

Agenda Grafen 2021

En materialgrupp som alla andra – fast bättre

Arbetsdokument

Förord

Med den här strategiska innovationsagendan vill vi förtydliga vägen framåt för svensk grafeninnovation och samtidigt öka grafenområdets närvaro i kommande forsknings- och innovationspropositioner. Agendans rekommenderade aktiviteter fokuserar primärt på tiden fram till 2023; den bakomliggande långsiktiga strategin gäller dock för tiden fram till 2030.

Agendan vill öka korrelationen mellan grafenområdets strategiska huvudriktning och SIO Grafens utpekade styrkeområden. Denna korrelation får ökad aktualitet genom det faktum att SIO Grafen nu går in i sista halvan av sin ursprungliga offentliga finansieringsperiod, som slutar 2026.

Vårt mål är att grafen och andra 2D-material ska vara en materialgrupp som alla andra – fast bättre.

För det svenska innovationsområdet för grafen och 2D-material

SIO Grafen

Kommenterad [GL1]: sInfo: Målgrupperna för agendan är dels det egna områdets aktörer (från akademi via institut till industri), dels den omgivande förutsättningskapande offentliga sektorn och andra fenomen som påverkar området utifrån (exempelvis finansiärer och investerare).

För det egna området är syftet med agendan att ta ut en gemensam riktning och skapa samsyn och samhörighet. För den yttre målgruppen är syftet med agendan att vi ska kommunicera riktningen och samsynen och efterfråga hjälp med de saker vi inte själva råår över.

Förord	1
Inledning.....	3
Vad är grafen och 2D-material?	3
Vad kan grafen göra för Sverige?.....	3
Vad kan Sverige göra för grafen?.....	4
Grafen i applikationer.....	6
Tillämpningar	6
Kvalitetssäkring, karaktärisering och standardisering	7
Hälsoaspekter	8
Cirkulär ekonomi	10
Grafen som innovationsområde	12
Gemensam ansats för nationell profil	12
Värdekedjor och flaskhalsar	13
Rekrytering och utbildning	19
Synlighet och förväntningar	20
Affärsmöjligheter och finansiering	21
Goda grafenexempel	23
Utmaningar i sammandrag.....	24
.....	24
Rekommenderade aktiviteter	25
Aktivitet A: Facilitering av produktframtagning	25
Aktivitet B: Kartläggning och tillgängliggörande	25
Aktivitet C: Ramverk	26
Aktivitet D: Aktörssamling inom ekosystemet.....	27

Inledning

...

Kommenterad [GL2]: Alla kapitel ska få ingressesida dem författar vi allra sist.

Vad är grafen och 2D-material?

Tvådimensionella material, så kallade 2D-material, har fått en alltmer ökad betydelse de senaste åren. Det speciella med dessa material är att de utgörs av ett tunt tvådimensionellt skikt – färre än tio atomlager tjockt – vilket ger dem extraordinära egenskaper jämfört med traditionella (tredimensionella) material.

Ett av de mest kända 2D-materialen är grafen, ett multifunktionellt material som både kan förbättra existerande produkter och möjliggöra nya inom många teknologiområden. Grafen består av en tvådimensionell kolstruktur där atomerna är arrangerade i ett bikakemönster. Grafen i ren form anses vara världens tunnaste och starkaste material med mycket god förmåga att leda både el och värme. Alla dessa egenskaper är mycket viktiga eftersom grafen i teorin har potential att revolutionera branscher – inom elektronik, värmespridning, energilagring, sensorer, smörjmedel, metalliska och polymera kompositer, ytbeläggningar och mycket mer. Läs mer i avsnitt XX om grafens egenskaper.

Forskningen om många av 2D-materialen ligger på grundforskningsnivå i dag. En del av dem har enbart framställts i små mängder i enstaka laboratorier eller bara studerats teoretiskt. Grafen är det 2D-material som kommit längst i utvecklingen; för grafen handlar det typiskt om tillämpad forskning för att påvisa möjligheter för vidarekonceptualisering. Kunskapen som arbetet med grafen har byggt upp kommer även hjälpa utvecklingen kring nya 2D-material att kunna gå betydligt snabbare än den redan snabba utvecklingen av grafenområdet.

Denna agenda handlar om samtliga 2D-material och vad som kan göras för att snabba på innovation och industriell användning. När vi i resten av dokumentet pratar om grafen inkluderar vi i alla 2D-material i resonemanget om inte annat anges.

Vad kan grafen göra för Sverige?

...

Det kommer att hända mycket på området framöver. Alla aspekter av grafenområdet – forskning, produktion, tillämpning och så vidare – utvecklas i hög takt på den globala arenan. Nya nyttor identifieras ständigt, inom många olika områden.

Samtidigt är grafenområdet ungt, vilket betyder att det jämfört med potentialen är få tillämpningar som hittills har realiserats och nått marknaden i form av produkter. Tillväxten på produkter är dock god; grafen tar allt större plats på marknaden med en stadigt ökande närvaro. Därför handlar de stora nyttorna för Sverige på kort sikt i första hand om de näringspolitiska poänger som ett ökat företagande på området medför i form av avancerad sysselsättning och kompetensuppbyggnad. Men då måste Sverige också se till att den verksamheten har förutsättningar att fungera och blomstra.

Faktaruta: Vad innebär grafeninnovation i Sverige?

Innovation innebär resan från idé till produkt, tjänst eller system på marknaden. I den resan är många olika aktörer inblandade. På den tidiga

Kommenterad [GL3]: Här lägger vi in en liten text om EU Green Deal (implicit FN:s hållbarhetsmål) och hur vår strategi bidrar till att förverkliga detta. Både lösa samhällsproblem och skapa näringspolitiska poänger alltså.

delen av TRL-skalan (technology readiness level, TRL), det vill säga låga mognadsnivåer, återfinns ofta akademien som utför forskning. På höga TRL hittar vi normalt industrin som utvecklar och marknadsför produkter, tjänster och system. Däremellan finns ofta institut som hanterar övergången mellan låga och höga TRL. Speciellt för ett högteknologiskt område som grafen är att nya forskningsbaserade företag etableras, som är aktiva hela vägen från forskning till kommersiell produkt.

Innovationsområdet för grafen består därför av alla aktörer som på något sätt är delaktiga i utvecklingen av grafen som produkt och förbättringen av förutsättningarna för grafenrelaterad innovation. Det är av yttersta vikt för innovationens funktion och effektivitet att dessa aktörer kan samverka med varandra i fungerande värdekedjor. Och det är för att skapa så goda förutsättningar som möjligt för detta som vi har samlat aktörerna i den här innovationsagendan för att gemensamt staka ut vägen framåt.

Det har satsats mycket på forskning om grafen i Sverige och flera svenska universitet är starka inom olika grafenområden. Det investeras även mer och mer i innovationer med grafen, både direkt i företag och genom nationella satsningar. Flera svenska företag är dessutom starka inom produktion och förädling av olika typer av grafen. Dessa områden rustar oss väl för utveckling av framtida tillämpningar genom den kompetens- och förmågeuppbbyggnad de för med sig. Sverige har därmed mycket goda förutsättningar att bibehålla och förstärka den position vi har i dagsläget. Men kompetensen, förmågan och positionen förutsätter att Sverige hanterar innovationen på området på rätt sätt. För att svenska aktörer ska fortsätta vara internationellt konkurrenskraftiga behövs tillgång till spetskunskap och -kompetens i kompletta värdekedjor och ekosystem. Den här agendan har ambitionen att berätta vad som är viktigast att göra de närmaste åren.

Vision: Grafeninnovation i Sverige år 2030

År 2030 är grafen ett svenskt industriellt styrkeområde, där grafen och grafenprodukter ger ett tydligt bidrag till svensk industris internationella konkurrenskraft. Det svenska ekosystemet för grafen är kompetent, komplett och långsiktigt.

Kvinnor och män är verksamma inom grafenområdet med roller som företagsledare, entreprenörer, experter och projektledare. Företag med produktion av och med grafen är attraktiva arbetsplatser. Svenska grafentillverkare och -leverantörer har en stark nationell och internationell position.

Svensk forskningsmiljö kring 2D-material är internationellt konkurrenskraftig. Grafen är ett etablerat material för svenska produktproducenter. Grafen och andra 2D-material har varit en tydlig motor i att nå FN:s globala hållbarhetsmål.

Vad kan Sverige göra för grafen?

Ett antal grundläggande möjliggörande företeelser finns redan på plats i Sverige i dagsläget.

