



AGENDA GRAFEN

Den svenska
strategiska
innovationsagendan
för 2D-material

2022

REKOMMENDERADE INSATSER I KORTHET

Den här agendan rekommenderar ett antal insatser för att skapa förutsättningar för ännu starkare innovation inom området 2D-material i Sverige. Här listar vi insatserna i korthet.

Insatsområde 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 vill vi addera möjligheten till finansiering av stora "TRL-hiss"-projekt som accelererar utvecklingen att ta fram prototyper/demonstratorer inför efterföljande industriell produktframtagning.

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

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.

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

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

Insatsområde B: Kartläggning och tillgängliggörande

Vi vill säkerställa att de lösningar som grafenområdets innovationsaktörer efterfrågar för att kunna skapa förutsättningar för insatsområde A är kartlagda och tillgängliggjorda för aktörerna och att dessa är medvetna om att de finns på plats. Det handlar exempelvis om:

Infrastruktur och testbäddar: Testbäddar och infrastruktur behöver kunna komma till nytta för 2D-materialområdet.

Internationalisering: Svensk 2D-materialinnovations konkurrenskraft är i hög grad beroende av våra nationella aktörers samspel med utlandet, inte minst vad gäller möjligheter till deltagande i internationella sammanhang.

Insatsområde C: Ramverk

Vi vill skapa nödvändiga ramverk inom vissa identifierade områden som bedöms ha särskilt stor inverkan på innovationsområdets utveckling, för att 2D-material 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 2D-material är att dessa är karaktäriserade och standardiserade.

Hälsa: En annan förutsättning för att 2D-material ska kunna ta plats i tillämpningar på allvar är att det är tydligt för alla aktörer hur man borgan för en säker hantering av materialen så att aktörer inte undviker dem av rädsla för hälsorisker vid exempelvis tillverkning, bearbetning, konstruktion och återvinning.

Cirkulär ekonomi: Det är viktigt att koppla in 2D-material i befintliga cirkulära ramverk.

Insatsområde D: Aktörssamling inom ekosystemet

Vi vill att alla aktörer verksamma inom 2D-materialrelaterad 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 och handlar i detta sammanhang om följande:

Utbildning: Om 2D-materialområdet ska kunna tillväxa och vara internationellt konkurrenskraftigt måste vi säkerställa att vi kan utbilda de individer området behöver.

Fortbildning: 2D-materialområdet utvecklas fort, vilket ställer höga krav på kontinuerlig kompetenshöjning.

Nätverksfrämjande åtgärder: Vi behöver stärka det svenska ekosystemet för 2D-materialaktörer genom att **förtydliga** nätverket (renodla noder), **förstärka** det (skapa starkare kopplingar) och **förstora** det (koppla upp 2D-material mot "omvärlden").

På sidorna 24–27 presenterar vi dessa rekommenderade insatser lite närmare.

Och på sidorna 6–23 berättar vi varför vi gör det.

God läsning!



Agenda grafen 2022 beskriver hur vi vill stärka förutsättningarna för nationell konkurrenskraft inom innovationsområdet grafen och andra tvådimensionella material, så kallade 2D-material. Dokumentet är framtaget av de svenska aktörerna inom ekosystemet för 2D-material, vilka tillsammans äger alla rättigheter till dokumentet. Innehållet får gärna citeras om källan uppges tydligt.

Projektledning: Elisabeh Sagström-Bäck, SIO Grafen och Johan Ek Weis, SIO Grafen

Processledning, redaktion och produktion: Gunnar Linn, Linnkonsult

Tryck: Billes, Mölndal, 2022

Kontakt: info@siografen.se

Förord

SIO Grafen är den samlande kraft som skapar förutsättningar för svensk innovation inom grafen och andra 2D-material och bygger en svensk bransch inom området. Detta innovationsområde handlar för oss om de stora förbättringar som grafen och andra 2D-material har potential att ge samhället, näringslivet och enskilda personer. Effektivare energilösningar, snabbare produktionsprocesser och tyger som övervakar hälsan är bara några exempel där 2D-material har fått en befintlig produkt att bli ännu vassare.

Grunden för ett livskraftigt ekosystem kring 2D-material finns redan på plats i Sverige. Men för att möjliggöra morgondagens smarta lösningar inom vitt spridda branscher behöver hindren för fortsatt forskning och utveckling adresseras. I den här strategiska innovationsagendan tar vi oss an utmaningen att hitta vägar ur den moment 22-liknande sits som många av det nationella innovationsområdets tillverkare och forskare fastnat i.

Sverige har satsat stort på forskning om 2D-material. Dessutom görs allt fler investeringar i innovationer med dessa material, både direkt i företag och genom nationella satsningar. Som land har vi mycket goda förutsättningar att bibehålla och förstärka den position vi har i dagsläget.

Men kompetensen, förmågan och positionen förutsätter att vi gemensamt hanterar innovationen inom området på rätt sätt. För att svenska aktörer ska fortsätta vara internationellt konkurrenskraftiga behövs tillgång till spetskunskap och -kompetens i kompletta värdekedjor och ekosystem där ingående aktörer samverkar med varandra.

I den här agendan har vi samlat områdets aktörer för att skapa så goda förutsättningar som möjligt för effektiv innovation och för att gemensamt staka ut vägen framåt. Agendan presenterar vilka viktiga steg vi gemensamt kan ta de närmaste åren för att lyfta området ytterligare och tillvarata dess fulla potential.

Innehåll

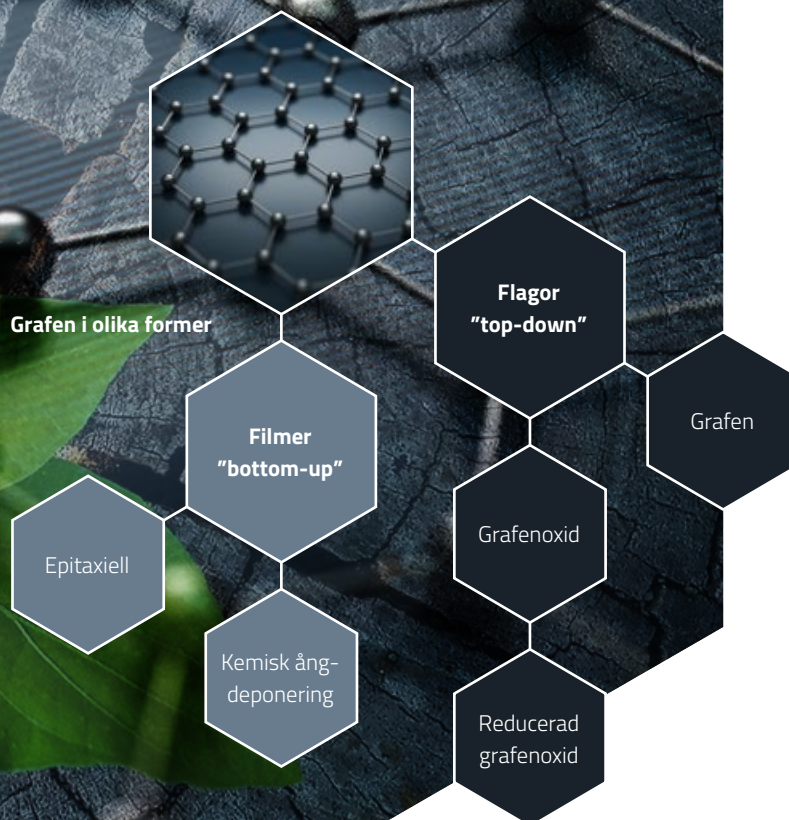
Rekommenderade insatser i korthet.....	2
Förord	5
1 2D-material och deras relevans	6
Vad är grafen och 2D-material?	6
Vad kan 2D-material göra för Sverige?	6
Vad kan Sverige göra för 2D-material?	7
2 2D-material i tillämpningar	8
Tillämpningar	8
Kvalitetssäkring, karaktärisering och standardisering.....	9
Hälsaspekter och arbetsmiljö	10
Cirkulär ekonomi.....	11

