

Strategiska tekniker för Sverige

Analysunderlag 2026

Utgivare: Vinnova – Sveriges innovationsmyndighet

Titel: Strategiska tekniker för Sverige – Analysunderlag 2026

Författare: Karl Hallding

Produktion: Spoon Agency

Utgiven: 5 oktober 2026

IBSN-nummer: 978-91-89905-54-2

Diarienummer: 2025–01649

Innehållsförteckning

1	En föränderlig teknikvärld kräver nya sätt att analysera.....	12
1.1	Uppdraget och den förändrade teknikfronten	12
1.2	Vad ST26 tillför.....	14
2	Så har analysen genomförts	16
2.1	Från analysfrågor till en gemensam analysmodell	17
2.2	Sökstrategi för ST26.....	17
2.3	Från observationer till teknikkonvergens	20
2.5	Mänsklig analys och AI i samspel	22
3	En överblick över teknikkonvergens	24
3.1	Nio arenor – en karta över konvergenslandskapet	24
3.2	Nya funktioner genom teknisk samverkan	26
3.3	Konvergenszonernas roller i landskapet	28
3.4	Fyra framträdande systemsammanhang	28
4	Nio strategiska arenor.....	31
4.1	Digital infrastruktur och säkra nätverk	31
4.2	AI-beräkning, halvledare och fotonik.....	33
4.3	AI-metoder, agenter och syntetiska medier	35
4.4	Autonomi, robotik och perception	37
4.5	Kvantteknik.....	39
4.6	Bioteknik, biosensorer och bioproduktion.....	41
4.7	Energi, klimat och cirkulära resurser	43
4.8	Rymd, flyg och försvar	45
4.9	Avancerad tillverkning och material	47
5	Internationella aktörer, ekosystem och beroenden	49
5.1	Forskningens geografi och internationella relationer	49
5.2	Företag, investeringar och industriella ekosystem	54
5.3	Värdekedjor, beroenden och flaskhalsar	57
5.4	Policy som formar kapacitet, tillgång och marknader	61

6	Sveriges position och handlingsutrymme	65
6.1	Sveriges forskningsposition	65
6.2	Svenska styrkor, luckor och möjliga roller	68
6.3	Europeiskt och internationellt samarbete	72
6.4	Strategiska slutsatser för Sverige	75
7	Svenska möjligheter i framtidens teknik- och marknadslandskap	76
7.1	Svenska möjligheter i fyra framtider	76
7.2	Framväxande affärsmodeller och svenska möjligheter	80
7.3	Dubbel användning och nya säkerhetsmarknader	84
7.4	Slutsatser för svenskt handlingsutrymme	87
8	Från årlig rapport till löpande strategisk teknikanalys	89
8.1	En analysförmåga att bygga vidare på	89
8.2	Fördjupad analys av ekosystem och värdeskapande	90
8.3	Datatillgång och en hållbar infrastruktur	91
8.4	Gemensamt ansvar och anpassad åtkomst	93
8.5	Utveckling genom konkreta tillämpningar	94

Förord

Vinnova har regeringens uppdrag att löpande analysera strategiskt viktiga tekniker för Sverige. Den här rapporten ingår i arbetet med excellenskluster för banbrytande och strategisk teknik och bygger vidare på analyserna från 2024 och 2025. Årets rapport riktar särskild uppmärksamhet mot hur tekniker samverkar, vilka möjligheter som växer fram och vad utvecklingen betyder för Sveriges position och strategiska beroenden. Samtidigt har vi utvecklat en analysmodell och ett arbetssätt som gör det möjligt att föra samman kunskap från olika källor och använda den i kommande analyser.

Ett varmt tack till de kollegor som bidrog till att utforma analysfrågorna eller lämnade sakkunniga synpunkter under arbetets gång: Ann-Mari Fineman, Nannan Lundin, Daniel Johansson, Liselott Bergman och Annika Zika-Viktorsson inom Strategisk omvärldsanalys samt Ulf Öhländer, Jeannette Dypbukt, Fredrik Weisner, Erik Borälv och Lennart Stenberg. Deras frågor och återkoppling har hjälpt oss att utveckla och pröva inriktning och slutsatser.

Arbetet har också byggt på ett nära samarbete med externa partner. Tomas Larsson och kollegorna vid Dcipher Analytics har bidragit till metodutvecklingen och den omfattande AI-stödda insamlingen och bearbetningen av omvärldsunderlag. Miguel López vid Klared har bidragit till analysmodellen, struktureringen av materialet och visualiseringarna. Hans kollega Benjami Parellada har arbetat med forskningsdata från OpenAlex och analyser av forskningens internationella mönster. Vid Capgemini har Ana Perunicic bidragit till den tekniska analysplattformen och Tobias Fasth till arbetet med kunskapsgraf och ontologi.

Darja Isaksson

Generaldirektör, Vinnova

Göran Marklund

Direktör, Strategisk omvärldsanalys

Sammanfattning

Sveriges framtida position inom strategisk teknik avgörs inte enbart av var vi har stark forskning eller framstående företag. Den avgörs av vilka roller svenska aktörer kan ta när tekniker förenas till större system. Den avgörs också av deras möjligheter att utveckla produkter, nå kunder och få tillgång till resurser i andra länder. Sverige har betydelsefulla positioner inom högteknologiska områden som mobilnät, elöverföring, biologiska processer och specialiserade komponenter. Men dagens starka position är ingen garanti för inflytande över nästa generations lösningar.

Utmaningen, och den stora möjligheten, ligger i att använda dagens styrkor när nya tekniska system och affärer växer fram. AI-baserade tillämpningar öppnar möjligheter att knyta samman teknik, data och verksamheter på nya sätt. Det kan bidra till robustare elnät där lokala delar samverkar, till produktion nära kunden med digitala produktionsunderlag som grund, till biologiska processer som kan anpassas och användas i flera fabriker, och till AI-agenter som förändrar hur kunder hittar och väljer erbjudanden.

Här finns två strategiska roller. Den ena är att hålla ihop teknik och aktörer till lösningar och tjänster som skapar värde för kunderna. Den andra är att leverera särskilda material, komponenter eller processer som är kritiska för att större system ska fungera. Sverige har förmågor som ger ingångar till båda rollerna. För att de ska bli varaktiga positioner behöver svenska företag och forskningsmiljöer vara med när systemen och marknaderna formas. Då kan de vidareutveckla sina erbjudanden, bygga kundrelationer och påverka nästa generations lösningar.

Rapporten undersöker dessa möjligheter genom en global kartläggning av hur framväxande tekniker samverkar. Analysen förenar ett systematiskt insamlat omvärldsunderlag med vetenskapliga publikationer från OpenAlex samt underlag om företag och investeringar. Den identifierar 50 konvergenszoner där tekniker samverkar för att skapa nya funktioner. Zonerna grupperas i nio strategiska arenor som ger överblick över större tekniska sammanhang. Tillsammans ger underlagen en lägesbild av Sveriges möjligheter, styrkor och beroenden inom det studerade tekniklandskapet. Bilden är inte fullständig eller slutgiltig: källornas täckning varierar, och bedömningarna behöver kunna omprövas när nya belägg och förutsättningar tillkommer.

Globala beroenden ger länder olika inflytande

Kina har kraftigt stärkt sin ställning i den forskning som kartläggningen omfattar. För tio år sedan var Kinas, USA:s och EU:s publiceringsvolymen ungefär lika stora. Sedan dess har Kinas volym sexdubblats, medan USA:s och EU:s har vuxit till drygt två och en halv gång utgångsnivån. EU har fortsatt en bred forskningsbas och en särskilt stark ställning inom kvantteknik. Trots en skärpt geopolitik och teknikkapplöpning visar de studerade forskningssamarbetena mellan USA, Kina och EU ännu ingen bred tillbakagång, även om publiceringens eftersläpning kan dölja senare förändringar.

Den industriella utvecklingen förenar förmågor från flera länder. Utbyggnaden av AI är beroende av amerikansk kretsdesign, avancerad tillverkning i Taiwan, minnen från Sydkorea samt utrustning, optik och specialmaterial från Europa och Japan. Inom batterier har Kina byggt en bred kedja från materialförädling till celltillverkning. Inget land är helt självförsörjande, men förutsättningarna att påverka de globala värdekedjorna skiljer sig kraftigt. Europas ställning inom halvledarutrustning visar hur kontroll över ett specialiserat led kan ge inflytande långt utanför den egna marknaden.

Den som kontrollerar ett kritiskt led kan påverka andra aktörers tillgång till teknik och möjligheter att utvecklas. Exportvillkor och säkerhetskrav gör sådana beroenden geopolitiskt betydelsefulla. Brist på kapacitet kan också bromsa hela system. För AI gäller det bland annat avancerad kapsling, där kretsar byggs samman, och elanslutning för datacenter.

För Sverige följer två sammanhängande slutsatser. Egen teknisk spets får större strategisk betydelse när internationella kunder och partner behöver den. Samtidigt måste tillgången till de resurser som den svenska utvecklingen är beroende av kunna upprätthållas när villkoren förändras.

Tre vägar till starkare svenska positioner

Sverige har en omfattande forskningsbas i förhållande till sin befolkning. Kvantteknik framträder särskilt tydligt, tillsammans med biologisk forskning och flera områden inom energi, material och tillverkning. Inom robotik är den industriella ställningen starkare än publiceringsvolymen antyder. Svensk AI-forskning har vuxit kraftigt, men andra länders snabbare tillväxt har ändå försvagat den relativa forskningspositionen något. De unga AI-företagens internationella affärer visar samtidigt att nya marknadspositioner kan utvecklas även när den nationella forskningsbasen är betydligt mindre än stormakternas.

De två systemrollerna kan, tillsammans med möjligheten att utveckla egna lösningar, omsättas i tre vägar för att stärka svenska positioner:

- **Utveckla egna lösningar för nya marknader.** Svenska AI-företag når internationella kunder med verktyg för juridik och programvaruutveckling. De bygger på tillgängliga modeller men förenar dem med verksamhetskunnande och egna kundrelationer, vilket ger utrymme att utveckla affären även när stora plattformar ändrar villkoren.
- **Orkestrera hela funktioner och system.** Svenska styrkor inom mobilnät, robotik, elöverföring och försvar ger möjlighet till systemroller i nästa generations lösningar. Det gäller även nya affärsmodeller som kan växa fram kring sammanlänkade elnät och länkning av biologisk mätning med processutveckling och uppskalning.

- **Leverera material och komponenter som är svåra att ersätta.** Reningsmaterial för biologiska läkemedel, halvledarmaterial, kvantkomponenter och metallpulver för 3D-printning är exempel på specialiserade leveranser. När de fyller kritiska funktioner kan svenska aktörer få inflytande över större systems fortsatta utveckling

Vägarna kan förstärka varandra: nya system och tjänster skapar efterfrågan på specialiserad teknik, som i sin tur möjliggör bättre erbjudanden. En svensk satsning får därför större genomslag när forskningsmiljöer och företag kan knyta sitt kunnande till kunder och utvecklingsuppdrag.

Sveriges beroende av internationella resurser kvarstår längs alla tre vägarna. Avancerade kretsar, minnen och tillverkningsled behöver hämtas från andra länder. Europeiska beräkningsresurser och forskningssamarbeten ger kapacitet som svenska miljöer har svårt att bära själva. Industrins internationella ägande gör också utvecklingsansvaret strategiskt viktigt. När svenska verksamheter ansvarar för kommande produkter och har kunnande som en global systemleverantör behöver, ökar deras möjligheter att utveckla sin kompetens och påverka framtida investeringar.

Förmågeprofilerna visar var Sverige har kapacitet att bygga vidare och vilka särskilt starka nischer som finns inom de nio arenorna. Dessa styrkor kan få nya användningar när förändrade affärsmodeller påverkar vad kunderna köper och hur leverantörerna samarbetar.

Sveriges förmågor i nio teknikarenor

Samlad kapacitet och särskilt starka nischer

Tillförlitlig digital infrastruktur och säkra nätverk



Mobilnäten bär en stark svensk industriposition. Kunskan för ena radio, programvara och utveckling av hela nät.

- Industri: mobilnätutrustning
- Värdekedja: systemansvar i mobilnät

Autonomi, robotik och perception



Svensk robotutveckling når en global marknad. Forskningens omfattning och citeringar ger delvis olika bilder av styrkan.

- Industri: samarbetande robotar
- Värdekedja: samarbetande robotar

Energi, klimat och cirkulära resurser



Sverige har forskning och industri inom flera energitekniker. Elöverföring ger en särskilt stark roll i internationella system.

- Industri: likströmsöverföring
- Värdekedja: likströmsöverföring

AI-beräkning, halvledare och fotonik



Forskning och specialister ger ingångar till AI-hårdvara. Avancerade kretsar och minnen tillverkas främst utomlands.

Kvantteknik



Forskningen är stark i förhållande till landets storlek. Industrins internationella roller finns främst i komponenter till kvantsystem.

- Industri: hårdvara till kvantkretsar
- Värdekedja: kvantkomponenter

Rymd, flyg och försvar



Svenska styrkor finns i avancerade flyg och försvarssystem samt i provning av rymdteknik. Forskningsnivån är mer osäker.

- Industri: flygburet telekrig
- Infrastruktur: raketprovning, Esrange

AI-metoder, agenter och syntetiska medier



Svenska AI-företag når internationella kunder med egna tjänster. Affärerna bygger också på tillgång till stora teknikplattformar.

Bioteknik, biosensorer och bioproduktion



Forsknings- och provmiljöer ger en bred bas. Material som renar biologiska produkter ger en viktig internationell leverantörsroll.

- Industri: reningsmaterial
- Värdekedja: reningsmaterial

Avancerad tillverkning och material



Materialkunnande och industriell provning ger en bred bas. Metallpulver öppnar affärer inom avancerad 3D-printning.

- Industri: metallpulver för 3D-printning
- Värdekedja: metallpulver

— Samlad position ♦ Avgäransad spets ○ Särskilt osäker nivå

Skala 0-10: 2 begränsad - 4 etablerad - 6 konkurrenskraftig - 8 ledande grupp - 10 globalt ledande.

Teknisk infrastr. = resurser för utveckling och provning. Internat. = internationella samarbeten och tillgång till resurser. Värdekedja = betydelse för andra aktörers verksamhet.

Tillämpning = förmåga att omsätta teknik hos användare och beställare.

Bedömningarna gäller rapportens främmande tekniker. Samma nisch kan ge spets i flera dimensioner.

Underlag: OpenAlex, företagsdata och rapportens omvärldsanalys. Analys: Vinnova.

Nya affärsmodeller förändrar vem som når kunden

Affärsmodellen avgör vad kunden betalar för, vem som ansvarar för resultatet och hur leverantörerna får betalt. Internationella försök och tidiga erbjudanden ger konkreta tecken på affärsmodeller som kan öppna nya marknader, även om deras genomslag ännu är osäkert. Fyra exempel visar potentialen:

- **Decentraliserade elnät som kan byggas ut stegvis.** Lokala nät med produktion och lagring kan kopplas samman genom digital styrning och kraftelektronik. Det öppnar för operatörer som samordnar energiflöden och säljer drift och tillgång till kapacitet. Svenskt kunnande inom elteknik och systemintegration kan då omsättas i helhetslösningar, styrtjänster och specialiserad utrustning.
- **Svenska produkter som tillverkas nära kunden.** En digital produktdefinition kan samla konstruktion, materialkrav och tillverkningsvillkor för en komponent eller en hel produkt. Svenska företag kan behålla produktkunnande och licensrättigheter medan kvalificerade lokala partners tillverkar och monterar nära kunden. Skräddarsydda insatsvaror, exempelvis avancerade metallpulver, och kvalitetssäkrade processer kan ge ytterligare affärer. Intäkter kan komma från licenser, materialleveranser och återkommande kvalitetstjänster.
- **Biologiskt processkunnande som kan användas i flera fabriker.** En utvecklare av exempelvis livsmedelsproteiner kan köpa en fungerande produktionsprocess och hjälp att skala upp den. Teknikleverantören kan nå fler kunder genom att licensiera kunnandet till företag med egna anläggningar. Svenska styrkor inom processutveckling, rening och provning skapar förutsättningar för både initiala teknikleveranser och återkommande försäljning av material och tjänster.
- **AI-agenter som blir kundens inköpare.** När agenter söker, jämför och förbereder köp kan nya tjänster växa fram kring hela inköpsuppgiften. Svenska företag med kunnande om handel, betalningar och kundernas verksamhet kan utveckla specialiserade agenter och tjänster för tillförlitliga produktdata. Inflytande över agentens urval kan ge en stark kundposition; samma möjlighet lockar de stora plattformarna.

Den strategiska betydelsen kan ligga både i orkestreringen av ett erbjudande och i de resurser som erbjudandet är beroende av. Den som håller ihop teknik, leverantörer och kundrelationer kan påverka lösningens utformning och hur intäkterna fördelas. Den som behärskar en svårersättlig komponent, ett material eller en process kan samtidigt få förhandlingsstyrka genom att andra behöver dennes bidrag. Svenska aktörer kan förena de båda rollerna.

Civil-militär innovationssamverkan – en strategisk förmåga

Växande försvars- och säkerhetsbehov öppnar delvis nya marknader. Kommunikation under störningar, avancerad sensorik och noggrann tidhållning har konkret betydelse för både civila och militära tillämpningar. Svensk försvarsindustri, civila teknikföretag och forskning ger en grund för att nå båda kundgrupperna.

Civil-militär innovationssamverkan kan ge yngre företag tillträde till provmiljöer och utvecklingsuppdrag. Den avgörande förflyttningen är från enskilda försök till återkommande beställningar som möjliggör fortsatt utveckling. Internationella samarbeten breddar marknaden, men ställer också krav på forskningssäkerhet och ansvarsfull hantering av känslig kunskap. Vilka vägar som står öppna beror också på hur den internationella ordningen utvecklas.

Olika framtider ställer olika krav på svenska positioner

Med fyra scenarier för 2035 prövas hur svenska styrkor kan bidra till konkurrenskraft, säkerhet och resiliens. Scenarierna har tagits fram av Vinnova, Försvarmaktens militära underrättelse- och säkerhetstjänst (Must) och Försvarshögskolan. De beskriver framtider där olika världslogiker formar villkoren för svensk utveckling:

- **Internationell samordning ökar värdet av tidigt inflytande över gemensamma krav.** Gemensamma spelregler för klimatomställning och handel gör det lättare för svenska specialister att nå flera marknader, exempelvis inom mobilnät och elöverföring. Företag som medverkar när gränssnitt och provningskrav formas får bättre förutsättningar att behålla sin roll när systemen växer.
- **Regionala samarbeten gör svensk spets mer efterfrågad.** När tillgång till teknik och marknader knyts till betrodda partner kan svenska halvledarmaterial, nätfunktioner och biologiska processer fylla kritiska behov i Europas gemensamma kapacitet. Tidigt inträde i utvecklingsprogram och leverantörsled blir viktigt, eftersom större länders företag kan få ett försprång genom nationella beställningar och industrisatsningar.
- **Dominerande teknikplattformar gör kundrelationer strategiskt viktiga.** Plattformarna ger tillgång till teknik och marknader men kan också ta över lönsamma funktioner eller ändra leveransvillkoren. Eget produktkunnande och möjlighet att byta modell- eller driftleverantör stärker svenska företags förmåga att utvecklas på egna villkor.
- **Återkommande kriser gör uthållig funktion till en del av erbjudandet.** Konflikter, klimatrelaterade störningar och bristande försörjning gör reparerbarhet, reservdelar och fortsatt drift centrala för kunderna. Svenska styrkor inom kommunikation, elförsörjning och försvar kan möta behoven genom lösningar som går att finansiera, införa och hålla igång även under svåra förhållanden.

Scenarioanalysen pekar på en gemensam slutsats: svensk specialisering blir mer uthållig när den förenas med inflytande över produktutvecklingen, egna kundrelationer och alternativa vägar till kritiska resurser. Satsningar som stärker dessa förmågor ger Sverige större handlingsutrymme när regler, leverantörer eller säkerhetsvillkor förändras.

En kunskapsbas för beslut medan utvecklingen går att påverka

Rapportarbetet har lagt grunden till en metodik och en kunskapsbas som kan vidareutvecklas och användas för nya analyser. Det ger möjlighet att upptäcka framväxande affärsmodeller och ompröva tidigare bedömningar när exempelvis teknikåtkomst, kundrelationer eller produktionskapacitet förändras.

Regeringskansliet, myndigheter och andra kunskapsmiljöer kan därmed få en gemensam strategisk resurs för att rikta satsningar, hantera kritiska beroenden och stärka svenska aktörers positioner på nya marknader.

1 En föränderlig teknikvärld kräver nya sätt att analysera

Tekniska genombrott handlar allt oftare om hur olika tekniker kombineras i större system. Nya funktioner och tillämpningar växer fram i mötet mellan kunskapsområden, komponenter, infrastrukturer och aktörer som tidigare ofta analyserades var för sig.

Utvecklingen förändrar vad ett kunskapsunderlag om strategiska tekniker behöver visa. Det räcker inte att bedöma vilka individuella teknikområden som växer snabbast och hur svensk forskning står sig inom dessa områden. Analysen behöver också fånga hur tekniker samverkar, vilka aktörer som formar utvecklingen och var kontrollen över viktiga resurser, infrastrukturer och delar av värdekedjorna finns. Först då går det att bedöma Sveriges position och handlingsutrymme i det internationella tekniklandskapet.

1.1 Uppdraget och den förändrade teknikfronten

Regeringen har gett Vinnova i uppdrag att årligen vidareutveckla kunskapsunderlaget om strategiskt viktiga tekniker för Sverige. Underlaget ska bygga på omvärldsanalys, en samlad bedömning av svenska styrkor och behov, samt dialog med berörda aktörer. Det ska bidra till en internationell överblick över Sveriges position och ge stöd för prioriteringar inom forskning, innovation och de färdplaner som tas fram inom satsningen på excellenskluster för banbrytande teknik. Regeringen framhåller också behovet av datadrivna metoder, fler datakällor och framsyn, eftersom förändringar i teknik, vetenskap och omvärld gör att behov och prioriteringar måste kunna omprövas återkommande.¹

Uppdraget har en bred strategisk utgångspunkt. Teknisk förmåga har betydelse för näringslivets konkurrenskraft och investeringar, men också för nationell säkerhet, klimatomställning, resiliens och möjligheten att omsätta forskning i nya varor och tjänster. För Sverige innebär det att utveckla områden där landet redan har en stark position. Men det handlar också om att bygga förmåga inom framväxande teknik där svenska aktörer behöver kunna bidra, samarbeta eller säkra tillgång till viktig kunskap och infrastruktur.

2025 års analys visade att Sverige har styrkor inom många teknikområden, men också att landets möjligheter i hög grad formas av internationella forskningsmiljöer, företag och värdekedjor. Analysen pekade också på hur teknikkonvergens har blivit en allt viktigare faktor. Innovationer bygger sällan på en enda teknik. De växer fram när tekniker, kompetenser och andra resurser kombineras så att nya funktioner och tillämpningar blir möjliga.²

¹ Regeringen (2025). Uppdrag till Verket för innovationssystem att genomföra insatser för samverkansbaserad forskning och innovation inom excellenskluster för banbrytande och strategisk teknik. Regeringsbeslut den 28 maj 2025, KN2025/01161.

² Vinnova (2025). Strategiska tekniker för Sverige: Analysunderlag 2025. Vinnova, rapport publicerad den 15 december 2025. ISBN 978-91-89905-37-5.

Mot denna bakgrund bygger 2026 årsanalys på tre övergripande utgångspunkter:

- **Teknikutvecklingen blir mer systemberoende.** Framsteg inom ett område förutsätter ofta utveckling inom flera andra. Mer kraftfull AI kräver inte bara bättre modeller, utan även beräkningskapacitet, avancerade halvledare, datatillgång, kommunikation och elförsörjning. Självkörande och andra autonoma system är beroende av samspelet mellan sensorer, programvara, säker kommunikation, styrning och den miljö där systemen ska användas. När en central del av ett sådant system utvecklas långsamt kan den begränsa framstegen i hela systemet. Omvänt kan ett genombrott i en möjliggörande teknik påskynda utvecklingen på flera områden samtidigt.
- **Strategisk betydelse uppstår i samspelet mellan tekniker, aktörer och resurser.** En ledande forskningsmiljö är en viktig tillgång, men vetenskaplig styrka är inte alltid tillräcklig för att utveckla och använda tekniken i stor skala. Det krävs också företag, kapital, kompetens, produktionsutrustning, testmiljöer, standarder och tillgång till marknader. Aktörer som kontrollerar en avgörande länk, en svårersättlig komponent eller en central infrastruktur kan därför få ett inflytande som inte syns i en jämförelse av forskningsvolymen. På samma sätt kan ett land ha en betydande roll i ett större tekniskt system, utan att vara ledande inom systemets alla delar.
- **Teknikutveckling och geopolitik vävs allt tätare samman.** Konkurrensen gäller inte enbart vem som först utvecklar ny kunskap. Den gäller också kontroll över material, produktionskapacitet, data, beräkningsresurser, standarder och kvalificerad kompetens. Samtidigt är forskningssystem, företag och värdekedjor starkt internationellt sammanlänkade. För Sverige skapar detta ett dubbelt behov: att utveckla egna styrkor där de har stor betydelse och att bygga samarbeten som ger tillgång till förmågor som finns i andra länder.

Sveriges handlingsutrymme formas av de strategiska val som landet står inför och förutsättningarna att agera på dessa. Handlingsutrymmet kan bygga på egen spetskompetens, en viktig komponent eller funktion, förmåga att integrera tekniker till fungerande system, inflytande över standarder eller tillgång till kunskap och infrastruktur genom internationellt samarbete. Samtidigt kan beroenden begränsa Sveriges möjligheter att utveckla, producera eller använda en teknik när omvärldens villkor förändras.

Ett sådant perspektiv kräver en analys som kan röra sig mellan helhet och detalj. Breda teknikområden behövs för att skapa överblick och söka efter relevant kunskap. Men de behöver kompletteras med mer precisa beskrivningar av de tekniska utvecklingslinjerna, sambanden mellan dem och de nya system som växer fram. Analysen behöver dessutom kunna uppdateras när nya aktörer, genombrott eller beroenden blir synliga. Det är utgångspunkten för Strategiska tekniker 2026 (ST26).

1.2 Vad ST26 tillför

ST26 bygger vidare på tidigare års analyser, men lägger större vikt vid sambanden mellan tekniker. I stället för att enbart beskriva utvecklingen inom separata teknikområden organiseras en central del av analysen kring 50 framväxande konvergenszoner. Varje område fångar ett konkret möte mellan teknikspår som tillsammans skapar en ny funktion, löser ett gemensamt problem eller öppnar ett nytt användningsområde. Områdena samlas i nio strategiska arenor som ger överblick över större delar av tekniklandskapet. Begreppen och arbetsgången förklaras närmare i kapitel 2, medan kartan över områdena och arenorna presenteras i kapitel 3.

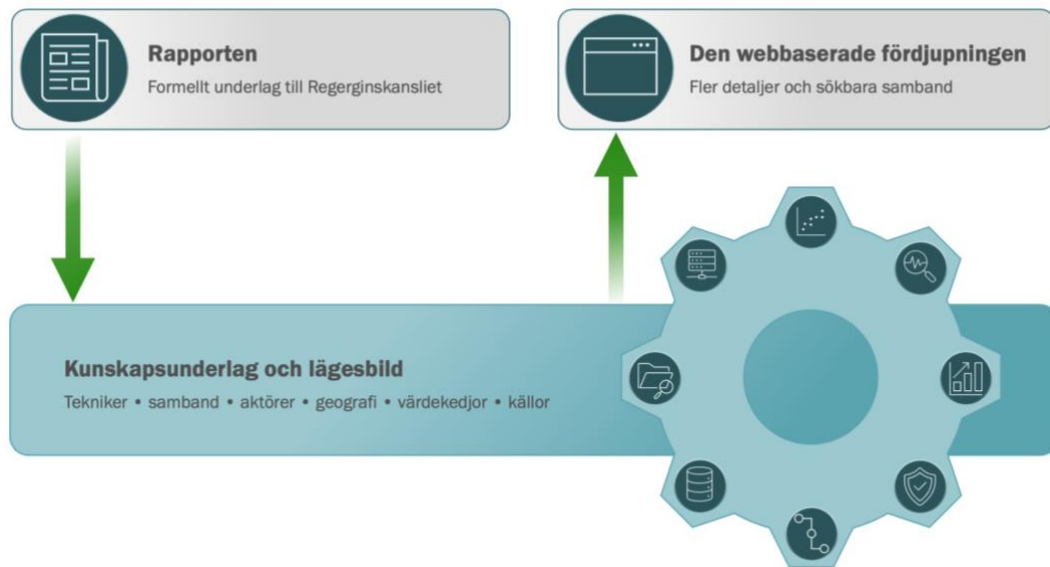
Det här angreppssättet gör det möjligt att följa samband som annars lätt hamnar mellan traditionella teknikområden. Det synliggör exempelvis när samma komponent, kompetens eller infrastruktur är viktig för flera tekniska system. Det gör det också möjligt att skilja tekniker som bara förekommer i samma sammanhang från tekniker som faktiskt integreras, möjliggör eller är beroende av varandra.

Analysen kopplar därefter den tekniska kartan till flera andra perspektiv. Den visar vilka forskningsmiljöer, företag, investerare och offentliga satsningar som formar utvecklingen, hur centrala värdekedjor är uppbyggda och var det finns beroenden eller flaskhalsar. Genom att föra samman dessa perspektiv går det att se om vetenskaplig styrka också motsvaras av industriell förmåga, kapital och tillgång till nödvändig infrastruktur, eller om det finns betydelsefulla luckor mellan dem.

För Sveriges del flyttas fokus från frågan om landet är starkt eller svagt inom ett specifikt teknikområde till frågan om vilka roller svenska aktörer kan ta i de system som växer fram. Sverige kan exempelvis ha betydelse som forskningsnod, specialiserad leverantör, systemintegratör, ledande användare eller värd för test- och demonstrationsmiljöer. Analysen belyser också vilka internationella samarbeten som ger tillgång till ledande miljöer och vilka beroenden som kan begränsa Sveriges möjligheter. Bedömningen av Sveriges position utvecklas i kapitel 6 och prövas mot olika framtidsscenarier och säkerhetskrav i kapitel 7.

ST26 redovisas i två sammanlänkade former. **Rapporten** utgör det formella underlaget till Regeringskansliet och ger en sammanhållen bild av de resultat och slutsatser som är viktigast för Sverige. **Den webbaserade fördjupningen** ger tillgång till fler detaljer och gör det möjligt att söka, filtrera och följa de samband som ligger bakom rapportens figurer och resonemang. Båda bygger på **ett gemensamt, strukturerat kunskapsunderlag** som håller samman tekniker, samband, aktörer, geografi, värdekedjor och källor. Rapporten presenterar därmed både en lägesbild för 2026 samtidigt som den lägger grunden för fortsatt analys.

Den som vill börja med rapportens resultat kan gå direkt till kartan över teknikkonvergensen i kapitel 3, den internationella analysen i kapitel 5 och slutsatserna om Sveriges position i kapitel 6. Kapitel 7 prövar sedan de svenska möjligheterna mot olika framtider och säkerhetskrav. Kapitel 2 förklarar hur analysen har genomförts.



Figur 1.1. Rapporten och den webbaserade fördjupningen bygger på samma strukturerade kunskapsunderlag.

Kompletteringar vid lanseringen

Denna version utgör rapportens formella leverans till Regeringskansliet. Inför lanseringen den 13 oktober kompletteras rapporten med bilagor som ger en fördjupad redovisning av metod och underlag. I samband med lanseringen tillgängliggörs också den webbaserade fördjupning som beskrivs ovan, där läsaren kan söka och utforska fler detaljer bakom rapportens figurer och analyser.

