Motor Kit	~10.100 kr + strømforsyning	2,5 kg	Motorer med indbygget motorstyring og encodere (CAN), kraftfølsomme. Strukturen kan printes selv	3–4× over budget
Open source-arm, samlet	reBot B601-RS	~18.600 kr	2,5 kg	Klar til brug. Åbent design. Passer til LeRobot	6× over budget
Open source-kit, aluminium	AR4 MK5 (kit + motorer)	~16.000–17.000 kr importeret	1,9 kg	Moden og veldokumenteret	Over budget, lidt under 2 kg. Steppere uden kraftfeedback
Brugt industriarm uden styreboks	Denso VP-6242, UR3 (kun armen)	~11.000–20.000 kr importeret	2–3 kg	Industrimekanik: harmoniske gear, høj præcision og stivhed	Styreboksen mangler. Leddenes protokol eller encoderprotokol er proprietær (UR's er udokumenteret). Det kræver et stort ombygningsprojekt, ikke "små fixes". Denso: kun 432 mm rækkevidde
Ny kommerciel cobot	Fairino FR3	~42.000 kr	3 kg	CE-mærket , sikkerhedsfunktioner, support, høj præcision	14× over budget. Lukket software
Brugt cobot med styreboks	UR3 (USA) / UR5 (Tyskland) / xArm 6 (Spanien)	~48.000–67.000 kr	3–5 kg	CE-mærket, stort community, fungerer med det samme	Langt over budget. Tjek at styreboks, teach pendant og licenser følger med, og hvor mange driftstimer den har

De vigtigste forskelle:

- Pris:** DIY koster ca. 1/5 af det billigste brugbare kit og ca. 1/15–1/20 af en cobot. Du betaler i stedet med tid.

2. **CE og erhvervsbrug:** En ny eller brugt cobot er allerede CE-mærket. For DIY skal du selv lave risikovurdering, dokumentation og CE-erklæring (afsnit 6). Det er DIY's største skjulte omkostning ved erhvervsbrug.
3. **Præcision:** Industriarme har ca. 0,02–0,1 mm repeterbarhed. En printet arm har mere slør, men det er nok til plade og spoler, hvor en griber med lidt tolerance kan klare det.
4. **Sikkerhed:** Cobots har indbygget kollisionsdetektion. Den bygger du ikke billigt ind i en DIY-arm, så den kræver afskærmning og nødstop.
5. **Udvikling:** DIY og open source giver fuld adgang til at ændre alt. Det er en fordel som platform for større projekter.
6. **Brugte arme uden styreboks** ser billige ud, men er ikke billige. Den manglende styring er netop den del, der ikke kan laves med små fixes.

Konklusion: Inden for et budget på 3.000 kr er DIY den eneste realistiske løsning. Bliver projektet senere til erhvervsdrift med større krav til oppetid og CE, er en brugt cobot med styreboks (fra ~48.000 kr) eller reBot B601-RS (~18.600 kr) det naturlige næste skridt.

Licens

- **Eget design betyder egen ophavsret.** Du vælger selv licens senere eller ingen.
- **Kreditér inspirationskilderne** i README'en, f.eks. "inspireret af AR4, Thor og KasperT00/TheRobotArm". Det er god skik, ikke et krav.
- **Kopierede filer:** Bruges filer direkte (f.eks. Thors håndled), gælder deres licens for netop de dele:
 - CC-BY-SA: kreditér, og del ændringer under samme licens, hvis du deler.
 - MIT (Faze4): kun kreditering.
- **Kopier ikke filer fra repos uden licens** (KasperT00, TaylorAndonian). Tegn selv.
- **Undgå ikke-kommercielle designs** (Arctos).

CE-mærkning

Bruger du maskinen erhvervsmæssigt, er du "fabrikant", også selvom du har bygget den til eget brug. Det gælder maskindirektivet, og fra januar 2027 EU's maskinforordning 2023/1230.

- ☐ Risikovurdering (klemning, strømsvigt, at armen går i stå, tab af last)
- ☐ Nødstop, der fysisk afbryder motorstrømmen
- ☐ Afskærmning eller arbejdscelle, hvor armen stopper, når nogen kommer ind
- ☐ Sikker tilstand ved strømsvigt. Skulderen skal være selvlåsende eller have en bremse
- ☐ Teknisk dokumentation
- ☐ EU-overensstemmelseserklæring og CE-mærke på maskinen

Det her er generel information og ikke juridisk rådgivning. Spørg Arbejdstilsynet eller en rådgiver, før armen bruges i drift.