3 2D-material som innovationsområde	12
Gemensam ansats för nationell profil	12
Värdekedjor och flaskhalsar	13
Rekrytering och utbildning	17
Synlighet och förväntningar	18
Affärsmöjligheter och finansiering	19
4 Exempel på tillämpningar	20
5 Mål	22
6 Rekommenderade insatser	24
7 Mappning mellan utmaningar och insatser	28
Deltagare i agendaarbetet.....	30

2D-MATERIAL OCH DERAS RELEVANS

Tvådimensionella material har hög potential att skapa nytta i olika sammanhang. Materialen finns i många former och omgärdas av ett livskraftigt ekosystem.

Grafen i olika former



Vad är grafen och 2D-material?

Tvådimensionella material är ett innovationsområde som fått en allt större 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.

Det mest kända 2D-materialet är grafen, ett multifunktionellt material som både kan förbättra existerande produkter och möjliggöra nya inom många olika 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. Tack vare dessa egenskaper har grafen i teorin potential att revolutionera en mängd olika branscher inom elektronik, värmespridning, energilagring, sensorer, smörjmedel, metalliska och polymera kompositer, ytbeläggningar och mycket mer.

Forskningen om många 2D-material ligger i dag på grundforskningsnivå. En del av materialen har enbart framställts i små mängder i enstaka laboratorier eller enbart studerats teoretiskt. Grafen är det 2D-material som kommit längst i utvecklingen med en svensk produktionskapacitet på över tio ton per år. För grafen handlar det typiskt om tillämpad forskning för att påvisa möjligheter för vidarekonceptualisering. Den kunskapsbank som arbetet med grafen har genererat kommer också att bidra till att öka den redan snabba utvecklingstakten kring nya 2D-material.

I denna agenda riktar vi uppmärksamhet mot samtliga 2D-material och presenterar förslag på vad som kan göras för att snabba på innovation och industriell användning av materialen.

Vad kan 2D-material göra för Sverige?

Det kommer att hända mycket inom området 2D-material framöver. Alla aspekter av området – forskning, produktion, tillämpning och så vidare – utvecklas i snabb takt på den globala arenan. Nya nyttor i linje med FN:s hållbarhetsmål identifieras ständigt inom många olika områden, och 2D-material kan komma att spela en viktig roll för en framtida, mer hållbar svensk industri.

Samtidigt är området ungt. I relation till materialens potential har få tillämpningar hittills nått marknaden i form av produkter. Tillväxten på produkter är god; 2D-material tar allt större plats

på marknaden med en stadigt ökande närvaro. På kort sikt handlar de stora nyttorna för Sverige i första hand om ett ökat företagande, med nya och växande företag som skapar avancerad sysselsättning och en bred kompetensuppbyggnad.

Det har satsats mycket på forskning om 2D-material i Sverige. Flera svenska universitet har stark forskning kopplad till grafen och 2D-material. Dessutom görs allt fler investeringar i innovationer med framför allt grafen, både direkt i företag och genom nationella satsningar. Flera svenska företag är också starka inom produktion och förädling av olika typer av främst grafen. Kompetens- och förmågeuppbyggnaden rustar oss väl för fortsatt utveckling av framtida tillämpningar.

Sverige har mycket goda förutsättningar att bibehålla och förstärka den position vi har i dagsläget. Men kompetensen, förmågan och positionen förutsätter att Sverige hanterar innovationen inom området på rätt sätt. För att svenska aktörer ska fortsätta vara internationellt konkurrenskraftiga behövs tillgång till spetskunskap och -kompetens i kompletta värdekedjor och ekosystem.

Vad kan Sverige göra för 2D-material?

Grunden för ett livskraftigt ekosystem kring 2D-material finns redan på plats i Sverige.

- Under koordination av Chalmers verkar Graphene Flagship sedan 2013 som en motor för europeisk grafeninnovation (se sidan 9).
- Sedan 2014 är SIO Grafen den sammanhållande plattformen för svensk 2D-materialrelaterad innovation (se sidan 13).
- 2D-TECH startade 2020 som ett kompetenscenter för forskning inom 2D-material (se sidan 14).
- Produkter med 2D-material finns på den svenska kommersiella marknaden (se sidorna 20–21 för exempel).
- 2022 finns det leverantörer av olika sorters grafen i Sverige, med en aktuell produktionskapacitet som täcker både nationellt behov och möjliggör export.
- Det finns framgångsrika internationella samarbeten mellan företag och forskare, till exempel inom Graphene Flagships spearhead-projekt.
- På svenska universitet, högskolor och institut med teknisk inriktning finns verksamhet kring 2D-material, inklusive undervisning på masternivå och forskning på doktorandnivå. För att korta ned ledtiden till storskalig fullbordad innovation

på området, öka områdets internationella konkurrenskraft och förstärka Sveriges position i den internationella konkurrensen behövs insatser inom ett antal områden.

För att grafen och andra 2D-material ska kunna tas till kommersiella produkter och processer på marknaden behövs insatser inom följande huvudsakliga delområden:

- **Tillämpningar** (se sidan 8).
- **Kvalitetssäkring, karaktärisering och standardisering** (se sidan 9).
- **Hälsoaspekter** (se sidan 10).
- **Cirkulär ekonomi** (se sidan 11).

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** (se sidan 12).
- **Värdekedjor och flaskhalsar** (se sidan 13).
- **Rekrytering och utbildning** (se sidan 17).
- **Synlighet och förväntningar** (se sidan 18).
- **Affärsmöjligheter och finansiering** (se sidan 19).

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.

System/produkt används framgångsrikt i verkligheten

läs mer om TRL på siografen.se/agenda/trl

Grundläggande forskning



Vision: Innovation inom 2D-material i Sverige år 2030

År 2030 har 2D-material skapat en positiv påverkan på Sverige genom bidrag till produkter, industri, samhälle och hållbarhetsmål.

2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde, där material och produkter ger ett tydligt bidrag till svensk industris internationella konkurrenskraft. Det svenska ekosystemet för 2D-material är kompetent, komplett och långsiktigt.

Företag med produktion av och med 2D-material är attraktiva arbetsplatser. Kvinnor och män är verksamma inom området med roller som företagsledare, entreprenörer, experter och projektledare. Svenska tillverkare och leverantörer av 2D-material har en stark nationell och internationell position.

Svensk forskningsmiljö kring 2D-material är internationellt konkurrenskraftig och materialen är etablerade för svenska produktproducenter. Dessutom har 2D-material varit en viktig motor i att nå FN:s globala hållbarhetsmål.

