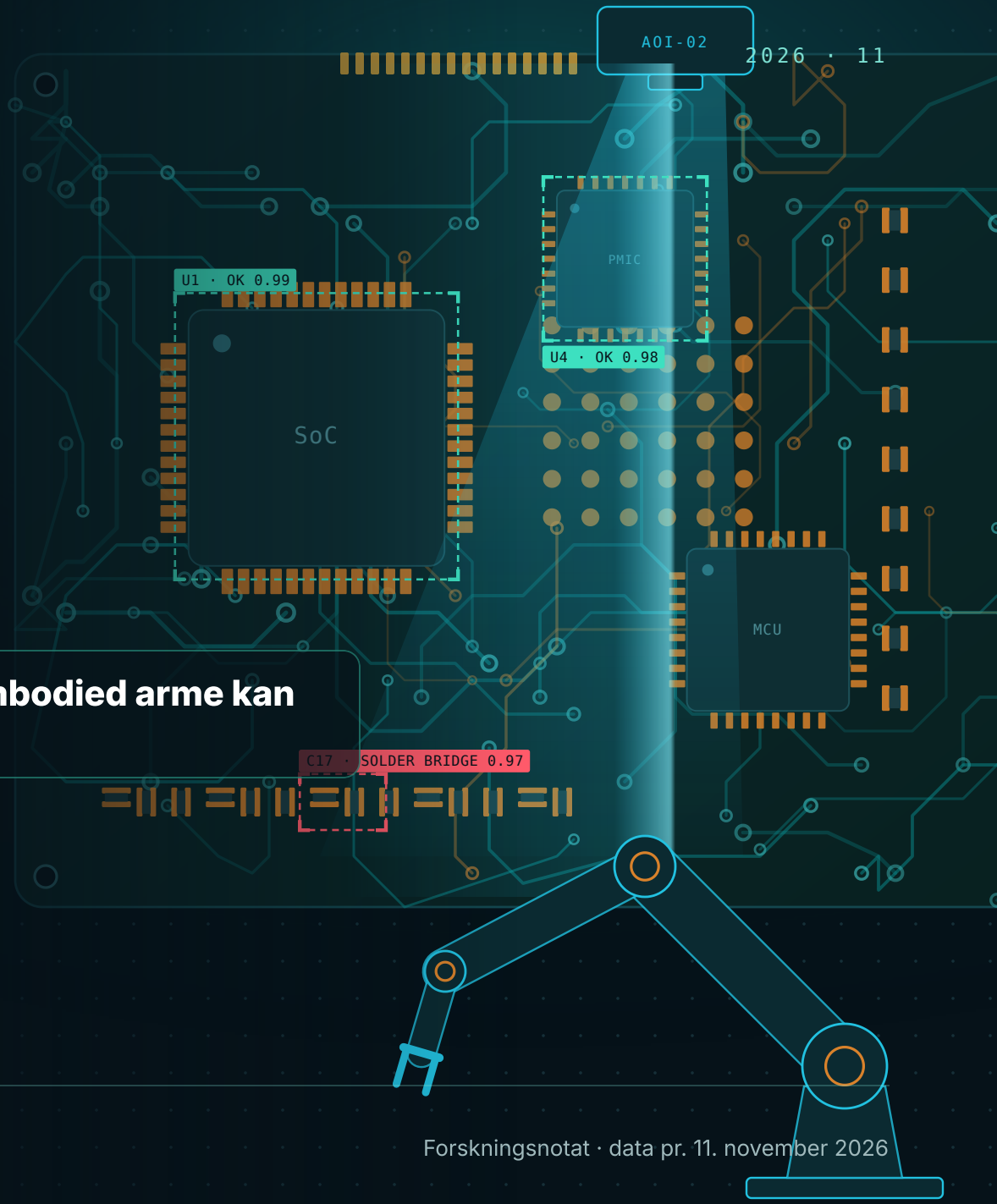
ELEKTRONIKFREMSTILLING · AI-INSPEKTION × ROBOTIK

AI på SMT-linjen:

hvad der tjener sig hjem i 2026

AI-synsinspektion og robotarme i elektronikfabrikker

Fastlands-Kina · Taiwan · Sydøstasien · USA



NØGLEKONKLUSION

AI-gennemgang er værd at gøre, snævert. Embodied arme kan vente.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Forskningsnotat · data pr. 11. november 2026

Værd at gøre, men snævert, nu og med partnere

NØGLEKONKLUSION

Det, der er modent i 2026, og som fabrikker vil betale for, er AI-gennemgang og nicheinspektion på AOI-billeder plus programmeret robotmaskinbetjening, ikke »en stor model, der kigger på kort, plus embodied robotter, der plukker dem«.

0.46–0.65 yr

Tilbagebetaling af AI-gennemgang i USA, Taiwan og Shenzhen, ved RMB 50k pr. linje

≥95% · <20 PPM

En top-EMS' interne AI-gennemgang: barren for at sælge til tier-1 EMS

100–700 RMB M

Adresserbart tredjeparts-retrofitmarked i fastlands-Kina, engangs, ≈5-årsvindue

0 scores

Industrielle defekt-benchmarkscores for flagskibene fra november 2026

1.1–1.5 yr

Tilbagebetaling af en cobot-maskinbetjeningscelle, to skift

0.003–0.14 FTE

Arbejdskraft en udpluknings-robotarm sparer pr. skift: den tjener sig aldrig hjem

Kilde: rapportens resumé og kapitel 4–5; tilbagebetalings- og markedstal er forfatterens estimater.

Seks spørgsmål, seks svar

① Hvad fabrikker kører

3D SPI, AOI'er før og efter reflow, stikprøvebaseret røntgen, ICT/FCT. En person gennemgår bag hver AOI; takt ≈13–22 s pr. kort.

② Hvor langt teknologien rækker

Inspektion er industriel kvalitet som detektor + AI-gennemgang + nogle få mennesker; ikke nul mennesker til nogen pris. Fastlandet: indenlandske modeller; Taiwan: kunden bestemmer; USA: told og certificering.

③ On-premises og luftgappet

Praktisk; grænserne er proceduremæssige. En blæserløs boks ≤100 W ved linjen, servere i serverrummet, 8-bit som standard.

④ Lærer og elev

Inspektion: frontmodeller præ-annotérer, mennesker afgør, et gyldent sæt gater. Arme: lærerne er stadig menneskelige demoer og simulering.

⑤ Omkostninger og tilbagebetaling

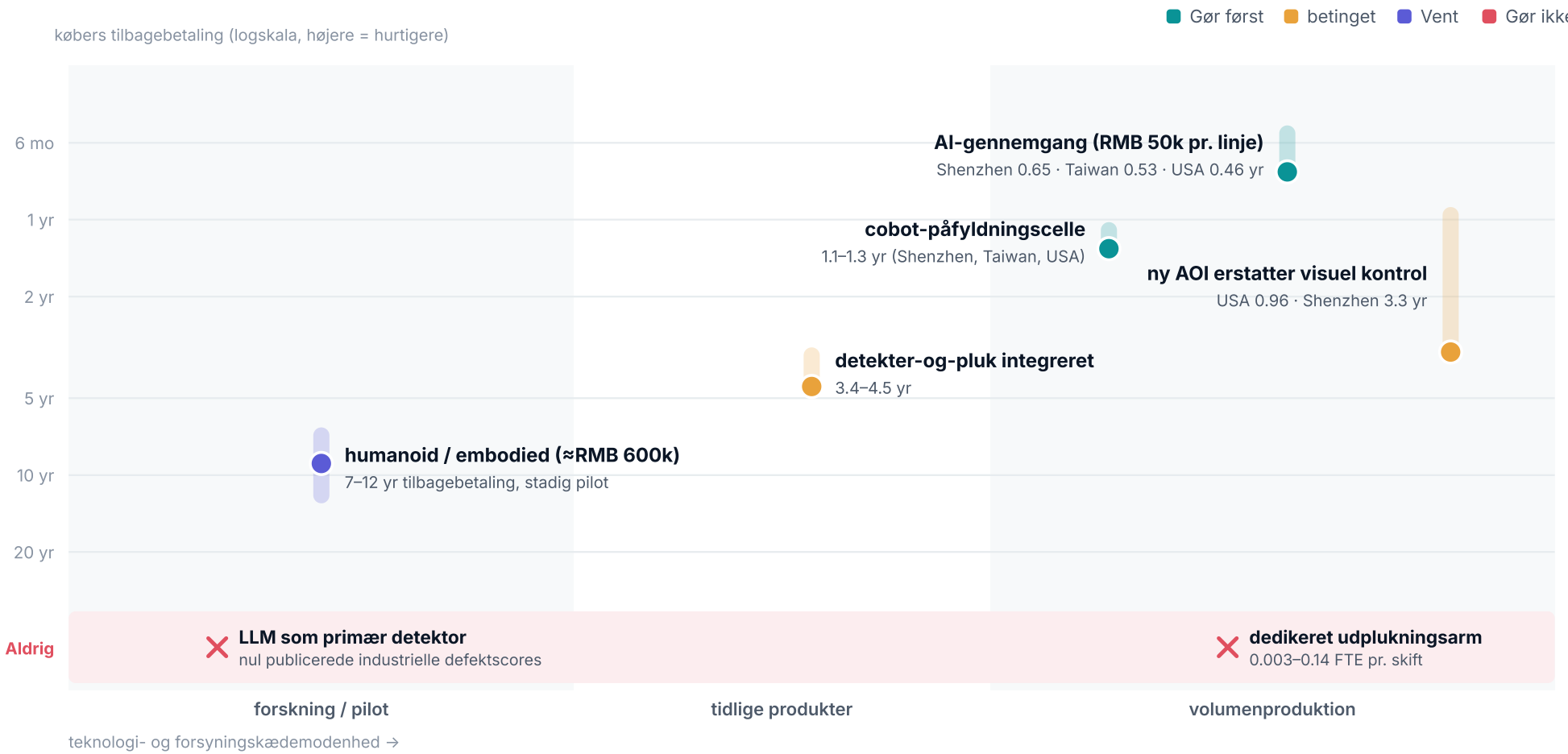
AI-gennemgang inden for et år i USA, Taiwan og Shenzhen; cobot-betjening 1.1–1.5 år; Sydøstasien 2–6 år; en udplukningsarm aldrig.