- SIO Grafen utgör sedan 2014 en sammanhållande plattform för svensk grafenrelaterad innovation, med över 150 unika aktörer, varav 60 små och medelstora företag, i hittills över 100 innovationsprojekt (läs mer på sidan [XX](#)).

Kommenterad [GL4]: -> Faktarutan om SIO G.

- Graphene Flagship existerar sedan 2013 som en motor för europeisk grafeninnovation, under koordination av Chalmers och med totalt över 170 partner varav 16 svenska aktörer (läs mer på sidan XX).
- 2D-TECH startade 2020 som ett kompetenscenter för forskning inom 2D-material (läs mer på sidan XX).
- Det finns omkring XX produkter på marknaden (se sidorna XX-XX för exempel).
- I Sverige finns det sju leverantörer av olika sorters grafen som kan leverera de volymer av grafen som efterfrågas nationellt, och betydligt mer därtill.
- Det finns fruktsamma internationella samarbeten mellan företag och forskare, till exempel inom Graphene Flagships spearhead-projekt.
- Inom akademien finns det verksamhet kring grafen på de svenska universitet och högskolor med teknisk inriktning, inklusive undervisning på masternivå och forskning på doktorandnivå (se sidan XX).

Kommenterad [GL5]: -> Faktarutan om GF.

Kommenterad [GL6]: -> Faktarutan om 2D-TECH

Kommenterad [GL7]: -> Sidorna med exempel (vi kör dem sammanhållna och inte utspridda i dokumentet som sist).

Kommenterad [GL8]: -> Faktarutan om kurser.

För att korta ned ledtiden till storskalig fullbordad innovation på området, öka områdets internationella konkurrenskraft och förstärka Sveriges position i den internationella konkurrensen finns det ett antal områden som behöver insatser.

För att grafen och andra 2D-material ska kunna tas till applikationer och senare komma ut på marknaden behövs insatser inom följande huvudsakliga delområden:

- Tillämpningar (läs mer i avsnitt XX).
- Kvalitetssäkring, karaktärisering och standardisering (läs mer i avsnitt XX).
- Hälsoaspekter (läs mer i avsnitt XX).
- Cirkulär ekonomi (läs mer i avsnitt XX).

För att innovationsområdet för grafen och andra 2D-material ska fungera och vara konkurrenskraftigt behövs insatser inom följande huvudsakliga delområden:

- Gemensam ansats för nationell profil (läs mer i avsnitt XX).
- Värdekedjor och flaskhalsar (läs mer i avsnitt XX).
- Rekrytering och utbildning (läs mer i avsnitt XX).
- Synlighet och förväntningar (läs mer i avsnitt XX).
- Affärsmöjligheter och finansiering (läs mer i avsnitt XX).

Läs vidare för att ta del av hur vi analyserar ovanstående, vilka utmaningar vi identifierar och vilka aktiviteter vi rekommenderar för att komma till rätta med utmaningarna.

Grafen i applikationer

Tillämpningar

Grafen har ända sedan skapandet av Graphene Flagship 2013 (se faktaruta) spått en stark marknadspotential och tillväxt tack vare sina lovande egenskaper. Den saken har inte ändrats; framtiden ser fortfarande lovande ut.

Faktaruta: Graphene Flagship

Graphene Flagship är ett tioårigt projekt som för samman forskare från akademi och industri för att ta grafen från universitetens laboratorier till samhället för att generera ekonomisk tillväxt, nya jobb och nya möjligheter för Europa.

Flaggskeppet har över 170 parter och över 90 associerade medlemmar från 22 europeiska länder. Det leds av Chalmers vilket ger Sverige en bra position: det ger förstahandskunskap inom det globala forsknings- och innovationsfältet, och det ger tillgång till nätverk inom både akademi, institut och flera industrisektorer, vilket adderar till Sveriges trovärdighet och attraktivitet för internationella investeringspartner.

Den globala grafenmarknadens storlek uppskattades 2015 till mellan 15 och 50 miljoner USD och förväntas öka till 200–2 000 miljoner USD till år 2025. Siffrorna gäller dock enbart grafenförsäljning, och inte värdet på produkter med grafen. För produkter med grafen beräknas den globala marknaden vara minst 100 gånger större.¹

Vilka konkreta kommersiella tillämpningar för grafen som kommer att kunna ta en stor marknadsandel i framtiden är fortfarande inte helt kända. Inte heller finns det kunskap om eventuella lämpliga nischer för aktörer i Sverige, och vi vet även ganska lite om den fulla potentialen för grafen som material. Det beror naturligtvis delvis på att materialet är ungt och utvecklingen fortfarande till stor del befinner sig på forsknings- och utvecklingsstadierna, som vi ska diskutera nedan. Men det beror också på att grafenindustrin behöver ett riktigt genombrott inom minst ett tillämpningsområde så att grafenförsäljningen tar fart; då kommer även utvecklingen och intresset att öka inom fler områden. Den *killer app* som grafenområdet sett fram emot i ett antal års tid (se Agenda grafen 2018) kanske inte handlar om en specifik produkt utan om materialets förmåga att addera egenskaper till andra material. Grafen har potential att addera egenskaper inom flera skilda områden: mekaniska, elektriska, optiska, värmeledande och så vidare. Till detta kommer det faktum att grafen förmodligen kommer att kunna visa upp sina starkaste egenskaper i *korsningarna* mellan dessa olika egenskaper, där grafen kan ge fördelar som vida överstiger konkurrentmaterialens.

Det har genomförts ett antal projekt som påvisar grafens möjligheter till industriell utveckling, där det riktiga marknadsinträdet fortfarande ligger ett par år framåt i tiden. Exempel på tillämpningsområden för grafen och andra 2D-material är:

- elektronik, där grafen kan leda bort värme effektivare än befintliga lösningar;

¹ T. Reiss, K. Hjelt, A.C Ferrari, Nature Nanotechnology Vol 14, October 2019, s 904-910

- plaster och kompositmaterial som kan bli starkare och få extra funktionalitet såsom bättre elektrisk och/eller termisk ledningsförmåga;
- barriärsikt i förpackningar som kan ersätta aluminiumfolie och därmed underlätta återvinning;
- sensorer som kan få ökad känslighet genom användning av grafen;
- tillsats i betong och cement som gör materialet lättare, starkare och ger ökad livslängd genom att ett skydd mot kloridinträngning;
- smörjning, där olika typer av grafenkompositer kan minska friktion och nötning;
- batterier, där grafen i elektroder kan öka laddningskapacitet och - hastighet;
- energilagring i grafenstruktur eller grafenkomposit;
- antibakteriella ytor där grafen orienteras på ett bestämt sätt;
- tillsats i metallpulver för additiv tillverkning vilket kan både förbättra processer och färdiga produkter;
- optoelektronik, där kombinationer av 2D-material är av stort intresse.

Att ta dessa påvisade möjligheter till färdiga produkter på marknaden ställer i sin tur krav på ökad kunskap om hur grafen kan addera värde i olika tillämpningar. Grafen och möjligheterna att applicera det behöver positioneras och värdesättas gentemot traditionella material och konstruktionslösningar. För att grafenutvecklingen ska ges bästa möjliga förutsättningar krävs därmed generell kunskap om vilken typ av grafen som passar vilka tillämpningar (och naturligtvis att materialet är så pass väl karakteriserat att det verkligen motsvarar de uppställda kraven), men i första hand kanske det handlar om kunskap hos designer och konstruktörer om vilka möjligheter grafen kan addera i varje specifik tillämpning.

På sidorna XX–XX visar vi ett antal exempel på grafenrelaterade produkter som redan i dag finns på marknaden.

Utmaning X: Hur möjliggör vi utveckling av strategiska applikationer som kan profilera Sverige som grafeninnovatör?

Utmaning X: Hur kan vi öka medvetenheten om grafen som möjliggörare, även med multifunktionella egenskaper, inom produkt- och systemdesign?

Kvalitetssäkring, karakterisering och standardisering

För att grafen ska kunna ta plats i produkter och system och nå marknaden, oavsett om det gäller som fristående material eller som egenskapsförbättrande tillsats i andra material, krävs att materialet är tydligt och systematiskt kvalitetssäkrat, och en förutsättning för detta är att materialet också är väl karakteriserat.

Under flera år har etablerade karakteriseringsmetoder varit en bristvara. Det finns nu standarder som exempelvis definierar vokabulären och strukturell karakterisering av grafen. Många fler är dessutom under utveckling och det finns några "good practice-guides". Det behövs dock fler etablerade metoder, i synnerhet metoder som fungerar i industriell skala.