Sverige är ett av de tio främsta länderna i världen på industriell utveckling och användning av 2D-material.

Vad är innovationsområdet för grafen och andra 2D-material 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 delen av TRL-skalan (technology readiness level, TRL, se figur här intill), det vill säga låga mognadsnivåer, återfinns akademien som utför forskning. På höga TRL hittar vi normalt industrin som utvecklar och marknadsför produkter, tjänster och system. Däremellan finns institut som hanterar övergången mellan låga och höga TRL. Speciellt för ett högteknologiskt område som 2D-material är att nya forskningsbaserade företag etableras, som är aktiva hela vägen från forskning till kommersiell produkt.

Innovationsområdet består därför av alla aktörer som på något sätt är delaktiga i utvecklingen av 2D-material och relaterade produkter, och vill vara med och skapa bättre förutsättningar för innovation inom området.

2D-MATERIAL I TILLÄMPNINGAR

När 2D-material på allvar tar plats i produktutvecklingen i TRL-trappans övre delar kommer fördelarna att kunna bli många, speciellt inom multifunktionalitet.

Tillämpningar

Grafen har ända sedan skapandet av Graphene Flagship 2013 (se faktaruta) spått en stark marknadspotential och tillväxt tack vare materialets lovande egenskaper. Och framtiden för 2D-material ser fortfarande lovande ut.

Den globala grafenmarknadens storlek uppskattades 2019 till mellan 15 och 50 miljoner amerikanska dollar och förväntas öka till 200–2 000 miljoner dollar till år 2025. Siffrorna gäller dock enbart grafenförsäljning, och avser inte värdet på produkter med grafen. För produkter med grafen beräknas den globala marknaden vara minst 100 gånger större¹. När andra 2D-material gör kommersiella insteg ökar marknadsstorleken ytterligare.

Vi vet i dag inte vilka kommersiella tillämpningar för grafen och andra 2D-material som kommer att ta stora marknadsandelar i framtiden. Det beror delvis på att materialen är unga och att 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 materialförsäljningen tar fart; då kommer även utvecklingen och intresset att öka inom fler områden.

De *killer applications*, genombrottsprodukter, som området letat efter i ett antal års tid (se Agenda grafen 2018) kommer kanske inte handla om specifika produkter utan om materialets förmåga att addera flera, samtidiga egenskaper till andra material. 2D-material har potential att addera egenskaper inom flera skilda områden: mekaniska, elektriska, optiska, värmeledande och så vidare. Förmodligen kommer materialen att kunna visa upp sina starkaste egenskaper i korsningarna mellan dessa olika egenskaper, där materialen kan ge fördelar som ger tydliga fördelar framför konkurrerande material.

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

- Elektronik, både för att förbättra dagens elektronik ("more Moore", tex snabbare och mer energisnål elektronik) och genom att möjliggöra ny elektronik ("more than Moore", tex flexibel elektronik).

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

Graphene Flagship

Graphene Flagship är ett tioårigt projekt finansierat av EU som för samman forskare från akademi och industri för att ta grafen och 2D-material 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. Svenskt deltagande från företag, universitet och institut finns både som parter och som associerade medlemmar. Att det leds av Chalmers ger Sverige en bra position i form av förstahandskunskap inom det globala forsknings- och innovationsfältet, och tillgång till nätverk inom både akademi, institut och flera industrisektorer, vilket i sin tur adderar till Sveriges trovärdighet och attraktivitet för internationella investeringsparter.



**GRAPHENE
FLAGSHIP**

- Plaster och kompositmaterial som kan bli starkare och få extra funktionalitet såsom bättre elektrisk och/eller termisk ledningsförmåga.
- Barriärskikt, exempelvis på biomaterial i förpackningar som blir lättare att återvinna genom att man kan ta bort dagens barriär av aluminiumfolie.
- Sensorer som kan få ökad känslighet genom användning av grafen.
- Betong och cement, där tillsats av grafen eller andra 2D-material kan göra materialet lättare och starkare samt ge en ökad livslängd genom att skydda mot kloridinträngning.
- Smörjning, där olika typer av grafenkompositer kan minska friktion och nötning.
- Batterier, där grafen i elektroder kan öka laddningskapacitet och laddningshastighet.
- 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 egenskaper kan skräddarsys med kombinationer av olika 2D-material som möjliggör exempelvis snabba komponenter inom ett brett våglängdsintervall.

Att omvandla dessa påvisade möjligheter till färdiga produkter på marknaden ställer krav på ökad kunskap om hur 2D-material kan addera värde i olika tillämpningar. Att introducera 2D-material i en produkt eller process behöver ge fördelar jämfört med att använda traditionella material och produktionslösningar. För att 2D-materialutvecklingen ska ges bästa möjliga förutsättningar krävs därmed generell kunskap om vilken typ av material som passar vilka tillämpningar, men i första hand kanske det handlar om kunskap hos designer och konstruktörer om vilka möjligheter materialen kan addera i varje specifik tillämpning.

På sidorna 20–21 visar vi ett antal exempel på grafenrelaterade produkter som redan i dag finns på marknaden.

Utmaning 1: Hur accelererar vi utveckling av, och ökad medvetenhet om, strategiska tillämpningar med 2D-material som möjliggörare som profilerar Sverige som innovatör inom området?

Kvalitetssäkring, karaktärisering och standardisering

För att 2D-material ska kunna integreras i produkter och system och nå marknaden, antingen som fristående material eller som egenskapsförbättrande tillsats i andra material, krävs att materialet är tydligt och systematiskt kvalitetssäkrat. En förutsättning för detta är att materialet också är väl karaktäriserat enligt accepterade standarder.

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

Standarder och metoder är viktiga och efterfrågas av materialutvecklare som direkt handskas med 2D-material. I konkurrensen med traditionella material är det också viktigt att kravställningen på materialen inte enbart är knuten till de traditionella materialens egenskaper och natur. Den måste ske 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 2D-material en chans att ta sig in på marknaden.

Det behöver också finnas kommersiella aktörer som kan utföra karaktäriseringen i den omfattning som produktionstakten kräver. Akademiska aktörer och forskningsinstitut kommer att spela en viktig roll, 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.

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 och säkra ur miljö- och hälsoperspektiv (se mer om på sidan 10).

Samverkan med andra länder är en förutsättning för ett internationellt gångbart system för karaktärisering av grafen och liknande material. Eftersom marknaden är internationell är också arbetet med karaktäriseringen och standarder internationellt. Sverige behöver ta en aktiv del i det internationella standardiseringsarbetet 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 2: Hur kan vi säkerställa minsta möjliga gap mellan producerat och efterfrågat 2D-material?

Utmaning 3: Hur kan vi påskynda utvecklingen av relevanta internationella standarder?

Hälsospekter och arbetsmiljö

Den samlade kunskapen om 2D-materials påverkan på människors hälsa växer stadigt. Samtidigt ökar efterfrågan på kunskap inom området. Grafenleverantörer möts 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 hälsospekter som gäller arbetsmiljön kring 2D-material, vilket i första hand innebär momenten tillverkning, bearbetning, konstruktion och återvinning eftersom materialen i användningsfasen kan anses vara tillräckligt inbäddade i andra material för att inte utgöra en egen hälsorisk. Det handlar om att bygga upp kunskap kring eventuella hälsorisker, så att hanteringen av materialet kan ske på ett säkert sätt. Samtidigt är frågan större än vad vi klarar av att åtgärda nationellt. Här behövs internationell samverkan.