⑥ Nu eller vent

Reel efterspørgsel, overfyldt udbud; OEM-AI efterlader et ≈5-års retrofitvindue. Inspektion nu, snævert; embodied AI efter 2027–28-data.

Kilde: rapportens resumé.

Hvor AI passer på fabriksgulvet i dag

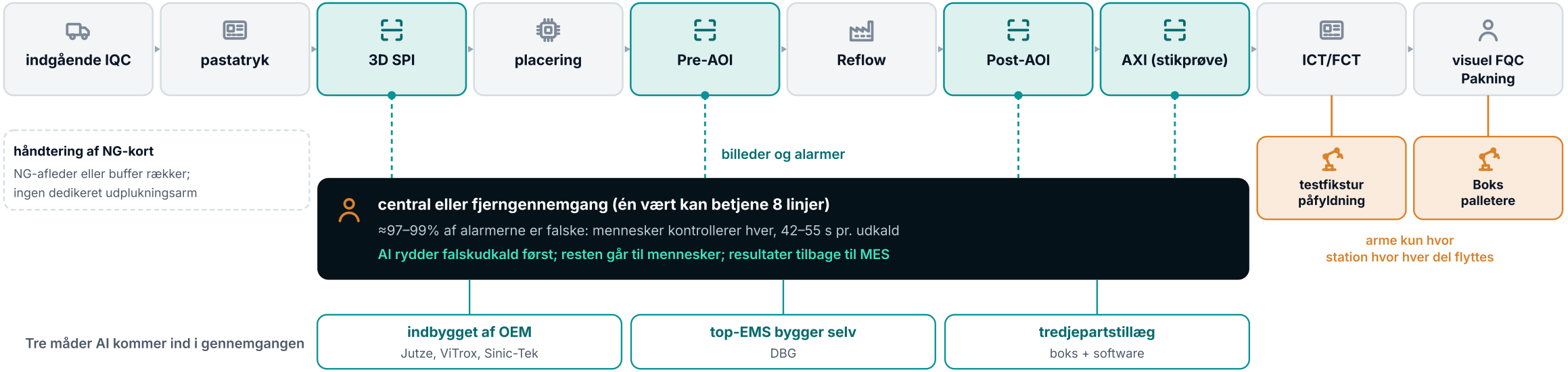


Kilde: Tilbagebetaling fra forfatterens model (kapitel 4); modenhedsaksen er forfatterens vurdering.

Folkene sidder bag AOI'en. Det er dér AI kommer ind

En volumen-SMT-linje

takt ≈13–22 s pr. kort · 3–5 AOI'er pr. linje



Kilde: Offentlige årsregnskaber og leverandørmateriale (Huaqin, DBG, Sinic-Tek med flere); sammensat af forfatteren.

Omkring 97–99% af AOI-alarmerne er falskudkald

pr. 100 AOI-alarmer



I dag: mennesker kontrollerer hvert udkald

42–55 s hver

≈448 falskudkald pr. skift på én travl linje

→ 5.2–6.8 h pr. skift ≈ 1 fuldtidsgennemganger

sagsbemanding: 2 pr. skift

AI-gennemgang: ryd falskudkald, giv resten til mennesker

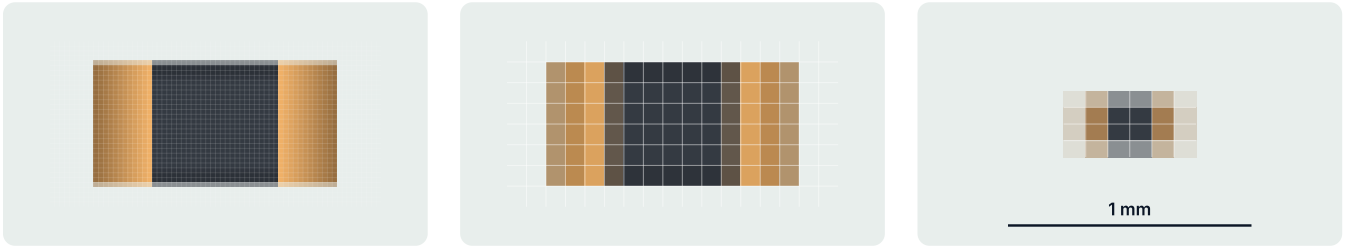
falskudkald eller gennemgangstimer skåret 60–90% (leverandørpåstande)

top-EMS internt benchmark: dækker ≥95% af flagrede komponenter, escapes <20 PPM, menneskelig gennemgang ned ≥85%

ved fejl til mennesker, linjen kører videre

Kilde: Siemens casestudie, iFactory (leverandørpåstand), DBGs årsrapport 2025; gennemgangstimer estimeret af forfatteren.

Et generelt kamera er ingen AOI



AOI: 8–20 µm pr. pixel
0402 ≈ 100×50 px

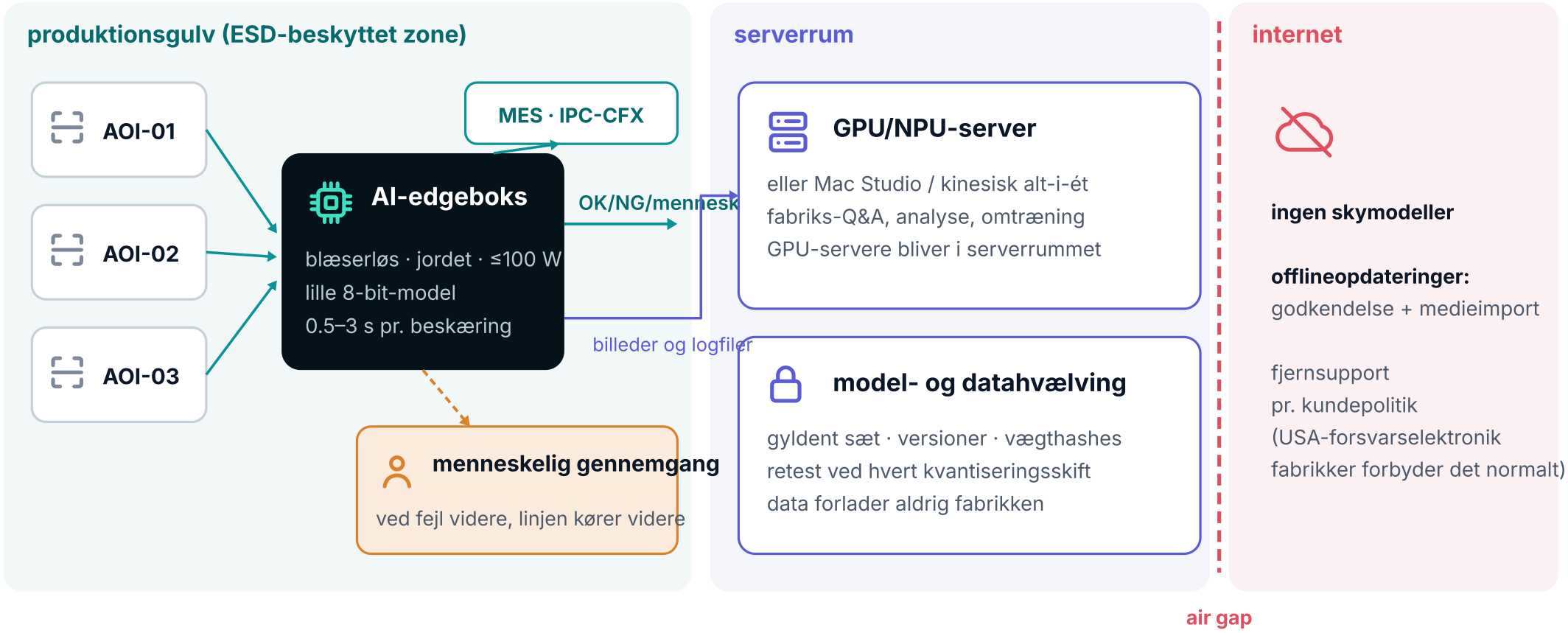
4K-kamera over et 300 mm-panel: ≈78 µm/px
0402 krymper til ≈13×6 px: nok til tilstedeværelse og grov forskydning