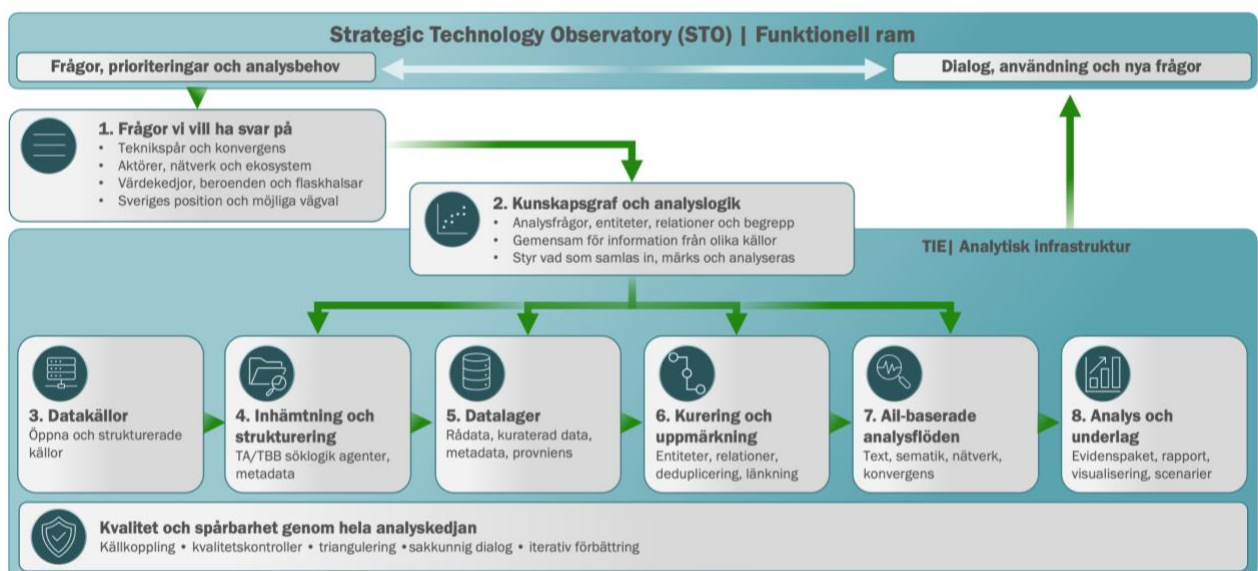
2 Så har analysen genomförts

ST26 är en del av den analysförmåga som Vinnova bygger upp för återkommande strategisk teknikbevakning. Det är viktigt att skilja denna långsiktiga förmåga från den arbetsgång som har använts för årets rapport. De hänger ihop, men är inte samma sak.

Strategic Technology Observatory (STO) är den organisatoriska ramen för arbetet. Observatoriet håller samman analysfrågor, prioriteringar, omvärldsbevakning, dialog med sakkunniga och de underlag som tas fram för olika användare. Technology Intelligence Engine (TIE) utgör den underliggande analytiska infrastrukturen. TIE omfattar metoder och verktyg för att på ett spårbart sätt hämta in, strukturera, länka och analysera stora informationsmängder.

En gemensam grund för analysen

I centrum för den analytiska infrastrukturen finns en gemensam analysmodell. Modellen anger vad analysen behöver kunna skilja mellan och hur olika delar kan hänga samman. När information från olika källor struktureras enligt modellen skapas ett gemensamt kunskapsunderlag. Som figur 2.1 visar ger observatoriet arbetet riktning genom att formulera frågor och prioritera analysområden. Det kopplar också resultaten till dialog, användning och till nya analysbehov. Den analytiska infrastrukturen stödjer hela processen, från informationsinhämtning och strukturering till analys och leveranser. Den gemensamma analysmodellen, kvalitetssäkringen och spårbarheten är integrerade i alla steg. ST26 är en konkret tillämpning av denna analysförmåga. Rapporten ger en strukturerad lägesbild av ett tekniklandskap som förändras snabbt.



Figur 2.1. Den samlade analysförmågan.

2.1 Från analysfrågor till en gemensam analysmodell

Den analytiska infrastrukturen har utvecklats utifrån de frågor som den strategiska teknikbevakningen behöver kunna besvara. Genom en strukturerad workshopprocess identifierade och organiserade analytiker och domänexperter på Vinnova centrala frågor om framväxande och potentiellt disruptiva tekniker. Frågorna rörde också aktörer och ekosystem, värdekedjor och beroenden, Sveriges position samt möjliga strategiska vägval. Processen resulterade i fyra övergripande frågor som har hållit samman det analytiska arbetet:

- Hur förändras det internationella tekniklandskapet, och vilka framväxande och potentiellt disruptiva tekniker är viktigast att följa?
- Vilka aktörer, relationer och resurser driver utvecklingen?
- Vad innebär utvecklingen för Sveriges position, beroenden och möjliga roller?
- Hur kan kunskapen struktureras så att den kan uppdateras och användas för nya analysfrågor?

Resultatet från workshopen användes som utgångspunkt för den fortsatta metodutvecklingen. Frågorna bröts ned i de typer av tekniker, aktörer, resurser, händelser och samband som analysen behövde kunna representera. Arbetet resulterade först i en konceptuell kunskapsgraf, en övergripande modell som visar analysens viktigaste företeelser och hur de hänger samman. Modellen formaliserades därefter i en ontologi som definierar centrala begrepp, relationer och principer för hur information ska struktureras.

Ontologin utgör analysmodellens ryggrad och fungerar som en gemensam grammatik för hur information beskrivs och kopplas samman. Den anger exempelvis att ett företag kan utveckla eller använda ett teknikspår, att två organisationer kan samarbeta, att en strategisk resurs kan finnas på en viss plats och att ett beroende kan vara knutet till en särskild del av en värdekedja. När observationer från olika källor märks upp och länkas enligt grammatikens regler byggs ett sammanhållet kunskapsunderlag upp.

2.2 Sökstrategi för ST26

Som grund för datainsamlingen i ST26 används den taxonomi som utvecklades för ST25. Taxonomin omfattar 14 breda teknikområden (Technology Areas, TA) och 76 mer specifika tekniska byggstenar (Technology Building Blocks, TBB). Varje TBB utgår från en definition som beskriver centrala begrepp och söktermer. Dessa översattes till sökfrågor som anpassades till respektive datakällas format och sökfunktioner. Sökresultaten bedömdes därefter med stöd av en språkmodell. Denna rangordnade resultaten efter relevans, varefter söklogiken vid behov justerades. Arbetsgången kan förenklat beskrivas så här:

Teknikdefinition → bärande begrepp och söktermer → källanpassad söklogik → inhämtning → relevansbedömning och justering

Principen är generell och en viktig del av den analytiska infrastrukturen. En viss sensorteknik kan exempelvis identifieras genom en uppsättning logiska söktermer, men beskrivas med olika typer av begrepp beroende på datakälla. I vetenskapliga publikationer används ämnesbegrepp, i patentdata används funktionsord och patentklasser, och i företagsdata används produkt- och marknadsbeskrivningar. Sökningarna behöver därför anpassas till varje källas språk, struktur och sätt att beskriva tekniken.

I ST26 användes taxonomin både som sökrum för den breda webbinsamlingen och för att bygga upp ett publikationsbaserat jämförelsematerial i OpenAlex.

Figur 2.2 ger en samlad bild av den TA/TBB-taxonomi som utgör sökramen. Figuren använder korta engelska etiketter för att kunna knytas till den engelskspråkiga taxonomi som ligger till grund för arbetet. Det förenklar också kopplingen till den webbaserade fördjupning, där byggstenarna kan beskrivas och undersökas mer detaljerat.



Figur 2.2. Den TA/TBB-taxonomi som använts som sökrum för datainsamling.

Datainsamling från öppna källor

Datainsamlingen i ST26 byggde främst på öppna och ostrukturerade källor. Det omfattade framför allt material på den öppna och sökbara webben samt rapporter och andra dokument från etablerade aktörer. Det fanns två skäl till detta val. För det första kan dessa källor fånga upp nya begrepp, teknikkombinationer, aktörer och tillämpningar i ett tidigt skede. I publikations-, patent- och kommersiella databaser blir sådana förändringar ofta synliga senare, eftersom registrering, klassificering och publicering tar tid. För det andra gjorde källorna det möjligt att genomföra breda sökningar trots att alla de strukturerade datakällor som på sikt ska ingå i analysförmågan ännu inte fanns tillgängliga.

Jämförelse med strukturerade datakällor

Material på den öppna och sökbara webben saknar ofta en gemensam struktur och täckningen varierar mellan teknikområden, geografier och språk. Därför riskerar sådant som är nytt, uppmärksammat eller som kommuniceras aktivt att bli överrepresenterat, medan utveckling i mindre öppna eller sämre indexerade miljöer framträder svagare. Den bild av teknikutvecklingen som framkom i den webbaserade datainsamlingen jämfördes därför med strukturerade underlag från OpenAlex, en öppen bibliografisk databas, och en konvergenskartläggning från Elsevier, en internationell leverantör av vetenskaplig information och analys.

OpenAlex och Elsevier som referensunderlag

TA/TBB-ramen användes för att bygga ett publikationsbaserat datakorpus ur OpenAlex. Det gjorde det möjligt att jämföra de tekniker som identifierats genom sökningarna i öppna webbkällor med motsvarande material från vetenskapliga publikationer. Jämförelsen visade i vilka delar de två materialen gav en liknande bild av tekniklandskapet. Den bidrog också till att identifiera möjliga luckor och avgränsningar som behövde granskas närmare.

Underlaget från Elsevier, som tagits fram på Vinnovas uppdrag, omfattar en bibliometrisk metod för att identifiera teknikkonvergens. Det innehåller också ett webbaserat analysverktyg med forskningsbaserade konvergenszoner som kan analyseras utifrån bland annat geografi och aktörer. Underlaget användes för två syften. För det första jämfördes hur teknikkonvergens definieras och omsätts i metod. För det andra användes underlaget som en oberoende referenskart för att pröva de konvergenszoner som identifierades i ST26. Jämförelsen visar tydliga beröringspunkter mellan angreppssätten. Samtidigt skiljer sig kategorier och avgränsningar åt i vissa delar.

Skillnader mellan underlagen användes som utgångspunkt för att granska möjliga tidsförskjutningar, luckor och skillnader i avgränsning. TA/TBB-taxonomin har därmed fungerat som sökram för att styra vilka tekniska fält som skulle undersökas. I nästa steg användes ontologin för att strukturera observationerna från det insamlade materialet och identifiera teknikspår, tekniska samband, konvergensmönster och konvergenszoner i det insamlade materialet.

2.3 Från observationer till teknikkonvergens

Den breda insamlingen från öppna webbkällor genomfördes med en AI-baserad forskningsagent. Agenten byggs upp som ett definierat arbetsflöde som söker efter relevant material, hämtar och läser källor, identifierar relevant information och strukturerar den som observationer med full spårbarhet till ursprungskällan. TA/TBB-taxonomi användes som grund för sökningarna, som omfattade ett brett spektrum av geografier och språkområden.

Den AI-stödda insamlingen av öppet webbmaterial genomfördes i två vågor. Först breda sökningar om teknik och vetenskap, därefter fördjupade sökningar om aktörer, policy och leveranskedjor kring konvergenszonerna. Sökningarna omfattade 23 länder och EU som egen geografi, med täckning i Norden, övriga Europa, Nordamerika, Asien och Oceanien. Dciphers Research Agent genomförde de lokala Google-sökningarna på lokala språk. I de två insamlingsvågorna granskades sammanlagt drygt 200 000 webbsidor. Efter relevansfiltrering och borttagning av nära dubletter omfattade det samlade underlaget 28 581 observationer.

Sökningarna genererade ett omfattande underlag från webbsidor, rapporter och andra dokument. Med stöd av ontologin organiserades materialet till en strukturerad beskrivning av tekniska begrepp, utvecklingslinjer och deras samband på olika detaljnivåer. Närliggande företeelser jämfördes, dubletter och överlapp hanterades, breda kategorier delades upp och alternativa avgränsningar prövades. Företeelser som främst beskrev marknader, tillämpningar eller organisatoriska strukturer skildes från egentliga tekniker. Resultatet blev en sammanhängande analys av teknikkonvergens som kopplar samman observationer, teknikspår, tekniska samband, konvergensmönster, konvergenszoner och strategiska arenor.

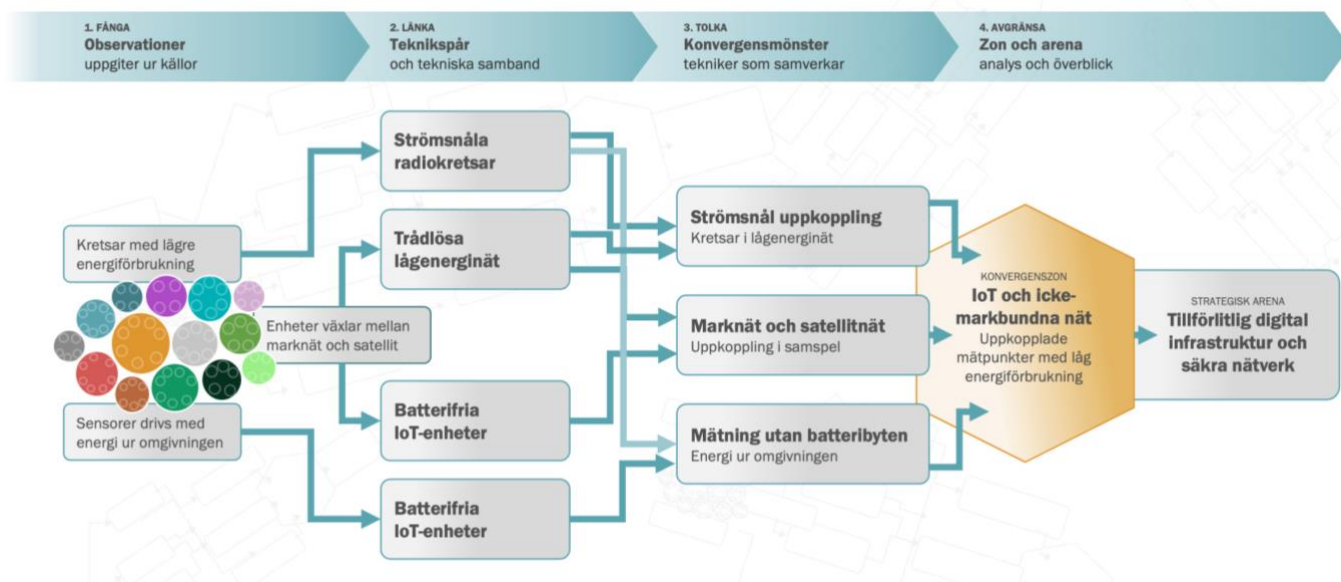
- **En observation (Observation)** är en uppgift från en identifierad källa. Den kan beskriva exempelvis nya tekniska funktioner, kombinationer av tekniker, aktörer, framväxande tillämpningar eller samband mellan olika utvecklingslinjer.
- **Ett teknikspår (Technology Track)** är en tydligt avgränsad teknisk utveckling, exempelvis en ny typ av minne, sensor, material eller produktionsprocess. Ett teknikspår är tillräckligt stabilt för att kunna följas över tid.
- **Ett tekniskt samband (Technical Relationship)** beskriver hur två teknikspår hänger samman. Det kan exempelvis innebära att de integreras i ett gemensamt system, att det ena möjliggör det andra, att de kompletterar eller förstärker varandra eller att ett riktat beroende finns mellan dem.
- **Ett konvergensmönster (Convergence Pattern)** beskriver hur flera teknikspår och tekniska samband återkommande samverkar. Mönstret visar inte bara att tekniker förekommer i samma sammanhang, utan också hur de tillsammans bidrar till en funktion, tillämpning eller utveckling.

- **En konvergenszon (Convergence Zone)** är en avgränsad sammansättning av teknikspår, samband och konvergensmönster som tillsammans skapar en ny funktion, löser ett gemensamt problem eller möjliggör ett nytt användningsområde. Konvergenszonen är den centrala analysenheten i ST26.
- **En strategisk arena (Convergence Arena)** grupperar flera konvergenszoner för att ge överblick över större delar av den samlade konvergensbilden. Varje konvergenszon har en huvudsaklig hemvist, men många zoner har också tydliga kopplingar till andra arenor.

Figur 2.3 visar en förenklad analysväg genom det nätverk av observationer och samband som ligger till grund för konvergenszonerna. Observationer om strömsnåla sensorer och satellitkommunikation kan tillsammans peka mot ett konvergensmönster för uppkopplad mätning, även där marknäten saknar täckning. Ett annat mönster förenar energieffektiv kommunikation med energiutvinning ur omgivningen och möjliggör långvarig drift med litet underhållsbehov. Exemplet illustrerar delar av konvergenszonen IoT och icke-markbundna nät, som hör till arenan Digital infrastruktur och säkra nätverk. Figuren återger teknikspår och mönster med förenklade benämningar.

Den strukturerade analysen identifierade 50 konvergenszoner utifrån observationer, teknikspår, tekniska samband och konvergensmönster. Konvergenszonerna grupperades i nio strategiska arenor för att ge en överblick över den samlade konvergensbilden.

Figur 2.3. Analysvägen från observationer till arenor.



2.5 Mänsklig analys och AI i samspel

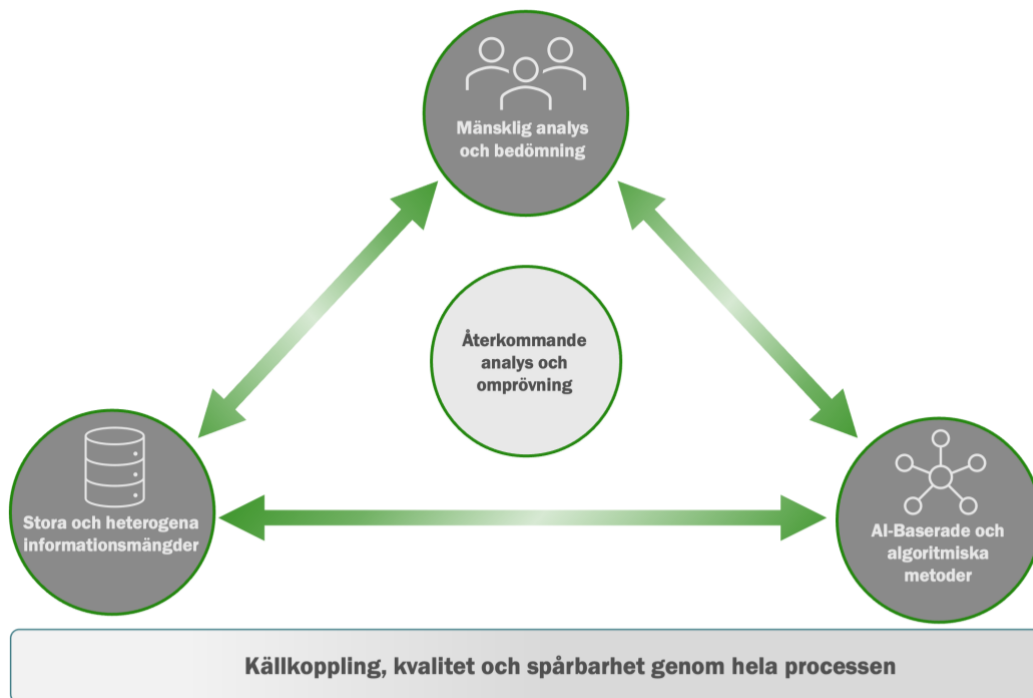
Analysen har genomgående kombinerat mänsklig expertbedömning med stora och heterogena informationsmängder samt AI-baserade och algoritmiska metoder. Arbetet utgick från de frågor som Vinnovas analytiker och domänexperter formulerade i workshopprocessen. Mänsklig analys och bedömning har därefter varit en integrerad del av datainsamling, bearbetning, analys och visualisering.

AI-baserade metoder har gjort det möjligt att söka igenom, läsa och strukturera betydligt större informationsmängder än vad som hade varit möjligt med enbart manuell bearbetning. Metoderna har använts för att identifiera relevanta dokument och observationer, gruppera närliggande företeelser, jämföra stora materialmängder samt ta fram förslag på samband, mönster och avgränsningar.

Mänsklig analys och bedömning har legat till grund för vilka frågor och avgränsningar som varit meningsfulla, om föreslagna teknikspår faktiskt motsvarar tekniker, om samband är tekniskt rimliga och om en konvergenszon har en tydlig gemensam funktion. Analytikerna har också värderat källornas relevans, granskat benämningar och tolkat resultatens strategiska betydelse. När en definition eller avgränsning har ändrats har materialet med de nya förutsättningarna som grund kunnat bearbetas på nytt. Arbetssättet förenar därmed möjligheten att bearbeta information i stor skala med mänsklig förmåga att förstå sammanhang, värdera rimlighet och göra samlade bedömningar.

Kvalitetssäkringen har byggt på flera kompletterande arbetssätt. Resultaten från insamlingen i öppna webbkällor har systematiskt jämförts med OpenAlex och Elseviers kartläggning. I den samlade bedömningen har underlagens relevans, täckning, aktualitet och inbördes samstämmighet vägts in. Källor och analysanteckningar har bevarats så att centrala observationer och samband kan spåras till sina källor. Grupperingar, benämningar och avgränsningar har granskats och reviderats under arbetets gång. Figur 2.4 illustrerar samspelet mellan mänsklig analys, stora informationsmängder och AI-baserade metoder.

Figur 2.4. Mänsklig analys, data och AI i samspel.



Metodbilagan redovisar mer detaljerade uppgifter om datakällor, tidsperioder, söklogik, jämförelsepopulationer, indikatorer och beräkningsmetoder. Kapitel 3 använder den analysstruktur som beskrivits här för att ge en samlad överblick över de 50 konvergenszonerna och de nio strategiska arenorna.

3 En överblick över teknikkonvergens

Kapitel 2 beskriver hur observationer har bearbetats till teknikspår, tekniska samband, konvergensmönster, 50 konvergenszoner och nio strategiska arenor. I detta kapitel ges en överblick över resultatet. Kartan visar hur olika delar av landskapet hänger samman. Exempelen visar hur tekniker samverkar och vilka större system som kan växa fram.

De nio arenorna ger en gemensam ingång till materialet. De samlar konvergenszoner utifrån större tekniska utmaningar och funktioner. Samtidigt återkommer många teknikspår i flera zoner och vissa konvergensmönster sträcker sig över flera arenor. En zons betydelse beror därför inte bara på dess egen utveckling utan också på vad den tillför andra delar av landskapet.

Arenor och zoner gör det lättare att orientera sig i den samlade konvergensbilden. För att förstå konvergensen behöver man också se hur tekniker samverkar och vilken roll olika zoner spelar i större system. Dessa perspektiv samlas i fyra systemsammanhang som visar hur utvecklingen i flera arenor hänger ihop.

3.1 Nio arenor – en karta över konvergenslandskapet

De nio strategiska arenorna samlar konvergenszoner som tillsammans beskriver större tekniska sammanhang. Tabell 3.1 ger en översikt över arenorna och vad de omfattar.

Tabell 3.1. De nio strategiska arenorna och deras huvudsakliga tekniska sammanhang.

Digital infrastruktur och säkra nätverk Identitet, åtkomst, skyddad datadelning och robust uppkoppling	AI-beräkning, halvledare och fotonik Kretsar, minne, kapsling, optiska länkar och beräkningssystem	AI-metoder, agenter och syntetiska medier AI-agenter, multimodala modeller och genererat innehåll
Autonomi, robotik och perception Robotik, sensorfusion och styrning av fysiska system	Kvantteknik Kvantberäkning, känslig mätning, tidhållning och säker kvantkommunikation	Bioteknik, biosensorer och bioproduktion Biologisk mätning, analys, utformning och produktion
Energi, klimat och cirkulära resurser Energi, lagring, elnät och cirkulära materialflöden	Rymd, flyg och försvar Jordobservation, rymdinfrastruktur, framdrivning och autonoma system	Avancerad tillverkning och material Additiv tillverkning, funktionsmaterial, processintegration och precisionsmätning

Varje konvergenszon har en huvudsaklig hemvist i en arena men kan också vara kopplad till andra arenor. Figur 3.1 visar hur zonerna grupperar sig kring de strategiska arenorna och hur kopplingar mellan teknikspår binder samman zoner över arenagränserna.



Figur 3.1. Konvergenslandskapets arenor, zoner, teknikspår och konvergensmönster. Färgen visar vilken arena zonen främst tillhör. Färgade linjer visar zonens huvudsakliga och sekundära kopplingar till andra arenor. De tunna linjerna visar kopplingar i analysmodellen.

En närmare analys av teknikspåren och sambanden bakom kartan visar tre övergripande utvecklingsmönster.

- Digital teknik och fotonik knyter samman stora delar av landskapet. Beräkning, kommunikation, lokal AI, halvledare, kvantteknik, exakt tidhållning och sensorer behöver ofta fungera tillsammans. Data flyttas mellan chip, datacenter, nätverk och enheter. Optiska länkar och radio används för både kommunikation och mätning. Gemensamma tidsreferenser gör det möjligt att samordna system som är spridda över stora avstånd.
- Energi, resurser och material bildar ett annat sammanhängande system. Återvinning, separation, energiomvandling, lagring och nätstyrning kopplas samman genom fysiska flöden. Sambanden blir tydliga när man följer hur energi eller material rör sig genom olika led och vilka krav detta ställer på anläggningar och processer.
- Inom biotekniken integreras mätning, analys, genetisk utformning och produktion allt närmare. Data från biologiska försök används för att utveckla modeller. Modellerna kan i sin tur kan föreslå nya försök och förändringar i biologiska system. En viktig utvecklingsriktning är den allt tätare återkopplingen mellan dessa steg.

För att förstå hur konvergens uppstår behöver kopplingarna följas ned till teknikspåren och de mekanismer som binder dem samman. Kartans viktigaste resultat är därför inte indelningen i nio arenor, utan att tekniska funktioner och beroenden byggs upp genom samband både inom och mellan dem.

3.2 Nya funktioner genom teknisk samverkan

Att tekniker är kopplade till varandra säger inte i sig vad de åstadkommer tillsammans. För att förstå hur nya funktioner uppstår behöver vi se hur teknikspåren samverkar. I detta avsnitt skiljer vi mellan tre former av sådan samverkan: integration, möjliggörande och komplementaritet.

- **Integration** innebär att teknikspår byggs samman i en gemensam konstruktion eller process. Ett exempel är minne med hög bandbredd (HBM) och avancerad kapsling i AI-system. HBM består av staplade minneskretsar som kan överföra stora dataflöden parallellt. Kapslingen placerar minnes- och beräkningskretsar nära varandra. Kortare signalvägar kan minska den tid och energi som krävs för att flytta data och därmed förbättra systemets prestanda.
- **Möjliggörande** innebär att ett teknikspår skapar en viktig förutsättning för ett annat. Ett atomur kan upprätthålla en lokal tidsreferens när signaler från globala satellitnavigeringssystem (GNSS) störs. Tidsreferensen kan göra det möjligt för sensorer och radiosystem att fortsätta arbeta samordnat. Därmed blir den en del av ett robust system för positionering, navigering och tidhållning (PNT).
- **Komplementaritet** innebär att teknikspår löser olika delar av samma problem. Vid batteriåtervinning kan separation och lakning frigöra och lösa ut värdefulla metaller. Renings- och återvinningssteg avlägsnar sedan föroreningar och återställer materialkvaliteten. Stegen behöver fungera tillsammans för att materialet ska kunna användas i nya battericeller.

När sådana samband återkommer kring en gemensam funktion kan de beskrivas som ett konvergensmönster. Flera närliggande mönster kan tillsammans avgränsa en konvergenszon. Det är teknikernas gemensamma bidrag till funktionen som håller samman zonen.

INTEGRATION

Teknikspår byggs samman i en gemensam konstruktion



Möjliggörande

Ett teknikspår skapar en viktig förutsättning för ett annat.

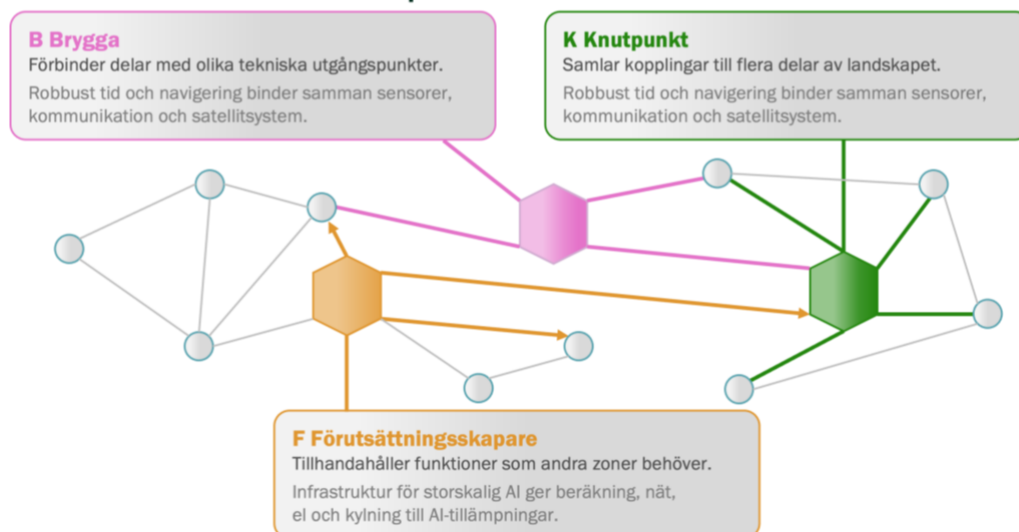


Komplementarier

Teknikspår löser olika delar av samma problem.



Hur zoner får olika roller i landskapet



Figur 3.2. Teknisk samverkan och zonernas roller i landskapet. Den övre delen visar de tre former av samverkan mellan teknikspår som beskrivs i avsnitt 3.2. Den nedre delen visar hur konvergenszoner kan fungera som knutpunkter, bryggor och förutsättningsskapare som beskrivs i avsnitt 3.3. En zon kan kombinera flera samverkansformer och samtidigt ha flera roller i landskapet. Exemplet är schematiska.

3.3 Konvergenszonernas roller i landskapet

En konvergenszon kan också ses som en del av ett större tekniskt system. Tre roller hjälper till att förklara hur zoner bidrar till helheten:

- **En knutpunkt** samlar kopplingar till flera delar av landskapet. AI-styrda 5G- och 6G-nät är ett exempel. Radionät, nätstyrning, lokal beräkning och förbindelser mellan mark- och satellitnät behöver samordnas. Zonen har därför kopplingar till flera digitala, autonoma och rymdbaserade system.
- **En brygga** förbinder områden med olika tekniska utgångspunkter. Robust positionering, navigering och tid sammanför sensorer, tidsreferenser, telekommunikation och satellitsignaler. Funktionerna används bland annat i autonoma plattformar och rymdsystem. Zonen knyter därmed samman teknik från flera arenor.
- **En förutsättningsskapare** tillhandahåller funktioner som andra zoner är beroende av. Infrastruktur för storskalig AI är ett exempel. Beräkningskretsar, lagring, snabba nät, elförsörjning och kylning bildar tillsammans den grund som mer krävande AI-tillämpningar bygger på.

Rollerna kan överlappa varandra. Lokal AI och federerat lärande kombinerar exempelvis beräkning, kommunikation och databehandling och kan samtidigt möjliggöra autonom drift. Integrerad fotonik och optisk beräkning har kopplingar till både digitala beräkningssystem och kvantteknik. En zons roll behöver därför förstås utifrån den funktion som analyseras.