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

- Riktlinjer för 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 hänvisar därför i dagsläget till gällande regler för övriga nanomaterial.
- Det har utförts flertalet laborativa försök och djurstudier för att utreda toxiciteten hos olika typer av främst grafen. Luftburen exponering är fortsatt det som visar störst potentiell negativ effekt och det är därför lämpligt att minimera sådan





vid hantering av 2D-material.

- Flera studier tyder på att vissa typer av grafen är bionedbrytbara.
- Vid större import eller tillverkning av nanomaterial som grafen krävs registrering till kemikalieinspektionen (> 100 kg/år) eller EU via ECHA (> 1 ton/år) via de föreskrifter som finns för respektive instans.
- Grafen har blivit registrerat i REACH.
- Samtidigt är 2D-material en heterogen grupp. En utmaning ligger i att veta vilka hälsorisker som är relevanta för en specifik produkt eller form av material. Standardisering, gränsvärden och riskklassificering saknas.

Utmaning 4: Hur kan vi säkerställa att användning och hantering av 2D-material, främst inom tillverkning och återvinning, inte innebär hälsorisker?

Cirkulär ekonomi

Omställningen från linjär till cirkulär ekonomi har börjat, med visionen att nå ett samhälle där resurser används effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material. För nya material som grafen och andra 2D-material är det viktigt att bygga kunskap om hur produkter innehållande materialen ska utformas för att bidra positivt till den cirkulära ekonomin.

2D-materials bidrag till den cirkulära ekonomin kan handla om att öka livslängd eller underlätta återanvändning, återtillverkning och återvinning. För att verkligen få dessa positiva effekter behöver man säkra att användning av 2D-material inte gör det svårare att återvinna produkterna.

När grafen ersätter ett annat ämne i en befintlig produkt kan biobaserad grafen göra stor nytta för miljön. Grafen kan bidra till att både göra produkter mer effektiva och öka produktens livslängd. Återtillverkning kan underlättas, men också i vissa fall påverkas negativt av inblandning av grafen. Grafen kan även användas för att byta ut skadliga och sällsynta 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.

Det finns ramverk² som hjälper företag att ställa om till mer

cirkulära affärsmodeller. Samtidigt pågår arbete inom standardiseringsorganisationerna med att standardisera vad en cirkulär ekonomi är och innefattar. 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 området 2D-material.

Utmaning 5: Hur kan vi koppla 2D-material till befintliga ramverk för cirkulära affärsmodeller och bygga in ett cirkulärt tänkande redan i designfasen?

- 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.
- ⁴ "Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige", Miljödepartementet (2020), [regeringen.se/informationsmaterial/2020/07/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige](https://www.regeringen.se/informationsmaterial/2020/07/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige)
- ⁵ Exempel på ramverk för cirkulära affärsmodeller är ReSOLVE och DISRUPT.

2D-MATERIAL SOM INNOVATIONSOMRÅDE

Även om innovationsområdet för grafen och 2D-material rör sig i riktning mot tillämpningarna är det fortfarande starkast på forskningsnivå. Fullt utvecklad innovation kräver att alla parter inom området förstår sin roll och arbetar mot samma mål.

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 13) och kompetenscentret 2D-TECH (se sidan 14) samt med deltagande i Graphene Flagship (se sidan 9). Utöver excellent forskning inom området finns en rad företag, i synnerhet små och medelstora företag (SMF), specialiserade på tillverkning och/eller 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. Satsningen på grafen och 2D-material 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 2D-materialinnovation har potential att realisera miljövinsten som siktar mot att uppfylla delar av FN:s 17 hållbarhetsmål. För att detta ska kunna ske behöver ännu fler aktörer kopplas in i 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 2D-materialområdet har potential att gå från möjlighet till lösning. För att klara detta är det viktigt att skapa exempel där tillämpningar 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 2D-materialnation.

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 6: Hur kan vi löpande säkerställa att 2D-materialområdets strategiska huvudriktning stödjer aktörernas behov och att SIO Grafens aktiviteter är synkroniserade?

Utmaning 7: Hur kan vi säkerställa att 2D-materialområdet matchas av tillräcklig politisk förståelse och kan ta goda positioner i kommande forsknings- och innovationspropositioner?

Utmaning 8: Hur kan vi säkerställa en sammanhållande synkroniseringsfunktion för 2D-materialområdet efter SIO Grafens finansieringsperiod, som tar slut 2026?

Värdekedjor och flaskhalsar

Generellt

Som vi har nämnt på flera platser i dokumentet är det av yttersta vikt för innovationens funktion och effektivitet att områdets aktörer samverkar med varandra i värdekedjor och ekosystem. Det strategiska innovationsprogrammet SIO Grafen (se faktaruta) har nationellt huvudansvaret för den övergripande sammanhållningen och koordineringen av innovationsinsatserna. Innovationsprogrammets 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.

Det som utmärker området 2D-material inklusive grafen, 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.

Ett viktigt syfte med SIO Grafen är att skapa mekanismer för att förskjuta området mot full funktion på högre TRL. Det relativt omogna och fragmenterade området behöver transformeras till en etablerad och framskridande spelare med hög internationell konkurrenskraft. För det behövs fullt utvecklad industrialisering av forskningsresultat, liksom allt som krävs för att lösningar som inkluderar 2D-material 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).

De över 180 aktörer som deltagit i SIO Grafens projekt till och med 2021 behöver, liksom programmet självt, interagera för att sprida kunskap både om 2D-material som möjliggörare och om innovationens förutsättningar. Interaktionen är också viktig för att motverka spretighet, sprida resultat, skapa synergier, lära av varandra och effektivisera innovationen. Programmet behöver dessutom identifiera andra nätverk av specialister och experter där man kan överlappa och samverka, exempelvis via andra strategiska innovationsprogram.

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 marknaden och ge upphov till nya innovationer med bra träffsäkerhet på marknaden.

SIO Grafen

SIO Grafen är ett **nationellt strategiskt innovationsprogram**⁶ (SIP). Ambitionen att stärka gränsöverskridande samverkan mellan forskningsleverantörer och företag inom 2D-materialområdet i värdekedjor mot tillämpningar och på så sätt etablera Sverige som ett av de ledande länderna i världen inom 2D-materialinnovation. Programmet tillhandahåller strategisk vägledning för hur områdets samtliga aktörer kan arbeta i samma riktning och tillsammans skapa ett nationellt erbjudande – från forskning till industriell utveckling – med internationell konkurrenskraft.

Fram till och med år 2020 har programmet investerat över 250 miljoner kronor i 150 projekt där över 175 olika organisationer har deltagit. SIO Grafen kompletterar satsningar på grundforskning om grafen och andra 2D-material genom att finansiera innovationsprojekt med ambition att lyfta TRL-nivån mot kommersiella tillämpningar. SIO Grafen finansieras av myndigheterna Vinnova, Formas och Energimyndigheten som ett av Sveriges 17 strategiska innovationsprogram (SIP).