samme kamera på en 01005
≈5×3 px: i praksis usynlig

- **AOI:** 8–20 µm pr. pixel, flervinklet flerfarvet belysning og struktureret lys
- **4K over et 300 mm-panel:** ≈78 µm pr. pixel; en 0402 er ≈13×6 pixels, nok til tilstedeværelse, ikke til lodninger
- **01005:** ≈5×3 pixels, reelt usynlig
- **Så:** AI'en arbejder på AOI'ens egne billeder; den erstatter ikke optikken

Kilde: Circuits Assembly; forfatterens beregning for et 300 mm-panel og en 4K-sensor. Pixelnettene er illustrative.

En luftgappet implementering: boksen beslutter, serverrummet svarer



Kilde: Forfatterens syntese (kapitel 2).

Ren- og ESD-zoner afgør, hvor computerkraft står; hastighedsgrænser afhænger af anvendelsen

renhedskrav →

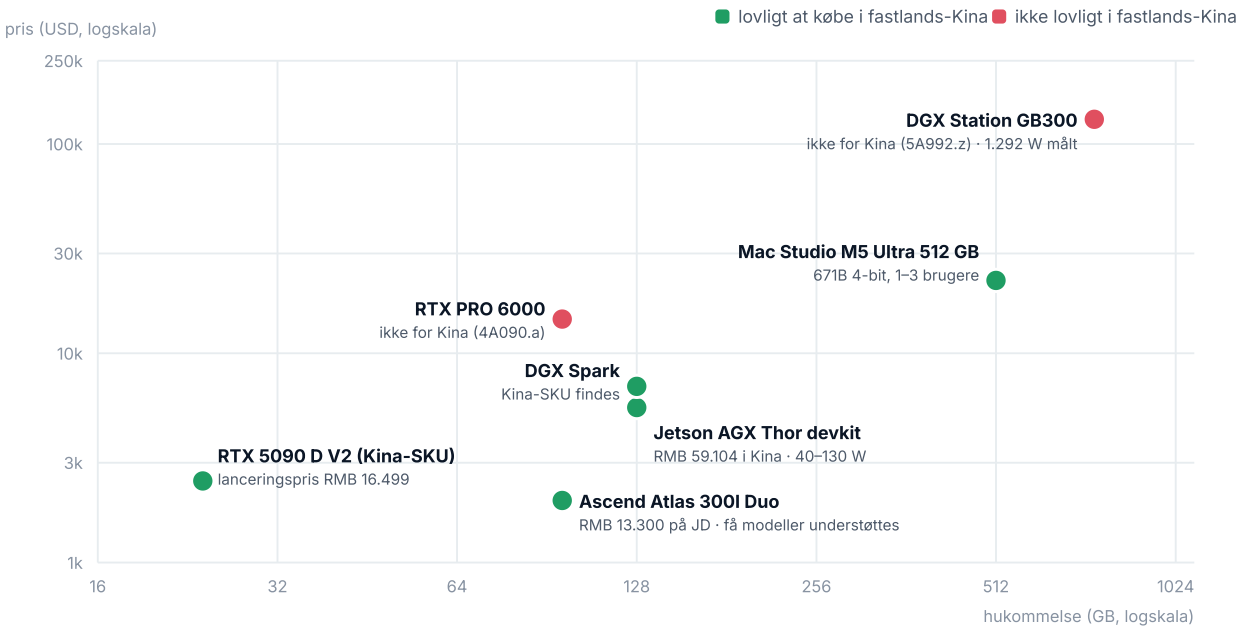
almindelig SMT/PCBA-hal	renrum ISO 7–8	mini-miljø ISO 5–6	fab, ISO 5 eller renere
ESD-beskyttet zone (≈ISO 8) RF 40–60%	medicinsk, kameramoduler, EV renrum + ESD	bar die, wire bond, optik mini-miljø	SEMI E78 ESD · E187/E188 cyber fab-specifikke planer
line-side beregning blæserløs, jordet metalboks ved AOI'en eller gennemgangspladsen	**line-side beregning** blæserløs, forseglet IP65/66, let at aftørre; bed om ISO 14644-14-data	**line-side beregning** kun kameraer og lys; regneboks udenfor	**line-side beregning** kun værktøjsintegrerede, fab-certificerede controllere
GPU/NPU-server serverrum eller klimatiseret IT-rack	**GPU/NPU-server** uden for renrummet, netværk ind	**GPU/NPU-server** serverrum	**GPU/NPU-server** væskekølede racks i subfab eller datacenter



Kernepunkt En almindelig SMT-hal er et ESD-beskyttet område, ikke et klassificeret renrum: en blæserløs boks i et jordet metalkabinet står ved AOI'en eller gennemgangspladsen, og GPU-servere kommer aldrig ud på linjen.

Kilde: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, SEMI-standarder og leverandørmateriale; sammensat af forfatteren. Forfatterens syntese (kapitel 1–2).

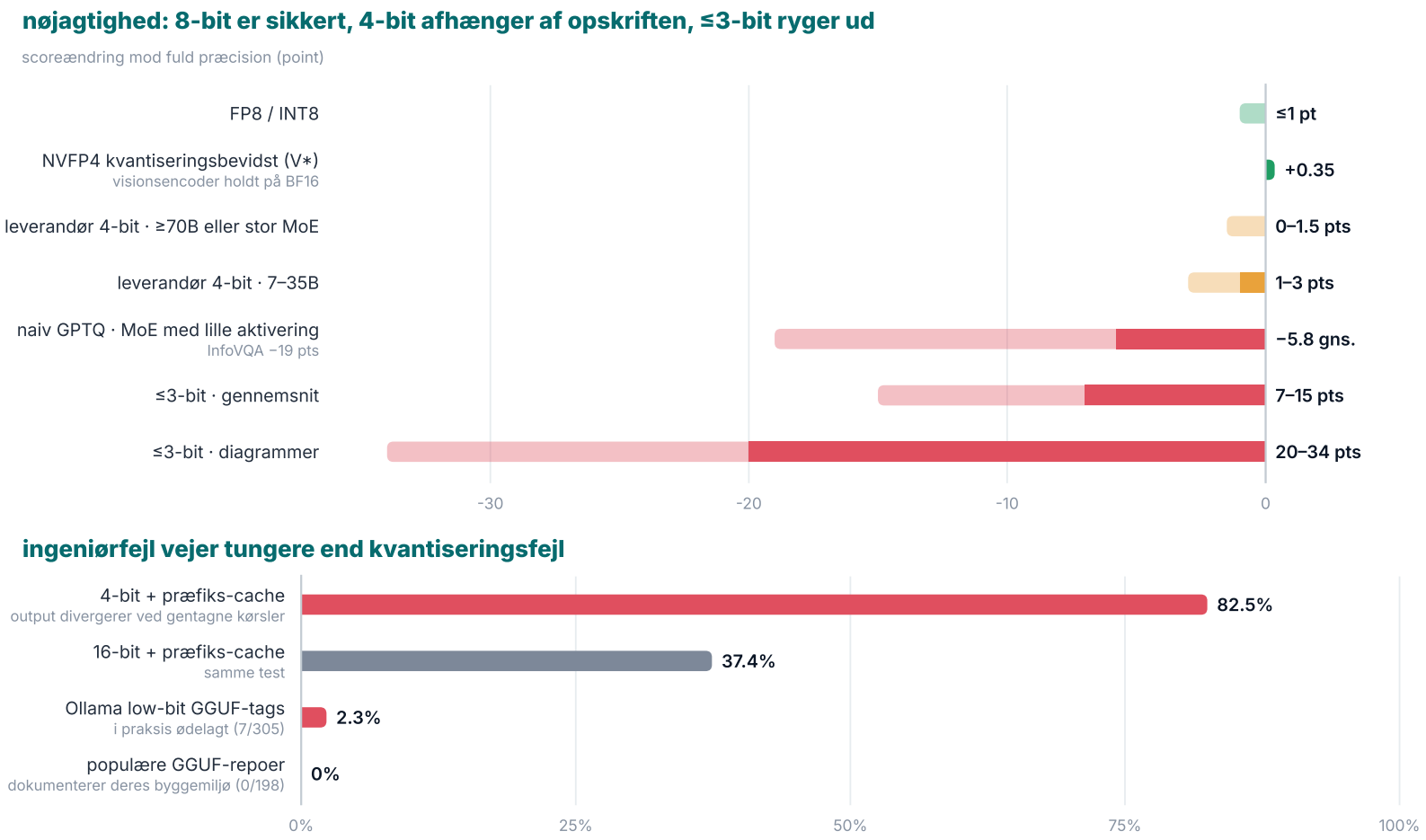
Eksportregler vælger hardwareshortlisten, før benchmarks gør



- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; 2–8B visionsmodeller på AOI-udsnit, VLA'er i 3B-klassen i realtid; RMB 59,104 i Kina
- **Mac Studio 512 GB:** DeepSeek 671B i 4-bit til 1–3 brugere
- **DGX Station:** 5A992.z, ikke til fastlandet; en 743B-model giver 32 brugere ≈4 tokens/s hver
- **Indenlandske acceleratorer:** to Ascend-servere med otte kort til fuldskala multi-bruger Q&A

Kilde: NVIDIAs eksportklassifikationer, Apple, RS China, JD.com og anmeldelsespriser (november 2026). StorageReview (aug og okt 2026); ServeTheHome. Uafhængige tests fra én kilde.

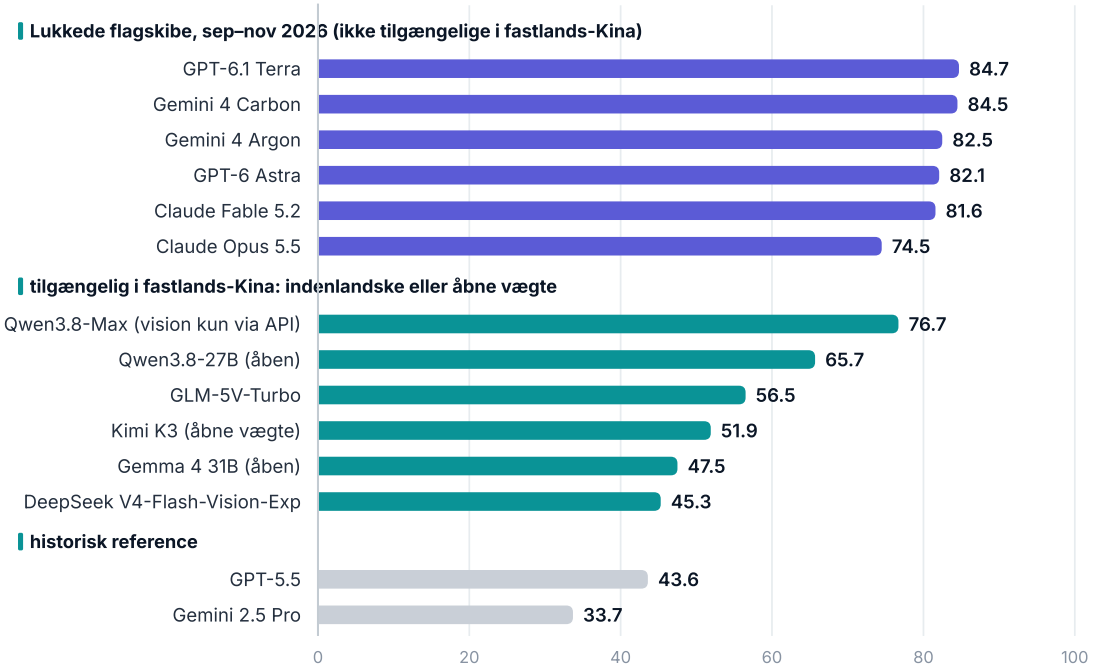
Kvantisering: 8-bit er sikkert, 4-bit afhænger af opskriften, 3-bit og lavere ryger ud



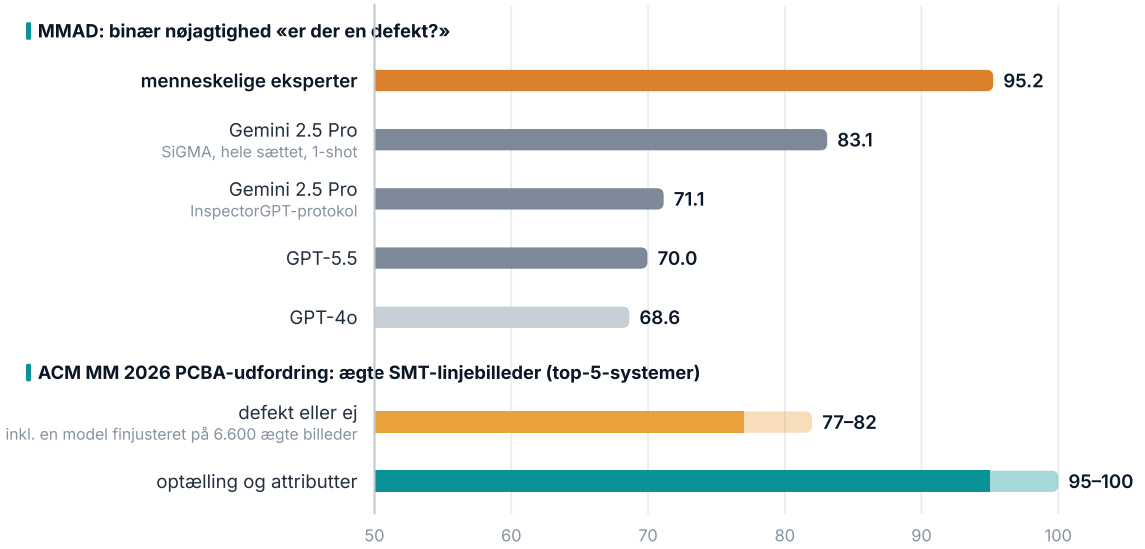
Kilde: NVIDIA Nemotron-modelkort, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 med flere.

Generisk syn fordobledes på en generation; industrielle defektscores mangler

Roboflow generisk detektion mAP@50



nøjagtighed eller score (%)



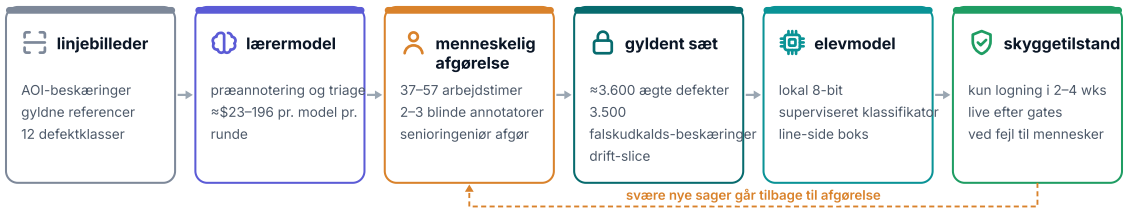
industrielle defektbenchmarks (MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): nul publicerede scores for disse 2026-flagskibe

generiske detektionsscores fordobledes på en generation, men det er ingen defektvurdering; test på dit eget gyldne sæt

Kilde: Roboflow Vision Evals; modeludgivelsesnoter; MMAD, MVTec AD 2 og andre benchmarksider (pr. 11. nov 2026). MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA-udfordring.