Samma resonemang gäller utanför det digitala området. Hybridlagring för elsystem kan kombinera lagring, kraftomvandling och nätstyrning. AI-styrd genomdesign och genredigering kan skapa förutsättningar för nya biologiska funktioner.

3.4 Fyra framträdande systemsammanhang

De tre rollerna visar hur en zon bidrar i ett större system: knutpunkten samlar utvecklingslinjer, bryggan förbinder dem och förutsättningsskaparen tillhandahåller funktioner som andra delar behöver. Tillsammans med formerna för teknisk samverkan framträder fyra systemsammanhang där flera zoner bidrar till en gemensam funktion. Vissa samband ingår redan i fungerande system, medan andra utvecklas genom nya kombinationer av tekniker. En flaskhals i ett led kan påverka funktionen i hela systemet.

Avancerad AI kräver ett sammanhängande beräkningssystem

Prestandan i avancerade AI-system beror på hur beräkning, minne och dataöverföring fungerar tillsammans. Beräkningskretsar, minne med hög bandbredd, mindre kretsmoduler (chipelets) och avancerad kapsling behöver samordnas med optiska länkar, nätverk, elförsörjning och kylning. Här möts zoner för storskalig AI, kretsar och minne, halvledartillverkning, processmätning, fotonik och digitala nät.

Integration och komplementaritet präglar samspelet. Kretsar och minne byggs nära samman, medan nätverk, kraftförsörjning och kylning löser andra delar av samma uppgift. Tillgången till ett visst minne, en kapslingsprocess eller tillräcklig kylning kan därför begränsa hela systemets prestanda. Fotonik och nätverk fungerar som bryggor mellan beräkningsenheter, från komponentnivå till datacenter. Tillsammans bildar dessa delar den infrastruktur som krävs för mer krävande AI-tillämpningar.

Robust tid och navigering binder samman flera system

Positionering, navigering och tidhållning används i telekommunikation, energi- och finanssystem, transporter, rymdverksamhet och försvar. Systemen behöver kunna hantera att satellitsignaler saknas, störs eller manipuleras. Atomur, tröghetssensorer, markbaserade referenser och satellitsystem kan komplettera varandra. Kvantssensorer utvecklas också för att bidra med nya möjligheter till noggrann mätning och navigering.

En stabil tidsreferens gör det möjligt att samordna sensorer, kommunikation och styrning. Alternativa källor för läge och tid ger reservlösningar om en signal faller bort. Robust PNT fungerar därmed både som en brygga mellan tekniker från flera arenor och som en förutsättning för andra systems funktion. Dess betydelse sträcker sig från enskilda farkosters navigering till samordningen av elnät och kommunikationsnät.

Energiomställningen kräver samspel mellan lagring, elnät och materialflöden

Hybridlagring förenar tekniker som hanterar olika tidsförlopp och effektbehov. Batterier kan svara snabbt på förändringar i elsystemet. Värmelagring kan flytta värmeanvändning i tid, medan vätgas kan användas för längre lagring när kostnader och omvandlingsförluster medger det. Nyttan uppstår genom kopplingen till kraftelektronik, prognoser, nätstyrning och användarnas behov. Parallellt behövs separation, rening och återvinning för att batteriernas material ska kunna användas på nytt.

Här förenas komplementära tekniker i två sammanhängande flöden: energi som ska lagras och användas vid rätt tidpunkt, och material som ska kunna återföras till produktion. Hybridlagring fungerar som en knutpunkt mellan lagring, kraftomvandling och nätstyrning. Återvinning och rening förbinder användningen med råvaruförsörjningen. Materialets kvalitet och tillgången till lämpliga processer påverkar därmed både möjligheten att tillverka nya lagringssystem och att sluta materialkretsloppen.

Biologisk mätning, analys och produktion kan knytas samman

Inom biotekniken binds mätning, analys, utformning och produktion samman. Biosensorer och organ-on-chip (små system som efterliknar organ) ger information om biologiska processer. Spatial omik (visar var exempelvis genaktivitet och proteiner finns i en vävnad) tillför information om deras rumsliga sammanhang. AI-modeller kan förena sådana data med bilder och kliniska uppgifter, bedöma förlopp och föreslå molekyler eller genetiska förändringar. Förslagen prövas i laboratorier och kan föras vidare till produktion med hjälp av celler eller andra biologiska system.

Samspelet bygger på återkoppling: mäta, tolka, utforma, pröva och mäta på nytt. Biologiska mätningar ger underlag för modellerna, medan modellerna hjälper till att välja nästa experiment. När resultaten förs tillbaka till modellerna kan utvecklingen av diagnostik, behandlingar och biobaserade produkter gå snabbare. Steget till stabil produktion i större skala kräver dessutom tillgång till laboratorieutrustning, processkunnande och kvalitetskontroll. Den gemensamma funktionen bygger därmed på både digitala verktyg och förmågan att utveckla, pröva och tillverka biologiska lösningar.

Kapitel 4 beskriver de nio arenornas tekniska innehåll i större detalj. Kapitel 5 följer de övergripande internationella mönstren för forskning, företag, investeringar och beroenden, med systemsammanhangen som ingångar till fördjupade analyser. Kapitel 6 behandlar Sveriges position och handlingsutrymme.

4 Nio strategiska arenor

Kapitel 3 ger en samlad bild av konvergenslandskapet och visar hur de 50 konvergenzonen kan organiseras i nio bredare arenor. I detta kapitel beskrivs de nio arenorna var för sig. Det beskriver hur olika tekniker samverkar, vilka funktioner som blir möjliga när de kombineras samt de förändringar, aktörsroller och beroenden som präglar utvecklingen. Möjliga svenska bidrag berörs översiktligt och utvecklas vidare i kapitel 6.

4.1 Digital infrastruktur och säkra nätverk

Arenan omfattar den tekniska kedja som binder samman digital identitet, data, beräkning och uppkoppling till en tillförlitlig helhet. Den sträcker sig från metoder som kontrollerar vem eller vad som får tillgång till ett system, via skyddad databehandling och molntjänster, till lokala nät, uppkopplade produkter och industriell styrning. Säkerhet och kommunikation blir därmed delar av samma arkitektur, där tillförlitlighet och skydd måste upprätthållas när användare, programvara och enheter rör sig mellan organisationer, datacenter, lokala beräkningsnoder och satellitlänkar.

Tekniker i samspel

Två utvecklingslinjer möts i arenan. Den ena går från en kontroll vid systemets gräns till att varje åtkomst provas fortlöpande. Kvantssäker kryptografi, verifierbara identitetsuppgifter och skyddad beräkning ger kompletterande skydd. Skyddad beräkning begränsar obehörigas åtkomst även när data används i en beräkning. Den andra utvecklingslinjen flyttar beräkning närmare användare, maskiner och sensorer. AI kan då köras lokalt och modeller uppdateras mellan flera enheter utan att all rådata samlas centralt. Var data och beräkning lokaliseras påverkar svarstid, energianvändning, belastning på näten och möjligheten att kontrollera säkerheten. Dessa krav måste därför hanteras i en gemensam systemarkitektur.

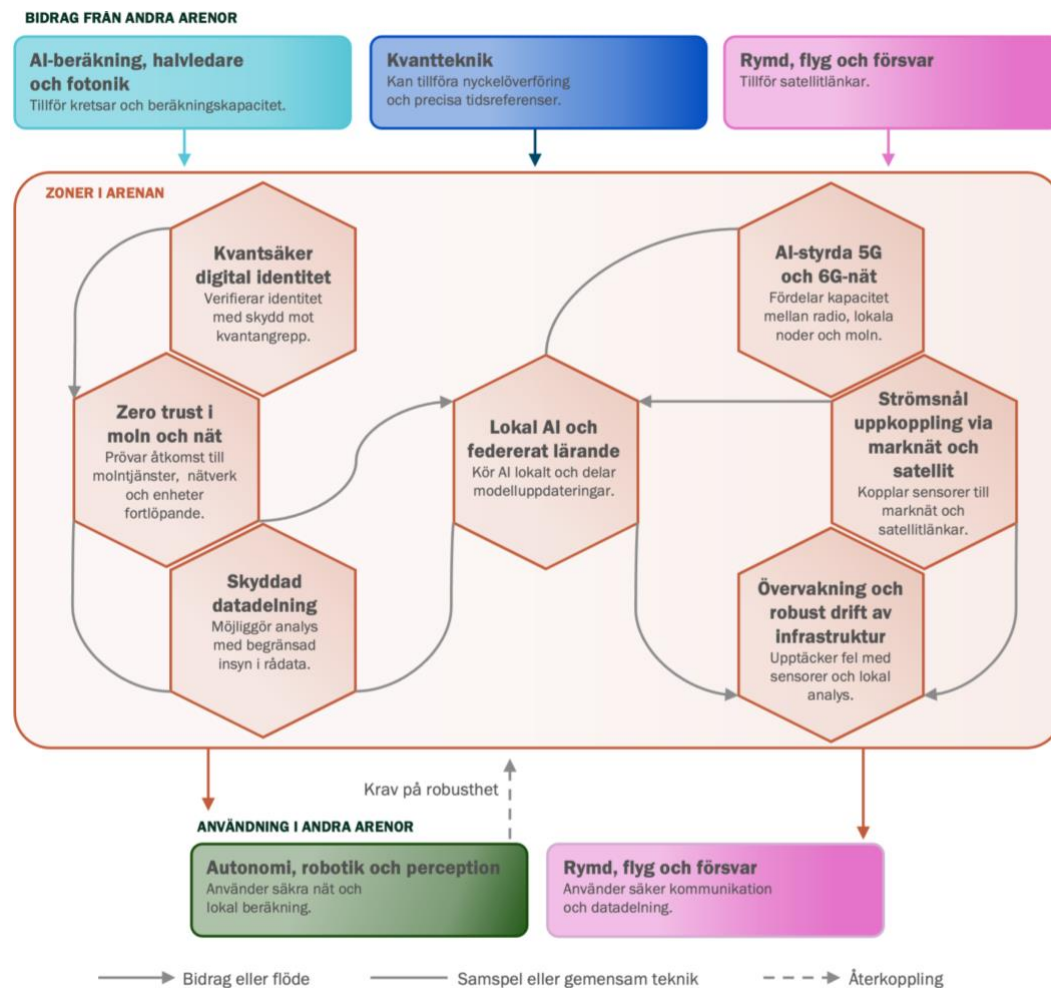
Kopplingar till andra arenor

AI-beräkning, halvledare och fotonik samt *Kvantteknik* levererar flera av de komponenter som ligger uppströms i denna kedja. Satellitsystem i *Rymd, flyg och försvar* kan utöka uppkopplingen till platser där marknät saknas. De digitala näten ger i sin tur robotar inom *Autonomi, robotik och perception* möjlighet att dela information och samordna uppgifter. Kraven går också i motsatt riktning. Drift av kritisk infrastruktur ställer högre krav på robusthet, reservlösningar och verifiering och påverkar därmed hur nät och moln utformas.

Aktörer och beroenden

Moln- och telekomoperatörer driver den gemensamma infrastrukturen, medan utrustnings- och halvledarföretag levererar dess komponenter. Identitets- och säkerhetsföretag utvecklar skyddet, standardiseringsorgan sätter gemensamma regler och ägare av kritisk infrastruktur formulerar kraven på drift. Inflytande och beroenden

koncentreras kring molnplattformar, radioutrustning, specialkretsar och identitetsstandarder. Nät, datacenter och satellitinfrastuktur är platsbundna, medan kontrollen över data, identiteter och marknadstillträde kan ligga nationellt. Detta kan på ett avgörande sätt påverka vem som äger och driver infrastrukturen över landsgränser. Svenska roller kan utvecklas inom säkra delsystem, telekomlösningar och integration mellan betrodda nät, moln och industriella miljöer. Handlingsutrymmet beror samtidigt på tillgången till komponenter och plattformar som kontrolleras av andra.



Figur 4.1. Konvergenzoner och utvalda funktionella samband inom konvergensarenan digital infrastruktur och säkra nätverk. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden bygger på en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.2 AI-beräkning, halvledare och fotonik

Arenan omfattar den tekniska bas som krävs för att bygga och driva avancerade AI-system, där prestandan inte enbart avgörs av processorn. Data måste också kunna flyttas snabbt mellan beräkningskretsar och minne, mellan servrar och genom hela datacentret. Kretsar, minne, kapsling, optiska länkar, nätverk, kraftförsörjning och kylning behöver därför utvecklas som ett sammanhängande system. Samma arena rymmer tillverkningen av kretsarna och alternativa arkitekturer som försöker minska behovet av att flytta data.

Tekniker i samspel

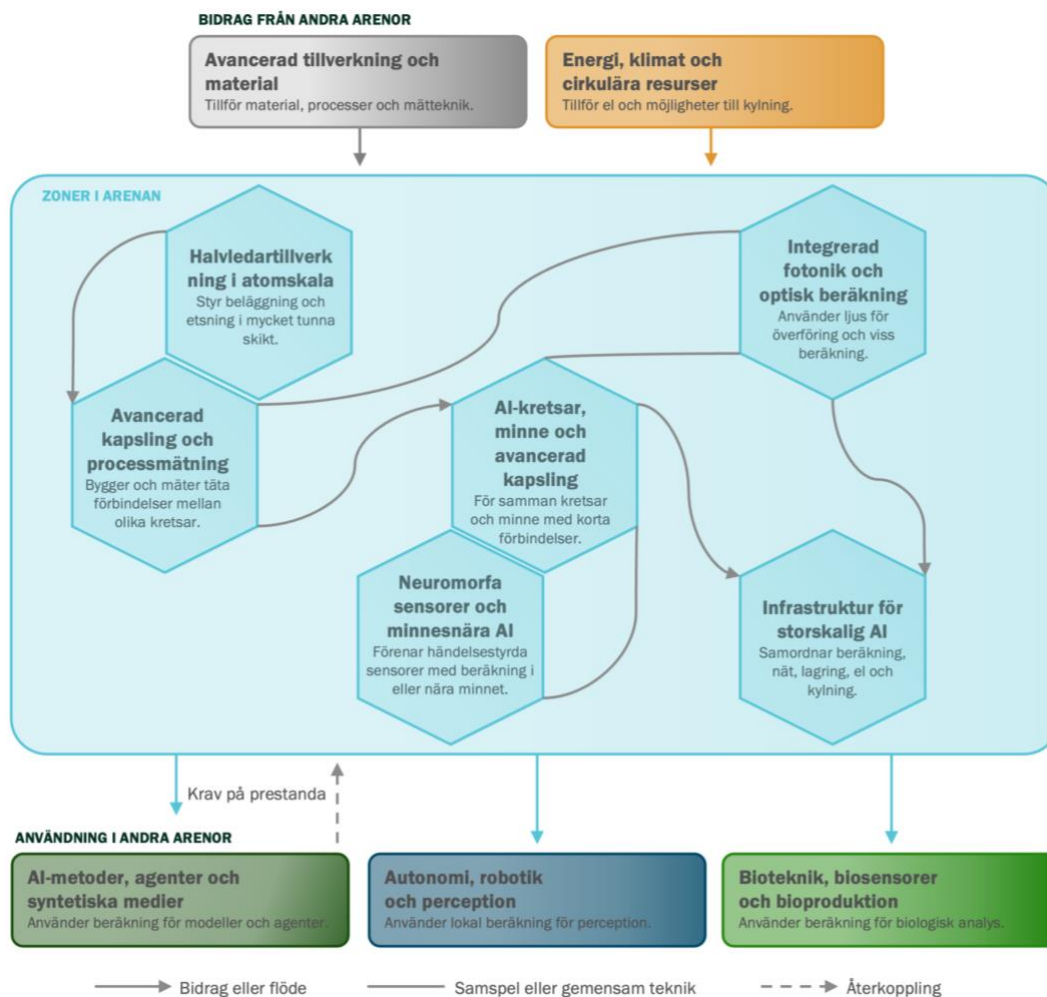
När beräkningssystemen växer flyttas de viktigaste prestandabegränsningarna mellan olika delar av systemet. I ett stort AI-datacenter spelar det ingen roll hur snabba processorerna är om de måste vänta på data från minnet, eller om systemet begränsas av hur mycket värme som kylningen klarar av att leda bort. Mindre kretsmoduler, så kallade chiplets, kan kombineras med staplat minne med hög överföringskapacitet i en gemensam kapsling. Det förkortar signalvägarna men ställer höga krav på tillverkning, precisionsmätning och värmehantering. Integrerad fotonik använder ljus i stället för el för att blixtnsnabbt överföra information mellan komponenter. Optisk beräkning använder ljus även för vissa beräkningsuppgifter. Kretsar inspirerade av nervsystemet, så kallad neuromorf teknik, samt smarta sensorer kan reagera direkt på förändringar i det de mäter och därmed minska mängden data som måste behandlas. Beräkning i eller nära minnet kortar avståndet mellan lagring och bearbetning. Tillsammans kan dessa lösningar ge snabbare svar med lägre energibehov.

Kopplingar till andra arenor

Arenan är beroende av material, tillverkningsprocesser och mätutrustning som utvecklas inom *Avancerad tillverkning och material*. El och kylning förbinder datacentren med *Energi, klimat och cirkulära resurser*, där värme från driften kan tas till vara. Beräkningskapaciteten används i sin tur inom *AI-metoder, agenter och syntetiska medier* samt i robotik och bioteknik. Arenan är därmed en förutsättning för AI-metoder, autonoma system och flera kvanttillämpningar. Samtidigt driver dessa användningar nya krav på kretsar, minne och kommunikation.

Aktörer och beroenden

Värdekedjan är uppdelad mellan kretskonstruktörer, material- och utrustningsleverantörer, halvledarfabriker, företag som kapslar och testar kretsar samt datacenteroperatörer. Värdekedjans olika led kräver stora investeringar, långsiktigt processkunnande och specialiserad utrustning. Kontroll över en svårersättlig komponent eller process kan därför ge stort inflytande över hela systemets utveckling. Svensk forskning och specialiserade företag kan utvecklas inom nischade material och processer, mätteknik, kraft- och kylsystem samt integration av beräkning i avancerade industriella tillämpningar.



Figur 4.2. Konvergenzoner och utvalda funktionella samband inom AI-beräkning, halvledare och fotonik. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden bygger på en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.3 AI-metoder, agenter och syntetiska medier

Arenan samlar två utvecklingslinjer som förändrar vad AI-system kan göra. Multimodala modeller kan tolka och skapa text, bild, ljud, video, rörelse och tredimensionella miljöer inom samma system. AI-agenter tillför planering, minne och verktygsanvändning och kan utföra längre kedjor av uppgifter i digitala miljöer. Den gemensamma nämnaren är att modellerna inte längre bara ger enskilda svar. De kan också tolka en situation, välja nästa steg och följa upp resultat under mänsklig styrning.

Tekniker i samspel

Utvecklingen bygger på att modeller kan skapa en gemensam intern representation av flera typer av information. Den kan användas både för att förstå en situation och för att välja nästa steg. Tillsammans med verktyg, databaser och andra program skapar detta förutsättningar för AI-agenter som kan genomföra mer omfattande uppgifter. En AI-agent kan exempelvis dela upp en analysuppgift, hämta underlag, utföra beräkningar och utvärdera resultaten innan arbetet går vidare. Så kallade världsmodeller ger systemet en förenklad bild av hur en miljö eller process fungerar. De kan användas för att bedöma möjliga följder av olika handlingar. Förstärkningsinlärning förbättrar beteendet genom återkoppling. Metoder för stegvis problemlösning delar samtidigt upp problem i flera delsteg. Det kan exempelvis hjälpa en robot att hitta en fungerande rörelsesekvens. Syntetiska medier är AI-skapat innehåll, såsom bilder, röster, video och digitala gestalter. De kan användas i dialog med människor och för att skapa simulerade miljöer. När en AI-agent får möjlighet att själv utföra arbetsmoment ökar också kraven på kontroll och uppföljning. Det blir viktigt att kunna granska dess agerande, styra åtkomsten till verktyg och ingripa vid fel. Sådana metoder blir allt viktigare för att minska risken för manipulation och avsiktligt missbruk.

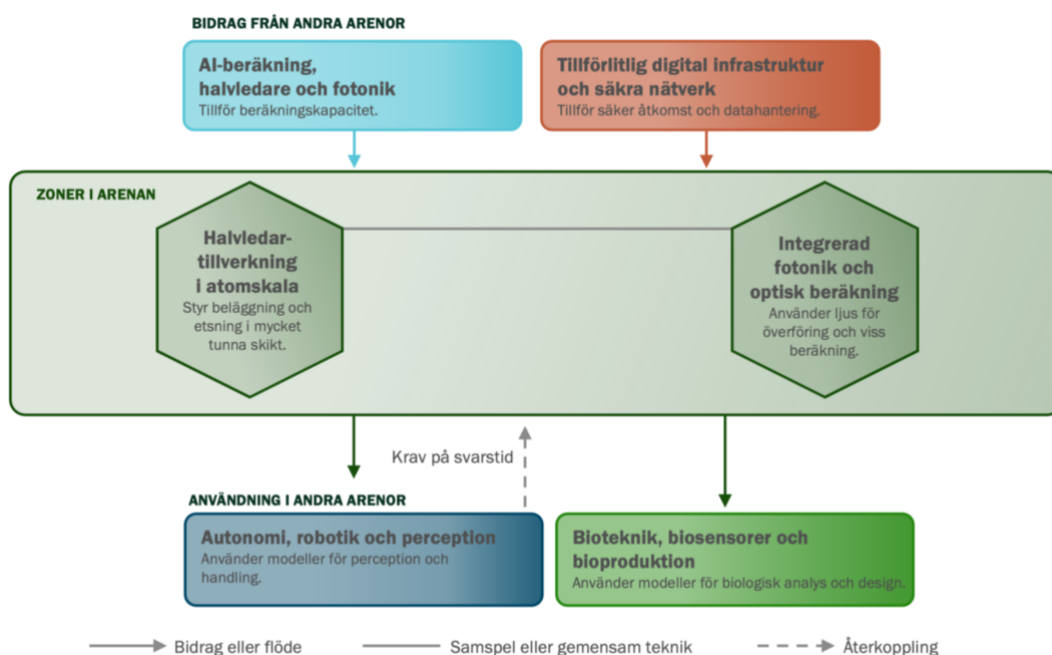
Kopplingar till andra arenor

För att dela och bearbeta information är utvecklingen inom arenan beroende av beräkningskapacitet från *AI-beräkning*, *halvledare* och *fotonik* och av säker datahantering från *Digital infrastruktur* och *säkra nätverk*. När modellerna används skapar de i sin tur möjligheter för exempelvis tolkning av biologiska data inom *Bioteknik*, *biosensorer* och *bioproduktion* samt stöd för perception och handling inom *Autonomi*, *robotik* och *perception*. Kraven på svarstid och tillförlitlighet skärps när modellernas resultat används för att styra en maskin eller en fysisk process. Ett fel i en digital tjänst och ett fel i ett autonomt fordon kan få helt olika konsekvenser. Därför krävs också olika former av verifiering och mänsklig kontroll.

Aktörer och beroenden

De grundläggande AI-förmågorna utvecklas av modell- och molnföretag, forskningsmiljöer och utvecklare av öppen programvara. Andra företag kombinerar modeller, data och verktyg till konkreta tjänster, exempelvis för analys, administration eller medieproduktion. Behovet av samordning mellan olika aktörer innebär att inflytande och beroenden koncentreras kring beräkningsresurser, träningsdata,

modellgränssnitt, distribution och de miljöer där systemens förmåga och säkerhet utvärderas. När tränade modeller och programkod görs öppet tillgängliga kan betydligt fler aktörer använda samma funktioner utan att själva behöva kontrollera eller driva den stora beräkningsmiljö där modellen tränades. Svenska roller kan utvecklas inom specialiserade tillämpningar, utvärdering, säkerhet och verifiering snarare än inom utvecklingen av de allra största modellerna. Svensk AI-forskning, svenska språkmodeller och erfarenhet från industri och offentlig sektor ger en grund för specialiserade AI-tjänster. Patient- och laboratoriedata kan exempelvis bidra till tillämpningar inom diagnostik och bioteknik, om de görs tillgängliga för utveckling och prövning under ordnade former.



Figur 4.3. Konvergenszoner och utvalda funktionella samband inom AI-metoder, agenter och syntetiska medier. Ovalerna visar konvergenszoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden är en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.4 Autonomi, robotik och perception

Arenan omfattar autonoma system som kan uppfatta sin omgivning, tolka vad som händer och agera i den fysiska världen. Sensorer skapar en lägesbild, AI och annan programvara tolkar informationen och styrsystem överför besluten till motorer, gripdon och andra manövermekanismer. Resultatet mäts och återförs till systemet så att det kan justera nästa steg. Denna återkopplade kedja omfattar både robotar som samarbetar direkt med människor och geografiskt spridda system som utför uppgifter med begränsad mänsklig styrning. Samma kedja av avkänning och tolkning används i övervakningssystem. Dessa system skapar lägesbilder och ger människor underlag för beslut.

Tekniker i samspel

Utvecklingen går mot modeller som kan förena syn, ljud, kraft, beröring och rörelse med planering och styrning. I robotik kombineras detta med mjuka eller följsamma rörelser, finmotorisk hantering och säkerhetsfunktioner som gör det möjligt att samarbeta direkt med människor. I övervaknings- och skyddssystem kombineras radar, kameror, infraröda sensorer och kemiska eller biologiska detektorer för att skapa en snabbare och mer robust lägesbild. Den svåraste delen är ofta inte den enskilda sensorn eller modellen. Utmaningen är i stället att få hela kedjan att fungera inom den tid och med den säkerhet som uppgiften kräver.

Kopplingar till andra arenor

Kretsar från *AI-beräkning*, *halvledare och fotonik* ger kapacitet att tolka sensordata nära den plats där de samlas in. *AI-metoder*, *agenter och syntetiska medier* bidrar med metoder för tolkning och planering, medan *Avancerad tillverkning och material* tillhandahåller sensorer och precisionsdelar. Robotiken används i sin tur i fabriker och automatiserade laboratorier. Inom *Rymd, flyg och försvar* förenas den med obemannade plattformar som arbetar över långa avstånd eller under förhållanden med störd kommunikation. Kraven från dessa användningsområden driver i sin tur utvecklingen av tåligare sensorer, säkrare styrning och bättre testmetoder. Det gäller särskilt i miljöer där människor, fordon eller kritisk infrastruktur kan påverkas av felaktiga beslut.

Aktörer och beroenden

Förmågan byggs i samspel mellan robot- och plattformstillverkare, sensor- och kretsleverantörer, systemintegratörer, programvaruföretag, testmiljöer och kravställande användare. Test och utvärdering utgör en avgörande flaskhals eftersom hela systemet måste verifieras i realistiska situationer. Detta gäller särskilt händelser som inträffar sällan men kan få allvarliga konsekvenser. Sådana händelser är ofta svåra att fånga under normal drift. Förmågan koncentreras till industrimiljöer där utvecklare, användare och testområden finns nära varandra och där ansvars- och säkerhetskrav kan hanteras. Sveriges robotik- och fordonsindustri, tillsammans med forskning och testmiljöer, ger en grund för att utveckla och verifiera autonoma funktioner. En möjlig roll för Sverige är att förena sensorer, styrning och säkerhet i krävande industriella tillämpningar.

4.5 Kvantteknik

Arenan omfattar tre närliggande men tekniskt skilda utvecklingslinjer med olika användningsområden och mognadsgrad: kvantberäkning, kvantsensorer och kvantkommunikation. De använder kvantfysikaliska fenomen för banbrytande metoder att beräkna, mäta och överföra information. De kvantfysikaliska funktionerna måste samtidigt byggas in i system som till stor del består av konventionell precisionsteknik. Det gäller bland annat ljuskällor, detektorer, styr- och avläsningselektronik, mycket precisa tidsreferenser samt system som omvandlar signaler mellan mikrovågor, ljus och kvanttillstånd. De tre kvanttekniska utvecklingslinjerna har ett gemensamt behov av mycket hög precision och kontroll, både i utvecklingen och i de praktiska tillämpningarna.

Tekniker i samspel

En central utmaning för kvantberäkning är att styra många samverkande kvantbitar och läsa av resultat med så få fel att beräkningen blir tillförlitlig. Metoder för felrättning, elektronik med låg störningsnivå och förbindelser mellan processorer är viktiga delar i detta. Kvantsensorer utnyttjar kvantsystems känslighet för att mäta exempelvis svaga magnetfält eller små rörelser. Tillsammans med atomur och andra sensorer kan de stödja och förbättra positionering och navigering när satellitsignaler är svaga eller störda. Inom kvantkommunikation används kvanttillstånd bland annat för att dela kryptografiska nycklar. Postkvantkryptografi använder matematiska metoder som är utvecklade för att stå emot angrepp från kvantdatorer och kan införas i vanliga digitala system.

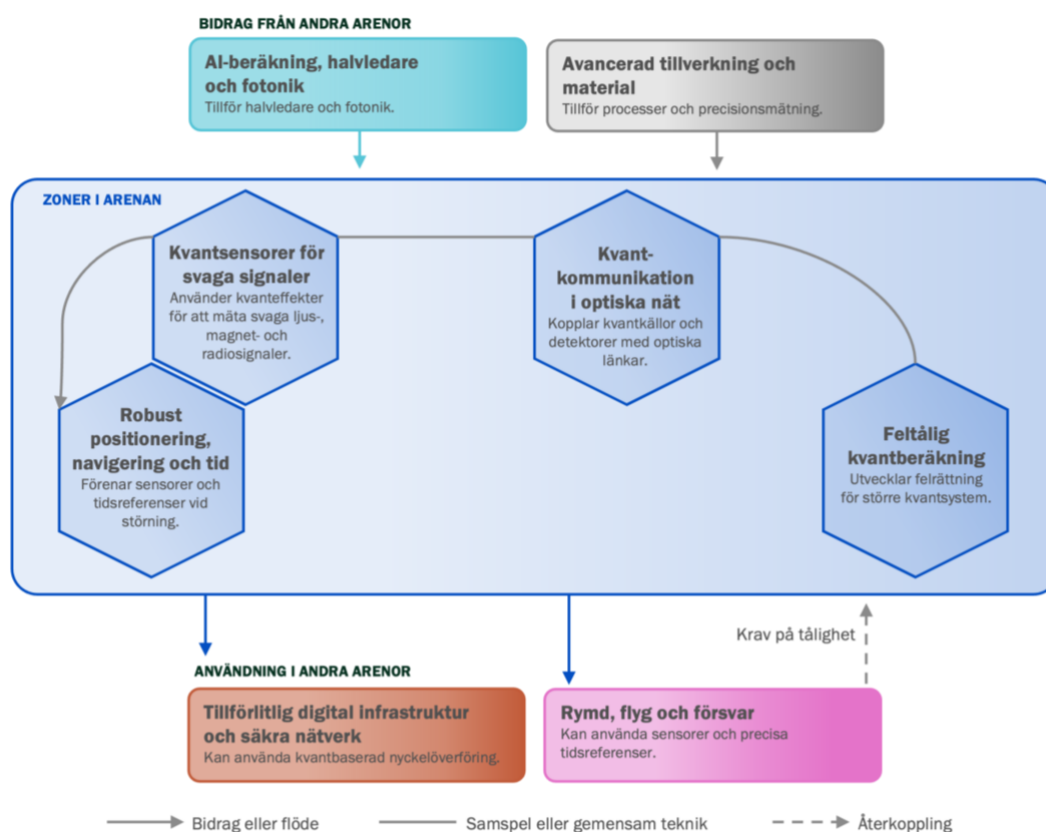
Kopplingar till andra arenor

Halvledare och fotoniska komponenter för kvanttekniker utvecklas inom *AI-beräkning, halvledare och fotonik*, med stöd av processer och mätutrustning från *Avancerad tillverkning och material*. Kvanttekniken kan i sin tur bidra med mer känsliga mätmetoder och exakta tidsreferenser till *Rymd, flyg och försvar* samt metoder för nyckelöverföring till *Digital infrastruktur och säkra nätverk*. Användningsmiljön påverkar samtidigt konstruktionen. Sambanden mellan arenorna går därför åt båda hållen. Krav på räckvidd, storlek, kylning och användbarhet avgör vilka laboratorieresultat som kan utvecklas till praktiskt användbara system. En sensor för en rörlig plattform kan exempelvis behöva tåla vibrationer och temperaturväxlingar och samtidigt ha låg vikt och låg energiförbrukning.