Dessa standarder och metoder är viktiga och efterfrågas av materialutvecklare som direkt handskas med grafen. I konkurrensen med traditionella material är det dock även viktigt att kravställningen på materialen inte enbart är knuten till de

traditionella materialens egenskaper och natur. Här blir det viktigt att kravställningen på produkter sker med bas i funktionalitet, så att kraven behandlar *vad* som ska uppnås och inte *hur* det ska uppnås. Sådan funktionsbaserad kravställning stimulerar och uppmuntrar till nya innovativa lösningar och ger nya material såsom grafen en chans att "komma in".

Det behöver också finnas kommersiella aktörer som kan utföra karaktäriseringen i den omfattning som produktionstakten kräver. Även akademiska aktörer och forskningsinstitut kan spela en roll här, exempelvis med att ta fram de standarder som ska användas, men snabbhet och praktisk effektivitet i utförandet, liksom att industrin ska kunna utföra karaktärisering på egen hand, talar för en ökad kommersiell insats.

Utöver karaktäriseringen av själva materialet kan man addera ett flerstegstänk, där man även karaktäriserar/standardiserar nästa led i värdekedjan, alltså hos den kund som bygger in det producerade materialet i sin produkt. Här uppstår krav på spårbarhet så att man exempelvis via ett Gantt-liknande schema kan följa en produkt hela vägen tillbaka till materialproduktionen. Kvalitetssäkring och karaktärisering leder till möjligheten att ranka leverantörer, vilket skulle kunna bana väg för en kvalitetsstämpel av typen "Made in Sweden" som exempelvis behandlar materialets fysikaliska och kemiska egenskaper men även att råmaterialen och tillverkningsmetoderna är energieffektiva samt miljö- och hälso-säkra (se mer om detta nedan).

Samverkan med andra länder är en förutsättning för ett internationellt gångbart system för karaktärisering av grafen. Eftersom marknaden är internationell behöver karaktäriseringen av det framställda materialet vara det.

Parallellt med kvalitetssäkring och karaktärisering behöver standarder tas fram för att säkerställa reproducerbarhet i tillverkning och jämförelser mellan olika leverantörer och material. Sverige behöver ta en aktiv del i detta standardiseringsarbete för att kunna påverka utvecklingen. För att Sverige ska ha en stark position i internationell konkurrens behöver det finnas en välfungerande kommunikation av standarder inom det nationella nätverket. Detta standardiseringsarbete kommer att behöva en nationell färdplan, inte minst för vårdandet och utvecklingen av den nationella styrkepositionen på området.

Utmaning X: Hur kan vi öka chanserna för grafeninnovationsaktörer i Sverige, både existerande och tillkommande, att – för varje tillämpning – veta exakt vilken typ av grafen som finns, som behövs och som faktiskt ligger på bordet?

Hälsospekter

Grafen är ett industriellt och på vissa sätt även forskningsmässigt nytt material. Därför finns det många frågeställningar kring hälsospekter. Utvecklingen går fort på området och den samlade kunskapen om grafens påverkan på människors hälsa växer stadigt.

Samtidigt växer efterfrågan på kunskap inom området. Grafenaktörer möts stadigt av frågor från potentiella kunder och allmänheten om exempelvis riskerna vid handhavande av grafen både i produktion och användarled. Vad krävs det för skyddsutrustning? Är det farligt att få grafen på huden? Vad ska vi skriva på våra produktdatablad?

I den här agendan fokuserar vi på de hälsoaspekter som gäller arbetsmiljön kring grafen, vilket i första hand innebär momenten tillverkning, bearbetning, konstruktion och återvinning eftersom grafen i användningsfasen kan anses vara tillräckligt inbäddat i andra material för att inte utgöra en egen hälsorisk. Det handlar om att bygga upp kunskap kring eventuella risker, så att riskhanteringen kan utformas på bästa sätt. Samtidigt är frågan större än vad vi klarar att åtgärda nationellt, det behövs internationell samverkan.

Nuläget för hälsofrågeställningarna rörande tillverkning, konstruktion och återvinning kan sammanfattas som följer.

- Hur grafen och andra 2D-material ska hanteras utifrån arbetsmiljö är under uppbyggande; antalet exponeringsstudier i verklig laborativ – och inte minst industriell – miljö är mycket få. Handhavande får därför i dagsläget hänvisas till gällande regler för övriga nanomaterial.
- Det har utförts flertalet laborativa försök och djurstudier för att utreda toxiciteten hos olika typer av grafen. Luftburen exponering är fortsatt det som visar störst potentiell negativ effekt och det är därför lämpligt att minimera sådan vid hantering av grafen. Även om många studier genomförts krävs det utökade insatser för att säkerställa ett samband mellan biologisk effekt och struktur hos olika typer av grafen för att bättre förstå toxiciteten hos grafen.
- Flera studier tyder på att vissa typer av grafen är bionedbrytbart vilket ger stort hopp inför framtida medicinska tillämpningar med grafen.
- Vid större import eller tillverkning av nanomaterial som grafen krävs registrering till kemikalieinspektionen (> 100 kg/år) eller EU via ECHA² (> 1 ton) via de föreskrifter som finns för respektive instans.
- Grafen har blivit registrerat i REACH³ vilket ökar mängden tillgängligt material samt möjligheten till att nå gemensamma föreskrifter. Graphene REACH Registration Consortium (GRRC) sammanställer all tillgängliga data som registrerats och är en värdefull resurs för de företag som överväger att registrera sitt användande av grafen till ECHA.
- Samtidigt är grafen inte ett enskilt material. En utmaning ligger i att veta vilka hälsorisker som är relevanta för en specifik produkt eller form av grafen. Standardisering, gränsvärden och riskklassificering saknas.

SIO Grafen fortsätter att bevaka området i ett nystartat strategiskt projekt kring arbetsmiljö och hälsa samt genom våra samarbeten med forskningsprogrammet Mistra Environmental Nanosafety och plattformen för nanosäkerhet, SweNanoSafe. I det strategiska projektet pågår arbete med att ta fram riktlinjer och rekommendationer för hanteringen av grafen utifrån tillgänglig litteratur samt engagerande av experter inom nanosäkerhet och arbetsmiljö.

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa att grafeninnovation, främst inom tillverkning, konstruktion och återvinning, inte innebär hälsorisker?

Kommenterad [GL9]: Info: Vi får bestämma oss om vi ska köra fotnoter eller en förkortningslista i början eller slutet.

² ECHA = European Chemical Agency, den europeiska kemikalinspektionen som hanterar EU:s kemikalielagstiftning (REACH) för hälsa och miljö.

³ REACH = Registration, evaluation and authorisation of chemicals, europeisk kemikalielagstiftning som bland annat innehåller regler om registrering av ämnen, förbud eller andra restriktioner för ämnen, krav på tillstånd för särskilt farliga ämnen samt regler om att informera kunder.

Utmaning X: Hur kan vi koppla ihop nationellt riskhanteringsarbete med internationellt arbete på bästa sätt, för snabbaste utveckling av regelverk och praxis och för effektivaste nyttjande av finansieringsresurser?

Cirkulär ekonomi

Omställningen från en linjär till cirkulär ekonomi har börjat, med visionen att nå ett samhälle där resurser används effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material⁴. Med ett nytt material som grafen finns det stora möjligheter att redan i designfasen bygga förståelse för hur produkter innehållande grafen ska återtillverkas och återvinnas. Det grafen som tillförs produkter kan bidra både till förbättrade möjligheter till längre användning, men tillförandet av grafen kan också leda till att göra det svårare att återvinna produkter innehållande grafen.

Det finns inom den cirkulära ekonomin flera ramverk att luta sig mot, från organisationer som bland annat Ellen MacArthur Foundation, samt Circle Economy. Dessa båda organisationer har tagit fram de snarlika ramverken ReSOLVE och DISRUPT, som båda bygger på ett antal frågeställningar för att stötta en omställning till en cirkulär ekonomi. Från ReSOLVE har vi:

- **Regenerate:** Byt till förnybar energi och material, samt återställ ekosystem.
- **Share:** Dela produkter och tillgångar, återanvänd, samt förläng liv på produkter.
- **Optimise:** Öka produkters effektivitet, minska avfall och svinn i produktionskedjor.
- **Loop:** Återtillverka produkter och komponenter, återvinn material.
- **Virtualise:** Byt direkt till digitala produkter, minska användandet av fysiska produkter.
- **Exchange:** Byt skadliga material mot mindre skadliga material.