Frontmodeller præ-annotérer, mennesker afgør, et gyldent sæt gater

inspektion: frontmodellen præannoterer, mennesker afgør, et gyldent sæt gater

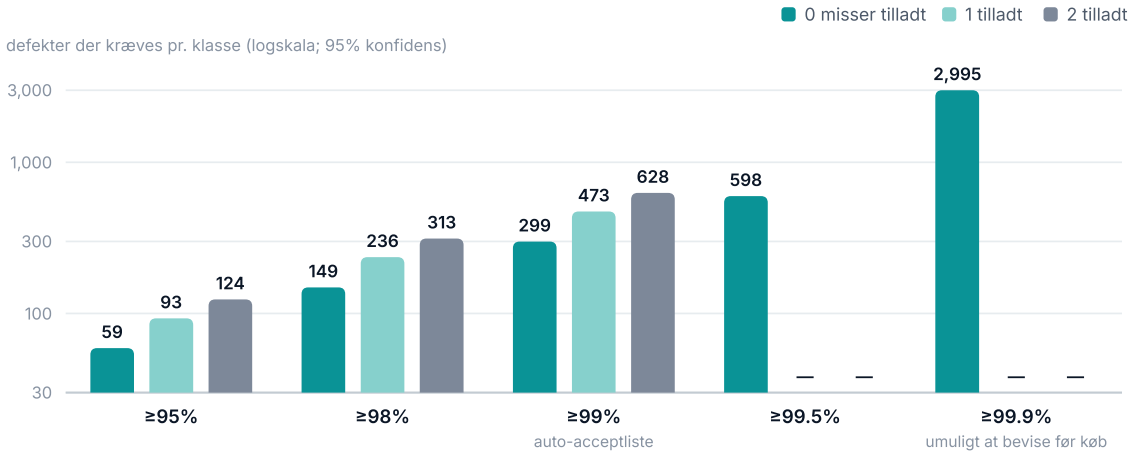


liste for automatisk accept af læreretiketter

pr. klasse: ≥299 defekter, nul misser (recall ≥99% ved 95% konfidens), overensstemmelse ikke dårligere end menneske–menneske; ellers kun præannotering

arme: lærerne er stadig menneskelige demoer, RL på rigtige robotter og simulering frontmodeller hjælper kun offline: programmering og omstillinger

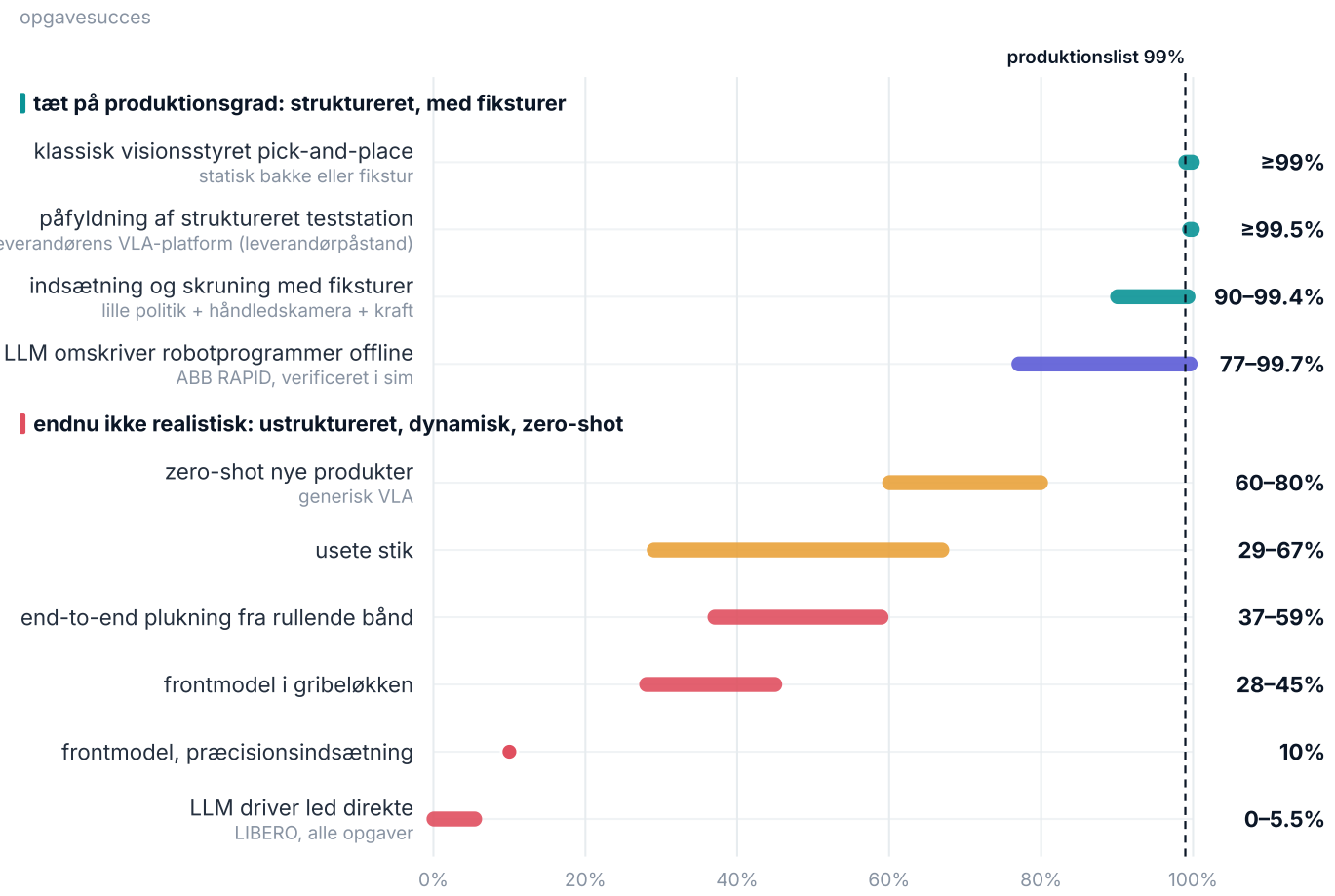


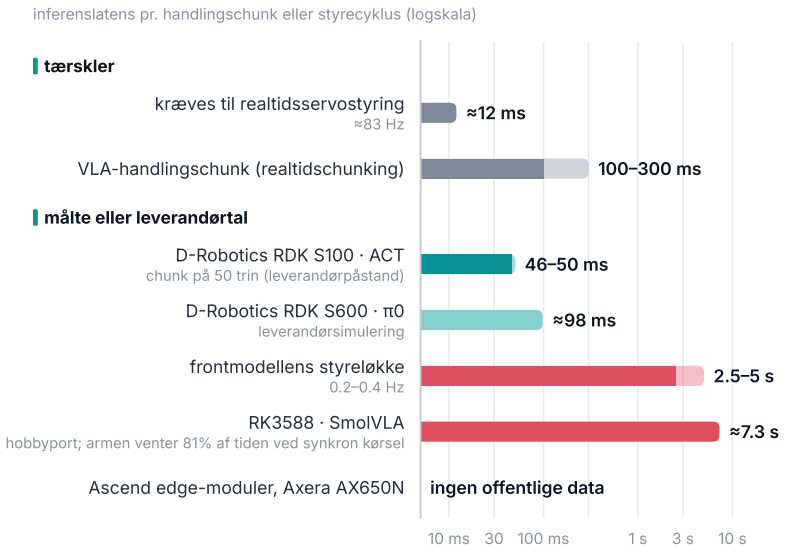


Kernepunkt Auto-acceptér lærerens annoteringer kun for en klasse med nul misser på ≥299 gyldne defekter (99% recall ved 95% konfidens); kritiske klasser som kortslutninger, manglende dele og polaritet kræver mere.

Kilde: Forfatterens syntese (kapitel 3); omkostninger og stikprøvestørrelser er estimater. Eksakte binomiale konfidensintervaller (95%).