Aktörer och beroenden

Universitet, mättekniska institut och specialiserade företag utvecklar olika delar av kvantsystemen, ofta inom offentligt finansierade program. Runt dem finns företag inom fotonik, kryoteknik, elektronik, instrument och programvara. Kompetens och infrastruktur är koncentrerade till ett begränsat antal forsknings- och produktionsmiljöer. Därför är vägen från forskning till användning ofta lång. En särskild ljuskälla, detektor, tillverkningsprocess eller testmiljö kan därför få stor strategisk betydelse. Testmiljöer, rena produktionsmiljöer och särskilda komponenter påverkar möjligheten att föra

tekniken från laboratorium till användning. Svenska forskningsmiljöer inom kvantberäkning och företag med kunnande i exempelvis förstärkare och kapsling kan bidra med specialiserade delar. Svenska roller kan utvecklas inom komponenter, styrning och mätteknik, förutsatt att de samtidigt har nära kopplingar till internationella forsknings- och produktionsmiljöer.



Figur 4.5. Konvergenzoner och utvalda funktionella samband inom kvantteknik. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden är en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.6 Bioteknik, biosensorer och bioproduktion

Arenan förenar biologisk mätning och modellbaserad analys med utformning och produktion. Biologiska processer kan mätas, modelleras och förändras för att exempelvis utveckla diagnostik, läkemedel och nya produktionsmetoder. Biosensorer registrerar ämnen eller reaktioner med hjälp av biologiska komponenter. Organ-on-chip är små testsystem som efterliknar viktiga egenskaper hos mänskliga organ och genererar data om celler, vävnader och biologiska processer. AI-modeller kan tolka mätresultat och föreslå molekylstrukturer eller genetiska förändringar. Genredigering, automatiserade laboratorier och bioprocesser omsätter förslagen i praktiken genom att skapa förändrade egenskaper hos celler eller i producerade molekyler. Resultaten från varje experiment kan sedan användas för att förbättra nästa modell, utformning och försök.

Tekniker i samspel

När modeller och experiment knyts närmare samman kan resultaten från ett försök styra nästa. Steg som tidigare varit åtskilda och till stor del manuella kan nu kopplas ihop i en snabbare och mer automatiserad utvecklingscykel. En AI-modell kan exempelvis föreslå ett protein med önskade egenskaper. Laboratoriet testar sedan hur det fungerar, och resultaten används för att förbättra nästa förslag. Robotiserad utrustning kan utföra många försök parallellt medan, integrerade testsystem snabbt mäter utfallet.

Mikrokanaler som hanterar mycket små vätskevolymen gör försöken mindre resurskrävande och lättare att genomföra parallellt. I nästa steg kan celler eller cellfria system programmeras för att producera proteiner, livsmedels ingredienser eller andra funktionella molekyler. Den tätare återkopplingen mellan data, modell och experiment kan korta utvecklingstiden och ge jämnare kvalitet. Vid större produktionsvolymen blir stabilt utbyte, renhet och jämn kvalitet avgörande. Gränssnitt mellan hjärna och dator kan koppla samman biologiska signaler med digital tolkning och återkoppling, exempelvis i hjälpmedel.

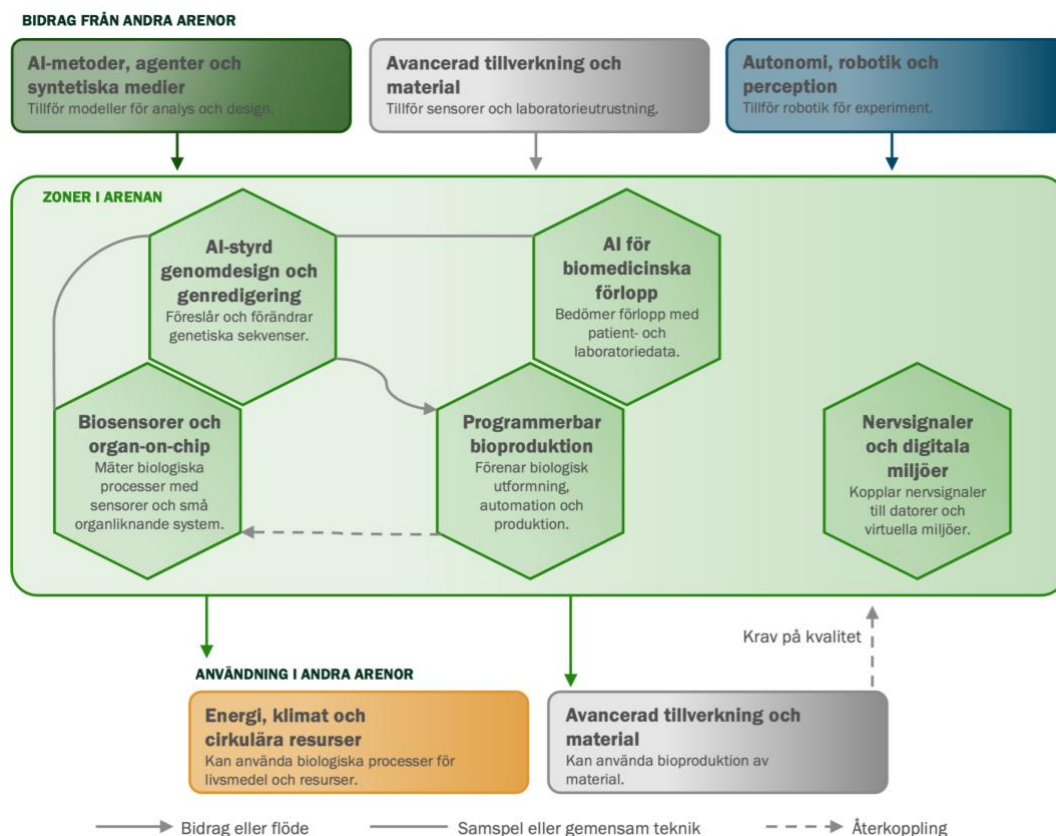
Kopplingar till andra arenor

Modeller från *AI-metoder, agenter och syntetiska medier* och kapacitet från *AI-beräkning, halvledare och fotonik* stödjer biologisk analys och utveckling. *Avancerad tillverkning och material* bidrar med sensorer och laboratorieutrustning, medan *Autonomi, robotik och perception* möjliggör automatisering av experiment. Biotekniken tillför i sin tur diagnostiska metoder, biologiska läkemedel och processer för livsmedels- och materialproduktion. Samtidigt styr användningen vilka krav som ställs på säkerhet, verifiering och kontroll av produktionen. Det finns också en nära koppling till *Autonomi, robotik och perception* genom robotiserade laboratorier och genom sensorer som används nära kroppen eller i komplexa eller krävande miljöer.

Aktörer och beroenden

Universitet och sjukhus utvecklar kunskap och tillhandahåller kliniska miljöer och provsamlingar. Bioteknikföretag utvecklar produkter, medan utrustningsleverantörer och producenter bygger laboratorie- och produktionsplattformar som kan skala upp

processerna. Tillsynsmyndigheter spelar en viktig roll i utvecklings- och värdekedjan genom att pröva säkerhet och besluta om tillstånd och godkännanden. Strategiskt viktiga led kan finnas i biologiska data, provsamlingar, laboratorieplattformar, produktionskapacitet och kvalitetskontroll. Förmågan koncentreras till ekosystem där forskning, sjukvård, kapital och bioproduktion kan kopplas samman. Samtidigt är dessa miljöer beroende av internationella kunskaps- och produktionsnätverk. Svenska roller kan utvecklas i kopplingar mellan forskning, klinisk verksamhet och bioprocesser. Där kan forsknings- och vårdmiljöer utgöra en grund för diagnostik som förenar biologiska mätningar med AI. Svenska testanläggningar för bioproduktion ger samtidigt möjlighet att pröva större volymer och utveckla den kvalitetskontroll och biosäkerhet som krävs för industriell användning.



Figur 4.6. Konvergenzoner och funktionella samband under utveckling inom bioteknik, biosensorer och bioproduktion. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden är en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.7 Energi, klimat och cirkulära resurser

Arenan följer hur energi, råvaror, kol och vatten utvinns eller fångas in, förädlas, lagras, används och återvinns. Arenan är den bredaste av de nio arenor som analyseras i rapporten och rymmer teknik med mycket olika mognad och tidshorisont, från styrning av befintliga elnät till utveckling av fusion. Arenan hålls samman av den centrala roll som fysiska flöden spelar. Tillgången till resurser, anläggningar och nät sätter samtidigt ramarna för hur olika tekniker och system kan kombineras. De olika zonerna beskriver därmed olika delar av resurs- och försörjningssystemen. Dessa system kopplas också allt oftare samman.

Tekniker i samspel

Tre systemsamband är särskilt tydliga. Elsystem förenar prognoser och nätstyrning med flexibel elanvändning och lagring som verkar över olika tidsrymder. System för sortering, separation och rening kan med hög kvalitet återföra metaller och andra värdefulla material till produktionskedjan. System för koldioxidinfångning kan kombineras med elektrolytisk vätgasproduktion för att framställa bränslen eller kemiska insatsvaror. Klimatnyttan beror på vilken energi som används, vilka utsläpp som uppstår i tillverkningen och om kolet senare släpps ut eller lagras varaktigt. I den fysiska infrastrukturen korsas och kopplas dessa system genom kablar, värmenät, vattenflöden och industriella processer. Digital styrning kan samtidigt förbättra effektiviteten och resursutnyttjandet. Inom odling kan sensorer och bildanalys styra bevattning, näring och klimat så att vatten och andra insatsvaror används effektivare.

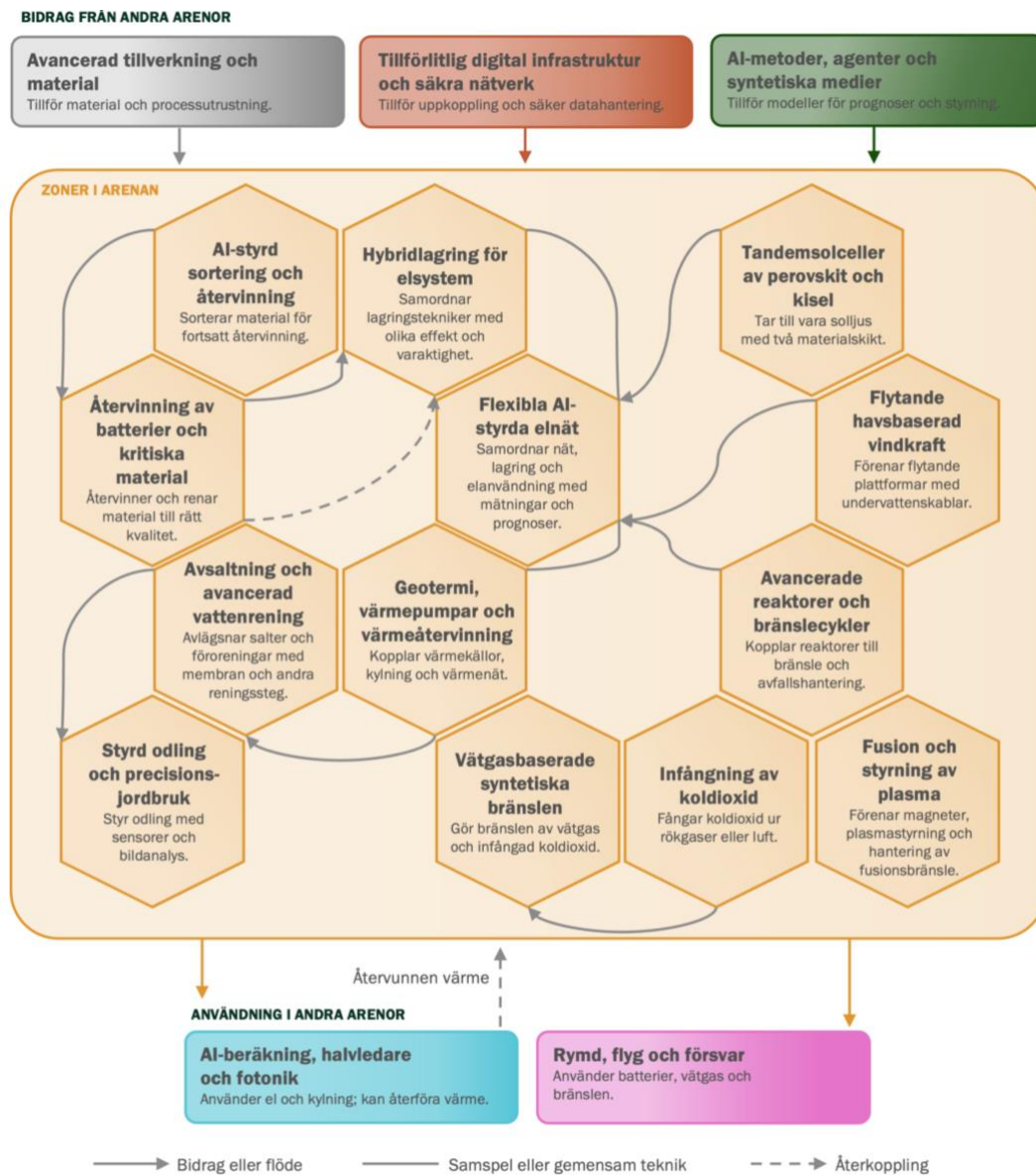
Kopplingar till andra arenor

Material och processutrustning kommer från *Avancerad tillverkning och material*, medan uppkoppling från *Digital infrastruktur och säkra nätverk* samt modeller från *AI-metoder, agenter och syntetiska medier* stödjer övervakning och styrning. Energisystemen tillför i sin tur el till *AI-beräkning, halvledare och fotonik*. Datacenter kan återföra värme till fjärrvärmenät och andra verksamheter när temperaturer och avstånd medger det. Batterier och vätgas skapar också kopplingar mellan arenan och utvecklingen inom flyg i *Rymd, flyg och försvar*. Nyttan av att samordna olika flöden beror på anläggningarnas kapacitet och läge samt tillgången till nät och transporter.

Aktörer och beroenden

Energibolag och infrastrukturägare driver produktionsanläggningar, nät och lagring, medan processindustrin omvandlar och använder stora energi- och materialflöden. Gruv- och materialföretag tillhandahåller eller återvinner råvaror. Utrustningsleverantörer skalar upp processer, medan offentliga aktörer styr genom program, regler och tillstånd. Investeringarna har långa ledtider och aktörerna är ofta beroende av varandra. En ny anläggning kan exempelvis behöva invänta nätanslutning eller tillgång till en viss råvara. Naturresurser, elnät, hamnar, industrianläggningar, vatten och mark gör att många delar av systemet är tydligt platsbundna. Flaskhalsar kan uppstå i materialrenhet, nätanslutning, tillstånd, finansiering eller förmågan att bygga och driva stora

anläggningar. Svenska systemroller kan utvecklas där energi, processindustri och cirkulära materialflöden integreras. Deras strategiska värde påverkas samtidigt av framtida förutsättningar för energi, handel och säkerhet.



Figur 4.7. Konvergenzoner och utvalda funktionella samband inom energi, klimat och cirkulära resurser. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden är en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.8 Rymd, flyg och försvar

Arenan omfattar system för att observera, kommunicera, navigera och genomföra uppdrag över långa avstånd eller under extrema och störda förhållanden. Detta ställer höga kvalitets- och prestandakrav på de ingående teknikerna. Rymd-, flyg- och försvarssystem delar en teknisk bas inom sensorer, säker kommunikation, autonomi, framdrivning, avancerade material och robusta plattformar. Samtidigt skiljer sig kraven på tillförlitlighet, användning och kontroll. Gemensamma tekniska förmågor kan därmed få både civila och militära tillämpningar, med olika krav på tillförlitlighet, tålighet och kontroll.

Tekniker i samspel

Jordobservation samt system för underrättelseinhämtning, övervakning och spaning kombinerar radar, kameror för synligt ljus samt infraröda och multispektrala sensorer. Algoritmer kan sammanföra informationen till en gemensam lägesbild och hjälpa till att identifiera mönster och objekt som är svåra att urskilja i en enskild källa. I omloppsbanan kan servicefarkoster inspektera, flytta, tanka och reparera satelliter. Uttjänta objekt kan föras till en säker bana eller förberedas för ett kontrollerat återinträde i atmosfären. Det kan förlänga livslängden på systemen och göra rymdinfrastrukturen mer robust och lättare att uppgradera. Autonoma luft-, yt- och undervattensplattformar förenar sensorer och kommunikation med planering och samordnad styrning av uppdrag. Hypersoniska flygfarkoster och snabba rymdtransporter kräver att framdrivning, värmetålighet, aerodynamik, material och styrning utvecklas som en helhet. System för riktad energi koncentrerar elektromagnetisk energi i styrbara strålar och ställer höga krav på kraftförsörjning, kylning och precision.

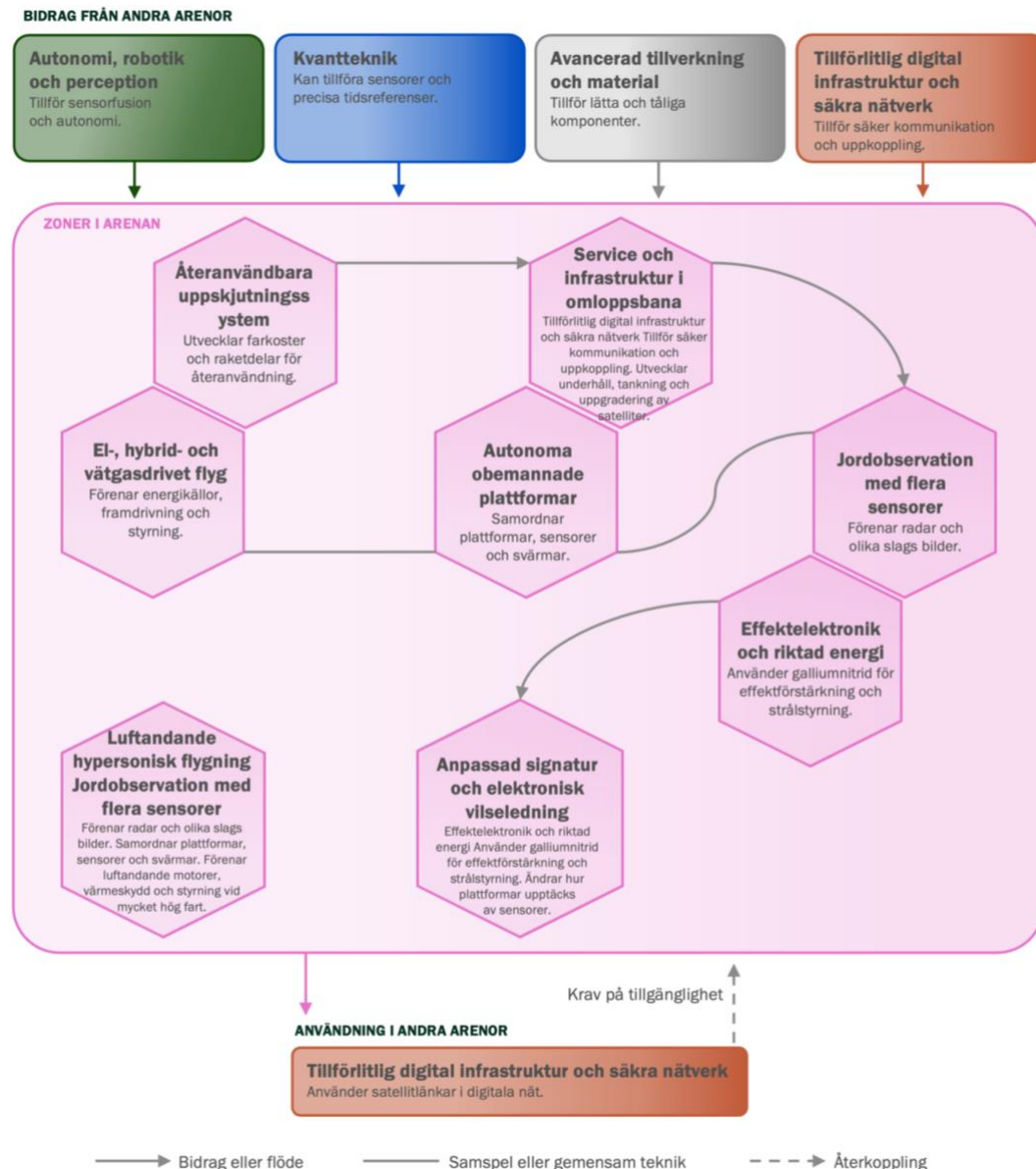
Kopplingar till andra arenor

Arenan har starka kopplingar till många av de övriga arenorna. *Autonomi, robotik och perception* tillför sensorfusion och autonomi till arenan, medan *Avancerad tillverkning och material* bidrar med tåliga och lätta komponenter. Sensorer och tidsreferenser från *Kvantteknik* kan stödja robust positionering, navigering och tidhållning. *Digital infrastruktur och säkra nätverk* tillför säker kommunikation och uppkoppling. Arenan tillför i sin tur observationer och satellitlänkar till digitala nät och samhällstjänster. Kraven på plattformarna påverkar samtidigt utvecklingen av komponenterna. Strålning, vibrationer, låg vikt och begränsad energitillgång påverkar konstruktionen.

Aktörer och beroenden

Statliga beställare definierar behov och säkerhetskrav, stora systemleverantörer integrerar plattformarna och specialiserade företag levererar komponenter och tjänster. Uppskjutnings- och testmiljöer gör det möjligt att utprova kritiska system. Tillsammans med tillgång till data, internationella samarbeten samt nationella och internationella program är de viktiga för förmågeutvecklingen. Leveranskedjorna är samtidigt ofta internationella och påverkas av exportkontroll. En specialkomponent, en säker kommunikationslänk eller en godkänd testmiljö kan vara lika strategiskt viktig som hela

plattformen. Svenskt kunnande inom flyg- och försvarssystem, satellitkomponenter och testverksamhet kan ge möjligheter att både leverera delsystem och integrera dem i större system. Internationella program och samarbeten ger tillgång till teknik, kunder och gemensamma utvecklingsprojekt.



Figur 4.8. Konvergenzoner och utvalda funktionella samband inom rymd, flyg och försvar. Ovalerna visar konvergenzoner. Linjetyperna förklaras i figuren. Sambanden är en kvalitativ syntes och omfattar även teknik under utveckling. Placeringarna är schematiska.

4.9 Avancerad tillverkning och material

Arenan omfattar tekniker som gör kedjan från konstruktion och materialval till tillverkning och mätning mer sammanhängande. Med generativ design kan algoritmer föreslå geometrier och materialfördelningar utifrån krav på styrka, vikt, funktion och tillverkningsmetod. Vid additiv tillverkning byggs komponenten lager för lager i stället för att formas genom att material avlägsnas. Tryckt elektronik gör det möjligt att integrera elektriskt ledande banor och andra elektroniska funktioner direkt på en yta eller i en struktur. Precisionsmätning jämför resultatet med konstruktionsunderlaget och gör det möjligt att justera processen. Arenan skapar därmed tekniska förutsättningar för många andra system.

Tekniker i samspel

Kopplingen mellan digital konstruktion, processtyrning och verifiering blir allt tätare. En algoritm kan ta hänsyn till materialegenskaper och processbegränsningar redan när geometrin skapas. Under tillverkningen kan sensorer och mätutrustning upptäcka avvikelser och justera hur material läggs till och bearbetas eller hur maskinerna rör sig. Grafen och kolnanorör, två former av nanostrukturerat kol med hög elektrisk ledningsförmåga, kan ge elektriska funktioner i tryckta eller bärande komponenter. Adaptiv optik använder på motsvarande sätt mätning och styrbara speglar för att korrigera ljusets väg eller bildens skärpa i realtid. För att gå från prototyp till serieproduktion behöver tillverkningen ge samma kvalitet gång efter gång. Mätning och processtyrning blir därför en integrerad del av själva produktionen.

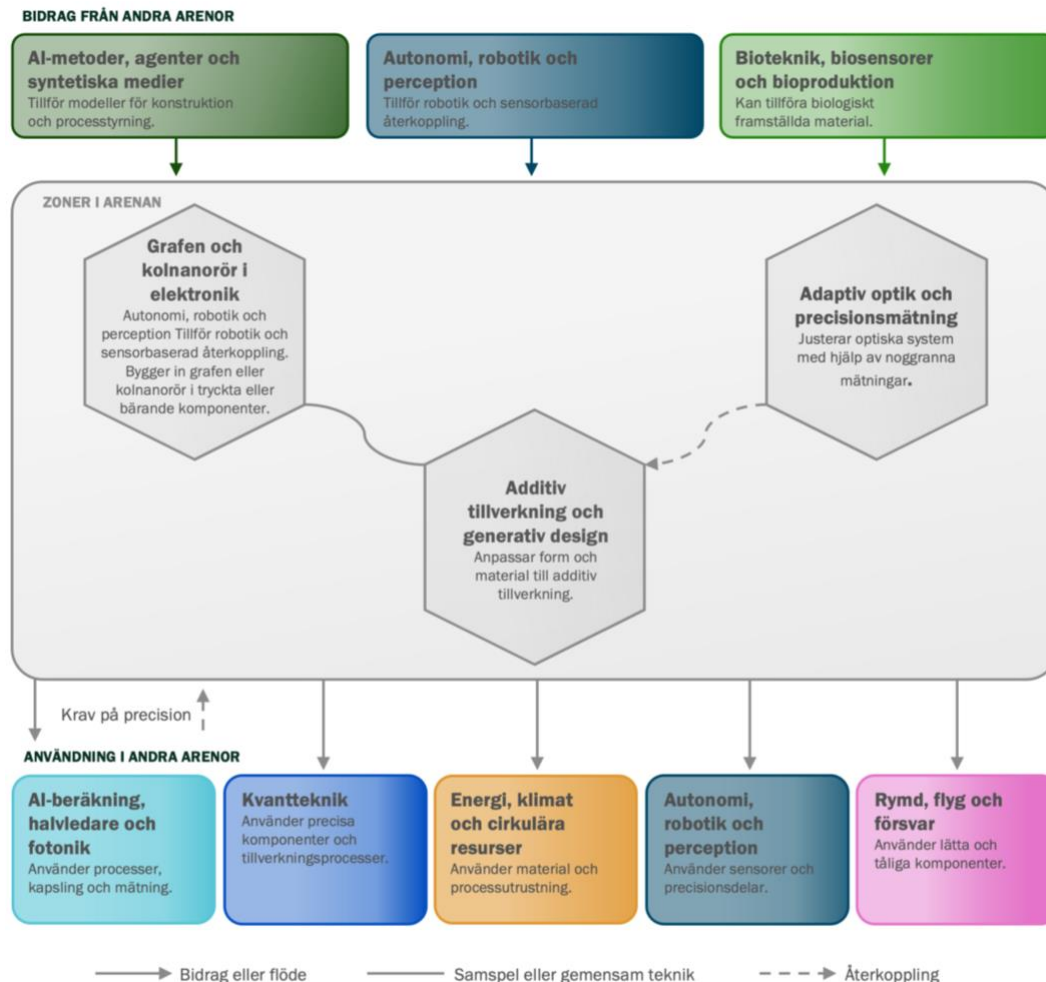
Kopplingar till andra arenor

AI-metoder, agenter och syntetiska medier bidrar med modeller för generativ design och processtyrning. *Autonomi, robotik och perception* tillför robotik och sensorbaserad återkoppling i tillverkningen. *Bioteknik, biosensorer och bioproduktion* kan bidra med biologiskt framställda material. Material, optik, mätteknik och produktionsprocesser används sedan inom bland annat *AI-beräkning, halvledare och fotonik, Kvantteknik, Energi, klimat och cirkulära resurser, Autonomi, robotik och perception* samt *Rymd, flyg och försvar*. Kraven från användningen påverkar i sin tur tillverkningen. En flygkomponent kan behöva tåla hög temperatur och samtidigt vara lätt, medan en optisk komponent kan kräva mycket små avvikelser från sina givna mått. Halvledartillverkning och avancerad kapsling kopplar direkt samman materialutvecklingen med AI-beräkning.

Aktörer och beroenden

Maskin- och utrustningsleverantörer bygger produktionssystemen, materialföretag utvecklar insatsvarorna och programvaru- och mätteknikföretag kopplar samman konstruktion, styrning och kvalitetskontroll. Industriella användare, testmiljöer och certifieringsorgan prövar om resultaten klarar användningskraven och skapar förutsättningar för att skala upp tillverkningsprocesser. Processkunnandet är ofta svårt att överföra och byggs upp nära produktionen, vilket gör den industriella geografin relativt beständig. Avgörande beroenden kan finnas i ett material, en maskin, en

mätmetod, en standard eller förmågan att gå från prototyp till jämn produktion. Ett särskilt material, en maskin eller en kvalificerad process kan bli svårt att ersätta. Svenska roller kan utvecklas där specialmaterial, utrustning och systemintegration kombineras i kvalificerade industriella miljöer.



5 Internationella aktörer, ekosystem och beroenden

En stark forskningsbas ger inte nödvändigtvis kontroll över den teknik som till slut används. Utveckling och produktion är fördelade mellan länder: ett land kan vara ledande inom forskning, ett annat inom tillverkning och ett tredje behärska utrustning eller material som båda behöver. Därför behöver forskningsstyrka, industriell kapacitet och kontroll över kritiska leverantörsled analyseras tillsammans.

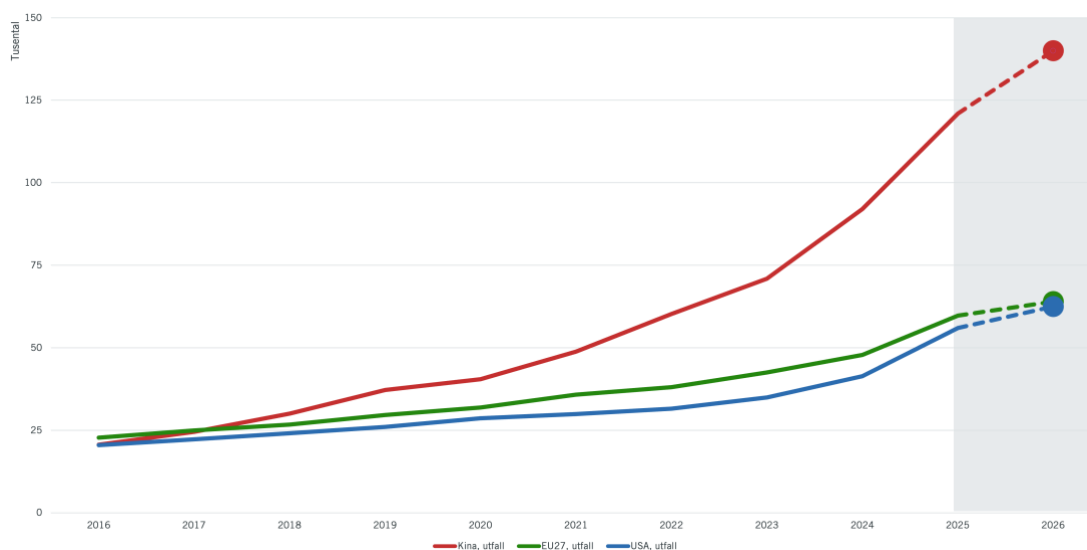
Skillnaderna blir tydliga i de studerade tekniksystemen. Kina har en snabbt växande forskningsbas och starka positioner inom batterier och materialförädling. USA förenar stora forskningsmiljöer med ledande företag inom AI och kretsdesign. EU har en bred forskningsbas och viktiga leverantörer av halvledarutrustning, optik och bioprocessutrustning, medan Taiwan, Sydkorea och Japan har centrala roller i andra specialiserade led. När exportkontroller och säkerhetskrav förändrar tillgången till dessa resurser får arbetsdelningen också större strategisk betydelse.³

5.1 Forskningens geografi och internationella relationer

Kina stärker sin position

År 2016 hade Kina, USA och EU ungefär lika stora volymer av vetenskapliga publikationer inom de nio konvergensarenorna. Sedan dess har den kinesiska publiceringen ökat kraftigt och är i dag nästan sex gånger större än 2016. Under samma period har publiceringen i USA och EU ökat till drygt två och en halv gånger utgångsnivån. Figur 5.1 visar hur tyngdpunkten i den öppna kunskapsutvecklingen successivt har flyttats mot Kina.