Flera av dessa punkter går att koppla till satsningar som kan göras med grafen. Vid byte av ämnen till grafen kan biobaserad grafen göra stor nytta för miljön. Grafen kan bidra till att produkters liv förlängs, produkter kan också bli mer effektiva med grafen. Återtillverkning kan hjälpas, men också i vissa fall påverkas negativt av inblandning av grafen. Grafen kan även användas för att byta ut skadliga och rara ämnen, exempelvis jordartsmetaller. Utöver detta kan grafen förbättra ett materials funktioner och förlänga livslängden för produkter vilket leder till lägre materialåtgång. Grafen kan också ge lättare material, vilket kan ge energieffektivisering.

Ramverken ReSOLVE och DISRUPT används för att ställa frågor för hur företag och organisationer kan ställas om till mer cirkulära affärsmodeller. Samtidigt pågår arbete inom standardiseringsorganisationerna om att standardisera vad en cirkulär ekonomi är och innefattar. Detta arbete är pågående och kan därför vara vanskligt att lyfta in i detta skede. Dock ska det påpekas att arbete pågår med att skapa mätetal för hur cirkulär en viss produkt är. Här finns det exempel på mätetal som analyserar värdet på en produkts ingående delar, relaterat till hur mycket återcirkulerat material som finns i produkten. Andra mätetal ställer mängden återvunnet eller förnybart material i en produkt mot mängden jungfruligt material. Dessa mätetal kan komma att bli aktuella för grafenprodukter och speciellt i de fall där biobaserad (eller återvunnen) grafen används. Här finns det goda skäl att hålla sig uppdaterad om det arbete som görs inom standardiseringen av cirkulär ekonomi för att se hur det påverkar grafen.

⁴ Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige”, Miljödepartementet (2020), regeringen.se/informationsmaterial/2020/07/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige

Utmaning X: Hur kan vi bygga in cirkulärt tänkande och förståelse för grafenets påverkan efter slutanvändning redan i designfasen?

Utmaning X: Hur kan vi säkra att grafen inte försvårar återvinning av produkter där grafen ingår?

Utmaning X: Hur kan vi säkra att tillverkning av grafen görs så cirkulär som möjligt?

Grafen som innovationsområde

Gemensam ansats för nationell profil

Grafenområdet identifieras i dag som ett styrkeområde inom svensk forskning och innovation. Svenska aktörer på grafenområdet har tagit plats i allt från framställning av grafen till färdiga produkter inom specifika nischer såsom elektronik, ytbeläggning, komposit, energi och bioteknik. Forskare är framträdande inom området där aktiviteter till stor del är centraliserade kring verksamheten runt SIO Grafen (se sidan XX) och kompetenscentret 2D-TECH (se sidan XX) samt med deltagande i Graphene Flagship (se sidan XX). Utöver excellent forskning inom området finns en rad företag, i synnerhet små och medelstora företag (SMF), specialiserade på tillverkning/förädling av grafen samt tillverkning av specialiserade produkter. Innovationsområdet präglas av god samverkan mellan aktörer av alla slag.

Sveriges satsning på grafeninnovation är unik i Norden och har en god position även inom EU. Den sker dessutom i rätt tid med avseende på områdets utveckling och mognad. Grafensatsningen stöts av att Sverige har en lång och stark tradition i området materialutveckling. Vi har även fördelen av att ha flest globala tillverkningsföretag per capita i världen. Svensk grafeninnovation har potential att realisera miljövinster som siktar mot att uppfylla delar av FN:s 17 hållbarhetsmål. För att detta ska kunna ske behöver flera aktörer kraftsamla kring området och Sverige skapa sig tydliga roller i ett sammanhängande system med gränsöverskridande samarbeten som leder till internationell konkurrenskraft och efterfrågan.

Ett nätverkande arbetssätt där företag, även i konkurrerande positioner, samverkar med varandra och med forskare kring forskning, utveckling och innovation gör att grafenområdet har potential att gå från möjlighet till lösning. För att klara detta är det viktigt att skapa exempel där grafentillämpningar kopplas till slutanvändare.

En möjlig väg framåt är att skapa "det svenska erbjudandet" genom att fokusera på ett antal spjutspetsområden som kraftsamlar aktörer aktiva inom allt från både inkrementell och disruptiv grundforskningsnivå via industriell utveckling till finansiering. Här kan innovativa demonstratorer och prototyper sätta ljus på Sverige som grafennation.

Aktörer i Sverige behöver också ha en god samverkan med internationella experter och aktörer för att skapa de förutsättningar som behövs för framtida innovationsinsatser på samtliga TRL. Här finns passande strategiska satsningar från främst Vinnova både för riktade samarbeten med olika länder och för att stödja svensk medverkan i internationella samarbetsprojekt. De svenska grafenaktörerna behöver delta proaktivt i satsningarna. Samordningen sker lämpligen genom SIO Grafen – se nästa avsnitt.

Utmaning X: Hur kan vi öka synkroniseringen mellan grafenområdets strategiska huvudriktning och SIO Grafens utpekade styrkeområden?

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa att grafenområdet matchas av tillräcklig politisk förståelse och kan ta goda positioner i kommande forsknings- och innovationspropositioner?

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa en sammanhållande synkroniseringsfunktion för grafenområdet efter SIO Grafens finansieringsperiod som tar slut 20XX?

Värdekedjor och flaskhalsar

Generellt

Som vi såg på sidan XX är det av yttersta vikt för innovationens funktion och effektivitet att områdets aktörer kan samverka med varandra i värdekedjor. På grafenområdet är det strategiska innovationsprogrammet SIO Grafen (se faktaruta) som har huvudansvaret för den övergripande sammanhållningen och koordinationen av innovationsinsatserna. SIO Grafens ursprungliga finansieringsperiod sträcker sig fram till 2026, varefter organisationen kommer att genomgå en planlagd anpassning till nya finansieringsförhållanden för att kunna fortsätta företräda innovationsområdet på ett samlande sätt.

Faktaruta: SIO Grafen

SIO Grafen är ett nationellt strategiskt innovationsprogram med ambitionen att etablera Sverige som ett av de ledande länderna i världen inom grafeninnovation. Det gör genom att stärka gränsöverskridande samverkan mellan forskning och företag inom grafenområdet i värdekedjor mot tillämpningar. Som strategiskt innovationsprogram verkar SIO Grafen i området mellan grundforskning och kommersiella tillämpningar. Programmet tillhandahåller strategisk vägledning för hur områdets samtliga aktörer kan arbeta i samma riktning och tillsammans skapa ett nationellt grafenerbjudande – från forskning till industriell utveckling – med internationell konkurrenskraft. SIO Grafen finansieras av myndigheterna Vinnova, Formas och Energimyndigheten som ett av Sveriges 17 strategiska innovationsprogram (SIP). Fram till och med år 2020 har programmet investerat 242 miljoner kronor i 132 projekt där över 150 olika organisationer har deltagit.

Det som utmärker grafenområdet, och som särskiljer det från flera andra innovationsområden, är att det är så ungt. Eftersom området endast i några specifika fall hunnit ta sig hela vägen till marknad har det hittills funnits en stark tyngdpunkt på låga TRL. Kompletterande sammanhållning på dessa nivåer fås genom kompetenscentret 2D-TECH (se faktaruta), som matchar akademisk forskning med tekniska behov från industrin för att etablera ett internationellt synligt och konkurrenskraftigt svenskt nav för excellent forskning och teknisk innovation av 2D-material.

Faktaruta: 2D-TECH

2D-TECH är ett kompetenscentrum med visionen att etablera ett internationellt synligt och konkurrenskraftigt svenskt nav för excellent forskning om 2D-material. 2D-TECH samlar nyckelaktörer från industri och forskning och skapar ett nära, tvärvetenskapligt och långsiktigt samarbete. Centret fokuserar på fordons-, flyg- och förpackningsindustrierna, med stora svenska företag som behovsägare. Verksamheten är uppdelad på fyra forskning- och innovationsområden: multifunktionella kompositer, hållbar energi, elektronik och nya 2D-material.

2D-TECH finansieras av Vinnova och har Chalmers som värddorganisation och koordinator. Centret har fått finansiering mellan 2020 och 2024 med möjlighet till förlängning för ytterligare fem år fram till 2029.

Tyngdpunkten på låga TRL betyder dock att det finns ett starkt behov av att skapa de mekanismer som behövs för full funktion på högre TRL. Det relativt omogna och fragmenterade området behöver transformeras till en etablerad och framåtskridande spelare med hög internationell konkurrenskraft. För det behövs fullt utvecklad industrialisering av grafenbaserade forskningsresultat, liksom allt som krävs för att grafenrelaterade lösningar ska vara – minst – fullt konkurrenskraftiga på marknaden. Ett specifikt hinder för denna utbyggnad av höga TRL är att övergången mellan akademisk forskning och industriell utveckling – den så kallade demonstrationsfasen – är en flaskhals (se mer om detta nedan).