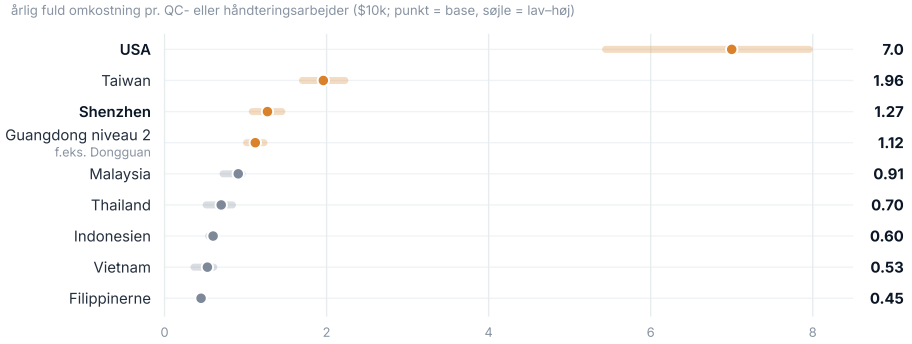
Robotelever: tæt på produktionsgrad kun når stationen er struktureret

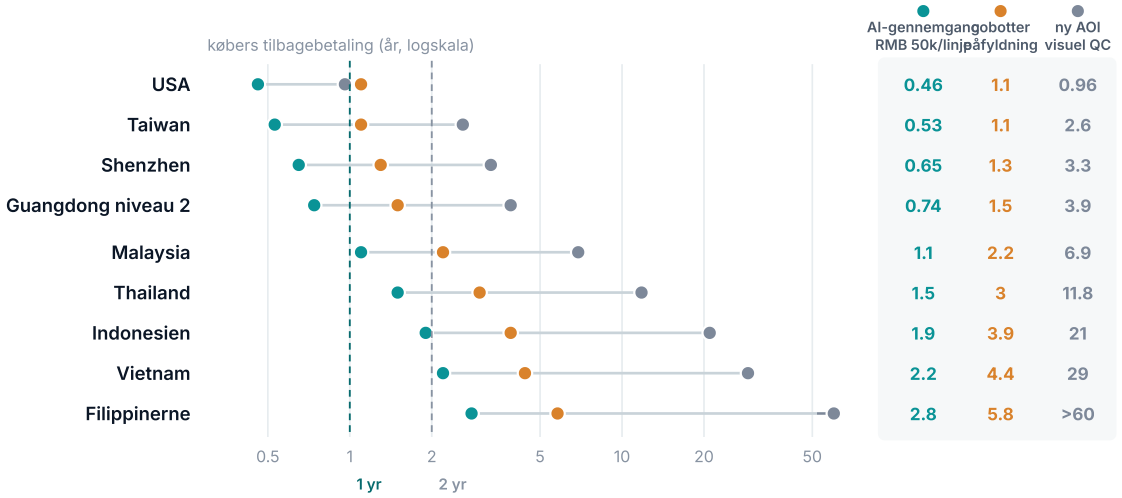




Kilde: Artikler og leverandørmateriale citeret i kapitel 3; nogle tal er leverandørpåstande. D-Robotics dokumentation og forum (leverandørtal); community-porte på GitHub; Anthropic-forskning.

AI-gennemgang tjener sig hjem på måneder; maskinbetjening på omkring et år



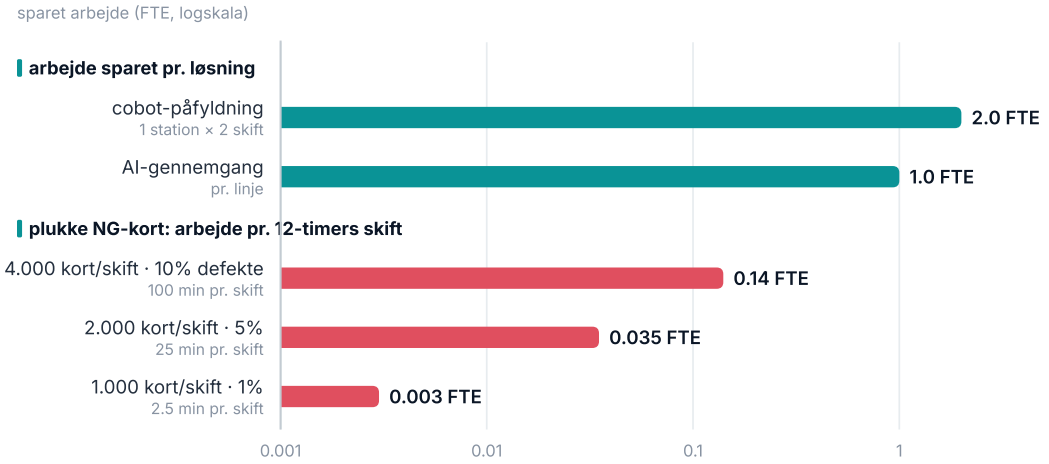


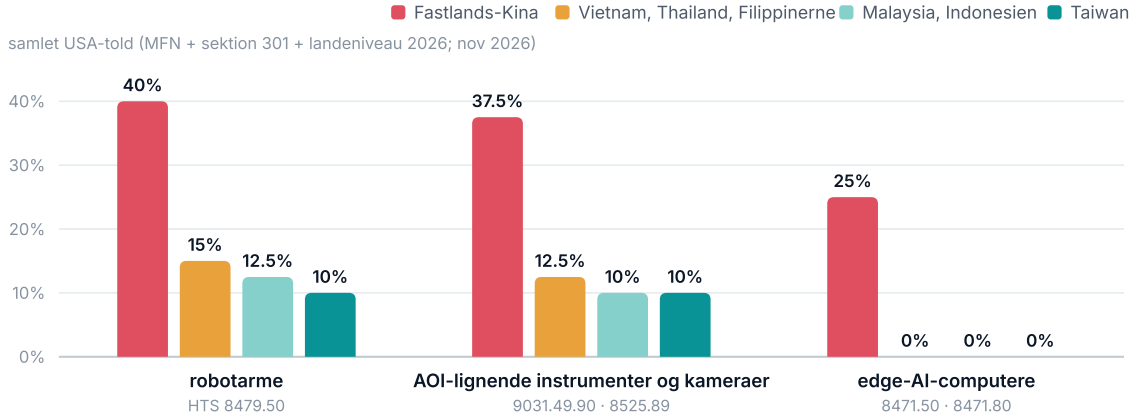
en robotarm kun til at plukke NG-kort ud betaler sig aldrig, nogen steder
ved first-pass yield over 90% tager udplukning kun 0.003–0.14 FTE pr. skift

Kernepunkt Ved RMB 50,000 pr. linje tjener AI-gennemgang sig hjem på 0.46 år i USA, 0.53 i Taiwan, 0.65 i Shenzhen og 2.2 i Vietnam; en to-skifts cobot-betjeningscelle på 1.1–1.5 år [estimates].

Kilde: Shenzhens officielle lønvejledning, Taiwans arbejdsministerium, JETRO, BLS; forfatterens estimater. Forfatterens model: RMB 50k AI-gennemgangsboks pr. linje; cobot-påfyldningscelle på RMB 200k eller $140k, to skift.

En udplukningsarm tjener sig aldrig hjem; hvor en arm er fremstillet ændrer dens USA-told





Kernepunkt Over 90% first-pass yield tager udplukning af NG-kort 0.003–0.14 af en person pr. skift, så en NG-afleder eller -buffer klarer opgaven; en fastlands-fremstillet arm betaler desuden omkring 40% samlet USA-told.

Kilde: Forfatterens estimater. USITC Harmonized Tariff Schedule kapitel 99; Federal Register; USTR (november 2026).