³ Analysen bygger på rapportens samlade dataunderlag om forskning, företag och investeringar samt källbaserade teknikbedömningar. Utvalda internationella rapporter och andra primärkällor ger kompletterande stöd och anges i fotnoter. Källor, avgränsningar och analysmetoder beskrivs i kapitel 2 och metodannexet.



Figur 5.1. Forskningens utveckling i Kina, USA och EU27. Streckade linjer anger preliminär årstakt för 2026, beräknad från januari till juni och framskriven utifrån halvårs-helårsförhållandet 2024–2025. Källa: OpenAlex. Analys: Vinnova.

För europeiska och amerikanska aktörer får tillgången till kinesisk forskning allt större strategisk betydelse. Samtidigt skärps kraven på vilka tekniker och samarbeten som behöver skyddas. När den kinesiska forskningsbasen växer blir det därför allt viktigare att väga kunskapsutbyte mot säkerhet.

Olika tyngdpunkter inom teknikområdena

Kinas forskningsbas är sedan 2023 större än både EU:s och USA:s inom åtta av de nio arenorna. Försprånget är särskilt tydligt inom *Energi, klimat och cirkulära resurser, Autonomi, robotik och perception* samt den öppet publicerade forskning som ingår i *Rymd, flyg och försvar*. Inom *Kvantteknik* är fördelningen jämnare och EU är störst av de tre. Europeiska forskningsmiljöer har en större relativ tyngd i utvecklingen av nya tekniska lösningar. Inom *AI-beräkning, halvledare och fotonik* är forskningsbaserna i USA och EU ungefär lika stora.

EU:s samlade styrka är fördelad mellan många medlemsländer. Gemensamma pilotlinjer och beräkningsresurser kan knyta samman forskningsmiljöer, infrastruktur och industriell kompetens över nationsgränser. Förmågan att samordna dessa resurser blir särskilt viktig när nästa utvecklingssteg kräver investeringar som enskilda miljöer har svårt att bära.

Stor forskningsbas och snabb expansion

Figur 5.2 visar stora skillnader mellan de 50 konvergenszonerna. *AI-agenter under mänsklig styrning* förenar en stor forskningsbas med mycket hög uppskattad publiceringstillväxt. Även *Syntetiska medier och digitala gestalter* hör till de snabbast växande zonerna. *Övervakning och robust drift av infrastruktur* och *Zero Trust moln- och nätverkssäkerhet* växer också snabbt, men från betydligt mindre forskningsbaser. Tillväxten omfattar alltså både nya AI-tillämpningar och tekniker för att övervaka infrastruktur och skydda digitala tjänster.

Övervakning och robust drift av infrastruktur 32.4%

Zero Trust moln- och nätverksäkerhet 30.7%

AI-agenter under mänsklig styrning 31.8%

Syntetiska medier och digitala gestalter 28.5%

Vätgasbaserade syntetiska bränslen 25.3%

Skyddad data delning 23.2%

Infrastruktur för storskalig AI 22.2%

AI-styrd genomdesign och genredigering 27.2%

Kvantsäker digital identitet 18.2%

Fusion med magnet- och AI-styrning 27.0%

Lokal AI och federerat lärande 28.2%

AI för biomedicinska flöden 24.0%

Samarbetande och assisterande robotar 23.1%

Styrd odling och precision jordbruk 27.2%

Flexibla AI-styrda elnät 17.1%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Robust positionering, navigering och tid 30.4%

Kvantsäkra optiska nät 14.5%

Snabb lägebild genom sensorfusion 26.2%

Avsättning och avancerad vattenrening 24.6%

Programmerbar bioproduktion 28.6%

Luftfartande hypersonisk flygning 30.1%

Service och infrastruktur i omloppsbana 36.0%

Återanvändbar snabb rymdåtkomst i 25.4%

Avancerade reaktorer och bränslecykler 26.4%

AI-styrd sortering och materialåtervinning 32.6%

Autonoma obemannade plattformar 31.9%

Återvinning av batteri- och kritiska material 22.9%

AI-kretsar, minne och avancerad kapsling 22.6%

El-, hybrid- och vätgasdrivet flyg 27.9%

Integrerad fotonik och optisk beräkning 14.7%

Jordobservation med flera sensorer 31.6%

Infångning av koldioxid 31.2%

Additiv tillverkning med datorgenererad design 22.4%

Halvledartillverkning i atomskala 12.0%

Strömsnål uppkoppling via marknät och satellit 19.0%

Ledande nanokoll i strukturer 18.1%

Tandemsolceller av perovskit och kisel 23.3%

Adaptiv optik och precisionsmätning 15.1%

Hjälmdatorglänsnitt i digitala miljöer 22.7%

Kvantsensorer för svaga signaler 17.9%

Avancerad kapsling och processmätning 11.7%

Adaptiv signaturanpassning och elektronisk vilsledning 18.1%

Avancerade reaktorer och bränslecykler 26.4%

Service och infrastruktur i omloppsbana 36.0%

Återanvändbar snabb rymdåtkomst i 25.4%

Luftfartande hypersonisk flygning 30.1%

Programmerbar bioproduktion 28.6%

Avsättning och avancerad vattenrening 24.6%

Snabb lägebild genom sensorfusion 26.2%

Kvantsäkra optiska nät 14.5%

Robust positionering, navigering och tid 30.4%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Neuromorfa sensorer och lokal AI

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 17.3%

Feltlig kvantberäkning 27.2%

Hybridlagring för elsystem 27.9%

Geotermi, värmepumpar och värmeåtervinning 1

Halvledartillverkning i atomskala och *Avancerad kapsling och processmätning* har lägre publiceringstillväxt. Samtidigt är dessa tillverkningsteknikeravgörande för utbyggnaden av AI. Det illustrerar en viktig skillnad. Forskningen kan växa snabbast i andra delar av ett system än där tillverkningskapacitet och tekniskt kunnande sätter gränser för utbyggnaden. Den industriella betydelsen av dessa delar beskrivs närmare i avsnitt 5.2 och 5.3.

Forskningsrelationer i de fyra systemsammanhangen

De fyra systemsammanhang som identifierades i kapitel 3.4 binder samman tekniker från flera arenor. Nätverken i figur 5.3 visar hur deras forskningsbaser är sammanlänkade internationellt. Samma systemsammanhang återkommer i avsnitt 5.3, där analysen följer industriella beroenden och flaskhalsar.

EU:s externa forskningsrelationer har olika tyngdpunkter. Inom *Biologisk mätning, prediktion, design och produktion* har nästan en fjärdedel av EU:s publikationer sedan 2023 amerikansk medverkan. Andelen med kinesisk medverkan ligger däremot under en tiondel. Även inom *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem* är EU:s samarbete med USA större än samarbetet med Kina. Den transatlantiska relationen har alltså en tydlig tyngd i två av de fyra systemsammanhangen.

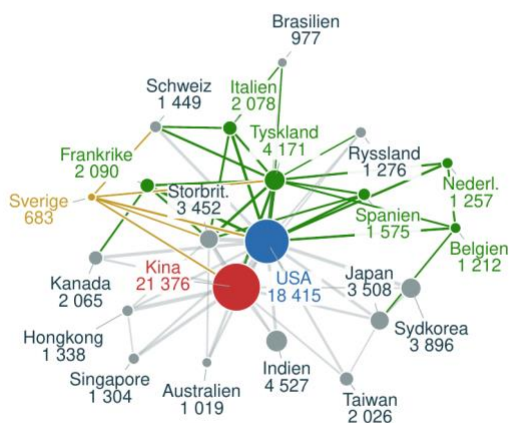
Inom *Lagring, elnät och materialflöden* är EU:s forskningsbas större än USA:s. Samarbetet med Kina är också mer omfattande än samarbetet med USA och förenar en stor kinesisk forskningsbas med starka europeiska forskningskopplingar. Inom *Robust tid, positionering och navigering* ligger EU:s båda relationer närmare varandra. Forskningspopulationen är betydligt mindre. Därför är variationer mellan enskilda år mindre vägledande.

USA och Kina sampublicerar fler arbeten inom samtliga fyra systemsammanhang sedan 2023 än under 2016–2018. Samtidigt har samarbetets andel av Kinas forskning minskat i alla fyra systemsammanhang, eftersom den kinesiska forskningsbasen har vuxit snabbare. Relationen är särskilt asymmetrisk inom *Lagring, elnät och materialflöden*. Ungefär en femtedel av den amerikanska forskningen har kinesisk medverkan, medan motsvarande arbeten utgör omkring en tjugondel av Kinas forskning. Ett begränsat forskningsutbyte skulle därför påverka olika stora delar av de två forskningsbaserna.

Mönstren bakom sampubliceringen ger därmed inga tydliga tecken på att den skärpta geopolitiska konkurrensen har lett till en bred tillbakagång i forskningssamarbetena inom de studerade systemsammanhangen. Arbeten som publicerats fram till i dag speglar dock ofta samarbeten som inleddes tidigare. Förändrade villkor kan därför redan påverka nya samarbeten, men effekterna kan bli synliga först längre fram. För Europa kvarstår därför behovet av att förena internationellt kunskapsutbyte med selektiv riskhantering. De transatlantiska banden består, samtidigt som samarbetet med Kina har betydande tyngd inom viktiga tekniska områden.

Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem

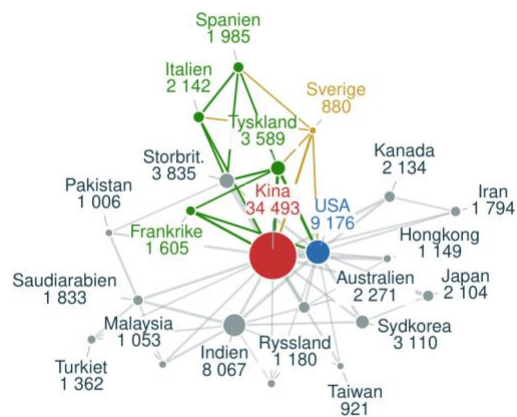
76 492 unika publikationer



Visar 21 länder och 58 länkar

Lagring, elnät och materialflöden

83 851 unika publikationer



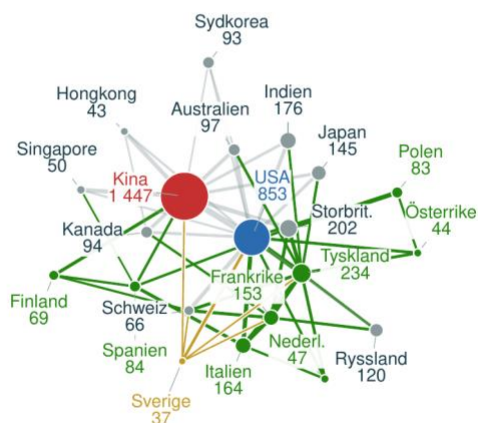
Visar 21 länder och 55 länkar

2020–2025 · Cirkelarea: publikationer · Linjetjocklek: gemensamma publikationer

Grönt: EU27/EU-länder och deras länkar. Ockragult: Sverige och dess länkar. Övriga länkar är grå. Egen skala per system.

Robust tid, positionering och navigering

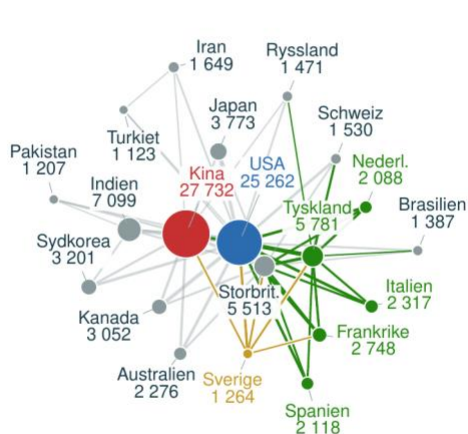
4 503 unika publikationer



Visar 21 länder och 56 länkar

Biologisk mätning, prediktion, design och produktion

93 030 unika publikationer



Visar 20 länder och 55 länkar

Figur 5.3. Forskningssamarbeten i fyra systemsammanhang baserat på sampublicering mellan länder 2020–2025. Överst en jämförelse mellan EU27 (deduplicerat över medlemsländerna), USA och Kina. Vyn omfattar de 20 största länderna samt Sverige, de tre starkaste länkarna per land och Sveriges fem starkaste. Källa: OpenAlex. Analys: Vinnova.

Forskningsstyrkor som framträder per invånare

Räknat per invånare framträder delvis andra forskningsstyrkor. Singapore har den högsta forskningsintensiteten i jämförelsegruppen inom sex av de nio arenorna, däribland de båda AI-arenorna, *Autonomi, robotik och perception* samt *Avancerad tillverkning och material*. Schweiz ligger högst inom *Kvantteknik* och har också en stark position inom flera andra arenor. Danmark har den starkaste positionen inom *Bioteknik, biosensorer och bioproduktion*, medan Norge ligger högst inom *Energi, klimat och cirkulära resurser*.

För Europa framträder både en stor gemensam forskningsbas och att verksamheten är koncentrerad till flera mindre länder. Norden återkommer inom digital infrastruktur, energi och biologisk forskning. Schweiz och Österrike har framträdande positioner inom *Kvantteknik*. Dessa forskningsmiljöer blir strategiskt intressanta när de kan kopplas till den industriella kompetens och den infrastruktur som systemsammanhangen behöver. Sveriges positioner behandlas samlat i kapitel 6.

5.2 Företag, investeringar och industriella ekosystem

Den industriella utvecklingen ger en delvis annan geografisk bild än forskningen. Ledande positioner finns både i stora produktionssystem och i specialiserade leverantörsled. Företagens möjligheter att utveckla ny teknik, finansiera uppskalning och nå kunder avgör var forskningsframsteg omsätts i industriell verksamhet.

Industriell kontroll finns i olika delar av systemen

Inom *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem* har USA starka positioner inom kretsdesign och systemutformning. Taiwan inom avancerad tillverkning och kapsling och Sydkorea inom minnen. Europa och Japan tillhandahåller viktig utrustning, optik och specialmaterial. Inom *Lagring, elnät och materialflöden* har Kina däremot en bred inhemsk kapacitet i batterikedjan, från förädling av material till tillverkning av celler.

En sådan inhemsk leverantörsbas underlättar samordning och snabb uppskalning inom landet. Specialiserade leverantörer kan i stället få stort inflytande över enskilda led som många andra är beroende av. Europas betydelse inom utrustning och optik för halvledartillverkning är ett tydligt exempel. Länder med sådana positioner kan påverka internationell tillgång genom exportvillkor. Samtidigt satsar kundländer på alternativa leverantörer och egen tillverkning.

Inom *Biologisk mätning, prediktion, design och produktion* har USA och Europa viktiga leverantörer av instrument, reningsteknik och processutrustning. Kina och Sydkorea har också betydande roller inom biologiska tjänster respektive tillverkning av biologiska läkemedel. Den industriella styrkan kan ligga i verktygen för att utveckla och framställa många olika produkter. Leverantörernas processkunnande och förmåga att upprätthålla stabil kvalitet gör dessa positioner svåra att ersätta på kort tid.

Förnyelsen och uppskalningen drivs av olika företag

Matrisen i figur 5.4 visar flera utvecklingsmönster. *AI-agenter under mänsklig styrning* kombinerar snabb forskningsexpansion med tidig kommersiell användning. *Avancerad kapsling och processmätning* och *Halvledartillverkning i atomskala* förnyas inom redan etablerade industriella system. *Fusion med magnet- och AI-styrning* befinner sig fortfarande i utvecklings- och demonstrationsfas. Nästa steg kräver att teknisk prestanda och drift fungerar tillsammans i större anläggningar.

Företagens roller skiljer sig också mellan teknisk förnyelse och industrialisering. Inom *Integrerad fotonik och optisk beräkning* har nya företag en viktig roll i utvecklingen av nya lösningar. När tekniken skalas upp behöver de samtidigt samverka med etablerade tillverkare och systemföretag. Inom *Avancerad kapsling och processmätning* väger etablerade företag tungt i båda leden. Det skapar olika vägar till industriellt genomslag och olika förutsättningar för nya aktörer att behålla kontrollen över sin teknik.

Forskningsdynamik och industriell utveckling



Figur 5.4. Forskningsdynamik och industriell utveckling i 50 zoner. Forskningsdynamiken bygger på publiceringsutveckling och kvalitativa källbedömningar. Den industriella dimensionen avser användningen av zonens teknikkombination. Källa: OpenAlex och ST26:s omvärldsunderlag. Analys: Vinnova. Skalorna beskrivs i metodannexet.

Där tillverkning, testning och kundernas system kräver stora gemensamma investeringar får etablerade leverantörer en stark ställning. Nya företag behöver tillgång till deras processer, produktionskapacitet och marknader. Den aktör som driver den tekniska förnyelsen är därför inte alltid densamma som den som får störst inflytande över den fortsatta industrialiseringen.

Kapitalet påverkar var tekniken kan skalas upp

Tillgång till finansiering blir särskilt viktigt när utvecklingen kräver pilotlinjer, processutrustning och fabriker. Investeringarna binder teknik och kompetens till platser där produktionsresurserna byggs upp. För nya företag kan leverantörsavtal, partnerskap och förvärv ge tillgång till produktion och kunder. Samtidigt kan kontrollen över tekniken och framtida investeringar flyttas till det större företagets industriella miljö.

Konkurrensen om framväxande teknik kommer därför sannolikt i hög grad att avgöras där finansiering, produktionskunnskap och efterfrågan kan samlas. Ett starkt flöde av nya tekniska lösningar får större industriell tyngd när det finns kapital och kunder som kan bära nästa utvecklingssteg. Långsiktiga beställningar kan samtidigt göra det möjligt för företag att finansiera kapacitet som annars skulle vara alltför riskfylld att bygga upp. Hur offentliga investeringar och upphandling påverkar dessa förutsättningar beskrivs i avsnitt 5.4.

5.3 Värdekedjor, beroenden och flaskhalsar

En strategisk position innebär kontroll över kunskap, komponenter, material, utrustning eller tjänster som många behöver och som är svåra att ersätta. Beroenden uppstår när aktörer behöver tillgång till sådana resurser från andra. En flaskhals innebär att begränsad tillgång gör att ett system inte kan byggas ut eller användas så snabbt eller i så stor omfattning som annars vore möjligt. Koncentrerad tillverkning, kapacitetsbrist och tidskrävande leverantörsbyten skapar därmed olika typer av strategisk exponering.

Den geopolitiska betydelsen blir särskilt tydlig när ett svårersättligt led kan påverkas genom exporttillstånd, säkerhetskrav eller statliga beslut. De fyra systemsammanhangen från kapitel 3.4 visar hur beroendena fördelas mellan geografier. Forskningsrelationerna i avsnitt 5.1 ger en del av bakgrunden. Tillverkning, infrastruktur och processkunnskap avgör däremot vilka lösningar som faktiskt kan realiseras.

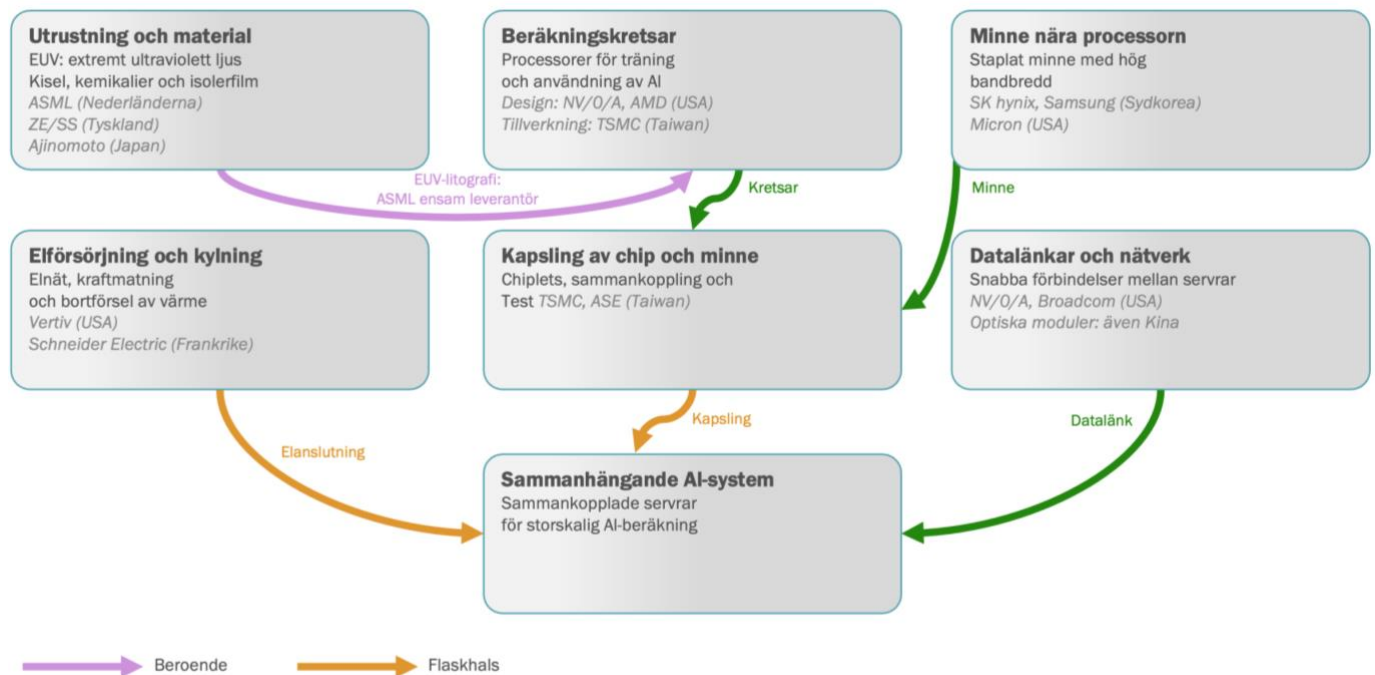
Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem

AI-utbyggnaden bygger på amerikansk kretsdesign med avancerad tillverkning och kapsling i Taiwan och minnesproduktion med starka sydkoreanska positioner. TSMC, som dominerar den globala tillverkningen av de mest avancerade chippen, är en central leverantör i de taiwanesiska leden. Europa, Japan och USA tillhandahåller utrustning och material som gör tillverkningen möjlig. Den globala uppdelningen av värdekedjan skapar flera beroenden som enskilda länder har svårt att ersätta på kort tid.

Europeisk kontroll över viktiga utrustningsled ger inflytande långt utanför Europas egen kretstillverkning. Nederländska ASML är världsledande och ensam leverantör av EUV-litografisystem, som använder extremt ultraviolett ljus för att framställa mycket fina kretsmönster. Företaget är i sin tur beroende av kritisk optik från tyska Zeiss. Tillgången till avancerade kretsar vilar därmed på en kedja av specialiserade leverantörer. Leveranser och exporttillstånd kan påverka hela systemet.⁴

⁴ ASML, Årsrapport 2025, s. 68 (kritisk optik från Zeiss).

Utbyggnaden begränsas också av kapaciteten för avancerad kapsling, där processorer och minnen förenas till fungerande enheter. När beräkningssystemen tas i bruk kan elanslutning och nätutrustning fördröja utbyggnaden. Konkurrensen om AI-kapacitet omfattar därför också platser med tillgång till el och fungerande infrastruktur.⁵



Figur 5.5. Värdekedjor inom *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem*. Underlag: ST26 omvärldsunderlag och kompletterande källor. Analys: Vinnova.

Sverige har roller inom bland annat beräkningsinfrastruktur, kylning och fotonik. Svenska aktörer kan därigenom bidra till den internationella utbyggnaden. Samtidigt är de beroende av utländska kretsar, tillverkningskapacitet och systemplattformar.

Robust tid, positionering och navigering

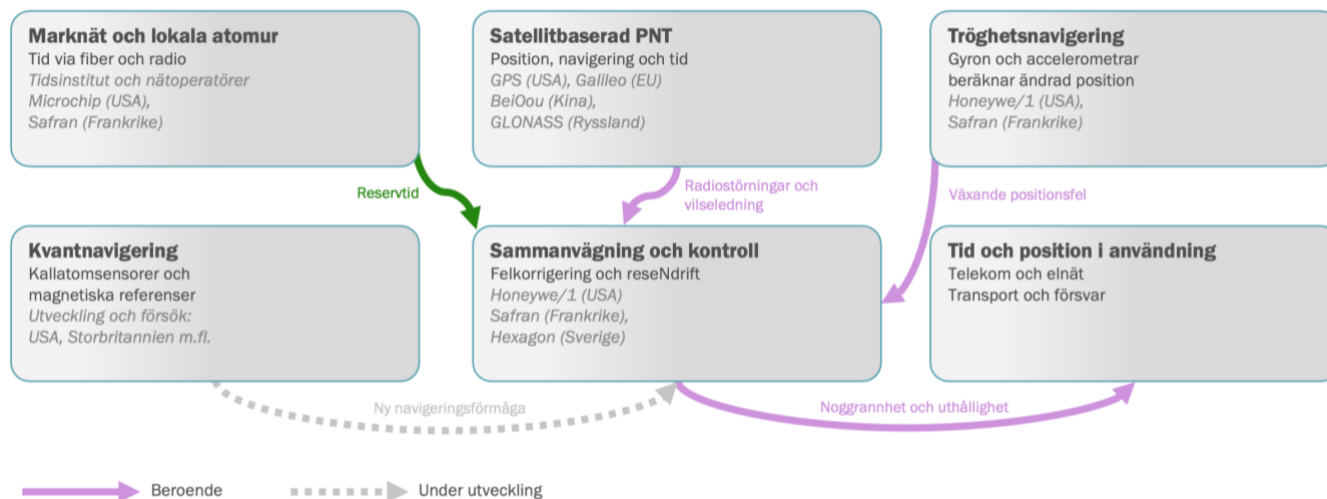
USA:s GPS, EU:s Galileo, Kinas BeiDou och Rysslands GLONASS ger respektive aktör egen kontroll över globala satellitreferenser för tid, positionering och navigering. Systemen minskar beroendet av andra staters infrastruktur. Samtidigt kan radiostörningar och vilseledande signaler påverka flera satellitsystem. Det kan drabbabåde civila verksamheter och militära tillämpningar.⁶

Förmågan att kombinera satellitdata med lokala atomur, tröghetssensorer och andra referenser blir därför central. Kvantmätningar kan på längre sikt förändra möjligheterna att bestämma rörelse och position med mindre beroende av satelliter. Utvecklingen flyttar en del av den strategiska tyngdpunkten till sensorer, signalbehandling och

⁵ IEA, Data-centre bottlenecks, april 2026.

⁶ US DHS, Best Practices for Resilient PNT; EASA, GNSS interference bulletin, juli 2026.

provning av hela lösningen under störda förhållanden. Militära provnings- och införandeprogram kan påskynda utvecklingen genom att förena teknikutveckling med krävande användningsmiljöer.



Figur 5.6. Värdekedjor inom *Robust tid, positionering och navigering*. Underlag: ST26 omvärldsunderlag och kompletterande källor. Analys: Vinnova.

För Sverige kopplar området samman säkerhet i kritisk infrastruktur med möjligheter inom mätning, sensorer och systemintegration. Netnod, som driver internetknutpunkter och nationella tidstjänster, tillhandahåller en distribuerad tidstjänst som minskar beroendet av satellitreferenser. Det ger en nationell infrastruktur som ökar uthålligheten i ett system som i övrigt har omfattande internationella beroenden.

Lagring, elnät och materialflöden

Kinas starka position inom batterier ger landet en central roll i utbyggnaden av energilagring. Litiumjärnfosfatbatterier (LFP) används i stor omfattning för stationär lagring. Tillverkningen av både katodmaterial och battericeller för denna batterityp är nästan helt koncentrerad till Kina. Det växande behovet av energilagring kan därför förstärka ett geografiskt leverantörsberoende. Samtidigt förbättrar lagringen elsystemets flexibilitet.⁷

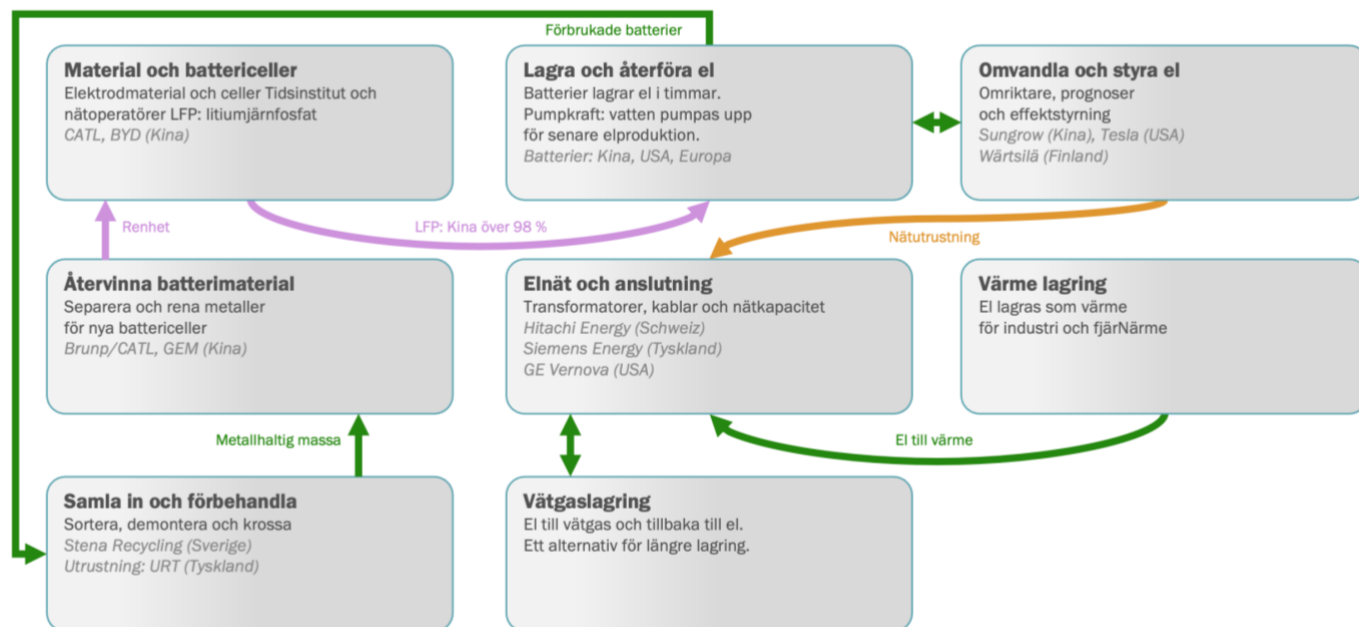
Nätanslutning och styrning avgör hur lagringen kan användas. Begränsad tillgång till transformatorer och kablar kan bromsa utbyggnaden även när battericeller finns tillgängliga. Tillverkare av nätutrustning får därmed en strategiskt viktig roll i omställningen av elsystemet.⁸

Återvinning kan bredda tillgången till batterimaterial. För att återvinna material ska kunna användas i nya produkter behöver de separeras, renas och uppfylla tillverkarnas

⁷ IEA, Global Critical Minerals Outlook 2025: LFP supply chains (produktionsbild för 2024).