1. Fastlæg leddelængder og kinematik ud fra rækkevidden ~550 mm, med AR4's proportioner som udgangspunkt.
2. Tegn og print **Modul A**, og test det på bænken med 1,55 kg ved 400 mm.
3. Tegn **Modul B** (base og håndled).
4. Saml armen, og tilslut den egne styring og encoderne.
5. Byg griberen.
6. Design arbejdscellen ud fra armens færdige arbejdsområde.
7. Lav risikovurdering og CE-dokumentation.

Kilder

Inspiration

- AR4 (Annin Robotics, specifikationer og kitpriser): <https://www.anninrobotics.com/>
- AR2 (CAD og BOM): <https://github.com/Chris-Annin/AR2>
- KasperT00/TheRobotArm (NEMA 23 + printede planetgear 20:1, ingen licens): <https://github.com/KasperT00/TheRobotArm>
- TaylorAndonian/cycloidal-drive (6 printede cykloidegear, ingen licens): <https://github.com/TaylorAndonian/cycloidal-drive>
- kutilz/robotic-arm (cykloidegear + AS5600-encodere, målt moment): <https://github.com/kutilz/robotic-arm>
- surynek/RR1 (PC-CF-gear, aluminiumsprofiler, AGPL-3.0): <https://github.com/surynek/RR1>
- Thor (CC-BY-SA-4.0): <https://github.com/AngelLM/Thor>
- Faze4 (MIT): <https://github.com/PCrnjak/Faze4-Robotic-arm>
- PAROL6 (GPLv3): <https://github.com/PCrnjak/PAROL6-Desktop-robot-arm>
- Triple Cycloidal Robot Arm: <https://hackaday.io/project/166133-triple-cycloidal-robot-arm>
- Open6X (driverfejl ved test med 0,5 kg): <https://hackaday.io/project/181875-open6x-robot-arm>

Fravalgte designs

- Arctos (ikke-kommerciel licens): <https://hackaday.com/2023/05/08/arctos-robotics-build-a-robot-arm-out-of-3d-printer-spares/>
- BCN3D Moveo: <https://github.com/jsechovec/BCN3D-Moveo>
- Sixi 2: <https://github.com/MarginallyClever/sixi-2>

Færdiglavede alternativer

- reBot B601-RS (samlet arm): <https://openelab.io/a/s/products/seeed-studio-rebot-arm-b601-rs-assembled-kit-with-gripper-without-power-supply>
- reBot B601-RS Body Motor Kit: <https://openelab.io/products/seeed-studio-rebot-arm-b601-rs-body-motor-kit>
- Arctos v2-kit: <https://eu.robotshop.com/products/arctos-robotics-arctos-6-axis-diy-robotic-arm-hardware-v2-open-loop-kit-complete-non-printed-components-arduino-ros-ai-robotics-projects>
- Fairino FR3: <https://top3dshop.com/product/fairino-fr3>
- Brugt UR3 (eBay): https://www.ebay.com/sch/i.html?_nkw=ur3+robot&_sop=12
- Brugt UR5 (Werktuigen): <https://www.werktuigen.dk/universal+robots-ur5/wt-189-82796>
- Brugt xArm 6 (Exapro): <https://www.exapro.com/ufactory-xarm6-p260618085/>
- Denso VP-6242 (specifikationer): <https://robodk.com/robot/Denso/VP-6242>
- Denso VP-6242 (eBay): <https://www.ebay.com/itm/145894191985>
- UR-joints uden styreboks (forum): <https://forum.universal-robots.com/t/using-ur-arm-with-custom-controller-and-power-supply/17535>

Udstyrsmål

- Kobra S1 (mål og byggevolumen): <https://www.3djake.ch/en-CH/anycubic-3d-printer-and-accessories/kobra-s1?sai=28837>
- ACE Pro (mål og vægt): <https://ca.anycubic.com/products/ace-pro>

Lovgivning

- EU-maskinforordningen 2023/1230: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1230/oj>