Samtliga de omkring 150 aktörer som deltagit i SIO Grafens projekt 2014–2020, liksom programmet självt, behöver interagera för att sprida kunskap, både om grafen som möjliggörare och om grafeninnovationens förutsättningar. Interaktionen är viktig också för att motverka spretighet, sprida resultat, skapa synergier, lära av varandra och effektivisera innovationen. Området behöver arbeta för att samla samtliga grafenrelaterade aktörer med olika bakgrund för att skapa större sannolikhet för lärande och affärsmöjligheter. Programmet behöver dessutom identifiera andra nätverk av specialister och experter där man kan överlappa och samverka, exempelvis andra strategiska innovationsprogram.



Relaterade satsningar

Det finns totalt 17 **strategiska innovationsprogram** (SIP) varav SIO Grafen är ett. Samarbetsmöjligheter på olika nivåer har identifierats med de flesta av de pågående strategiska innovationsprogrammen. Fram till 2021 har gemensamma aktiviteter såsom utlysningar, testbäddsprojekt och workshoppar genomförts med programmen LIGHTer, Smartare Elektroniksystem, Metalliska material, Innovair och Produktion2030, och under 2021 planeras aktiviteter med Medtech4Health och Swelife. En samverkan mellan alla program är under framväxt inom horisontella områden såsom mångfald (inklusive jämställdhet) och internationalisering.

Inom det nya europeiska ramprogrammet för forskning och innovation, **Horizon Europe**, nämns intressanta möjligheter för 2D-material. Några exempel från programmets så kallade fjärde kluster som handlar om "digital, industry and space" är avancerad elektronik och fotonik, energilagring, biomedicin samt kompositer och ytbehandling.

Industriella ekosystem av sammanhängande värdekedjor är inte bara en förutsättning för att idéer ska kunna nå marknaden, utan också för att relevanta och konkreta forskningsfrågor ska kunna matas in i forskningsledet från marknadsledet och ge upphov till nya innovationer med bra träffsäkerhet på marknaden.

Även om syftet med denna agenda är att skapa bästa möjliga nationella förutsättningar i den internationella konkurrensen kommer det också att behövas internationell samverkan. Precis på samma sätt som våra inhemska aktörer tjänar på att samverka med aktörer i andra länder behöver svensk grafeninnovation som helhet knyta an till organiserad grafeninnovation i andra länder, främst de nordiska. Problemet är att organisering av den typen ofta saknas.

Forskning

Ur ett tillämpningsperspektiv ligger grafenområdet ofta tidigt i värdekedjorna och fortfarande med en tyngdpunkt på relativt låga teknikmognadsnivåer (TRL). Akademiens roll är därmed en mycket viktig del i utvecklingen. Den forskning och utbildning som bedrivs vid lärosätena i Sverige är välbehövliga komponenter för att skapa både allmän akademisk grundkunskap och den förståelse som behövs i övriga innovationsaktörers forskning- och utvecklingsprojekt för utveckling av nya grafenbaserade produkter, vilket ju är en förutsättning för att vi ska kunna prata om fullbordad innovation inom grafenområdet. I dagsläget söker många stora och mindre företag samarbete med akademien för just denna kunskaphöjning.

Svensk forskning är internationellt sett bra inom vissa nischer av grafenområdet. Tillväxt inom dessa specifika områden är viktiga grundstenar som behövs som stöd till svenska företagsnyttänkande och utveckling.

Det finns internationella kopplingar att nyttja för aktörer i Sverige. Exempelvis finns ett tydligt och starkt stöd från Vetenskapsrådet tillsammans med Graphene Flagship i form av koordinationsplattformen FLAG-ERA⁵ som har syftet att stödja internationella samarbeten inom grundläggande forskning avseende grafen. Sverige är via Vetenskapsrådet ett av de 14 länder som deltar i FLAG-ERA-utlysningen där forskning av högsta vetenskapliga kvalitet i internationell konkurrens premieras. Inom det europeiska ramprogrammet för forskning och innovation Horizon Europe⁶ kommer det att finnas en del fokus på grafen och möjligheter att ansöka om EU-medel för forskning.

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa fortsatt finansiering av nyskapande forskning på låga TRL för grafen och andra 2D-material, trots att innovationsområdet ännu inte nått full industriell implementering.

Demonstration

Kopplingen mellan forskning och industri är inte alltid så stark, en egenskap som grafenområdet delar med många andra innovationsområden. Det är fortfarande få grafeninnovationer som tagit steget till kommersiell tillämpning, trots de över 100 samverkansprojekt som genomförts under SIO Grafens första sju år.

Just övergången mellan forskning och industri kan ofta ses som en systemsvaghet i det svenska innovationsklimatet; den så kallade demonstratorfasen, där den framforskade teknikens industriella producerbarhet ska demonstreras, är generellt en innovationsmässig flaskhals. Detta gör att möjligheterna till uppskalning är

⁵ flagera.eu

⁶ horizon-eu.eu

begränsade, kanske speciellt inom grafenområdet eftersom det består av relativt små aktörer med begränsad ekonomisk uthållighet och därmed små chanser att själva sköta demonstrationen.

I Sverige har befintliga testbäddar och pilotanläggningar använts i låg grad för grafenrelaterad demonstration. Trots möjligheter att få finansiering till samverkansprojekt inriktade på demonstration har fram till 2020 få grupperingar tagit möjligheten. En orsak är att grafenaktörerna inte överhuvudtaget känner till att testbäddar finns eller hur de kan användas. En annan orsak är att testbäddarna inte är inriktade på grafen utan är uppbyggda och marknadsförs som testbäddar för tryckt elektronik, ytbehandling, additiv tillverkning, komposittillverkning med mera. Detta kan också innebära att grafen utestängs från demonstration eftersom testbäddarna är restriktiva med att ta in främmande material av rädsla för att kontaminera eller att påverka arbetsmiljön. Utöver detta drivs grafeninnovation till stor del av nystartade högteknologiska småföretag som saknar de finansiella musklerna att själva finansiera användning av testbäddarna för att demonstrera sin teknik.

Det finns därmed ett behov av att komplettera de projektformer för demonstration som redan finns med mindre insatser som löpande och med kort startsträcka gör det möjligt för grafenaktörerna att använda testbäddar för att ta fram prototyper och demonstratorer.

Vi ser även ett behov av att samverka med andra strategiska innovationsprogram för att skapa stora, tvärdisciplinära demonstratorprojekt. Här skulle verkliga värdekedjor kunna skapas och testas, mot produktnära demonstratorer.

Utmaning X: Hur kan vi säkra att svenska företag få ökad tillgång till relevanta testbäddar med grafenkoppling?

Produktutveckling

Den svenska industriella verksamhet som i dag kopplar till grafenområdet innefattar både grafenproduktion och införsel av grafen i konstruktion och utveckling av nya eller förbättrade produkter.

När det gäller produktion är tillverkningsmetoderna många, liksom antalet typer av grafen som framställs. Produktionskapaciteten ökar stadigt, liksom kvaliteten på det producerade materialet. Även om grafen ännu inte funnit sin plats i de breda tillämpningarna enligt ovan är det inom vissa specifika områden, exempelvis sensorutveckling, hög efterfrågan på grafen med väldefinierade och konsistenta egenskaper till tillräckligt lågt pris. Inom dessa områden har produktionsnivåerna ännu inte nått de volymer som efterfrågas och därmed finns det utrymme för fler leverantörer.

Faktaruta: Grafenproducenter i Sverige

Det finns totalt sju leverantörer av grafenmaterial i Sverige i början av 2021, som tillsammans har en produktionskapacitet över tio ton grafen per år, främst i form av flagor. Flera av de svenska grafenleverantörerna använder en grön eller energisnål metod för framställning. De leverantörer som anges här antingen tillverkar eller förädlar grafenmaterial. Ingen av de svenska leverantörerna tillverkar CVD-grafen. Troligen finns det fortfarande utrymme för fler leverantörer på den svenska marknaden som kan hitta nya material och lösningar innan utvecklingen går mot att ett fåtal aktörer dominerar.