Reelt men lille: 16,000 adresserbare linjer, ≈RMB 320M engangs, et femårsvindue

SMT-linjer i Kina

40.000 linjer

35k–46k

× 80% × 50%

ingen AI endnu: 75–85%
nåbar: 40–60%

servicebar

16.000 linjer

10.5k–23.5k

× RMB 20k

RMB 10–30k engangs

engangsmarked

RMB 320M

RMB 105–705M

÷ ≈5 år

skrumper 8–12%/yr

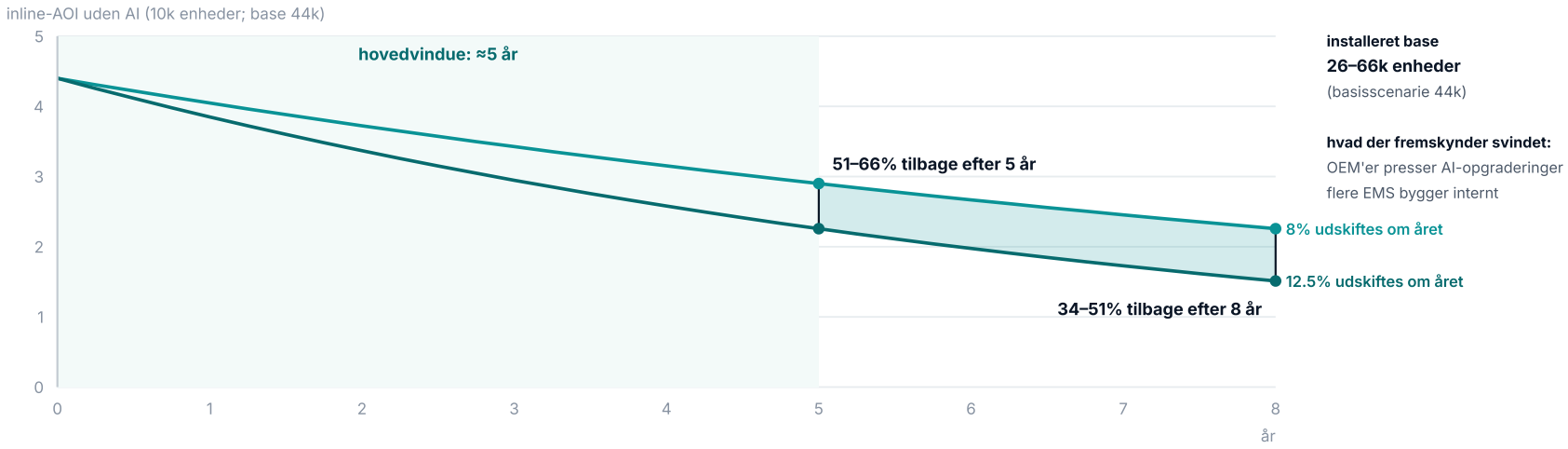
5-årsvindue

RMB 64M/yr

RMB 21–141M

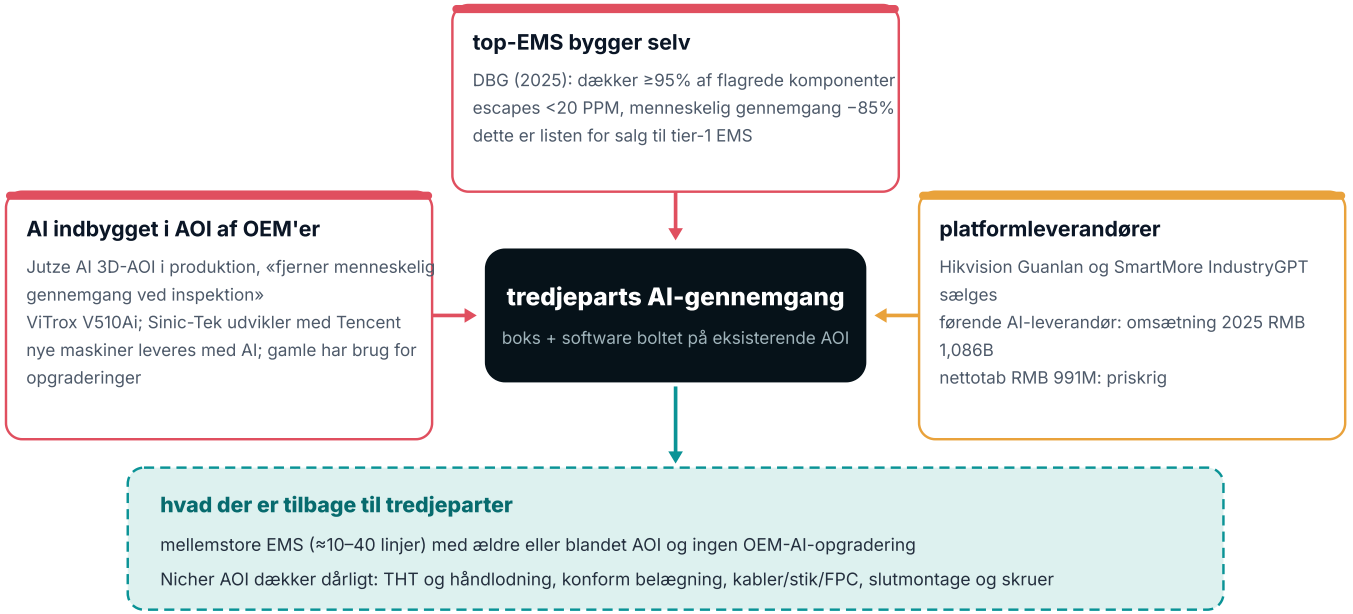
en nykommer, der tager 2–5% af servicebare linjer på 3 år: ≈320–800 linjer, ≈RMB 2–5M om året

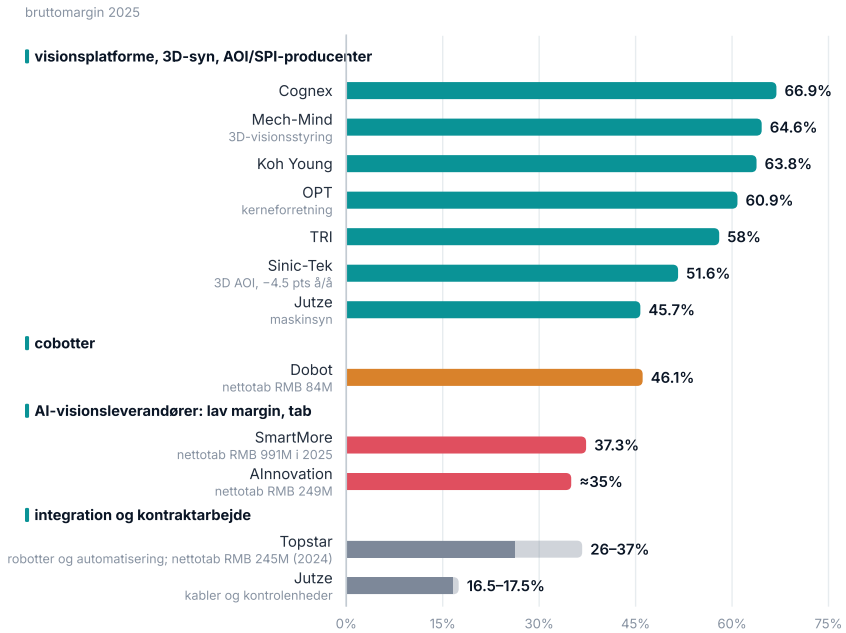
som abonnement (RMB 5k pr. linje pr. år): RMB 1.6–4M tilbagevendende, kun 0.3–2.3% af IDC's prognose for industriel AI-QC i Kina



Kilde: NVR (base 2020); forfatterens estimater. Forfatterens estimater; installeret base og andele ikke uafhængigt verificeret.