⁶ vinnova.se/m/strategiska-innovationsprogram

**SIO
GRAFEN**



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.

7 flagera.eu
8 horizon-eu.eu

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 2D-materialinnovation som helhet knyta an till organiserad innovation på samma område i andra länder. Problemet är att organisering av den typen ofta saknas.

Utmaning 9: Hur säkerställer vi att TRL-kedjans lägre delar får vetskap om, och styrs mot, marknadsfönster så att innovation kan fullbordas?

Utmaning 10: Hur kan vi öka synlighet och kontakter – nationellt och internationellt – för aktörerna inom 2D-materialinnovation i Sverige för ökat kunskapsutbyte, ökade möjligheter till kompletta innovationskedjor och ökade affärsmöjligheter?

Forskning

Ur ett tillämpningsperspektiv ligger 2D-materialområdet ofta tidigt i värdekedjorna och fortfarande med en tyngdpunkt på relativt låga teknikmognadsnivåer (TRL). Akademins 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 forsknings- och utvecklingsprojekt för utveckling av nya 2D-materialbaserade produkter, vilket ju är en förutsättning för att vi ska kunna prata om fullbordad innovation inom området. I dagsläget söker många stora och mindre företag samarbete med akademien för just denna kunskapshöjning.

Forskningsfinansiärer som Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) och Vetenskapsrådet har tidigt stött grundläggande grafenforskning på svenska universitet. 2020 startade det Vinnova-finansierade kompetenscentrat 2D-TECH med målet att etablera ett internationellt synligt och konkurrenskraftigt svenskt nav för excellent forskning om 2D-material, se faktaruta här intill.

Det finns internationella kopplingar att nyttja för aktörer i

Sverige. Exempelvis stödjer Vetenskapsrådet tillsammans med Graphene Flagship koordinationsplattformen FLAG-ERA⁷ som har syftet att stödja internationella samarbeten inom grundläggande forskning avseende grafen och andra 2D-material. Inom det europeiska ramprogrammet för forskning och innovation, Horisont Europa⁸, finns möjligheter att ansöka om EU-medel för utveckling av 2D-material kopplat till tillämpningar som elektronik, energi, biomedicin och kompositer. Vinnova har, genom att stödja förberedelseprojekt, pekat ut vikten av svenskt deltagande i projekt inom Horisont Europa kopplade till 2D-material.

Utmaning 9 (igen): Hur säkerställer vi att TRL-kedjans lägre delar får vetskap om, och styrs mot, marknadsfönster så att innovation kan fullbordas?

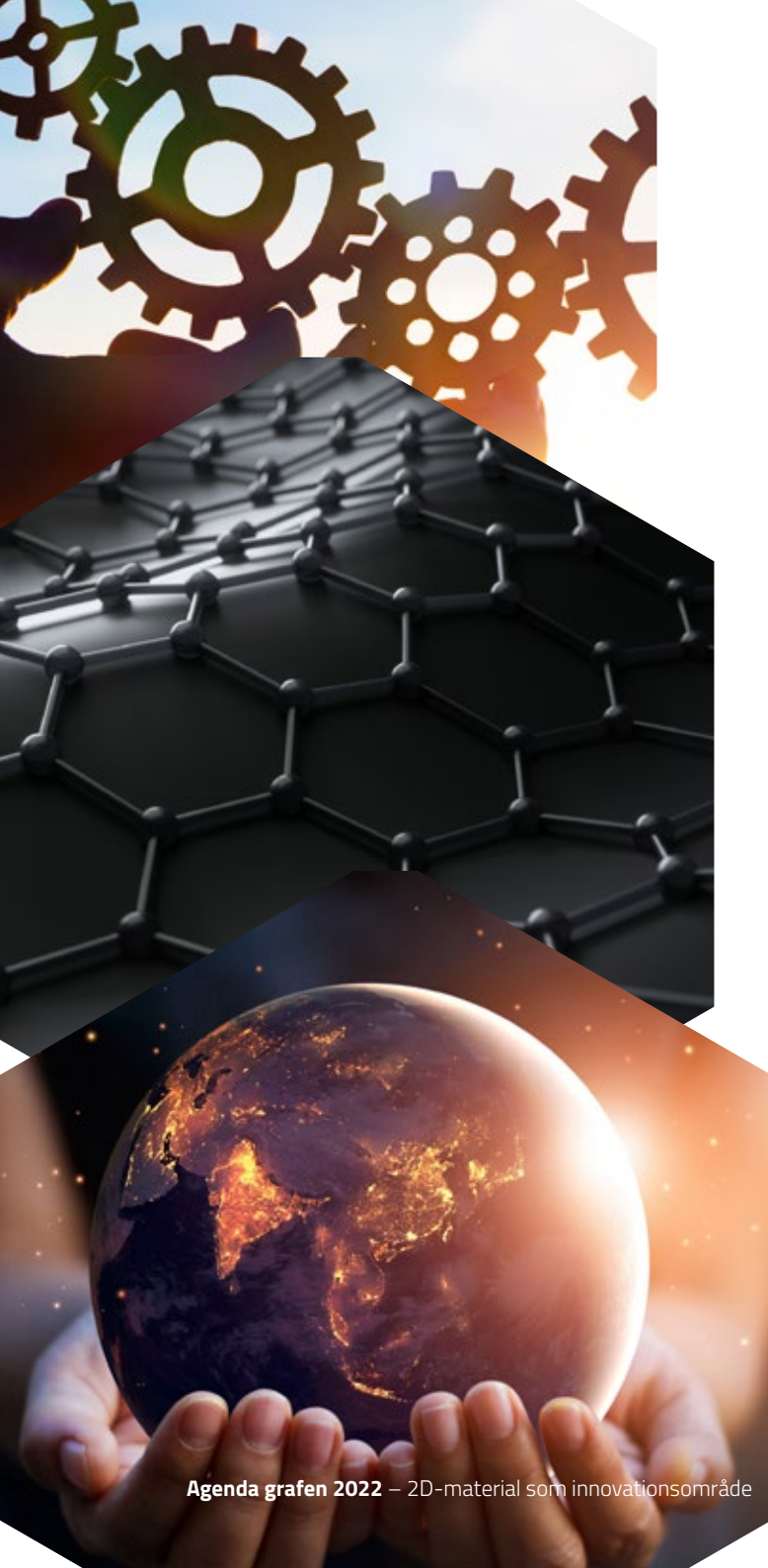
Utmaning 11: Hur kan vi säkerställa att svensk forskning håller hög internationell nivå inom 2D-material och förstärker sin roll inom utvecklingen av nya sådana material?

Demonstration

Steget från forskning till industriell tillämpning är stort, liksom inom många andra innovationsområden. Få grafeninnovationer har tagit steget till kommersiell tillämpning, trots de över 150 samverkansprojekt som genomförts under SIO Grafens första sju år.

Just övergången mellan forskning och industri, den så kallade demonstratorfasen, kan ofta ses som en systemsvaghet i det svenska innovationsklimatet. Denna fas, där den framforskade teknikens industriella producerbarhet ska demonstreras, är generellt en innovationsmässig flaskhals. Detta gör att möjligheterna till uppskalning är begränsade, kanske speciellt inom 2D-materialområdet eftersom det består av relativt små aktörer med begränsad ekonomisk uthållighet och därmed små chanser att själva sköta demonstrationerna.