- **2D fab** använder en mekanisk process för att tillverka flagor av grafen. Skalade under 2020 upp produktionen till 10 ton/år. Grundades 2013.
- **Bright Day Graphene** tillverkar grafenflagor från restprodukter från skogsindustrin. Startade under 2017 och tillverkar än så länge i liten skala.
- **Grafren** sorterar grafen efter olika storlekar, i liten skala. Grundades år 2018.
- **Graphensic** är globalt sett en utav relativt få tillverkare av epitaxiell grafen. Grundades 2011.
- **Graphmatech** funktionaliserar och förädlar grafen. Skalade under 2020 upp produktionen till 10 ton/år. Grundades 2017.
- **SHT** (Smart High Tech) fokuserar på grafen för kylning av elektronik, men har också haft flera projekt med till exempel grafen i betong. Grundades 2006.
- **Talga** använder en elektrokemisk metod för grafentillverkning. Talga är ett multinationellt företag som grundades 2010 och som nu håller på att etablera sig i Sverige.

Att mäta och analysera kvalitet direkt i produktionen kräver rätt sorts kompetens, snabba analysinstrument (gärna in-line) samt standardisering och karaktärisering av produkt. Arbete pågår inom standardisering och karaktärisering (se avsnitt XX) men inte så mycket inom utveckling av snabba analysmetoder. Dessutom krävs lösningar för hur förädlade produkter ska kunna tillverkas på ett kostnadseffektivt, hållbart och säkert sätt.

Dessutom spelar den ovan nämnda flaskhalsen avseende demonstration av forskningsresultat en stor roll för företagen. Speciellt SMF och spinoff-företag behöver kunna hitta investeringsmedel för produktutveckling och produktion. Det gäller dels att få investerare intresserade av att satsa, dels att hitta rätt leverantör av utrustning eftersom det är ny teknik. I senare skede måste även uppskalning av kostnadseffektiva tillverkningsprocesser kunna finansieras, eftersom en sådan stegvis utbyggnad förmodligen ofta kommer att vara mer ekonomiskt försvarbar än att dimensionera för en alltför hög kapacitet från början.

När det gäller införsel av grafen i konstruktion och produktutveckling är utfallet fortfarande begränsat. Nya innovationer och idéer måste ges förutsättningar att realiseras i nya spinoffer, hos både SMF och stora industriföretag. Den "teknik-push" som tidigare har utmärkt innovationsområdet behöver omformas till en "tillämpnings-pull", där industriell design och konstruktion behöver få hjälp att stärka sin kunskap om och efterfrågan på grafen som möjliggörare (se också avsnittet **Tillämpningar** på sidan XX).

Grundläggande kunskap om grafen, om hantering av råmaterial i olika former (grafepulver, -pasta, -suspension och liknande) och om processer måste också vara tillgänglig. Detta gäller för industrin som helhet men kanske mest för underleverantörer som tillverkar delar och komponenter i ofta stora volymer. Dessa underleverantörer är sällan med under utvecklingsfasen och saknar ofta kunskap och kompetens om grafen och dess handhavande. Kunskapsförsörjningen kan till viss del läggas på grafenleverantörer (säkerhetsdatablad, handhavande och dylikt) och beställare men det bör också finnas en allmän källa (SIO Grafen eller annan) till information om exempelvis hälsa och säkerhet, aktuellt leverantörsregister, kvalitetssäkring, certifiering och standarder och motsvarande.

Utmaning X: Hur säkerställer vi att vi kan identifiera marknadsfönster, och att vi har mekanismer för att påverka forskningen så att utvecklingen sker mot dessa fönster?

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa att svensk forskning håller hög internationell nivå inom 2D material? Kan vi ta en ledande roll inom nya 2D material där forskningen/utvecklingen inte kommit lika långt som för grafen?

Utmaning X: Hur kan vi hjälpa grafenproducenter att framställa precis det material som behövs för en given applikation och kommunicera detta gentemot sina kunder?

Utmaning X: Hur kan vi underlätta införandet av grafen som möjliggörare i olika material- och konstruktionssammanhang för att bygga ut den övre delen av TRL-kedjan?

Utmaning X: Hur kan vi på bästa sätt säkra upp att övergången mellan forskning och industriell produktion görs så lättöverstiglig som möjligt för att inte stoppa upp innovationskedjorna och för att förkorta leddtiden från idé till marknad?

Utmaning X: Hur kan vi öka storföretagens möjligheter att skala upp demonstrerad teknik?

Utmaning X: Hur kan vi vidareutveckla de högre TRL-stegen för "fullt funktionella" innovationskedjor?

Utmaning X: Hur säkerställer vi den nödvändiga återkopplingen från produktutveckling och marknad, skapar goda förutsättningar för den nedre halvan av TRL-stegen?

Utmaning X: Hur kan vi öka grafenområdets samverkan med andra innovationsområden och därigenom skapa förutsättningar för synergier, teknikspridning, disruptiv innovation och sektorsövergripande förutsättningar för innovationsutveckling?

Utmaning X: Hur kan vi öka kontaktytorna för aktörerna inom grafeninnovation i Sverige med utländska aktörer för ökat kunskapsutbyte, ökade möjligheter till kompletta innovationskedjor och ökade affärsmöjligheter?

Rekrytering och utbildning

Grafenområdet är mycket brett och mycket kunskapsintensivt; alla kategorier av aktörer (se ovan) behöver ha mycket hög kompetens för att kunna fylla sina olika och specifika roller, och dessutom kräver fungerande innovation i stort att aktörskategorierna har tillräcklig kompetens för att också förstå varandra. Dessutom är utbildning av avgörande betydelse för områdets återväxt. Därmed kan Sverige endast upprätthålla en stark internationell position genom ökande kunskapsuppbyggnad och kompetensutveckling i det långa perspektivet.

Sedan 2015 har över 100 personer vid svenska universitet doktorerat på ämnen kopplade till grafen och andra 2D-material. Det görs även många examensarbeten på masternivå inom grafen och andra 2D-material; de senaste två åren har över 50 examensarbeten gjorts på universiteten. Dessutom har ännu fler personer utbildats i Europa genom Graphene Flagship och andra satsningar.

Det bör alltså finnas en möjlighet för svenska företag att rekrytera personer med hög kompetens inom området. Samtidigt berättar företagen att det kan vara svårt att hitta grafenkompetens när man försöker rekrytera. En anledning kan vara att grafenområdet lider som flera andra områden av att de individer vi utbildar inte stannar inom området. Det finns samtidigt en stor arbetskraftsmängd på den internationella scenen som vi borde kunna fånga in.

Utbildningar och workshops, på många olika nivåer och områden, behöver kombineras med kurser för yrkesverksamma – både nytillkomna och erfarna – om grafens möjligheter att addera värde och om vilket grafenmaterial som passar vilka tillämpningar. Alla aktörer – även inom andra områden – med potential att bidra till att föra in grafen i designlösningar och föra ut grafen på marknaden behöver veta vad grafen är och kan bidra med för att grafen ska kunna bidra med de nyttor som kan skönjas på ritbordet. Detta gäller inte minst forskarna som behöver veta vilka möjliga applikationer som finns. Inom 2D-TECH har detta problem iakttagits, där företagen förväntade sig att forskarna skulle säga hur de skulle kunna använda grafen, och forskarna förväntade sig att företagen skulle berätta hur de skulle kunna ha nytta av grafen, i vilka applikationer. Det behövs en dialog där både möjligheter och förväntningar tydliggörs.

Utbildning är ett komplement till de demonstratorer som diskuterats ovan, i rollen att föra över kunskap från forskningen till industriella tillämpningar. Kompetenskravet går åt båda hållen: Industrin behöver veta vad som finns tidigare i värdekedjorna för att bättre kunna inkludera grafen i sina produkter. samtidigt som akademien behöver vara mycket medveten om de industriella förutsättningarna och kraven. Institutet, som traditionellt har rollen att hantera just övergångsfasen, måste naturligtvis veta hur det ser ut både nedåt och uppåt i kedjan. Kunskapsuppbyggnad behöver alltså ske *tillsammans* mellan alla inblandade aktörer.

Här finns organisationerna SIO Grafen och 2D-TECH (se sidorna XX respektive XX) som har tydliga och avgörande roller i att utbilda för att överbrygga gapet, primärt genom utbildade människor och projektresultat men också exempelvis genom behovsdrivna utbildningar, seminarier och workshoppar. Redan i dag görs utbildningsinsatser (se faktaruta) men detta kan med fördel växlas upp för högre effekt.