Gennemgangskilen er omringet; marginen sidder i produktiseret hardware

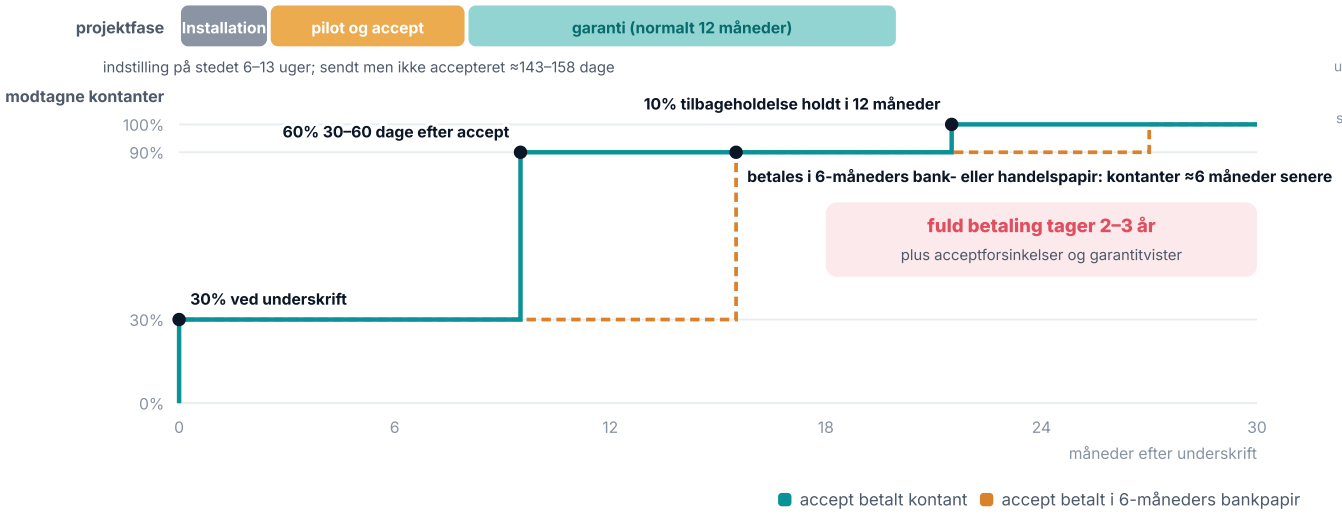


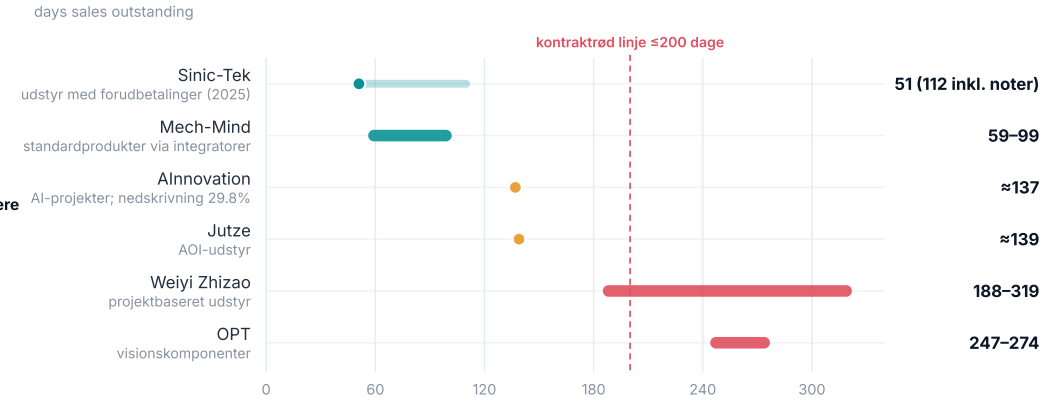


Evidens Den førende AI-vision-leverandør havde i 2025 en omsætning på RMB 1.086 milliarder og et nettotab på RMB 991 mio.; den nærmeste børsnoterede sammenlignings 3C-omsætning faldt 79.9% år-til-år i januar–maj 2026.

Kilde: Jutze, Sinic-Tek og DBGs årsrapporter; Hikvision og SmartMore offentligt materiale; sammensat af forfatteren. Årsrapporter eller prospekter 2025.

Købere betaler 30/60/10; fuld betaling tager to til tre år





Kernepunkt 30% kommer med ordren, 60% omkring fire til ni måneder senere og de sidste 10% omkring 16–21 måneder senere; fra et første pilotprojekt hos en stor EMS til fuld betaling kan der gå to til tre år [estimate].

Kilde: Sinic-Teks svar på forespørgsel, Mech-Mind, GKG, JT og andre dokumenter; skema på sædvanlige vilkår, tidspunkt estimeret. Selskabsdokumenter; tilgodehavender (inkl. kontraktaktiver) ÷ omsætning × 365.

Planlæg offline, agér med små politikker, hold bevægelse og sikkerhed deterministisk

Lag	hvad den gør, og hvor langt beviserne rækker	tidsskala · hvem ejer det
Planlægning L4	**frontmodeller (offline)** skrive eller ændre robotprogrammer offline, omstillinger, forklare fejl omskriver ABB RAPID-programmer til 77–99.7%, udrullet efter simulering styreløkken kun 0.2–0.4 Hz: holder sig uden for realtid	**sekunder til minutter** modelgiganter
færdigheder / politi L3	**ACT, diffusionspolitikker, små VLA'er** strukturerede stationer med fiksturer 90–99.4% edge-chips: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	**handlingschunks 100–300 ms** chipproducenter · robotproducenter
bevægelsesstyring L2	**robotcontroller** baner, servo, kraftregulering, kollisionskontrol deterministisk kode; indlærte politikker sætter kun mål	**millisekunder (realtid kræver >83 Hz)** robotproducenter
Sikkerhed L1	**sikkerheds-PLC, scannere, kraft- og hastighedsgrænser** certificeret efter ISO 10218-1/-2:2025 og lokale regler ingen ML i sikkerhedsfunktioner: EU-vurdering af bemyndiget organ fra 20. jan 2027	**hård realtid** certificeret robot + integrator

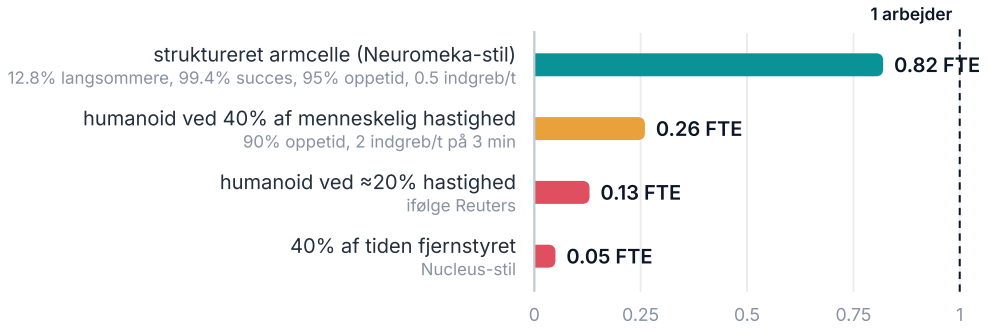
små virksomheder vinder i integration og sensorhardware: sæt indlært perception og små politikker ind i certificerede robotceller, station for station

	succesrate	takt	indgreb / fjernstyring	oppetid / fejl	volumenkørsel
Figure 02 @ BMW	kun mål >99%/skift	kun mål 84 s	kun mål 0/skift	i/a	1.250 h
Agility Digit @ GXO	i/a	i/a	i/a	i/a	100.000 kasser
Apptronik Apollo @ Mercedes	i/a	i/a	i/a	i/a	i/a
Agile ONE @ Audi	i/a	i/a	i/a	i/a	i/a
Nucleus (ikke navngivet fabrik)	i/a	i/a	≈40% fjernstyret*	i/a	≈2 h video
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	18–20 s pr. trin	i/a	én fejl, 2 min	64+ h
hybridcelle fra Neuromeka	322/324	12.8% langsommere	i/a	i/a	324 cyklusser
π0.6 @ kundelokation	—	—	96.4% autonom	i/a	1 skift

* metode ikke oplyst

oplyst (mest leverandørpåstande) · kun mål · i/a

netto erstattet arbejde pr. robot pr. skift



Kilde: forfatterens syntese (kapitel 3, 6) og estimater; ISO 10218:2025; EU's maskinforordning; offentligt materiale fra BMW, Figure, Agility, Mercedes-Benz og andre.

Byg snævert, bevis det på fabrikkens egne billeder, og skalér derefter

Byg	AI-gennemgang og defektklassifikation på AOI-billeder til mellemstore EMS med ældre eller blandede AOI-mærker; inspektion som AOI'en dækker dårligt; cobot-celler hvor hver del håndteres
Byg ikke	En generel AI-plus-arm-platform; en LLM som primær inspektør; en udplukningsarm på en SMT-linje; humanoider og robots-as-a-service; frontmodeller i styreløkker eller sikkerhedsfunktioner

Pilotprojekt

1. **Uge 0–2:** dataaftale, defektklasser, baseline
2. **Uge 1–4:** gyldent sæt, blindt annoteret og afgjort
3. **Uge 2–4+:** skyggetilstand, sammenlignet pr. klasse
4. **Uge 4–8:** assisteret kørsel kun på bestående klasser
5. **Derefter:** skriftlig accept, skalér linje for linje, revalider ved enhver ændring

Sikkerhed Ingen machine learning i sikkerhedsfunktioner: EU kræver vurdering af bemyndiget organ fra 20. januar 2027, og AI-certificeringsveje falder ikke på plads før 2027–2029.

Kilde: rapportens kapitel 6–7 og resumé; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC og nationale reguleringsdatabaser.

OM FORFATTEREN

Tan Shuai

Teknolog og grundlægger, med mere end tyve års erfaring på tværs af chips, hardware og systemsoftware samt 20 tildelte patenter. Hans arbejde har ført ham gennem Silicon Valley, New York, Chicago, Taiwan, Greater Bay Area (Shenzhen og Hongkong), Vietnam og Malaysia, med et mangeårigt fokus på avanceret fremstilling og forsyningskæder. I dag arbejder han som AI-forsker og -udvikler med fokus på, hvordan AI bruges på fabriksgulvet.

Den fulde rapport (alle figurer, tabeller og kilder) og artiklen findes på tanshuai.com. Han tager gerne imod samtaler med folk, der arbejder med AI i fremstilling: i@tanshuai.com