I Sverige har befintliga testbäddar och pilotanläggningar hittills använts i låg grad för 2D-materialrelaterad demonstration. Trots möjligheter att få finansiering för samverkansprojekt inriktade på demonstration har fram till 2020 få grupperingar



tagit möjligheten. En orsak är att områdets aktörer inte känner till att testbäddar finns eller hur de kan användas. En annan orsak är att testbäddarna inte är inriktade på 2D-material utan är uppbyggda och marknadsförs som testbäddar för tryckt elektronik, ytbehandling, additiv tillverkning, komposittillverkning med mera. Detta kan innebära att 2D-material 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 2D-materialinnovation 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 områdets aktörer att använda testbäddar för att ta fram prototyper och demonstratorer.

För att skapa stora, tvärdisciplinära demonstratorprojekt ser vi även ett behov av att samverka med andra strategiska innovationsprogram. Här skulle verkliga värdekedjor kunna skapas och testas mot produktnära demonstratorer. Under 2021 har SIO Grafen fått extra finansiering för en engångssatsning på demonstratorprojekt, vilket möjliggör ett välbehövligt steg mot fler kommersiella tillämpningar.

Utmaning 12: Hur kan vi säkra att svenska företag får ökad tillgång till relevanta testbäddar med koppling till 2D-material för att inte stoppa upp innovationskedjorna och för att förkorta ledtiden från idé till marknad?

Utmaning 13: Hur kan vi säkerställa förutsättningar, finansiering och kontinuitet för innovationsaktiviteter på höga TRL för att skala upp demonstrerad teknik och nå fullbordad innovation?

Relaterade satsningar

Det finns totalt 17 **strategiska innovationsprogram** 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, Produktion2030, Med-tech4Health 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, **Horisont Europa**, 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 komposit och ytbehandling.

Grafenproducenter i Sverige

I början av 2022 finns ett antal leverantörer av grafenmaterial i Sverige. Tillsammans har dessa en produktionskapacitet på 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 ett fåtal aktörer som dominerar. Läs mer på siografen.se/agenda/sgsa



Produktutveckling

Den svenska industriella verksamhet som i dag är kopplad till 2D-materialområdet gäller främst grafen, men börjar inkludera även andra material. Man arbetar både med materialframtagning, materialförädling samt konstruktion och utveckling av nya eller förbättrade produkter med 2D-material.

När det gäller produktion är tillverkningsmetoderna många, liksom antalet typer av 2D-material, framförallt grafen som framställs. Produktionskapaciteten ökar stadigt, liksom kvaliteten på det producerade materialet. Även om 2D-material ännu inte funnit sin plats i de breda tillämpningarna enligt ovan är det inom vissa specifika områden, exempelvis sensorutveckling, hög efterfrågan på material 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.

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 sidan 9) 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.

Inte minst 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 att få investerare intresserade av att satsa på helt ny teknik. I senare skede måste även uppskalning av kostnadseffektiva tillverkningsprocesser kunna finansieras, eftersom en stegvis utbyggnad förmodligen ofta kommer att vara mer ekonomiskt försvarbar än att dimensionera för en alltför hög kapacitet från början.

När det gäller införande av grafen och andra 2D-material 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 kompletteras med en "tillämpnings-pull", där industriell design och konstruktion behöver få hjälp att stärka sin kunskap om och efterfrågan på 2D-material som möjliggörare (se avsnittet *Tillämpningar* på sidan 8).

Grundläggande kunskap om 2D-material, om hantering av råmaterial i olika former (grafenpulver, -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, ofta i stora volymer. Dessa underleverantörer är sällan med under utvecklingsfasen och saknar ofta kunskap och kompetens om 2D-material och deras handhavande. Kunskapsförsörjningen kan till viss del läggas på materialleverantörer (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 (se avsnittet *Hälsoaspekter och arbetsmiljö* på sidan 10).

Utmaning 2 (igen): Hur kan vi säkerställa minsta möjliga gap mellan producerat och efterfrågat 2D-material?

Utmaning 13 (igen): Hur kan vi säkerställa förutsättningar, finansiering och kontinuitet för innovationsaktiviteter på höga TRL för att skala upp demonstrerad teknik och nå fullbordad innovation?



Rekrytering och utbildning

2D-materialområdet 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 för att förstå varandra. Utbildning är av avgörande betydelse för områdets återväxt. För att upprätthålla en stark internationell position behöver Sverige i det långa perspektivet öka kunskapsuppbyggnaden och kompetensutvecklingen.

De senaste fem åren har över 100 personer doktorerat på ämnen kopplade till grafen och andra 2D-material vid svenska universitet. I Europa har ännu fler utbildats via Graphene Flagship och andra satsningar. Det görs även många examensarbeten på masternivå inom grafen och andra 2D-material. Men trots att det bör finnas en möjlighet för svenska företag att rekrytera personer med hög kompetens inom området berättar företag att de har svårt att rekrytera kompetens inom 2D-material. En anledning kan vara att 2D-materialområdet som flera andra områden lider av att de individer som utbildas inte stannar inom området – eller inom landet. Samtidigt finns det en stor arbetskraftsmängd på den internationella scenen som Sverige borde kunna fånga in.

För att lösa problemet behöver utbildningar och workshoppar på många olika nivåer och områden kombineras med kurser för yrkesverksamma – både nytilkomna och erfarna – om 2D-materials möjligheter att addera värde, och om vilka material som passar vilka tillämpningar.

I samverkan mellan forskning och företag fastnar man ibland tidigt i processen där företag förväntar sig att forskarna ska tala om hur företag ska använda 2D-material industriellt, samtidigt som forskarna förväntar sig att företagen ska berätta i vilka tillämpningar de ser nyttan av materialen. Vi behöver öka kompetensen i alla grupper: industrin behöver veta vad som finns tidigare i värdekedjorna för att bättre kunna inkludera 2D-material i sina produkter; samtidigt behöver akademien vara mycket medveten om de industriella förutsättningarna och kraven; instituten, 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 sidan 13 respektive sidan 14) som har tydliga och avgörande roller i att utbilda för att överbrygga gapet, primärt genom utbildade



människor och projektsresultat men också exempelvis genom behovsdrivna utbildningar, seminarier och workshoppar. Redan i dag görs utbildningsinsatser men detta kan med fördel växlas upp för högre effekt.

En teknikintensiv och växande bransch som 2D-material behöver bli bättre på att inkludera både kvinnor och män med olika bakgrund. I dag är branschen mansdominerad. Om 2D-material verkligen ska bli ett svenskt styrkeområde måste branschen inkludera alla. För en verklig förändring behöver andelen kvinnor med högre teknisk utbildning bli högre, men området behöver också tydligare bli ett som kvinnor kan och vill göra karriär inom. Innovationsområdet 2D-material behöver fortlöpande säkra att kvinnor inom området ges samma möjligheter som män. För SIO Grafens del innebär det till exempel att utlysningar tydligt ska rikta sig till både kvinnor och män, att visa upp jämställda exempel inom 2D-materialinnovation och att stödja entreprenörskap hos både kvinnor och män.