En teknikintensiv och växande bransch som grafen behöver bli bättre på att inkludera både kvinnor och män med olika bakgrund. Om grafen verkligen ska bli ett svenskt styrkeområde måste branschen inkludera alla. Det är dels en demokratifråga att säkra att alla har möjlighet att delta i etablerandet av ett växande framtidsområde, dels avgörande för utveckling av grafenbranschen att få

tillgång till alla som kan bidra i roller som entreprenörer, experter, projektledare och företagsledare.

För en verklig förändring behöver både sökmängden till högre teknisk utbildning förändras och grafen bli ett tydligt område som kvinnor kan och väljer att göra karriär inom. Rekrytering till civilingenjörsprogrammet är förhållandevis jämställd; 2018/2019 var 35 % av dem som examinerades kvinnor. Variationen är stor mellan olika inriktningar, från 15 till 60 % kvinnor beroende på inriktning; tyvärr ligger de inriktningar där grafenaktörer rekryteras på den lägre delen av skalan.

Innovationsområdet grafen behöver göra insatser för att stödja att kvinnor som befinner sig inom området har samma möjligheter som män, säkra att utlysningar tydligt inkluderar både kvinnor och män samt visa upp jämställda exempel inom grafeninnovation.

Eftersom frågeställningar kring jämställdhet och mångfald är relevanta för området finns allt att vinna på att samverka med andra närliggande organisationer som arbetar med frågan. Internationellt har Graphene Flagship skapat plattformen *Diversity in Graphene*, där svenska aktörer är välkomna att delta. Nationellt har de strategiska innovationsprogrammen initierat samverkan för att dela erfarenheter kring hur man arbetar med jämställdhet och mångfald.

Utmaning X: Hur kan vi långsiktigt behålla uppbyggd grafenrelaterad kompetens inom grafenområdet?

Utmaning X: Hur kan vi underlätta återväxt av kompetens till grafenområdet?

Utmaning X: Hur kan vi förbättra jämställdhet och mångfald inom grafenområdet?

Synlighet och förväntningar

Grafen är ett ungt material och även om området snabbt gått framåt är utvecklingen bara i början. Grafen ska inte ses som enbart en generisk och bred teknologi, utan som en helt ny materialklass som representerar en unik möjlighet för industrin – inom många branscher – och för samhället. Men eftersom den tekniska mognaden fortfarande utvecklas känner ingen med säkerhet till den fulla potentialen hos grafenteknologin.

Medvetenheten om både materialets egenskaper och områdets verksamhet och status är dessutom generellt väldigt låg bland svenska företag och innovatörer. Samtidigt är förväntningarna på många håll höga efter den uppmärksamhet materialet fick i samband med 2010 års nobelpris och den historiskt stora finansieringen av Graphene Flagship 2013. Till detta kommer avsaknaden av rapportering av resultat som gjort att materialet hamnat i ett läge där man inte hört något nytt på över ett årtionde.

Intresset för och kunskapen om materialet är dock klart högre nu än 2018 då den tidigare strategiska innovationsagendan skrevs, men när allt sammanfattas

åtnjuter grafen fortfarande inte någon status som ett självklart alternativ vid konstruktion.

Detta faktum medför att finansiering av grafenrelaterad innovation kan vara ett problem, helt enkelt på grund av okunskap. Grafenets historia bidrar: inledningsvis fanns ett starkt varumärke byggt på förväntningar och sedan kom en – helt normalt – långvarig och "tyst" process för att utveckla materialet för tillämpningar. Detta har bidragit till att den ökning i efterfrågan som kommer att vara nödvändig måste bygga på något mer än rena förväntningar. Det faktum att grafen är "nytt och häftigt" måste kombineras med att det också "finns och fungerar". Transformationen mot det senare behöver förmodligen fokusera på "lågt hängande frukter" och inte primärt på att introducera grafen i avancerade strukturmaterier som kräver omfattande kvalificering.

Analogt med vad som tidigare nämnts består möjligheterna till lösning av problemet av två delar: dels att öka synligheten inåt mot det nationella innovationssamhället, där grafen vill ta en större roll; dels att förstärka den internationella roll Sverige vill ha som ett högteknologiskt land.

Inåt är det möjligheterna med grafen och andra 2D-material som behöver beskrivas och kommuniceras. SIO Grafen har stor påverkan och pågående arbete, men ett problem är det som beskrivits i kapitel XX: att utfallet inom grafenområdet hittills ligger på lägre TRL och ofta utgörs av enskilda småprojekt som gått i hamn.

Kommunikationen behöver riktas till rätt målgrupper och skapa realistiska förväntningar hos dessa om realistiska och trovärdiga potentialer och tidsplaner. En identifierad målgrupp är designer och konstruktörer inom olika teknikområden, som behöver få ökad kunskap om hur grafen kan användas för att skapa förbättrade egenskaper hos produkten som ska framställas. Denna kunskapshöjning utgör en central del i ökningen av efterfrågan på grafen.

Utmaning X: Hur ökar vi kunskapen om statusen, möjligheterna och begränsningarna med grafen hos fler personer och företag?

Utmaning X: Hur ökar vi svenska organisationers internationella synlighet och inkluderande i internationella värdekedjor?

Affärsmöjligheter och finansiering

Ett innovationsområde har sällan de egna finansiella muskler som krävs för att överbrygga alla svårigheter på vägen. Ett innovationsområde under framväxt har det definitivt inte. Innovativa finansieringslösningar måste till på alla nivåer i innovationen, från grundforskning via demonstration till industriell utveckling och även till riskkapital som får nystartade företag att växa.

Med många lovande grafenapplikationer men ännu få kommersiella tillämpningar på marknaden har grafenområdet fortfarande en tyngdpunkt på forskning snarare än marknadsbehov. Inom grafenområdet förekommer ofta kombinationen av relativt oprövad teknik med stor potential och små, nystartade högteknologiska företag. Olika åtgärder för att förstärka finansiering av aktörer och insatser i den övre delen av TRL-kedjan behöver undersökas.

Ett samarbete med andra strategiska innovationsområden, se XX, skulle även kunna driva utvecklingen och området projektportfölj mot högre TRL-nivåer.

Grafen är inte det första banbrytande materialet som har stått inför marknadsinträde – hur har man hanterat hindren i andra fall?

Utöver de rent finansiella hindren finns det ofta immaterialrättsliga hinder för den nödvändiga samverkan mellan aktörer i värdekedjorna som vi diskuterat ovan (se kapitel XX) och som är en nödvändighet för effektiv innovation – och för riskspridning. Här finns stora behov av innovativa förändringar inom IPR och affärsmodeller.

På samtliga nivåer och för alla aktörstyper gäller att finansiering måste vara långsiktig och i tillräckligt stor skala för att trösklarna ska kunna överstigas.

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa korrekta och tillräckliga förutsättningar och finansiering för innovationsaktiviteter på grafenområdet på samtliga TRL?

Utmaning: Hur kan vi specifikt underlätta för nystartade företag, ofta SMF, att kunna medfinansiera deltagande i grafenrelaterade projekt på högre TRL-nivåer?

Utmaning X: Hur kan vi säkerställa att grafeninnovationsaktörer i Sverige får det stöd de behöver vad gäller projektansökningar, samverkanskontakter, erfarenhetsutbyte, affärsmöjligheter och kontrakt- och avtalsskrivningar?

Goda grafenexempel

Grafen som material har ett antal styrkor, och när man dessutom kombinerar dessa egenskaper kan man få helt unika egenskaper. Här listar vi ett antal produkter och tillämpningsområden där grafen har visat sig kunna addera värde och nytta i hög utsträckning.

...

"Brytaren"

Smarta elnät kräver komponenter och delsystem med högsta funktionalitet, tillförlitlighet och säkerhet. 2017 startade ett projekt, finansierat av SIO Grafen, inom vilket ABB och Uppsala universitet skulle utveckla ett kompositmaterial innehållande grafen med mycket höga krav på kombinationen av mekaniska och tribologiska (smörjande) egenskaper för maximerad livslängd. Projektet har knoppat av ett antal nya aktiviteter och projekt kring självsmörjande och nötningsbeständiga metall-grafen-kompositmaterial, exempelvis det ABB-ledda så kallade Spearhead-projekt (CircuitBreaker) som 2020 startade inom ramen för Graphene Flagship, som involverar sex olika SME- och akademipartner (bland andra Graphmatech).

Kommenterad [GL10]: Här lägger vi nedkortade versioner av de exempel som finns på siografen.se/success-stories plus nedanstående om "brytaren".

Vi tar gärna emot bra exempel!

Utmaningar i sammandrag

...

Kommenterad [GL11]: Extraherade ur texten ova
Gunnar fixar när allt är klart.