⁸ IEA, Transmission grid supply-chain pressures, 2025.

kvalitetskrav. Kapacitet för förädling och fungerande avsättning blir därför avgörande. Det avgör om materialkretsloppet också kan minskaberoendet av koncentrerade leverantörskedjor.



Figur 5.7. Värdekedjor inom Lagring, elnät och materialflöden. Underlag: ST26 omvärldsunderlag och kompletterande källor. Analys: Vinnova.

Sverige har betydelsefull verksamhet inom nätutrustning, halvledarmaterial och återvinning. Nätleverantörer bidrar till överföring och anslutning, materialföretag till specialiserade komponenter och återvinningsföretag till återföring av material. Verksamheterna ger svenska aktörer positioner i flera led. Samtidigt finns ett fortsatt behov av internationella leverantörer och marknader.

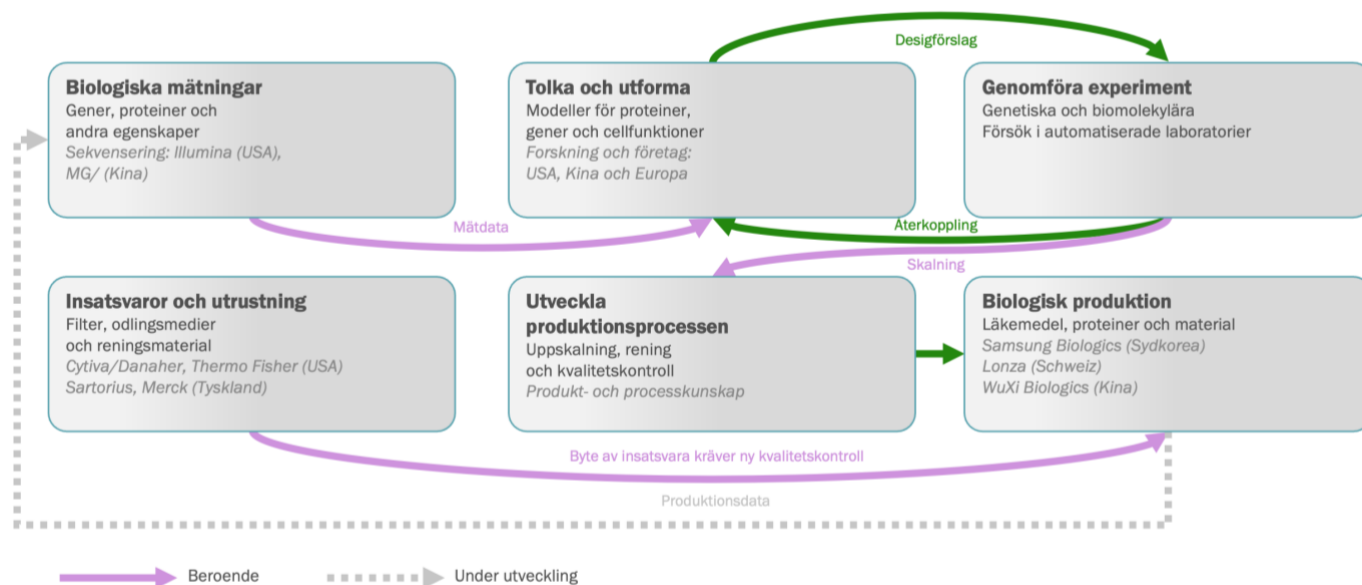
Biologisk mätning, prediktion, design och produktion

Strategiska positioner finns både i kunskapen om biologiska processer och i verktygen för att mäta, förändra och producera. Amerikanska, europeiska och kinesiska aktörer har viktiga roller inom instrument och biologiska tjänster. USA och Europa har starka leverantörer av reningsteknik och bioprocessutrustning, medan tillverkning av biologiska läkemedel ger Sydkorea en betydande position.

Instrument, reagenser, programvara och processkunnande samspelar för att skapa stabila resultat. När en fungerande process har byggts upp kan byte av en insatsvara eller leverantör kräva omfattande anpassningar. För biologiska läkemedel tillkommer krav på att visa att produktens egenskaper är jämförbara efter en processändring. Beroendet kan därför bestå även när det finns alternativa produkter på marknaden.⁹

⁹ ICH / EMA, ICH Q5E: Comparability, 2005.

Modeller och automatiserade experiment kan göra utvecklingen snabbare. Industriell uppskalning kräver däremot stabila processer och reproducerbar kvalitet. Den som behärskar övergången från experiment till produktion får en strategisk roll mellan forskningsfronten och marknaden. Processinfrastruktur och tillverkningskunnande får därför stor betydelse när AI och biologisk design kombineras på nya sätt.



Figur 5.8. Värdekedjor inom Biologisk mätning, prediktion, design och produktion. Underlag: ST26 omvärldsunderlag och kompletterande källor. Analys: Vinnova.

Sverige har resurser i flera led genom SciLifeLabs forskningsinfrastruktur, Testa Centers miljö för uppskalning och Cytivas verksamhet inom bland annat reningsteknik. De kopplar samman biologisk forskning med industriellt processkunnande och ger konkreta ingångar till internationella utvecklings- och leverantörskedjor.

Svårigheten att ersätta kritiska led avgör exponeringen

De fyra systemsammanhangen visar att strategisk betydelse ofta ligger i hur mycket tid och vilka resurser som krävs för att ersätta en kritisk leverantör, teknik eller anläggning. Avancerad tillverkningsutrustning kan ta lång tid att återskapa. Oberoende referenser för navigering måste finnas tillgängliga när satellitsignaler störs. Nätutbyggnad begränsas av leveranskapacitet, och bioproduktion är beroende av processer med stabil kvalitet. Specialiserade aktörer kan därför få inflytande över betydligt större system. Investeringar i alternativa leverantörer, reservlösningar och egen kapacitet syftar till att minska dessa sårbarheter.

5.4 Policy som formar kapacitet, tillgång och marknader

Satsningar på kritisk teknik kopplar allt tydligare samman forskning, industriell kapacitet och strategisk handlingsförmåga. Tre frågor återkommer: var nästa generations teknik

kan utvecklas och produceras, vilka som blir de första kunderna och hur internationell tillgång kan tryggas eller villkoras. Hur olika styrmedel kombineras avgör vilka utvecklingsvägar som blir möjliga.

Konkurrensen gäller hela utvecklingskedjor

Halvledarsatsningar förenar forskning, pilotlinjer och fabriker. Investeringar i AI bygger upp beräkningsresurser och tillhörande infrastruktur. Inom biologisk produktion skapas gemensamma miljöer för experiment och uppskalning. Länder försöker därmed samla flera kompletterande förmågor på samma plats eller inom internationella samarbeten.

USA, Kina och EU använder flera liknande typer av instrument, men kombinerar dem på olika sätt. I USA har federala forsknings- och försvarsaktörer viktiga roller tillsammans med stöd till industriella investeringar. Kina kombinerar statlig kapitalmobilisering med nationell planering av infrastruktur och utbyggnad. EU kombinerar gemensamma forsknings- och industriprogram med medlemsstaternas finansiering och genomförande. För den europeiska modellen är samordningen mellan dessa nivåer avgörande för hur snabbt kapaciteten kan växa. Figur 5.9 sammanfattar centrala drag i dessa angreppssätt.

Strategiskt syfte	USA	Kina	EU och medlemsstater
Bygga egen kapacitet	Federala forsknings- och försvarssatsningar kombineras med stöd till avancerad tillverkning.	Statliga fonder och nationell planering knyter ihop infrastruktur, pilotmiljöer och produktion.	Gemensamma program och pilotlinjer förenas med medlemsstaternas finansiering och industriella investeringar.
Skapa efterfrågan	Försvarsanknutna utvecklingskontrakt och provning ger nya tekniker tidiga användare.	Utbyggnadsplaner, nätanslutning och marknadsvillkor driver införandet av energilagring.	Stöd per producerad enhet och gemensamma regler stödjer nya marknader, exempelvis för vätgas.
Säkra försörjning	Stöd till inhemsk kretstillverkning bygger kapacitet i strategiskt viktiga leverantörsled.	Kapital till halvledarkedjan stärker utvecklingen av inhemska alternativ till externa leverantörer.	Råmaterialpolitiken förenar förädling, återvinning och diversifiering av försörjningen.
Styra internationell tillgång	Licensprövning villkorar leveranser av avancerade beräkningskretsar efter mottagare och användning.	Exportlicenser för utvalda insatsvaror och produkter ger staten kontroll över internationell tillgång.	Riskbaserad forskningssäkerhet förenar skydd mot oönskad kunskapsöverföring med internationellt samarbete.

Figur 5.9. Analytiskt urval av policy som formar kapacitet, efterfrågan och internationell tillgång. Underlag: ST26 omvärldsunderlag och kompletterande källor. Analys: Vinnova.

Tidiga kunder ger teknik en väg till större marknader

Offentliga aktörer påverkar vilka nya tekniker som får sina första användare och intäkter. Militära utvecklingskontrakt och provningsprogram knyter sensorer och autonoma lösningar till konkreta behov. Marknadsregler kan samtidigt skapa efterfrågan från privata kunder. Ett exempel är att energilagrar kan få ersättning för tjänster till elnätet.

Stöd per producerad enhet, som för förnybar vätgas, kan minska kostnadsgapet till etablerade alternativ och göra tidiga affärer möjliga.

Amerikanska Other Transaction Agreements, OTA, är ett exempel på hur kontraktsformer kan underlätta samarbetet med teknikföretag. Försvaret kan använda sådana avtal för att utveckla och pröva prototyper tillsammans med leverantörer, även företag som främst verkar på civila marknader. Mer flexibla villkor ger fler vägar in i försvarsutvecklingen. Avgörande är att framgångsrika försök följs av beställningar som motiverar investeringar i produktion.¹⁰

Sambandet mellan teknikprioriteringar, provning, finansiering och tidig efterfrågan är särskilt tydligt när civila och militära användningar möts. En samlad väg från utveckling till beställning kan ge nya leverantörer större möjlighet att konkurrera och växa. Det är en viktig förklaring till att upphandling och marknadstillträde får en allt mer framträdande roll vid sidan av forskningsstöden.¹¹

Internationell tillgång blir mer selektiv

Licensprövning av avancerade beräkningskretsar och exportkontroll av utvalda insatsvaror påverkar vilka leveranser som kan genomföras. Säkerhetsbedömningar får också större betydelse för forskningssamarbeten och investeringar i kritisk teknik. Tillgång till marknader, kapital och kunskap formas därmed i allt högre grad av vilka leverantörer och partners som godtas inom nationella och gemensamma säkerhetsramar.

Åtgärderna påverkar flera av de beroenden som beskrivs i avsnitt 5.3. Exportvillkor för avancerade kretsar påverkar utbyggnaden inom *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem*. Investeringar i förädling och återvinning kan bredda försörjningen inom *Lagring, elnät och materialflöden*. Inom *Robust tid, positionering och navigering* och *Biologisk mätning, prediktion, design och produktion* är tillgången till provningsmiljöer, processkunnande och kvalificerade leverantörer avgörande. Satsningar på egen kapacitet och avtal om internationell tillgång blir därför två kompletterande sätt att stärka handlingsförmågan.

Försvarsutgifterna kan förändra efterfrågan på ny teknik

Natos åtagande om försvars- och säkerhetsrelaterade utgifter på 5 procent av BNP till 2035 ger denna utveckling större ekonomiska resurser. Minst 3,5 procent avser försvarsutgifter enligt Natos definition. I detta ingår även försvarsrelaterad forskning och utveckling. Upp till 1,5 procent kan gå till bredare insatser inom bland annat kritisk infrastruktur, civil beredskap, innovation och försvarsindustriell kapacitet.¹²

¹⁰ USA:s Defense Innovation Unit, Work with us: Commercial Solutions Opening och Other Transaction-avtal, läst 28 september 2026.

¹¹ Europeiska kommissionen, Unlocking the potential of dual-use research and innovation (2025), kapitel 3: Policy strategies supporting dual-use research and innovation – international examples and benchmarks, s. 68–89.

¹² Nato, The Hague Summit Declaration, punkterna 2–3; Nato, Defence investment and NATO's 5% commitment.

Framväxande teknik kan få betydelse inom båda delarna. Inom ramen för de 3,5 procenten kan exempelvis autonoma system, sensorer och robust navigering bidra till militär förmåga. Inom ramen för de 1,5 procenten kan säkra kommunikationer, energiförsörjning och övervakning stärka kritisk infrastruktur. Hur stora teknikmarknader som växer fram beror på hur de ökade utgifterna fördelas och vilka krav som ställs på nya lösningar.

Natos Rapid Adoption Action Plan uttrycker en generell ambition att nya tekniska produkter ska gå från identifierat behov till anskaffning och integration i försvarsmakterna inom två år. Natos Innovation Scale-Up Package kopplar denna efterfrågan till privat finansiering och tillverkningskapacitet. Den tillhörande satsningen NATO Engine ska koppla företag som behöver skala upp till befintliga fabriker med tillgänglig kapacitet, även inom civil industri. Initiativen riktas därmed både mot införandet av ny teknik och företagens möjligheter att leverera i större volymer.¹³

Försvars- och säkerhetsefterfrågan kan därför bli en stark drivkraft för teknikkonvergens i företag och forskningsmiljöer med både civila och militära användningar. Skydd av kritisk infrastruktur kräver exempelvis att sensorer, kommunikation, analys och autonomi fungerar tillsammans. Om utvecklingsstöd följs av provning, anskaffning och uppskalning kan nya leverantörer få återkommande marknader. Om investeringarna i stället främst går till befintliga system blir utrymmet för nya lösningar mindre.

Kapitel 6 följer Sveriges förutsättningar att bidra till och få tillgång till dessa systemsammanhang. Kapitel 7 prövar roller och beroenden mot alternativa omvärldsförlopp. Avsnitt 7.2 fördjupar analysen av säkerhet och teknik med både civila och militära användningar.

¹³ Nato, Summary of NATO's Rapid Adoption Action Plan; Nato, NATO Innovation Scale-Up Package.

6 Sveriges position och handlingsutrymme

Sverige har en bred forskningsbas inom framväxande strategisk teknik och flera industriella positioner med betydelse långt utanför landets gränser. Mobilnät, industrirobotik, elöverföring och rening av biologiska produkter visar hur specialiserat kunnande omsätts i internationella leveranser. Yngre AI-företag når samtidigt kunder med egna programvaruprodukter och tjänster. Här finns både förmåga att förnya etablerade verksamheter och möjligheter att utveckla nya marknader

Sveriges positioner vilar på tillgång till teknik, kunskap och marknader i andra länder. De ekosystem och värdekedjor som beskrevs i kapitel 5 sätter ramarna för möjligheterna att omsätta nya teknikkombinationer i industriell förmåga. I en tid när stater och företag söker säkrare tillgång till kritisk teknik kan svenska leveranser och provmiljöer bli mer efterfrågade. Samtidigt kan samma utveckling begränsa tillgången till resurser som svenska aktörer är beroende av.

6.1 Sveriges forskningsposition

Sveriges forskningsstyrka sträcker sig över stora delar av det framväxande tekniklandskapet. Samtidigt visar förstärkningen inom *Kvantteknik*, den snabba expansionen inom AI och robotikens svagare relativa publiceringsutveckling att förutsättningarna skiljer sig mellan områdena. När arenaöversikten kopplas till de enskilda zonerna framträder de teknikområden där Sverige stärker sin ställning och de där utvecklingen går snabbare i andra länder.

En bred forskningsbas med olika tyngdpunkter

Under perioden från 2023 till och med första halvåret 2026 ligger Sveriges publicering per invånare över medianen inom åtta av nio arenor i rapportens jämförelsegrupp med 23 länder. *Kvantteknik* har den tydligaste relativa tyngden, med en forskningsintensitet nära dubbelt så hög som medianen. Även *Bioteknik*, *biosensorer och bioproduktion*, *Energi*, *klimat och cirkulära resurser* samt *Avancerad tillverkning och material* har en stark forskningsbas i förhållande till landets storlek. I absoluta publikationsvolymen är Sverige en mindre forskningsnation. Landets särskilda styrkor syns därför tydligast inom mer avgränsade områden, som kvantberäkning, elnätstyrning och avancerad radioelektronik.

Arenaöversikten i figur 6.1 A jämför 2020–2022 med perioden 2023–första halvåret 2026. *Kvantteknik* har stärkt sin relativa forskningsintensitet tydligt. Inom *Digital infrastruktur och säkra nätverk* är förstärkningen mindre, men området har samtidigt förbättrat sin placering i jämförelsegruppen. *Bioteknik*, *biosensorer och bioproduktion* ligger kvar på ungefär samma relativa nivå. Även *Rymd*, *flyg och försvar* har flyttat fram

sin placering, men forskningsintensiteten ligger fortfarande relativt nära medianen. Där har en begränsad förstärkning varit tillräcklig för att passera flera länder med liknande nivåer.

Snabb aktivitetstillväxt möter en växande omvärld

Inom *AI-metoder, agenter och syntetiska medier* har den svenska årliga publiceringen nästan tredubblats mellan de två perioderna. Trots det har forskningsintensiteten relativt jämförelsegruppen minskat något. Den svenska expansionen sker inom ett område där forskningsbasen växer ännu snabbare i flera andra länder.

Autonomi, robotik och perception visar en annan utveckling. Den svenska publiceringen har ökat, men långsammare än i jämförelsegruppen. Forskningsintensiteten ligger nu strax under medianen. Detta står i kontrast till Sveriges starka industriella position inom robotik. Samtidigt ger forskningens citeringsgenomslag och de dokumenterade forskningsmiljöerna en starkare bild än vad publiceringsintensiteten ensam gör. Sveriges industriella försprång ger därmed en konkret möjlighet att omsätta forskning om autonomi, perception och samspel mellan människa och maskin i nya robotfunktioner. Förmågan att föra in dessa metoder i kundernas produktion blir central för den fortsatta konkurrenskraften.

Forskningsbasen bakom *Radiofrekvent riktad energi* har både hög relativ intensitet och en tydlig förstärkning. Här finns kopplingar till den svenska utvecklingen av avancerad radioelektronik och försvarssystem.

Inom *Återvinning av batteri- och kritiska material* är forskningsintensiteten fortsatt hög. Samtidigt har den relativa positionen försvagats. Zonkartan visar därmed hur en stark arena kan rymma både teknikområden som vinner mark och områden där omvärlden hämtar in ett svenskt försprång.

6.2 Svenska styrkor, luckor och möjliga roller

Svenska forskningsmiljöer, företag och användare har olika förutsättningar att omsätta tekniskt kunnande i värdeskapande. Inom mobilnät, robotik och elöverföring finns etablerade leveranser till internationella kunder. Inom andra områden utvecklas nya produkter eller prövas i nya användningar. Förmågeprofilerna i figur 6.2 visar hur kunskapsbas och infrastruktur samspelar med industriell kapacitet, internationella relationer och förmåga att utveckla och använda nya lösningar. De strategiska positionerna blir tydligast där svenska bidrag har betydelse för kunders verksamhet eller för viktiga samhällsfunktioner.

AI-företagen når kunder med egna produkter

AI-metoder, agenter och syntetiska medier har sin tyngdpunkt i nya programvaruprodukter och kvalificerade tjänster. Svenska utvecklingsmiljöer når internationella kunder inom bland annat juridiskt arbete och programvaruutveckling. Startups har en framträdande roll. Deras produkter visar att svensk AI-kompetens kan bära egna affärer och kundrelationer. När AI tar över fler arbetsmoment kan dessa företag också påverka hur tjänster utformas och vilka som kan erbjuda dem.

En möjlig utveckling är att gå från verktyg för enskilda uppgifter till produkter som håller samman större delar av kundens arbete. Verksamhetskunskap, tillgång till relevanta data och förmågan att säkerställa resultatets kvalitet ger då konkurrensfördelar. AI kan samtidigt sänka kostnaden för att utveckla och erbjuda nya tjänster. Det kan öppna marknader för fler företag. De svenska företagens internationella kundrelationer ger en konkret utgångspunkt för en sådan utveckling.¹⁴

Företagens handlingsutrymme beror på hur stor del av produktutvecklingen och kundrelationen de själva kontrollerar. Externa modeller och beräkningsresurser gör det möjligt att snabbt utveckla produkter. Samtidigt påverkar villkoren hos dessa leverantörer kostnader, utvecklingstakt och möjligheten att skilja den egna tjänsten från konkurrenternas. Den svenska möjligheten ligger därför i att förena tillgång till internationell teknik med eget produktkunnande och en tydlig nytta för kunden. Dagens

¹⁴ OECD (2025), Artificial intelligence and competitive dynamics in downstream markets, OECD Roundtables on Competition Policy Papers, nr 331.

produkter och användning ger stöd för denna möjlighet. Hur stora marknadsandelarna blir och hur varaktigt lönsamheten blir återstår däremot att se.



Figur 6.2. Sveriges förmågor inom de nio arenorna. Radardiagrammen visar samlade bedömningar av Sveriges position inom sex olika dimensioner.

Systemleveranser ger internationell tyngd

Inom *Digital infrastruktur och säkra nätverk* är den svenska industriella kapaciteten särskilt stark inom mobilnät. Utvecklingen av radio, nätfunktioner, programvara och systemintegration ligger bakom omfattande internationella leveranser. Ericsson är det tydligaste industriella anket, med huvudkontor i Stockholm och forskning och

utveckling på flera svenska orter, från Luleå till Lund, samt internationellt. Den svenska rollen omfattar löpande utveckling av system som operatörer i andra länder använder. Det ger både en etablerad marknadsnärvaro och möjlighet att påverka nästa generations nät, där automatisering och nya AI-funktioner får större betydelse.

Liknande samband finns inom *Autonomi, robotik och perception*. Svensk utveckling och integration av industrirobotar ger en starkare industriell position än forskningsvolymen ensam visar. ABB:s robotverksamhet i Västerås är ett viktigt nav för internationella robotleveranser. Kunskapen om kundernas produktionsmiljöer ger förutsättningar att utveckla robotar för mer varierade uppgifter och närmare samarbete med människor. Utvecklingen mot större flexibilitet kan bredda användningen, förutsatt att nya funktioner uppfyller industrins krav på säkerhet och driftsäkerhet.

Rymd, flyg och försvar har också en tydlig systemprofil. Saab förenar avancerad radioelektronik, flygsystem och programvara, med viktiga utvecklingsmiljöer bland annat i Linköping, Göteborg och Järfälla. Flygburet telekrig är en särskild industrispets. Svensk utveckling inom området ingår i internationella flygprogram. Esrange utanför Kiruna ger en annan sorts spets: provning av raketmotorer och raketsteg för internationella utvecklare. Provningsen hjälper kunder att verifiera centrala systemdelar inför nästa utvecklings- och produktionssteg. Båda rollerna ger Sverige en koppling till andra länders långsiktiga utvecklingsprogram. Forskningsbedömningen pekar på konkurrenskraftig förmåga inom bland annat sensorik, telekrig, autonomi och framdrivning. Den internationella jämförelsen är dock mer osäker, eftersom öppna publikationer och dokumenterad teknisk forskning belyser olika delar av arenan.

Biologiska processer förenar samhällsnytta och affärer

Bioteknik, biosensorer och bioproduktion förenar en stark forskningsbas med mät- och experimentmiljöer, klinisk verksamhet och processutveckling. Genomic Medicine Sweden, ett samarbete mellan universitet och sjukvårdsregioner på flera håll i landet, visar hur forskningen kan omsättas i praktiken. Avancerade genetiska analyser används i vården och ger samtidigt kunskap som kan användas i fortsatt utveckling. Värde skapas genom bättre förutsättningar för diagnostik och behandling.¹⁵

Tillverkning av reningsmaterial ger svensk verksamhet en särskild industriell position. Cytiva i Uppsala utvecklar och tillverkar material som fångar upp och separerar exempelvis proteiner vid rening av biologiska läkemedel. Materialen används återkommande och är nära knutna till kundernas produktionsprocesser. Testa Center, också i Uppsala, ger forskare och företag möjlighet att pröva och skala upp biologiska produktionsprocesser. Sverige har därmed både en etablerad roll som långsiktig leverantör till global läkemedelsproduktion och resurserna som krävs för att hjälpa nästa generations produkter fram till tillverkning.

¹⁵ Genomic Medicine Sweden, Genomikbaserad precisionsdiagnostik tar tydliga kliv framåt inom cancer och sällsynta sjukdomar, 20 april 2026.

En vidare möjlighet ligger i att förena detta processkunnande med biologiska data och AI-baserade modeller. SciLifeLabs nationella program för datadriven livsvetenskap bygger kunskap och metoder för analys av stora biologiska datamängder. Tillsammans med experiment och uppskalning kan det skapa en grund för nya verktyg och tjänster inom biologisk utveckling. De dokumenterade kopplingarna mellan dessa led är fortfarande begränsade. Sveriges potential ligger därför i att knyta samman befintliga styrkor och visa att kombinationerna kan lösa konkreta problem i forskning, vård eller produktion.¹⁶

Specialiserade leveranser ger tillträde till större system

Inom *Kvantteknik* är forskningsbasen starkare än den samlade industriella bredden. Tyngdpunkterna skiljer sig mellan teknikgrenarna. Chalmers i Göteborg driver utveckling av supraledande kvantdatorer, Lunds universitet har en central roll inom kvantsensorer och Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm inom kvantkommunikation. Den senare omfattar bland annat försök med kvantbaserad nyckeldistribution för säker kommunikation. Kvantsäker kryptografi omfattar även algoritmer för vanliga datorer och har därför kopplingar till arenan *Digital infrastruktur och säkra nätverk*.

Svenska leverantörer har etablerade roller i hårdvaran kring kvantkretsar. Low Noise Factory i Göteborg levererar exempelvis förstärkare för utläsning av mycket svaga signaler. Sådana komponenter gör svensk kompetens användbar i andra länders kvantutveckling. Det finns en kommersiell väg genom leveranser till dem som bygger systemen, medan användningen av kompletta kvantdatorer fortfarande utvecklas. Leverantörernas fortsatta position beror på hur väl komponenterna fungerar i kommande systemgenerationer och på förmågan att möta kundernas krav på kvalitet och volym.

AI-beräkning, halvledare och fotonik har en liknande specialiserad karaktär. Myfab ger forskare och företag tillgång till mikro- och nanofabrikation vid Chalmers i Göteborg, KTH i Stockholm samt universiteten i Uppsala och Lund. Svenska industriella bidrag finns i utvalda led. Ett exempel är SweGaN i Linköping som utvecklar och tillverkar halvledarmaterial för radiofrekvens- och kraftelektronik. Avancerad kretstillverkning, minnen och stora delar av kapslingen behöver däremot hämtas från andra länder. Vägen till större leveranser går därför genom samarbete med internationella tillverkare. Den kräver också att svenska komponenter och material godkänns för användning i deras processer.¹⁷

Inom *Avancerad tillverkning och material* finns en mer etablerad koppling mellan materialkunskap och industriella leveranser. Metallpulver för additiv tillverkning är en tydlig nisch, med bland annat Sandviks utveckling och produktion i Sandviken. Värdet ligger i att materialet fungerar i bestämda tillverkningsprocesser och uppfyller kundernas kvalitetskrav. Nya material och designmetoder behöver genomgå motsvarande prövning

¹⁶ SciLifeLab, Data-Driven Life Science, läst 29 september 2026.

¹⁷ Myfab, Den svenska forskningsinfrastrukturen för mikro- och nanofabrikation, läst 29 september 2026.

för att få varaktig användning. Kundernas produktkrav, provning och mätteknik blir därför avgörande för vilka forskningsresultat som kan utvecklas till nya affärer.

Nätkompetens möter behov av ökad överföring

Energi, klimat och cirkulära resurser rymmer flera utvecklingskedjor med mycket olika förutsättningar. Den tydligaste svenska systemrollen finns inom elöverföring och nätintegration. Hitachi Energys verksamhet i Ludvika och Västerås är ett industriellt ankare, med teknik för högspänd likströmsöverföring (HVDC) som en särskild spets. Tekniken gör det möjligt att överföra stora mängder el över långa avstånd och att koppla samman elsystem. Svenska leveranser möter därmed konkreta behov när elektrifiering och ny elproduktion ökar kraven på överföring och styrning.

Den stärkta forskningspositionen inom *Flexibla AI-styrda elnät* ger ytterligare möjligheter att kombinera nätkunnandet med nya metoder för prognoser och styrning. Inom lagring och materialåterföring ser vägen till marknaden annorlunda. Återvunna material måste kunna användas i ny produktion med rätt kvalitet och till konkurrenskraftiga villkor. Svensk forskningsstyrka inom återvinning ger därför bäst förutsättningar för industriellt genomslag där processutveckling kan kopplas till materialflöden och kunder som tar emot resultatet. De olika leden kräver olika typer av kapital och industriell kapacitet.

Tillämpningsförmåga gör nya lösningar användbara

Sverige har miljöer där utvecklare möter kvalificerade användare inom bland annat vård, industri och digitala tjänster. Det ger möjlighet att upptäcka behov, pröva nya lösningar och utveckla arbetssätt tillsammans med användarna. Kopplingarna är tydliga inom biologisk processutveckling, robotik och nätintegration. För nya kombinationer inom kvantteknik och AI-beräkning visar underlaget tydligare på organiserad prövning än återkommande användning. Där ligger en större del av potentialen i att utveckla och verifiera tillämpningar.

Förnyelsen sker därmed på flera sätt. Etablerade kundrelationer kan bära nya systemfunktioner, medan yngre företag kan bygga egna produkter och nå nya kunder. Svenska AI-företag visar redan den senare vägen. Förmågan att pröva användningar och utveckla produkter som fler kan efterfråga får särskild betydelse där marknaden fortfarande växer fram. Industriell uppskalning kräver dessutom kapital och organisation för återkommande leveranser.

6.3 Europeiskt och internationellt samarbete

Internationella relationer ger svenska aktörer tillgång till kunskap, tekniska resurser och kunder. För företag som vill växa är utvecklingspartner och marknader utanför Sverige centrala. Relationernas strategiska värde beror också på vilket ansvar svenska verksamheter får i den gemensamma utvecklingen och vilka beslut de själva kan påverka.