I frågeställningar kring jämställdhet och mångfald är det lämpligt att samverka med andra närliggande organisationer. Ett internationellt exempel är Graphene Flagships plattform Diversity in Graphene, som arbetar för att alla ska känna sig välkomna att arbeta inom området, helt utan fördomar. Svenska aktörer är välkomna att delta i plattformens konferenser. Nationellt har de strategiska innovationsprogrammen initierat samverkan för att dela erfarenheter kring hur man kan arbeta med jämställdhet och mångfald i forskningsvärlden på ett framgångsrikt sätt.

Utmaning 14: Hur kan vi långsiktigt behålla och förstärka kompetensen inom 2D-materialområdet?

Utmaning 15: Hur kan vi förbättra jämställdhet och mångfald inom 2D-materialområdet?

Synlighet och förväntningar

2D-material är unga och trots att området snabbt gått framåt är utvecklingen bara i början. För att göra materialet rättvisa bör 2D-material inte enbart ses som en generisk och bred teknologi, utan som en helt ny materialklass som representerar unika möjligheter för både samhälle och industri att förbättra befintliga produkter och utrusta dem med nya livskraftiga egenskaper.

Bland svenska företag och innovatörer är medvetenheten om både 2D-materialens egenskaper och områdets verksamhet och status generellt låg. 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. Dessutom har kommunikationen kring kommersiell användning av 2D-material lyst med sin frånvaro, vilket gjort att materialen hamnat i ett läge där de som inte är direkt involverade i området kanske inte hört något nytt på över ett årtionde.

Intresset för och kunskapen om 2D-material är dock klart högre nu än 2018 då den tidigare strategiska innovationsagendan formulerades, men även i dag visar den samlade bilden att materialen fortfarande inte åtnjuter någon status som självklara alternativ vid konstruktion.

Detta faktum medför att finansiering av 2D-materialrelaterad innovation kan vara ett problem, helt enkelt på grund av okunskap. Grafenets historia bidrar: inledningsvis fanns ett starkt varumärke byggt på förväntningar, följt av en helt normal, långvarig och "tyst" process för att utveckla materialet mot tillämpningar. Detta har bidragit till att den ökning i efterfrågan som kommer att vara nödvändig för att materialet ska övervägas i en produktionsprocess måste bygga på något mer än rena förväntningar. Den tidigare bilden om att grafen är "nytt och häftigt" måste kombineras med att 2D-material också "finns och fungerar".

Parallellt med vad som tidigare nämnts består lösningen på problemet av två delar: dels att öka synligheten inåt mot det nationella innovationssamhället för att 2D-material ska kunna ta en starkare 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. Här har SIO Grafen stor möjlighet att påverka genom programkontorets arbete, men ett problem är det som beskrivits i kapitel XX – att utfallet inom området hittills ligger på lägre TRL och ofta utgörs av enskilda

småprojekt som gått i hamn.

Kommunikationen behöver riktas till rätt målgrupper. Den behöver också skapa realistiska förväntningar hos dessa när det gäller 2D-materialens potential och tidsåtgången som krävs för att realisera denna. En identifierad målgrupp är designers och konstruktörer inom olika teknikområden, som behöver få ökad kunskap om hur 2D-material kan användas för att skapa förbättrade egenskaper hos produkten som ska framställas. Denna kunskapshöjning utgör en central del i ökningen av efterfrågan på materialen.

Utmaning 1 (igen): Hur accelererar vi utveckling av, och ökad medvetenhet om, strategiska tillämpningar med 2D-material som möjliggörare som profilerar Sverige som innovatör inom området?

Utmaning 10 (igen): Hur kan vi öka synlighet och kontaktytor – nationellt och internationellt – för aktörerna inom 2D-materialinnovation i Sverige för ökat kunskapsutbyte, ökade möjligheter till kompletta innovationskedjor och ökade affärsmöjligheter?

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 grafenkoncept men ännu få kommersiella tillämpningar på marknaden har 2D-materialområdet fortfarande en tyngdpunkt på forskning, snarare än på marknadsbehov. Inom området 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 sidan 15) skulle även kunna driva utvecklingen och områdets

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?

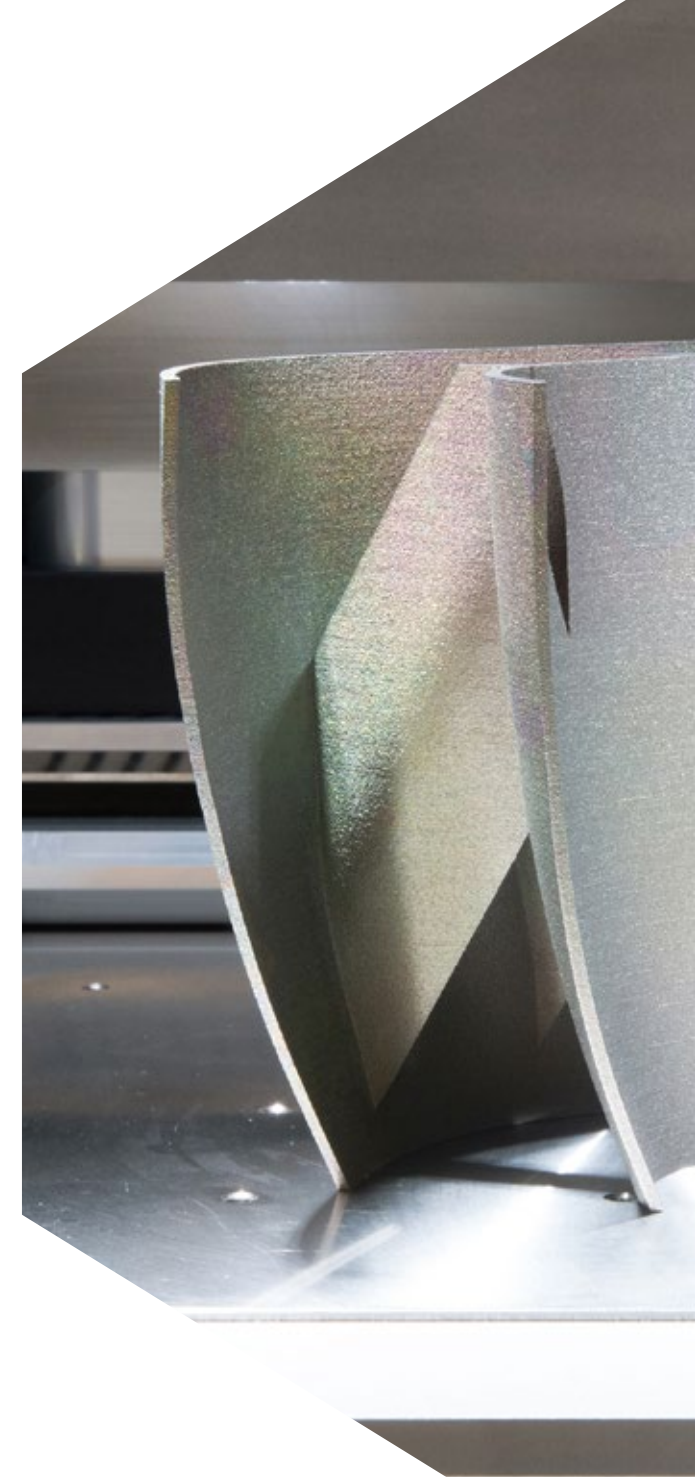
Utöver de rent finansiella hindren finns det ofta immaterialrättsliga hinder för den nödvändiga samverkan mellan aktörer i värdekedjorna som vi diskuterat ovan (se sidan 13) och som är en nödvändighet för effektiv innovation – och för riskspridning. Här finns stora behov av innovativa förändringar inom 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 13 (igen): Hur kan vi säkerställa förutsättningar, finansiering och kontinuitet för innovationsaktiviteter på höga TRL för att skala upp demonstrerad teknik och nå fullbordad innovation?