Rekommenderade aktiviteter

Aktivitet A: Facilitering av produktframtagning

Vi vill accelerera användningen av grafen och andra 2D-material i produkter. För att klara det behöver vi:

Projekt som agerar "TRL-hiss": Som komplement till befintlig finansiering vi vill addera möjligheten till finansiering av enstaka större "TRL-hiss"-projekt som accelererar utvecklingen att ta fram prototyper/demonstratorer inför efterföljande industriell produktframtagning. Projekten behöver:

- visa på språngvis förbättringar i produktens egenskaper och funktioner;
- säkra fullständiga värdekedjor;
- skapa generaliserbar kunskap som kan spridas på bredden.

Detta föreslås initieras och finansieras genom SIO Grafen med start under Etapp 3 (fram till 2023).

Designregler för användning av grafen: En kontinuerlig sammanfattning av befintlig kunskap i designregler underlättar för industrin att använda grafen och andra 2D-material.

Detta föreslås initieras av SIO Grafen under Etapp 3 och 4 (fram till 2026)

Industrins "kravställning": Förutsättningar för industrikopplad forskning fås genom att industrin behöver vara tydlig att kommunicera sina behov av utveckling av grafen och 2D-material till både på grundforskning och tillämpad forskning.

Detta föreslås initieras av industrin genom aktivt deltagande i SIO Grafen och 2D-TECH.

Kontinuitet i satsningar: Dagens satsningar skapar förutsättningar för kommersialisering genom att bygga kunskap och ekosystem från grundforskning till tillämpad forskning. Detta behöver förstärkas.

Detta föreslås initieras av ...

Rätt finansiering till rätt sak: För produktutveckling på höga TRL behövs ytterligare finansiering, förmodligen genom riskkapital, för den industriella utvecklingen fram till marknadsinträde.

Detta föreslås initieras av ...

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: Xxxxx

Aktivitet B: Kartläggning och tillgängliggörande

Vi vill säkerställa att de lösningar som grafenområdets innovationsaktörer efterfrågar för att kunna skapa förutsättningar för aktivitet A ovan är kartlagda

och tillgängliggjorda för aktörerna och att dessa är medvetna om att de finns på plats. Det handlar exempelvis om:

Infrastruktur och testbäddar: Några förutsättningar för att testbäddar och infrastruktur ska komma till nytta för grafenområdet är:

- att utbudet av anläggningar är kartlagt;
- att behovsägande aktörer känner till anläggningarnas existens;
- att anläggningarna själva är villiga och lämpade att ta emot grafenrelaterade projekt (inte ha "rädsla" för nya material) – grafenmärkning? (kopplat till både kompetenshöjning och hälsa nedan);
- att det vid behov finns en matchning mellan typ av grafenprojekt och testbädd, vilket eventuellt kan leda till någon sorts märkning av testbäddar för grafenändamål.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av RISE i samverkan med SIO Grafen.

Internationalisering: Svensk grafeninnovations konkurrenskraft är i hög grad beroende av våra nationella aktörers samspel med utlandet, inte minst vad gäller möjligheter till deltagande i internationella sammanhang. Vi vill underlätta detta genom:

- att utbudet av potentiella internationella samarbets- och affärspartner är kartlagt;
- att behovsägande aktörer känner till dessa potentiella partners existens;
- att utveckla verktyg för matchning och ihopkoppling av aktörer för att öka antalet svenska associated partners i Graphene Flagship och för att koppla mot relevanta ekosystem i andra länder.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av SIO Grafen i samverkan med Vinnova, Enterprise Europe Network och Business Sweden.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: Xxxxx

Aktivitet C: Ramverk

Vi vill skapa nödvändiga ramverk inom vissa identifierade områden som bedöms ha särskilt stor inverkan på innovationsområdets utveckling, för att grafen ska kunna ta plats i tillämpningar. Det rör sig huvudsakligen om följande:

Karaktärisering och standardisering: En förutsättning för att innovationsaktörer ska kunna arbeta med och samarbeta kring grafen är att materialet är karaktäriserat och standardiserat. Vi föreslår därför riktade aktiviteter för:

- att utarbeta en färdplan för vilka standarder som behövs, vad som är under utveckling och vad som ännu saknas och behöver tas fram;
- att engagera så många aktörer och aktörstyper som möjligt för att få in alla relevanta aspekter i arbetet.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av SIO Grafen i samverkan med SIS och engagerade aktörer och aktörstyper.

Hälsa: En annan förutsättning för att grafen ska kunna ta plats i tillämpningar på allvar är att det är tydligt för alla aktörer hur man borgar för en säker hantering av grafen så att aktörer inte undviker grafen av rädsla för hälsorisker vid exempelvis tillverkning, bearbetning, konstruktion och återvinning. Vi föreslår därför:

- att riktlinjer tas fram för säker hantering av grafen och grafeninnehållande material i industriella processer samt tydligt kartlägger dess hälsopåverkan.
- att hälsoaspekter beaktas vid framtagande av riktlinjer för återvinning och sluthantering av grafen och grafeninnehållande material.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av SIO Grafen i samverkan med svenska aktörer (Mistra Environmental Nanosafety, NanoSafe4All, SweNanoSafe, SIS – Svenska institutet för standarder) och internationella aktörer (Graphene Flagship, ASTM International, NIA – the Nanotechnology Industries Association).

Cirkulär ekonomi: Det är viktigt att sätta befintliga cirkulära ramverk (ReSOLVE och DISRUPT) i en grafenkontext. Vi föreslår därför:

- att ett "Grafen-ReSOLVE"-ramverk skapas, där de olika delarna i original-ramverket förtydligas med koppling till grafen;
- att DISRUPT-ramverket på liknande sätt kompletteras med en grafen-fördjupning.

Detta föreslås initieras av ...

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: Xxxxx

Aktivitet D: Aktörssamling inom ekosystemet

Vi vill att alla aktörer verksamma inom grafenrelaterad innovation, både gamla och nya, ska känna sig välkomna och få förståelse för sin roll i det övergripande innovationssystemet liksom för sin position i värdekedjorna. Detta är en förutsättning för ett fungerande innovationssystem.

Utbildning: Om grafenområdet ska kunna tillväxa och vara internationellt konkurrenskraftigt måste vi säkerställa att vi kan utbilda de individer området behöver. Detta handlar om:

- att öka grafens och andra 2D-materials närvaro i grundutbildningen genom exempelvis seminarier och kurser (inklusive kartläggning av nuvarande utbud);
- att säkerställa att det kursutbud som finns angående grafen och andra 2D-material på forskarutbildningsnivå är relevant och aktuellt för områdets utveckling.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av den i Sverige aktiva grafenrelaterade akademien i samband med SIO Grafen.

Fortbildning: Grafenområdet utvecklas fort, vilket ställer höga krav på kontinuerlig kompetenshöjning. Här krävs insatser som handlar om:

- att skapa ökade kontaktytor mellan företag och utbildande akademi inom grafensektorn för att säkerställa aktuella och relevanta frågeställningar i utbildningen;
- att tillhandahålla relevant och målgruppsanpassad vidareutbildning för yrkesverksamma inom grafenområdet;
- att skapa och tillhandahålla utbildningsmaterial för att öka förståelsen för grafen och dess möjligheter att leverera nytta för aktörer och deras produkter – "är grafen något för mig?".

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av den i Sverige aktiva grafenrelaterade industrin i samband med SIO Grafen.

Nätverksfrämjande åtgärder: Vi behöver stärka det svenska ekosystemet för grafenaktörer genom att *förtydliga* nätverket (renodla noder), *förstärka* det (skapa starkare kopplingar), och *förstora* det (koppla upp grafen mot "omvärlden"). Detta handlar om:

- att synliggöra den kompetens som finns och byggs på grafenområdet för att skapa rollmodeller för ökad attraktivitet hos området;
- att arbeta för att de individer som utbildas i Sverige stannar inom grafenområdet och bidrar till områdets näringspolitiska poänger;
- att anordna workshoppar med fokus på exempelvis ansökningar, business cases och demonstrationsfacilitering;
- att fortsätta och utveckla den omvärldsbevakning för benchmarking och kalibrering av nödvändig svensk kompetensnivå som redan utförs;
- att anordna konferenser för ökad spridning av kunskap om grafen, både genom höjd svensk närvaro på internationella grafenkonferenser och genom höjd grafennärvaro på icke-grafenrelaterade konferenser;
- att författa och sprida success stories för större internationell synlighet på alla nivåer och en högre internationell profil.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av SIO Grafen.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: Xxxxx