Gemensamma resurser stärker svensk utveckling

Svensk forskning är starkt internationellt sammanlänkad. Beroende på arena har ungefär två tredjedelar till fyra femtedelar av publikationerna med svensk medverkan också medförfattare från organisationer i andra länder. Samarbetet är särskilt omfattande inom *Kvantteknik* och *Bioteknik, biosensorer och bioproduktion*. Dessa relationer ger tillgång till kunskap, metoder och gemensam utveckling som sträcker sig långt utanför den svenska forskningsbasen.¹⁸

Sveriges andel i superdatorn LUMI i Kajaani i Finland ger svenska forskningsprojekt tillgång till beräkningskapacitet för bland annat AI-utveckling. Det stärker möjligheten att träna och pröva modeller som kräver större resurser än den egna miljön kan erbjuda. I OpenEuroLLM, ett europeiskt samarbete för öppna flerspråkiga språkmodeller, bidrar AI Sweden med modeller och träningsdata. Projektet har beviljats beräkningstid på europeiska superdatorer. Den svenska nyttan omfattar därmed både tillgång till resurser och praktiskt kunnande om att utveckla modeller tillsammans med andra europeiska miljöer.¹⁹

Inom *Kvantteknik* ger WACQT, det svenska forskningsprogrammet med bas vid Chalmers, tillgång till en svensk testmiljö och avtalad tillgång till amerikanska kvantdatorer för anslutna forskare och partnerföretag. Det gör det möjligt att pröva och vidareutveckla algoritmer på olika system. Quantum Sweden Innovation Platform (QSIP) samordnas av Chalmers Industriteknik i Göteborg och fungerar som en brygga för att kommersialisera forskningsresultaten och omsätta dem i praktiska industriella tillämpningar. Tillsammans ger dessa verksamheter svenska utvecklare möjlighet att pröva både teknik och användningsområden tillsammans med internationella partner.²⁰

Internationella kunder ger räckvidd och lärande

Leveranser till nätoperatörer, industriföretag och biologisk läkemedelstillverkning knyter svensk utveckling till efterfrågan i andra länder. Kundernas krav driver fortsatt produktutveckling och ger möjligheter att föra in ny teknik. För specialiserade leverantörer kan ett godkännande för användning i kundens system ge tillgång till större produktionsvolym. För programvaruföretag kan en produkt som fungerar för kunder i flera länder skapa möjlighet att växa över bransch- och nationsgränser.

Den europeiska marknaden ger stor potentiell räckvidd. Hur enkelt företag kan erbjuda samma produkt i flera länder påverkar samtidigt kostnaden för expansion och möjligheten att attrahera kapital. För svenska företag med en liten hemmamarknad är sambandet mellan internationell försäljning och fortsatt utveckling särskilt betydelsefullt. En större gemensam marknad kan därför stärka nyttan av Europas investeringar i forskning och teknik.²¹

¹⁸ Sampubliceringsandelarna avser arenornas samlade svenska forskningspopulationer 2016–18 september 2026; de beskriver periodens samlade förankring.

¹⁹ NAISS, LUMI Sweden Fall 2025 call, tilldelningsperiod 2026; AI Sweden, OpenEuroLLM secures strategic access to multiple supercomputers, 18 december 2025; AI Sweden, OpenEuroLLM takes the next step for European AI sovereignty, 11 mars 2026.

²⁰ Chalmers, Quantum Testbed now open to WACQT partners and researchers, 7 mars 2024; Vinnova, QSIP etapp 2B, uppdaterad 1 juli 2026.

²¹ Mario Draghi (2024), The future of European competitiveness, del A, kapitel 2, s. 29–30.

Verksamhet i Sverige ger landet kompetens, utrustning och industriellt lärande även när ägandet är internationellt. Samtidigt fattas beslut om investeringar, produktportföljer och fördelning av utvecklingsarbete ofta i större koncerner. Eget utvecklingsansvar och nära relationer till internationella kunder ger svenska miljöer bättre förutsättningar att behålla och utveckla sina roller. Därför blir verksamhetens betydelse för koncernens samlade affär viktig för hur internationell tillväxt kommer Sverige till del över tid.

Systemen visar var möjligheter och beroenden möts

De fyra systemsammanhangen från kapitel 3.4 och 5.3 visar hur svenska bidrag ingår i internationella värdekedjor. Inom *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem* kan svensk fotonik, processteknik, kylning och beräkningskompetens bidra till större system. Samtidigt är tillgången till avancerade kretsar och externa tillverkningsled fortsatt avgörande. Europeiska beräkningsresurser stärker utvecklingsförmågan, medan försörjningen av hårdvara styrs av delvis andra geografier och beslut.

Robust tid, positionering och navigering visar möjligheten att bygga funktioner som minskar konsekvenserna av störningar i internationell infrastruktur. Netnods distribuerade tidstjänst, med noder från Luleå till Malmö, använder lokala atomur som kan hålla tiden även om kontakten med externa referenser bryts. Tillförlitlig tid stärker kontinuiteten i digitala system. Tillsammans med svensk mätkompetens och systemintegration ger det en grund för fortsatt utveckling av tjänster och lösningar för störda förhållanden.²²

Inom *Lagring, elnät och materialflöden* har Sverige betydelsefulla leverantörsroller i nätutbyggnad och integration. Samtidigt är lagring och materialförsörjning beroende av internationella produktionskedjor. Den starka svenska positionen inom elnät kan ge större leveranser när den europeiska överföringskapaciteten byggs ut. Möjligheten avgörs också av tillgången till komponenter, kompetens och tillräcklig produktionskapacitet.

Biologisk mätning, prediktion, design och produktion förenar svenska forsknings- och processmiljöer med internationell tillgång till instrument, modeller och tillverkningstjänster. Svenska reningsmaterial och provmiljöer ger funktioner som andra behöver. En möjlig utveckling är att skapa fler sammanhängande erbjudanden för stegen mellan biologiska experiment och produktion. Det kräver att data, validering och uppskalning fungerar tillsammans. Sverige har flera av delarna. Samtidigt återstår arbetet med att integrera dem i fortsatt utveckling.

Den geopolitiska utvecklingen kan öka efterfrågan på svenska och europeiska lösningar när köpare vill säkra leveranser och minska sårbarheter. Samma utveckling kan också begränsa marknadstillträde och tillgång till teknik. Till och med 2025 visar sampubliceringen mellan USA, Kina och EU i de fyra systemsammanhangen fortfarande ett omfattande forskningsutbyte och ingen bred tillbakagång i antalet gemensamma publikationer. Det finns därmed inga tydliga tecken på en allmän nedgång i dessa

²² Netnod, Swedish Distributed Time Service, läst 29 september 2026.

observerade samarbeten. Publiceringens eftersläpning innebär samtidigt att ändrade villkor för nya projekt kan bli synliga först senare.²³

6.4 Strategiska slutsatser för Sverige

Sveriges starkaste strategiska positioner finns inte nödvändigtvis där landet behärskar hela tekniken. Tre vägar till starkare svenska positioner framträder: att utveckla egna produkter, hålla ihop viktiga system och behärska komponenter och processer som andra behöver. För att dessa positioner ska ge Sverige handlingsutrymme behöver svenska aktörer kunna påverka den fortsatta utvecklingen och samtidigt ha tillgång till teknik och resurser utanför landet.

Egna AI-produkter ger svenska företag en direkt väg till internationella kunder

Svenska AI-företag når redan internationella kunder med egna produkter, bland annat för juridiskt arbete och programvaruutveckling. Det ger Sverige en väg in i nya digitala marknader utan att själv behöva utveckla grundmodellerna. Den strategiska positionen ligger i att företagen behåller kundrelationen och kan vidareutveckla produkten utifrån kundernas behov. Annars riskerar värdet och inflytandet att flyttas till de plattformar som levererar den underliggande tekniken.

Systemkunnande ger inflytande över nästa generations lösningar

Inom mobilnät, robotik och elöverföring har svenska verksamheter redan ansvar för teknik som används av internationella kunder. Det ger dem en position när AI, sensorer och ny styrning ska byggas in: de kan påverka vilka funktioner som utvecklas och leda arbetet med att förena teknikerna till fungerande system. Därmed kan svenska leveranser växa från enskilda teknikbidrag till bredare lösningar för kunden. Inom biologisk utveckling finns en liknande möjlighet att knyta samman mätning och data med processutveckling och uppskalning.

Nyckelkomponenter och specialiserat kunnande ger inflytande i större system

Sverige behöver inte leverera hela system för att få en stark position i dem. Exempelen med reningsmaterial, metallpulver och utvalda kvantkomponenter visar hur svenska material, komponenter och processkunnande kan bli viktiga delar av internationella kunders produkter och tillverkning. När en sådan komponent eller process är svår att ersätta kan svenska aktörer påverka nästa utvecklingssteg, inte bara leverera till det. Återkommande leveranser till flera kunder stärker positionen och ger svenska aktörer en roll i utvecklingen av de komponenter och processer som nästa generations system kräver.

I nästa kapitel prövas hur dessa svenska roller och beroenden påverkas när marknader, säkerhetskrav och internationella samarbeten förändras.

²³ Årserierna för de fyra systemsammanhangen omfattar 2016–2025; slutsatsen avser utvecklingen i dessa serier.

7 Svenska möjligheter i framtidens teknik- och marknadslandskap

Sveriges tekniska styrkor skapa nya affärer, stärka viktiga samhällsfunktioner och öka landets handlingsutrymme. Hur väl svenska företag och forskningsmiljöer kan omsätta dessa styrkor beror på vilka kunder och samarbetspartner de når, vem som sätter villkoren i de system där de verkar och hur tillgången till kritiska resurser utvecklas. En specialiserad svensk leverantör kan nå stora marknader genom internationella samarbeten. Samtidigt kan möjligheterna att utveckla och sälja tekniken begränsas om samarbeten försvåras eller en dominerande kund tar kontroll över den fortsatta produktutvecklingen.

Kapitlet utgår därför från en gemensam fråga: *Hur kan de svenska möjligheter som framträder i kapitel 6 stärka konkurrenskraft, säkerhet och resiliens i olika framtider?* Fyra scenarier belyser hur förutsättningarna kan förändras. Analysen beskriver därefter framväxande affärsmodeller som kan öppna nya marknader och ge svenska förmågor nya användningsområden. Sedan fördjupas resonemanget om teknik med både civila och militära användningar samt de marknader som kan växa fram kring nya säkerhetsbehov. En genomgående slutsats är att teknisk kompetens får större strategiskt värde när svenska aktörer också kan påverka produktutvecklingen, bygga långsiktiga kundrelationer och upprätthålla leveranser vid störningar.

7.1 Svenska möjligheter i fyra framtider

Kapitel 6 visar tre vägar till ökat svenskt värdeskapande: egna produkter, bredare systemleveranser och specialiserade bidrag till internationella värdekedjor. Svenska företag har redan internationella kunder inom områden som AI, mobilnät och elöverföring. Andra möjligheter uppstår när förmågor från olika miljöer kombineras. Det kan handla om biologisk processutveckling tillsammans med digital styrning, mätteknik tillsammans med nya navigeringslösningar eller industriell kvalitetssäkring med AI som lär från flera fabriker. De fyra systemsammanhangen i kapitel 3.4 och 5.3 visar varför sådana kopplingar är viktiga. En svensk spetskompetens får genomslag först när den samverkar med andra delar av ett system och möter användarnas behov.

Scenarios 2035, som tagits fram av Vinnova, Försvarmaktens militära underrättelse- och säkerhetstjänst (Must) och Förvarshögskolan, utforskar fyra möjliga framtider med olika världslogiker.²⁴ Scenarierna utgår från frågan om Sveriges säkerhet, resiliens och konkurrenskraft i en omvärld som förändras av geopolitik, klimat och teknik. I varje framtid formas villkoren för handel, kunskapsutbyte och teknisk utveckling på olika sätt.

²⁴ Karl Hallding, Saskia Hoffsten, Lars Hedström och Liselott Bergman, *Scenarios 2035: Fyra världar för att pröva Sveriges säkerhet, resiliens och konkurrenskraft*, Vinnova, Försvarmakten (Must) och Förvarshögskolan, 27 augusti 2026

Här används scenarierna för att undersöka hur svenska styrkor kan omsättas i affärer och samhällsnytta. Analysen belyser också vilka sårbarheter som blir avgörande och vad som kan ge Sverige ett mer långsiktigt och uthålligt handlingsutrymme.



The Great Synchronisation

I *The Great Synchronisation* hanterar stater och företag klimatproblem, resursbehov och tekniska risker genom gemensamma standarder och förnyad internationell samordning. Konkurrensen mellan maktcentra består, men gemensamma regler och tekniska gränssnitt gör att handel och samhällssystem kan fungera över nationsgränser. Den som påverkar reglerna får också inflytande över vilka lösningar som sprids och vilka leverantörer som får tillträde till marknaden.

För svenska företag inom mobilnät och elöverföring skapar detta goda förutsättningar att utveckla teknik för system som kopplas samman mellan länder. Gemensamma krav kan också göra det lättare för unga AI-företag och specialiserade materialleverantörer att nå flera marknader med samma produkt. Svenska och nordiska miljöer kan fungera som testbäddar där lösningar utvecklas tillsammans med de första kunderna innan de sprids internationellt. Inom arenan *Biologisk mätning, prediktion, design och produktion* kan gemensamma sätt att beskriva mätdata och verifiera processer göra det enklare att föra en biologisk produkt från forskning till provning och vidare till tillverkning i olika länder. Det ger svenska processmiljöer möjlighet att delta i fler utvecklingskedjor och erbjuda sitt kunnande till fler kunder.

Samtidigt innebär den ökade integrationen att störningar kan få större spridning. Brist på programvara eller avbrott hos en central leverantör kan påverka många system som bygger på samma tekniska lösningar. Svenska företag som kombinerar förmågan att samverka i sådana system med reservlösningar och alternativa leveransvägar kan därför erbjuda högre driftsäkerhet. En annan risk gäller hur standarderna utformas. Om de bygger på teknik från ett fåtal stora aktörer kan dessa stärka sina positioner och göra anpassningen kostsam för mindre företag.

Den mest värdefulla svenska positionen är därför att delta tidigt när gemensamma system och spelregler formas. Företag som både levererar teknik och påverkar gränssnitt, provningskrav och kommande produktgenerationer har bättre möjligheter att behålla sin roll när marknaden växer. Mobilnät och elöverföring ger etablerade utgångspunkter. Inom nya AI- och biotekniska tillämpningar är arbetssätten ännu mindre etablerade. Det kan ge svenska aktörer större möjligheter att påverka hur framtidens marknader utvecklas.



Bounded Interdependence

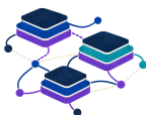
I *Bounded Interdependence* bygger regioner och grupper av länder gemensam kapacitet och samarbetar mer selektivt. Handel och kunskapsutbyte fortsätter, men tillträdet styrs i högre grad av politiskt förtroende, säkerhetskrav och leverantörernas hemvist.

Klimatomställningen drivs samtidigt som ett industriellt projekt och som ett sätt att minska beroendet av externa leveranser.

För svenska företag kan detta skapa möjligheter att leverera lösningar som fyller viktiga behov i en växande europeisk kapacitet. Specialiserade halvledarmaterial, mobilnät och biologiskt processkunnande får större betydelse när kunder söker fler leverantörer inom den egna regionen. Inom *Lagring, elnät och materialflöden* kan svenska styrkor inom elöverföring och styrning bidra till en mer sammanhållen energiförsörjning. För AI-företag kan erbjudanden med tydliga villkor för datahantering och drift öppna dörrar till kunder i reglerade verksamheter. Möjligheten ligger i att lösa konkreta problem som återkommer hos många europeiska kunder.

Regionala satsningar kan ge svenska leverantörer långsiktiga beställningar och bättre tillgång till kritiska insatsvaror. Samtidigt finns en risk att marknaden blir mindre om länder utvecklar egna lösningar. Då behöver utvecklingskostnaderna delas av färre kunder. Begränsningar av internationell rekrytering och samverkan kan också göra det svårare att få tillgång till den specialistkompetens som behövs. Större europeiska länder kan dessutom gynna egna företag genom upphandlingar och industriprogram. För svenska teknikföretag blir det därför viktigt att komma in tidigt i de samarbeten där krav och leverantörsroller formas, och att kunna leverera till flera kunder inom dem.

Sveriges starkaste möjligheter finns där en avgränsad svensk kompetens löser ett behov som är svårt att tillgodose inom den gemensamma kapaciteten. Det kan handla om ett halvledarmaterial, en nätfunktion eller ett biologiskt processteg. Positionen blir mer uthållig om svenska miljöer ansvarar för den fortsatta utvecklingen och kan bygga återkommande affärer kring lösningen. Då ökar möjligheten att investeringar i europeisk försörjning också stärker svensk förnyelseförmåga.



Giants of the Technosphere

I *Giants of the Technosphere* kontrollerar ett fåtal plattformsekosystem centrala beräkningsresurser, data, AI-modeller och digital infrastruktur. Allianser mellan stora teknikföretag och stater formar villkoren för innovation och marknadstillträde.

Teknikutvecklingen kan gå snabbt, men samtidigt blir allt fler företag och samhällsfunktioner beroende av samma leverantörer och deras beslut.

Plattformarna kan ge svenska AI-företag tillgång till avancerade modeller, beräkningskapacitet och stora kundmarknader. Företag med särskild kunskap om exempelvis juridik eller programutveckling kan använda dessa resurser för att bygga egna produkter. Liknande möjligheter finns när svenskt kunnande inom elnät eller bioprocesser omsätts i digitala verktyg. De beroenden som beskrivs i *Avancerad AI och sammanhängande beräkningssystem* får därmed direkt betydelse för vilka erbjudanden svenska företag kan utveckla och på vilka villkor. Specialiserade leverantörer kan också få stora beställningar när deras material eller komponenter blir en del av plattformarnas system.

Tillväxten kan samtidigt göra svenska leverantörer mer beroende av enskilda plattformar. Om plattformsföretaget tar över en lönsam funktion, begränsar tillgången till data eller ändrar sina priser kan den svenska aktören förlora både kunder och möjligheten att vidareutveckla sin produkt. För samhällsviktiga verksamheter uppstår en ytterligare sårbarhet när utländska leverantörer styr tillgången till drift, uppdateringar och centrala funktioner. Det kan göra det svårt att återställa tjänster efter avbrott. Offentliga beställare kan också få begränsade möjligheter att granska hur system fattar beslut eller att kräva rättelse när något går fel.

För svenska teknikföretag blir det därför strategiskt viktigt att behålla kundrelationen och kontrollen över den del av produkten som skapar värde för kunden. Företag som kan flytta sina tjänster mellan olika AI-modeller eller driftleverantörer har bättre möjligheter att fortsätta leverera när en plattform ändrar villkoren. Det förutsätter att programvara, avtal och tillgång till data medger ett sådant byte. Svenska erbjudanden som kombinerar specialiserat kunnande med denna flexibilitet kan stärka både den egna förhandlingspositionen och kundens handlingsutrymme. Här finns en möjlig konkurrensfördel i att hjälpa kunder att använda avancerad teknik utan att förlora kontrollen över sin egen verksamhet.



The Security Imperative

I *The Security Imperative* gör återkommande konflikter, klimatstörningar och försörjningskriser att säkerhet och samhällsfunktionernas uthållighet blir överordnade mål. Stater styr resurser och kritiska flöden mer aktivt, och undantagsåtgärder blir ett vanligare inslag i samhällsstyrningen. Internationellt samarbete fortsätter där det ger direkt nytta, men begränsat förtroende mellan stater och osäkra leveransvillkor gör långsiktiga åtaganden svårare.

Svenska styrkor inom kommunikation, elöverföring och försvarsrelaterad elektronik möter i denna framtid en ökad efterfrågan på system som fungerar även under långvariga störningar. Tillförlitlig tid, lokal styrning och alternativa navigeringslösningar får större betydelse. Biologisk produktion kan stärka försörjningen av läkemedel och livsmedel när transporter och handel störs. Behoven är stora, men ekonomiska resurser och statliga prioriteringar avgör vilka som leder till beställningar. Svenska leverantörers möjligheter beror därför på om de kan erbjuda lösningar som går att finansiera, införa och hålla i drift under dessa förhållanden.

För svensk teknikutveckling blir leveransförmåga under störningar en viktig del av produktens värde. Produkter behöver kunna repareras, komponenter behöver kunna bytas ut och verksamheten behöver kunna fortsätta även när ordinarie service eller insatsvaror saknas. Företag som kombinerar avancerad funktion med sådant kunnande kan få en starkare ställning hos kunder med höga krav på uthållighet. Samtidigt riskerar hårdare kontroll över information och internationella kontakter att begränsa det kunskapsutbyte som behövs för fortsatt utveckling.

Den svenska möjligheten ligger i att erbjuda både den tekniska lösningen och förmågan att upprätthålla dess funktion över tid. Provning, underhåll, reparerbarhet och alternativa insatsvaror blir då en del av erbjudandet. Samarbeten som säkrar tillgången till reservdelar och utvecklingskompetens kan stärka både leverantörens och kundens uthållighet. Nationella resurser får störst strategiskt värde när de ingår i sådana långsiktiga försörjnings- och utvecklingsrelationer.

7.2 Framväxande affärsmodeller och svenska möjligheter

Nya tekniska möjligheter skapar inte affärer av sig själva. Det avgörande är hur tekniken görs till ett erbjudande: vad kunden får tillgång till, vem som håller ihop leveransen och vilka aktörer som får betalt. De fyra fallen i detta avsnitt visar hur sådana förändringar kan ge svenska aktörer nya roller, både som utvecklare av hela erbjudanden och som leverantörer av teknik som andra behöver.

Fallen bygger på konkreta projekt och tidiga erbjudanden, men deras framtida spridning är ännu osäker. Det nya ligger inte alltid i affärsprinciperna i sig, utan i att teknikutvecklingen gör det möjligt att tillämpa dem på andra sätt och i större skala.

Decentraliserade elnät kan byggas ut stegvis och drivas som en samlad tjänst

Lokala nät med elproduktion och lagring kan kopplas samman genom digital styrning, kraftelektronik och gemensamma gränssnitt. Då kan energiresurser samordnas över flera platser, samtidigt som systemet byggs ut stegvis. Det öppnar för en affär där en operatör håller ihop drift och kapacitet i stället för att varje deltagare utvecklar sin egen lösning. EnergyNet i Brunnshög provar delar av denna modell i en avgränsad demonstrationsmiljö

med två byggnader. Arbetet omfattar både teknik och avtalsformer; ett konkurrenskraftigt kommersiellt erbjudande är ett nästa steg.²⁵

Den nya affären ligger inte bara i att bygga nätet, utan i att orkestrera det, att samordna resurser, drift, avtal och ansvar när fler lokala delar ansluts. En aktör som tar den rollen kan erbjuda drift och tillgång till kapacitet som en tjänst, och samtidigt få inflytande över vilka tekniker och leverantörer som används. Om styrprogram, gränssnitt och avtalslösningar kan användas i flera nät kan samma systemkunnande också bära återkommande affärer.

Här finns två möjliga svenska positioner. Företag med kunnande inom elteknik och systemintegration kan utveckla och hålla ihop helhetslösningen. Andra kan leverera kritiska delar, exempelvis styrprogram och kraftelektronik. Affärens bärkraft beror på om samordningen ger tillräcklig nytta i förhållande till kostnaderna för utrustning, anslutning och drift.

Ett närliggande men separat affärsspår är AI-stödd nätplanering. I GridForesight utvecklas ett verktyg för att pröva alternativa sätt att bygga ut elnät. Det visar hur planeringskunnande kan bli en produkt som flera nätföretag använder, utan att verktyget för den skull är en del av EnergyNets nätarkitektur. För att kunna säljas till flera nätföretag behöver verktyget fungera med olika kunders data och nätförhållanden.²⁶

AI-agenter kan förändra vem som når kunden

När en kund låter en AI-agent söka, jämföra och förbereda köp kan agenten bli en ny ingång till marknaden. Handlaren erbjudande behöver då vara begripligt och tillgängligt för programvara som företräder kunden. Visa har lanserat ett protokoll för att identifiera betrodda agenter och förmedla uppgifter om köpavsikt. Klarna erbjuder ett gränssnitt där godkända utvecklare kan låta agenter söka produkter och jämföra handlarnas erbjudanden. Det ger konkreta exempel på hur infrastrukturen för denna typ av handel börjar ta form.²⁷

Den möjliga förändringen sträcker sig längre än ett nytt sätt att köpa varor och tjänster. Den aktör som styr agentens urval kan påverka vilka leverantörer kunden möter och vilka villkor som blir avgörande för köpet. Här kan nya affärer växa fram kring specialiserade inköpsagenter, tillförlitliga produktdata och styrning av agents behörigheter. För företag med djup kunskap om en viss verksamhet finns möjlighet att utveckla agenter som kan företräda kundens behov inom just det området.

Svenska erfarenheter av digital handel och de AI-produkter som beskrivs i kapitel 6 ger en grund för specialiserade agenter som hjälper kunder att söka, jämföra och välja inom en viss verksamhet. Klarnas gränssnitt visar samtidigt hur produktdata och handlarnas

²⁵ Lunds kommun, EnergyNet, CoAction Lund. Uppdaterad 25 juni 2026.

²⁶ Vinnova, GridForesight – AI-baserad elnätsoptimering, projekt 2025-01079, uppdaterad 24 september 2026.

²⁷ Visa, Visa Introduces Trusted Agent Protocol. 14 oktober 2025; Klarna, Agentic Product Protocol, teknisk dokumentation. Kontrollerad 30 september 2026.

erbjudanden kan göras tillgängliga för sådana tjänster. En stark svensk position ligger i att förstå kundens uppgift, styra agentens urval och behålla kundrelationen, även om den underliggande AI-modellen byts ut. Det är också här konkurrensen med stora plattformar kommer att stå: om vem som får företräda kunden och påverka vilka erbjudanden kunden möter.

Svenska produkter kan tillverkas nära kunden

En produkt behöver inte alltid tillverkas där den har utvecklats. En digital produktdefinition kan samla konstruktion, materialkrav och tillverkningsvillkor för en komponent eller en hel produkt. Ett svenskt företag skulle då kunna behålla produktkunskaper och rättigheter, medan kvalificerade partner tillverkar och monterar nära kunden. Affären kan omfatta licenser och återkommande kvalitetstjänster, men också leveranser av specialiserade material och avgörande processteg.

Digitala reservdelslager visar en tidig, mer avgränsad tillämpning. Pelagus kopplar tillverkarnas produktunderlag till beställningar, kvalificerade leverantörer och dokumenterad kvalitet. DNV har tagit fram rekommenderad praxis för digitala lager och tillverkning vid behov. Exemplet visar hur produktion kan organiseras utan att varje del måste finnas i ett fysiskt lager, men de visar inte i sig att modellen redan fungerar för hela produkter i stor skala.²⁸

Svenska styrkor inom metallpulver, additiv tillverkning och kvalitetssäkring ger möjliga roller i en sådan värdekedja. Norra Additive Manufacturing erbjuder redan komponentvalidering och digitala lager. Projektet TRUSTAM – Trusted Federated Intelligence for Additive Manufacturing prövar hur AI-modeller kan förbättras mellan tillverkningsmiljöer utan att rådata lämnar respektive miljö. Det kan på sikt stödja nya kvalitetstjänster, men är ännu ett utvecklingsprojekt. För att affären ska kunna växa måste delar som tillverkas på olika platser uppfylla rätt krav utan att varje leverans kräver en orimligt kostsam ny prövning. För beredskap räcker inte heller produktfiler och tillverkningsrättigheter: material, maskiner och kompetens måste faktiskt finnas tillgängliga när de behövs.²⁹

Biologisk design möjliggör nya affärsmodeller för bioproduktion

Att utveckla en biologisk produkt kräver både en fungerande produktionsprocess och förmåga att skala upp den. Här kan nya affärer växa fram på två sätt: produktutvecklare kan köpa hjälp att pröva och utveckla processen utan att bygga en egen anläggning, medan etablerade tillverkare kan licensiera teknik och kunskaper för användning i sina fabriker. Digitala modeller och automatiserad styrning kan göra det lättare att anpassa processerna till olika produkter och produktionsmiljöer.

²⁸ Pelagus, The Pelagus Platform. Kontrollerad 30 september 2026; DNV, DNV-RP-B205 Digital inventories and on-demand manufacturing. Utgåva februari 2025.

²⁹ Norra Additive Manufacturing, On-Demand Lösningar. Kontrollerad 30 september 2026; Vinnova, TRUSTAM – Trusted Federated Intelligence for Additive Manufacturing, projekt 2026-00196, april 2026–april 2028.

Licensiering av biologisk produktionsteknik är en av dessa affärsvägar. Schweiziska Planetary utvecklar en modell för fermenterade ingredienser där tekniken kopplas till det nederländska jordbrukskooperativet Cosuns råvaruflöden och industriella resurser. I ett dansk-nederländskt samarbete har en teknikleverantör bidragit med en genetisk funktion i de mikroorganismer som används för att producera proteiner. Det visar att också en avgränsad teknisk lösning kan få en roll i någon annans produktionssystem.³⁰

Den andra affärsvägen är att hjälpa produktutvecklare att pröva och skala upp biologisk produktion. I Sverige finns förmågor inom processutveckling, rening och provning. RISE:s Bioeconomy Arena erbjuder miljöer för utveckling och uppskalning av biobaserade produkter. I projektet Curve prövas ett tjänsteupplägg där en flexibel bioreaktorplattform och digitala modeller ska stödja utvecklare av livsmedelsproteiner. Genom att arbeta med flera produktutvecklare kan en sådan aktör bygga ett erbjudande som förbättras med erfarenheter från olika processer.³¹

För Sverige ligger möjligheten i att sälja biologisk produktionsteknik och processutveckling till fler kunder, utan att varje leverantör behöver bygga egna produktionsanläggningar. Licenser, uppskalningstjänster och återkommande leveranser av exempelvis reningsmaterial kan ge olika vägar till affären. Hur långt de kan nå beror på om processerna går att anpassa till olika produkter och produktionsmiljöer. Livsmedel och material ställer dessutom andra krav på kostnad och volym än biologiska läkemedel.

Nya erbjudanden förändrar rollerna i värdekedjan

De fyra fallen visar att nya affärer inte bara handlar om vilken teknik som utvecklas, utan om vem som sätter samman erbjudandet och når kunden. Den som orkestrerar ett sammanlänkat elnät, företräder kunden genom en AI-agent eller organiserar tillverkning nära kunden kan påverka vilka tekniker och leverantörer som får en plats i lösningen. Inom bioproduktion kan motsvarande värde ligga i att utveckla processer som andra kan använda och skala upp. För Sverige öppnar det två strategiska roller: att hålla ihop ett erbjudande och kundrelationen, eller att behärska material, komponenter och processer som erbjudandet är beroende av.

De fyra scenarierna visar hur villkoren för dessa svenska positioner kan skilja sig åt. Gemensamma gränssnitt och tillit till provning underlättar spridning i *The Great Synchronisation*. I *Bounded Interdependence* får leverantörernas hemvist och kontroll över data större betydelse. *Giants of the Technosphere* skärper konkurrensen om kundrelationen, medan *The Security Imperative* ökar värdet av produktion och drift som kan upprätthållas under störningar.

³⁰ WIPO, Planetary, företagsporträtt. Kontrollerat 30 september 2026; Royal Cosun, Royal Cosun invests in fermentation scale-up planetary. 7 oktober 2024; Enduro Genetics, Enduro Sense boosts VIVICI's precision-fermentation platform. 14 april 2026.

³¹ RISE, Biotechnology creates value from residual streams. Kontrollerat 30 september 2026; Vinnova, Curve – Scalable biomanufacturing of proteins, projekt 2026-01120, maj–december 2026.

7.3 Dubbel användning och nya säkerhetsmarknader

Flera av de framväxande tekniker som är strategiskt viktiga för Sverige utvecklas mot behov som finns i både civila och militära verksamheter. Förmågan att kommunicera under störningar, tolka sensordata eller bestämma tid och position med hög noggrannhet kan ingå i mycket olika system, men bygger delvis på samma tekniska kunskap och komponenter. Det öppnar möjligheter för svenska aktörer att utveckla lösningar för fler användare och marknader. Samtidigt ställer de olika användningarna skilda krav på funktion, säkerhet och tillträde.

Det är sådana konkreta samband som avses här med dubbel användning, eller *dual-use*. Tyngdpunkten ligger på framväxande och kritiska tekniker där en gemensam teknisk funktion, kunskapsbas eller produktionsförmåga har betydelse för både civila och militära användningar. Det handlar inte om varje produkt som en försvarsorganisation också skulle kunna köpa. Utvecklingen kan gå åt båda hållen: civil teknik kan möta militära behov, medan kunnande från försvarstillämpningar kan få nya civila användningar. Frågan är vilka möjligheter detta öppnar för svenska aktörer och vilka skilda krav användningarna ställer.

Teknikens betydelse för säkerhet påverkar samtidigt tillträdet till dessa marknader. Exportkontrollens listor pekar ut produkter och teknik med dubbla användningsområden. I Sverige ingår verksamhet som rör sådana produkter också i granskningen av utländska direktinvesteringar. Där omfattas även särskilt utpekade framväxande och strategiskt skyddsvärda teknologier. För företagen kan samma tekniska förmåga därmed både skapa nya affärsmöjligheter och medföra krav som påverkar val av kunder, kapital och samarbetspartner.³²

Svenska styrkor kan nå både civila och militära kunder

Sverige har flera teknikmiljöer där civila och militära behov redan möts. Följande exempel visar olika vägar från en gemensam kunskapsbas till bredare användning. Radioelektronik och mobilnät bygger vidare på etablerade industriella styrkor, medan nya navigeringslösningar ger möjligheter att förena kompetens och teknik som utvecklas i olika miljöer.

Radioelektronik för telekom och försvar. Inom arenan *Rymd, flyg och försvar* finns behov av material och signalförstärkning som också är centrala för mobilnät. I ett pågående projekt samarbetar materialföretaget SweGaN i Linköping med Chalmers, Ericsson, Saab och en europeisk komponenttillverkare kring halvledarmaterial och förstärkare för båda användningarna. Det ger specialiserat svenskt kunnande en väg till flera produktfamiljer. Om materialen och komponenterna uppfyller kundernas krav kan återkommande

³² Inspektionen för strategiska produkter, Begreppet dubbla användningsområden/dual-use, uppdaterad 26 augusti 2026; Sveriges riksdag, Lag (2023:560) om granskning av utländska direktinvesteringar, 3 och 5 §§.

leveranser bredda kundbasen och ge svenska aktörer en roll i utvecklingen av kommande systemgenerationer.³³

Mobilnät som kan anpassas till störningar. Inom *AI-styrda 5G- och 6G-nät* samlar ett svensk-finskt forskningsprogram, universitet, telekomföretag och försvarsindustri kring nät som upptäcker störningar och anpassar driften. Det skapar en väg från Sveriges etablerade position inom mobilnät till kommunikation för mer krävande användningar. En gemensam teknisk grund kan utvecklas till produkter för både civila och militära kunder, med olika krav på säkerhet och drift. Den kommersiella möjligheten ligger i att omsätta resultaten i de nät och tjänster som kunderna faktiskt använder.³⁴

Nya system för tid och navigering. Systemsammanhanget *Robust tid, positionering och navigering* rymmer möjlighet att förena svensk mätkompetens med nya sensorer och systemlösningar. Sverige har en distribuerad tidstjänst att bygga vidare på. I Storbritannien har optiska atomur och komponenter baserade på kalla atomer prövats under flygning, och nya atomur har testats under längre driftförhållanden. Tillsammans med sensorer som mäter rörelse kan sådana tekniker på sikt bidra till navigering med mindre beroende av satellitsignaler. Här kan nya leverantörsroller växa fram när teknikerna ska göras tillräckligt kompakta, driftsäkra och användbara i transport- och försvarssystem.³⁵

För Sverige ligger möjligheten i att förena mätmiljöer, sensorutvecklare och användare i utvecklingen av nya navigeringssystem. De brittiska försöken visar hur sådana samarbeten redan tar form internationellt. En svensk roll behöver bygga på ett tydligt bidrag, exempelvis mätning, provning eller sensorintegration, som kan omsättas i fungerande system och internationella leveranser. I *Bounded Interdependence* kan rollen utvecklas genom gemensamma europeiska program. I *The Security Imperative* ökar värdet av lösningar som fungerar även när ordinarie referenser eller nät slås ut.

Nya köpare kan förändra vägen till marknaden

Säkerhetsbehov skapar också efterfrågan hos civila kunder. Flygplatser, hamnar och energianläggningar behöver skydd som kombinerar sensorer, programvara och operativt kunnande. Den svensk-tyska satsningen på skydd mot drönarhot i civila miljöer ger nya team möjlighet att prova sammanhängande lösningar under realistiska förhållanden. Satsningen ingår också i Vinnovas och SPRIND:s samarbete kring förkommersiell upphandling, där offentliga aktörer köper utveckling av lösningar som ännu saknas på marknaden. Finansieringen sker i tre steg, där teamens resultat och potential bedöms

³³ Vinnova, GaN6G+ – Låser upp prestanda och effektivitet i framtidens 6G effektförstärkare, projekt 2025–01346, uppdaterad 27 maj 2026.

³⁴ KTH, Resiliens i fokus när KTH utvecklar nästa generations mobilnät, 12 juni 2026.

³⁵ Netnod, Swedish Distributed Time Service, läst 30 september 2026; Department for Science, Innovation and Technology, Un-jammable quantum tech takes flight to boost UK's resilience against hostile actors, 13 maj 2024; Defence Science and Technology Laboratory, Trial speeds up next generation of atomic clocks, 18 februari 2026.

inför fortsatt stöd. Ett konkret säkerhetsbehov kan därmed ge nya företag både ett betalt utvecklingsuppdrag och möjlighet att visa att deras lösningar fungerar i praktiken.³⁶

För svenska företag finns här två närliggande affärsmöjligheter. Specialister kan leverera teknik till större systemintegratörer som sätter samman och ansvarar för helhetslösningen. Företag kan också bygga egna erbjudanden för en avgränsad funktion, exempelvis övervakning av en anläggning. Då kommer leverantören närmare användningen och får större möjligheter att vidareutveckla tjänsten. Samtidigt ökar ansvaret för funktion, säkerhet och underhåll.

De ökade försvars- och säkerhetssatsningar som beskrivs i kapitel 5.4 kan ge fler sådana beställningar. För nya svenska aktörer är det särskilt viktigt hur behoven formuleras. En beställning som kräver en viss befintlig lösning gynnar redan etablerade leverantörer. Ett uppdrag som i stället anger vilken funktion som ska uppnås kan öppna för andra teknikkombinationer och nya företag. Denna skillnad får betydelse i alla scenarierna, men särskilt när stater koncentrerar sina beställningar till ett fåtal betrodda leverantörer. Tillgång till provning och möjlighet att visa att tekniken fungerar blir då viktiga steg mot en plats i leverantörskedjan.

Ett civil-militärt innovationssystem kan bli en strategisk förmåga

Sverige har kvalificerad försvarsindustri, civila teknikföretag och forskningsmiljöer att bygga vidare på. Gemensamma projekt inom radioelektronik och kommunikation visar att det redan finns konkreta kopplingar mellan dem. En betydande möjlighet ligger i att utveckla dessa kopplingar till en bredare förmåga att snabbt omsätta nya behov i utveckling, provning och användning.

Ett sådant innovationssystem får sitt värde genom att kunskap om användarnas behov kan möta fler lösningar och att erfarenheter från provning snabbt förs tillbaka till utvecklarna. Etablerade systemintegratörer kan ge nya företag tillgång till krävande miljöer och hjälpa dem att förstå vilka krav deras teknik behöver uppfylla. Nya företag kan i sin tur bidra med tekniker och arbetssätt som förändrar hur uppgiften löses. Civila tillämpningar kan ge ett större kundunderlag för fortsatt utveckling, medan försvarstillämpningar kan ställa krav som driver fram bättre funktion och högre driftsäkerhet.

I *The Security Imperative* blir förmågan att utveckla och införa nya lösningar när hoten förändras en del av samhällets uthållighet. I *Bounded Interdependence* kan samma förmåga göra Sverige till en mer attraktiv partner i gemensamma utvecklingsprogram. I *The Great Synchronisation* kan lösningar från sådana samarbeten lättare spridas mellan marknader. I *Giants of the Technosphere* blir tillgången till kunder och möjligheten att vidareutveckla egna produkter avgörande för vilka svenska aktörer som kan behålla sin

³⁶ Vinnova, New solutions are now being developed to address drone threats, 17 mars 2026 ; Vinnova, Samarbete för radikal innovation mellan Sverige och Tyskland, uppdaterad 9 december 2025; SPRIND, Anti-Drone Response 2.0, programbeskrivning, hämtad 1 oktober 2026.

position. Ett fungerande samspel mellan civila och militära aktörer kan därmed stärka både försvarsförmågan och förutsättningarna för internationella affärer.

Forskningssäkerhet påverkar vilka möjligheter som kan utvecklas

De svenska möjligheterna bygger samtidigt på internationellt kunskapsutbyte. När forskning och teknik får större betydelse för säkerhet påverkas vilka partner som kan delta, vilka data som får delas och vem som får använda resultaten. Förmågan att skydda känslig kunskap och bedöma risker i samarbeten kan bli ett villkor för att få delta i utvecklingsprogram och nå vissa kunder. Små företag och forskningsmiljöer kan möta höga kostnader för att bygga upp denna kompetens och uppfylla kraven.

I *Bounded Interdependence* får partnerprövning och gemensamma säkerhetskrav stor betydelse. I *Giants of the Technosphere* blir kontrollen över data och utvecklingsmiljöer en central fråga. I *The Great Synchronisation* behöver öppna samarbeten kunna hantera gemensamma sårbarheter, medan *The Security Imperative* ökar risken för begränsningar som försvårar nödvändigt kunskapsutbyte. För svenska excellenskluster och andra forskningsmiljöer blir ett skydd som är anpassat till riskerna en del av förmågan att samarbeta internationellt. EU:s rekommendation om forskningssäkerhet ger stöd för proportionerliga åtgärder och ansvarsfull internationalisering.³⁷

7.4 Slutsatser för svenskt handlingsutrymme

Svenska styrkor kan få nya användningsområden när teknik, kundbehov och villkor för internationellt samarbete förändras. Scenariotanalysen, de framväxande affärsmodellerna och möjligheterna inom dubbel användning pekar sammantaget mot tre strategiska slutsatser.

Egna erbjudanden och teknisk spets kan förstärka varandra

Sveriges möjligheter stärks där tekniskt kunnande kan omsättas i erbjudanden som möter återkommande behov hos flera kunder. Sammanlänkade elnät, biologisk produktionsteknik och produkter som tillverkas nära kunden visar hur svenska förmågor kan bli grund för nya erbjudanden. Agentbaserad handel öppnar för nya roller i hur efterfrågan förmedlas. Kundrelationen och möjligheten att vidareutveckla erbjudandet blir då strategiskt viktiga. *Giants of the Technosphere* visar hur handlingsutrymmet kan begränsas när stora plattformar kontrollerar tillgången till kunder och data.

Specialiserade leverantörer har också en egen väg till starkare positioner. Ett material eller processteg som är avgörande för produktens funktion kan ge inflytande över kommande produktgenerationer och återkommande leveranser till flera systemintegratörer. Kapitel 6 visar svenska styrkor inom bland annat reningsmaterial, metallpulver och avancerad elektronik. Dessa utgör konkreta utgångspunkter. Nya affärsmodeller kan bredda efterfrågan på sådana förmågor. Det strategiska värdet ligger i

³⁷ Europeiska unionens råd, Council adopts a recommendation to enhance research security, 23 maj 2024.

kombinationen av teknisk särprägel, utvecklingsansvar och tillgång till kunder som behöver bidraget över tid.

Resiliens behöver förenas med internationell räckvidd

Svensk specialisering kan stärka gemensam europeisk kapacitet och ge tillträde till större kundmarknader. *Bounded Interdependence* visar samtidigt hur regionala skyddsåtgärder kan begränsa konkurrensen och försvåra tillgången till kompetens. *The Security Imperative* gör tillgång till insatsvaror, service och alternativa lösningar ännu viktigare. En uthållig svensk position bygger därför på att kritiska funktioner kan upprätthållas genom flera leveransvägar och långsiktiga samarbeten. Vilka resurser som behöver finnas i Sverige beror på hur ett avbrott skulle påverka funktionen, vilka alternativ som finns och hur snabbt de kan tas i bruk.

Affärer inom lokal energiförsörjning och reservdelstillgång kan ge svenska leverantörer en roll i att hantera dessa beroenden. Provad drift, underhåll och tillgång till nödvändiga insatsvaror blir då en del av det kunden betalar för.

Civil-militär förnyelse kan bredda svenska marknader

Dokumenterade samarbeten inom radioelektronik och kommunikation ger en grund för att förena svenska civila styrkor med försvarsbehov. Framsteg inom tidhållning och kvantsensorer öppnar mer osäkra, men potentiellt betydelsefulla utvecklingsvägar. Tillgång till användare, provningsmiljöer och beställningar avgör i alla scenarier hur möjligheterna kan omsättas i praktik. Ett mer sammanhållet civil-militärt innovationssystem kan därför stärka både förmågan att hantera nya hot och möjligheten för fler företag att nå internationella kunder. Sverige har redan flera av de nödvändiga delarna. Den strategiska möjligheten ligger i att få dem att fungera bättre tillsammans och skapa vägar inför nya aktörer.

Från tidiga försök till nya marknadspositioner

Bedömningen av de tidiga affärsmöjligheterna stärks när kunder återkommer, lösningar fungerar i flera miljöer och intäkter finansierar fortsatt produktutveckling. Om varje leverans kräver omfattande nyutveckling blir möjligheterna att växa mindre. Svenska roller kan också begränsas om ett fåtal internationella plattformar tar kontroll över kundrelationer och den fortsatta utvecklingen. Avtal om ansvar, rättigheter och data får därför betydelse för vem som kan bygga vidare på en teknisk framgång.

Teknikutvecklingen behöver därför följas tillsammans med förändringar i kundbehov, erbjudanden och leverantörsrelationer. Nästa kapitel tar upp hur en fortlöpande analys kan fånga upp dessa förändringar och ge bättre underlag för Sveriges strategiska vägval.

8 Från årlig rapport till löpande strategisk teknikanalys

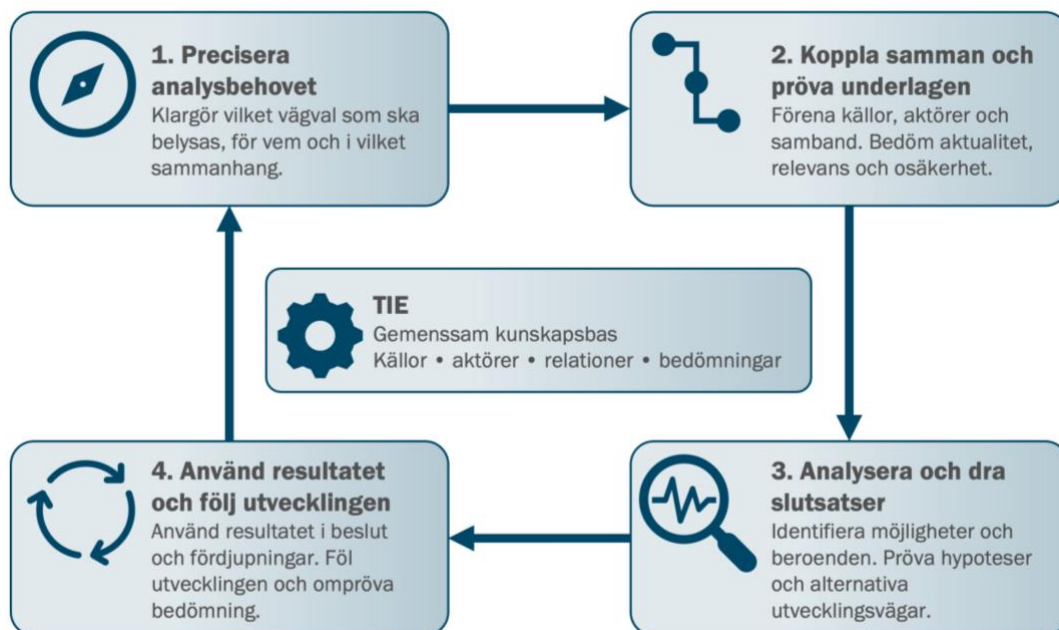
Sverige behöver kunna följa hur nya tekniska möjligheter utvecklas till marknader och hur förändrade internationella villkor påverkar svenska aktörers handlingsutrymme. Arbetet med ST26 har lagt en grund för detta genom att förena forskning, företagsdata och kunskap om tekniska och industriella förändringar. Nästa steg är att utveckla en uthållig analysförmåga som kan användas mellan rapportleveranserna. Den behöver ge stöd både när långsiktiga satsningar utformas och när nya omständigheter kräver snabba omprövningar.

8.1 En analysförmåga att bygga vidare på

Erfarenheterna från ST26 visar värdet av att belysa samma fråga med flera typer av underlag. Forskningens inriktning kan sättas i relation till industriella satsningar, medan uppgifter om leverantörer och resurser kan förklara vilka möjligheter en teknisk styrka skapar. Den fortsatta utvecklingen bör göra dessa samband lättare att undersöka och följa över tid. Det kräver djupare kunskap om aktörerna och deras relationer, bättre datatäckning och en infrastruktur som gör det omfattande dataunderlaget för ST26 tillgängligt för nya analyser.

Strategic Tech Observatory (STO) är ramen för den analysförmåga som utvecklas. Den omfattar att formulera frågor, prioritera fördjupningar och omsätta resultaten i användbara underlag. *Tech Intelligence Engine* (TIE) är den underliggande infrastrukturen för att samla in, strukturera och bearbeta kunskap. ST26 har prövat delar av detta arbetssätt. Den fortsatta utvecklingen behöver förena teknisk uppbyggnad med sakkunskap, användardialog och ett tydligt ansvar för bedömningarna.

Figur 8.1 visar hur arbetet kan organiseras kring återkommande analysbehov. En slutsats behöver kunna följas tillbaka till sitt underlag och provas på nytt när förutsättningarna förändras. Erfarenheter från användningen kan samtidigt visa vilka frågor som behöver fördjupas och vilken kunskap som saknas.



Figur 8.1. Den återkommande analyscykeln inom det strategiska teknikobservatoriet (STO) och dess koppling till själva analysmaskineriet (TIE).

8.2 Fördjupad analys av ekosystem och värdeskapande

En central fördjupning är att undersöka hur kunskap och tekniska förmågor kan omsättas i lösningar som når användare och skapar värde. Det kräver en bredare bild av de ekosystem där utvecklingen sker. Forskare och forskningsmiljöer behöver kopplas till uppfinnare, rättighetsinnehavare, nystartade och etablerade företag samt de aktörer som tillför kapital, kompetens och infrastruktur. Kunder, offentliga beställare och de institutioner som formar marknadens villkor ingår också i dessa ekosystem.

Följ förmågor och tillgångar genom ekosystemet

En sådan kartläggning behöver kunna följa sambanden från enskilda forskare och organisationer till regioner och länder. Det gör det möjligt att skilja mellan var verksamheten bedrivs och var ägare, finansiärer och nyckelleverantörer finns. En forskare kan bidra med särskilt kunnande, ett företag med en avgörande komponent och en testmiljö med möjlighet att visa att en lösning fungerar. Analysen får strategiskt värde när den klargör hur dessa bidrag hänger samman och vilka aktörer som kan föra utvecklingen vidare till produktion och användning. Då blir det också lättare att bedöma vad som krävs för att en svensk styrka ska få större internationellt genomslag.

Patent kan tillföra kunskap om både teknisk inriktning och kontroll över lösningar. Uppfinnare, patentsökande och nuvarande innehavare behöver särskiljas, och förändringar över tid behöver följas.³⁸ För att bedöma den faktiska tillgången till tekniken behövs också uppgifter om exempelvis licenser och samarbetsavtal.

³⁸ European Patent Office, European Patent Register – Applicant, hämtad 1 oktober 2026.

Tillsammans med forskning, projekt och företagsrelationer kan detta visa hur kunskap förs vidare och vilka rättigheter en möjlig satsning är beroende av.

En bred gemensam kunskapsbas bör därför kunna fördjupas utifrån konkreta behov. Analysen av en kritisk komponent kan kräva detaljerad kunskap om ett fåtal leverantörer och deras produktionsförmåga. Analysen av ett framväxande ekosystem kan i stället behöva följa hur forskningsmiljöer, entreprenörer, investerare och kunder börjar samverka. Detaljnivån behöver anpassas till de slutsatser som ska kunna dras.

Fånga nya marknader medan de formas

De framväxande affärsmodellerna i kapitel 7 visar en viktig riktning för den fortsatta analysen. Observationer av nya erbjudanden och sätt att organisera verksamhet behöver kopplas till kunskap om efterfrågan, intäkter, finansiering och möjligheten att växa. Även kontrollen över kundrelationer, data och tekniska gränssnitt behöver följas. Det kan förklara var värdeskapande och strategiskt inflytande uppstår och samlas när en ny marknad tar form.

Sökandet efter svaga signaler behöver ha en bred internationell utgångspunkt. Försök utanför etablerade branscher kan visa att en teknik är på väg att få en ny användning eller ingå i ett nytt erbjudande. Nästa steg är att undersöka vilka svenska förmågor som kan bidra. Fortsatt bevakning av kundantal, återkommande användning och avbrutna försök kan sedan stärka eller försvaga bedömningen. Scenarier ger möjlighet att pröva hur dessa utvecklingsvägar påverkas av olika marknadsvillkor och geopolitiska förhållanden.

Ekosystemanalysen kan också ge underlag för *due diligence*, det vill säga fördjupad granskning inför exempelvis samarbeten, investeringar eller strategiska satsningar. Genom att bedöma kompetens, ägarförhållanden, rättigheter och beroenden samlat går det att värdera både möjligheter och risker. Slutsatserna behöver knytas till verifierade relationer och deras betydelse i den aktuella situationen. Därmed kan samma analysförmåga bidra till välgrundade samarbeten och ansvarsfull internationalisering.

8.3 Datatillgång och en hållbar infrastruktur

De fördjupningar som beskrivits kräver både bredare underlag och bättre förutsättningar att föra samman dem. ST26 har byggts med flera datalager som bearbetats i etapper, en gemensam struktur för tekniker och samband samt omfattande AI-stödd analys. För återkommande användning behöver insamling, sammanlänkning och uppdatering få en mer sammanhållen teknisk grund.

Utveckla tillgången till relevanta data

Den fortsatta utvecklingen behöver ge mer systematisk kunskap om patent, europeiska forsknings- och innovationsprojekt, företagsutveckling och investeringar. Underlag om kompetens, produktionskapacitet, upphandling och efterfrågan behövs för att följa

utvecklingen hela vägen till användning och marknad. Bättre internationell täckning är särskilt viktig för att skilja skillnader mellan länder från luckor i insamlingen.

Avtal med dataleverantörer och tillgång till öppna källor behöver utvecklas tillsammans. Avtalen måste ge utrymme för den bearbetning, lagring och återkommande användning som analysen kräver. I samarbeten mellan organisationer behöver det dessutom vara tydligt vilka data och härledda resultat som får delas. Tillgång till en databas behöver därför bedömas utifrån hur underlaget faktiskt ska användas i den gemensamma kunskapsbasen.

Agentbaserade metoder kan komplettera etablerade datakällor genom riktad insamling och bearbetning. De kan exempelvis följa tekniska försök, nya affärserbjudanden eller förändrade leveransvillkor och föreslå kopplingar till befintliga aktörer och teknikspår. Fördjupade granskningar kan också bygga på riktad inhämtning och analys av öppna källor, ofta kallad OSINT (Open Source Intelligence). Bolagsregister och upphandlingsinformation är exempel på sådana underlag. Materialets ursprung, aktualitet och tillförlitlighet behöver följa med genom bearbetningen så att föreslagna samband kan kontrolleras.

Gör kunskapen möjlig att återanvända

En grundläggande uppgift är att avgöra när uppgifter i olika källor avser samma person, organisation eller tekniska lösning. Denna sammanlänkning, ofta kallad *entity resolution*, behöver hantera namnvarianter, organisationsförändringar och osäkra matchningar. Rätt koppling gör det möjligt att följa en aktör mellan exempelvis publikationer, patent och företag. En felaktig koppling kan påverka flera efterföljande bedömningar och behöver därför kunna upptäckas och rättas.

Kunskapsbasen behöver också bevara skillnaden mellan en källuppgift, ett bearbetat mått och en analytisk bedömning. Spårbarheten, eller proveniensen, ska göra det möjligt att se var en uppgift kommer från, när den samlades in och hur den har använts. Stabil identifiering av aktörer och tekniker, gemensamma benämningar och dokumenterade versioner gör det möjligt att bygga vidare på tidigare arbete. Strukturen behöver samtidigt kunna utvecklas när nya tekniker och relationer framträder.

När mer material ska lagras, jämföras och uppdateras växer behoven av lagrings- och beräkningskapacitet. Infrastrukturens utformning behöver därför utgå från vilka analyser som ska genomföras, hur ofta de behöver uppdateras och vilka krav som ställs på kostnad, tillgänglighet och skydd. Källmaterial, bearbetningar och bedömningar bör kunna bevaras och återanvändas även när en AI-modell eller teknisk leverantör byts ut. Det skapar kontinuitet i kunskapen och större frihet att vidareutveckla verktygen.

8.4 Gemensamt ansvar och anpassad åtkomst

En gemensam analysförmåga kan ge fler organisationer tillgång till mer kvalificerade analysunderlag och göra det möjligt att dela arbetet med att utveckla dem.

Vinnova har fört dialog med andra myndigheter om analyssamarbete och möjligheten att skapa gemensam infrastruktur. Den fortsatta utvecklingen behöver tydliggöra formerna för samverkan, ansvarsfördelning och tillgång till olika delar av kunskapsbasen.

Dela arbetet och nyttan

Regeringskansliet och myndigheter kan behöva samlade lägesbilder och underlag för prioriteringar. Universitet, högskolor och andra organisationer kan bidra med sakkunskap och samtidigt använda fördjupade analyser av forskningsmiljöer, tekniska möjligheter och internationella relationer. Ett sådant samarbete kan bredda både kompetensen i analysen och dess användning. Det förutsätter överenskommelser om hur frågor prioriteras, hur kvaliteten granskas och vem som ansvarar för slutsatser och publicering.

Gemensamma analyser, delad datatillgång och gemensam teknisk drift är skilda samarbetsformer som kan utvecklas i olika takt. En möjlig lösning är att kombinera gemensamma metoder och grundfunktioner med avgränsade miljöer för material som kräver särskild hantering. Valet behöver utgå från deltagarnas uppdrag, de data som ska användas och de analyser som ska genomföras. Även förvaltning, finansiering och tillgång till sakkunniga behöver få en långsiktig form.

Hantera känsligheten i den samlade bilden

När uppgifter kopplas samman kan nya mönster framträda. De kan vara mer känsliga än de enskilda källorna. Öppet tillgängliga uppgifter kan exempelvis tillsammans ge en detaljerad bild av ett kritiskt beroende eller en sårbar verksamhet. Skyddsbehovet behöver därför bedömas även för den information som uppstår genom sammanställningen.³⁹

Åtkomsten behöver kunna anpassas till både innehåll och användning. Källmaterial, arbetsbedömningar och publicerade resultat kan ha olika användarkretsar. Behörigheter behöver också omfatta sökningar, härledda relationer och möjligheten att föra ut material ur systemet. Hanteringen ska utformas med hänsyn till personuppgifter, avtalsvillkor och de skyddsbehov som följer av verksamheten. Dessa krav behöver ingå när infrastrukturen utformas.

Analys på individnivå ställer särskilda krav på relevans och noggrannhet. Uppgifter om en forskares kompetens, uppfinnarskap eller samverkan behöver användas för ett tydligt ändamål. Osäkra kopplingar måste kunna granskas och bedömas. Bedömningar av möjligheter och risker ska bygga på dokumenterade förhållanden och deras faktiska betydelse.

³⁹ Säkerhetspolisen, Informationssäkerhet, avsnittet Vad gäller kring aggregering?, uppdaterad 4 september 2026, hämtad 1 oktober 2026.

8.5 Utveckling genom konkreta tillämpningar

Nästa utvecklingssteg bör drivas genom återkommande analyser där användarna har tydliga behov och där nyttan kan följas. Arbetet med strategiska tekniker, färdplaner och excellenskluster ger flera sådana möjligheter. Erfarenheter från dessa tillämpningar bör styra vilka data, metoder och tekniska funktioner som prioriteras.

Fördjupa underlagen till vägval och satsningar

Kopplingen till Vinnovas färdplanearbete kan utvecklas genom riktade analyser av svenska möjligheter och de villkor som avgör om de kan realiseras. Analysen kan synliggöra exempelvis tillgång till kompetens, testmiljöer och kunder. Färdplanearbetet kan använda underlaget för att utveckla förslag till insatser tillsammans med berörda aktörer. Erfarenheter från genomförandet kan sedan återföras. Om en testmiljö blir tillgänglig kan analysen följa vilka aktörer som använder den och om fler lösningar når kunder.

Excellensklustersatsningen, där Vinnova och Vetenskapsrådet gemensamt stödjer uppbyggnaden av forsknings- och innovationsmiljöer inom banbrytande teknik, erbjuder en annan möjlig tillämpning. En fördjupad internationell kartläggning kan sätta miljöernas förmågor och ambitioner i relation till forskning, industriell utveckling och framväxande marknader. Den kan också visa hur klustren kompletterar varandra och vilka samarbeten eller beroenden som får betydelse för den samlade portföljen. Sådana underlag kan stödja sakkunniga bedömningar och den fortsatta dialogen om klustrens utveckling.

Mellan större rapportleveranser kan bevakning av utvalda möjligheter och beroenden ge anledning till snabbare fördjupningar. Ett nytt kundavtal, ändrade villkor för teknikåtkomst eller en etablering som når faktisk produktion kan förändra en tidigare bedömning. Forskningsmönster kan följas över längre perioder. Uppdateringstakten bör anpassas till utvecklingen. Det behöver också framgå om en förändrad slutsats beror på nya händelser, bättre täckning eller en omprövad tolkning.

Bygg vidare i genomförbara steg

Den första uppgiften är att säkra ST26:s data, definitioner, beräkningar och bedömningar så att arbetet kan återanvändas. Nästa steg är att tillsammans med berörda organisationer välja prioriterade tillämpningar och precisera kraven på data, åtkomst och teknisk kapacitet. Tillämpningarna kan sedan utvecklas stegvis, med återkommande prövning av både analysens kvalitet och dess nytta för användarna. Erfarenheterna ger underlag för beslut om ansvar, finansiering och fortsatt utbyggnad.

Webbaserade vyer kan göra det lättare att gå från en rapportfigur till de samband och belägg som ligger bakom den. De bör utvecklas tillsammans med användarna och visa tydligt vilken version av underlaget som används. På så sätt kan den publicerade lägesbilden bevaras samtidigt som nya bedömningar blir tillgängliga. Möjligheten att gå vidare i materialet behöver anpassas efter användarens behörighet.

Oavsett hur den långsiktiga analysförmågan organiseras behöver den förena kvalificerat analysarbete med sakkunskap om teknik, marknader och internationella förhållanden. Automatisering kan frigöra tid för att pröva hypoteser och värdera motstridiga belägg. Utvecklingen bör bedömas utifrån hur väl den gör viktiga förändringar synliga och förbättrar konkreta beslutsunderlag. Målet är att ge Sverige större handlingsutrymme att utveckla nya erbjudanden, bygga strategiska förmågor och hantera beroenden medan det fortfarande finns flera handlingsalternativ.