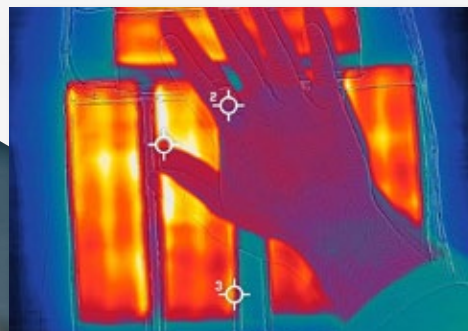
Utmaning 16: Hur kan vi specifikt underlätta för nystartade företag, ofta SMF, att kunna medfinansiera deltagande i 2D-materialrelaterade projekt på högre TRL-nivåer?

Utmaning 17: Hur kan vi säkerställa att innovationsaktörer på 2D-materialområdet i Sverige får det stöd de behöver gällande projektansökningar, samverkanskontakter, erfarenhetsutbyte, affärsmöjligheter och kontrakt- och avtalsskrivningar?



EXEMPEL PÅ TILLÄMPNINGAR

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.



Textila värmare med grafen

Genom att belägga textila material med grafen kan man få en termiskt eller elektriskt ledande textil. Företaget **Grafren** har tagit använt detta för att ta fram ett aktivt värmande textilt material med snabb responstid som även är mjukt och flexibelt och har låg vikt.

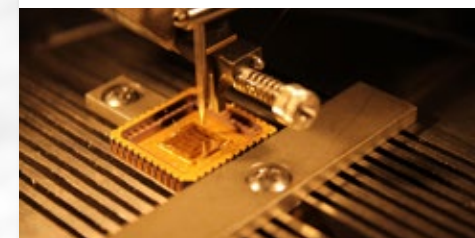
Grafen i batterier

Ett starkt växande tillämpningsområde de två senaste åren har varit användning av grafen i laddbara batterier. Grafenlösningarna har potential att förbättra batteriernas prestanda till exempel genom att öka kapaciteten för energilagring, öka laddningshastigheten eller möjliggöra nya typer av batterier. Flera av de svenska grafenleverantörerna, **2D fab**, **Graphmatech** och **Bright Day Graphene**, arbetar på olika projekt inom området.



Grafen utklassar kisel i givare

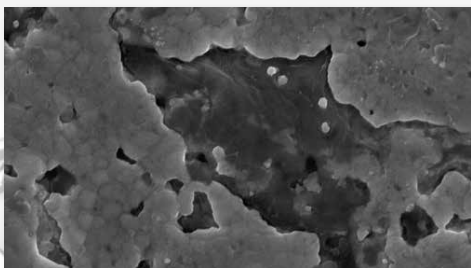
En hallgivare är en sensor som känner av magnetiska fält. Företaget **Graphensic** har tillsammans med **Chalmers** skapat en grafenbaserad sådan, där grafenet ger ökad bandbredd vilket ger sensorn ett mycket bra signal-till-brusförhållande, men också ökad känslighet, vilket gör det möjligt att mäta mindre elektriska fält. Givaren har visat mer än fem gånger större känslighet än motsvarande komponent av kisel.



Grafenbaserad kompressor för kylning

I en liten vibrationsfri grafenbaserad kompressor utan rörliga delar, driven av termisk energi, förbättrar mikroperforerade grafenfilmer membranets värmeledningsförmåga och gaspermeabilitet. Tillämpningen finns i framtidens vibrationsfria kryokylsystem och vinsten är lägre kostnader, högre tillförlitlighet och minskat underhåll. Projektet har genomförts av **APR Technologies**, **SHT Smart High-Tech** och **Chalmers**.





Grafen + metall för bättre tribologi

Genom smart inblandning av grafen i silver- eller kopparpulver kan tribologiska egenskaper som slitstyrka, friktion och nötning förbättras drastiskt. Tillverkningen av sådana kompositter kan ske med etablerade bearbetningstekniker. Den svenska grafenleverantören **Graphmatech** har tagit fram en industriellt skalbar metod för att skapa dessa kompositter.

Bättre betongfärg med grafen

Slitstark, motståndskraftig och med ökad vidhäftning – som en andra hud på betongen. Det är resultatet av den grafenfärg som företaget **Lanark Construction** tagit fram tillsammans med **Chalmers, SHT Smart High Tech och RISE**. Fyra demonstratorer i form av färggranna betongväggar finns på Chalmersområdet, och förhoppningen är att grafenteknologin på sikt ska arbetas in i byggbranschen mer generellt.



Multifunktionalitet hos Alfa Laval

Hos **Alfa Laval**, världsledande tillverkare av pumpar, ventiler, värmeväxlare och separatorer, är många aspekter avgörande i produkt-designen: värmeöverföring, barriäregenskaper, korrosion, fouling och smörjning. Grafen är intressant i alla dessa sammanhang, både som beläggning och som tillsats i grundmaterialen, och allra intressantast är grafens potential för multifunktionalitet – att lösa flera av dessa knutar samtidigt.



Grafen i lim ökar produktionshastigheten

Den svenska grafenleverantören **2D fab** har tillsammans med en italiensk limtillverkare tagit fram ett grafenförstärkt lim som härdar vid lägre temperatur än konkurrerande produkter. Limmet används vid tillverkning av wellpapp, där man kunnat höja produktionshastigheten med 20–30 % tack vare den lägre härdningstemperaturen. Som bonus får man dessutom högre hållfasthet och bättre temperaturhårdighet än hos andra lim.



Grafen förbättrar sensorer

I en rad projekt har företaget **Senseair** tillsammans med olika parter jobbat med att utveckla optiska gassensorer för att detektera bland annat CO₂. Sensorerna baseras på CVD-grafen, det vill säga en grafenfilm som tillverkas genom kemisk ångdeponering. Grafenet möjliggör en sensor med förbättrad känslighet.



Wellspect punkterar bakterier

Produktrelaterade infektioner är ett stort bekymmer för sjukvårdsbranschen. Medicinteknikbolaget **Wellspect Healthcare** kan ha hittat lösningen med hjälp av grafen: vertikalt stående grafenflakor punkterar bakteriecellerna och tar bort 99,999 procent av bakterierna. Denna mekaniskt avdödande effekt underlättar produktgodkännande och ger en tydlig konkurrensfördel framför traditionella lösningar.

På siografen.se kan du läsa mer om dessa och andra goda grafen-exempel.

I MÅL

Våra strategiska mål för 2023, 2026 och 2030 styr verksamheten på 2D-materialområdet mot de samhällsnyttor som svensk innovation ytterst ska producera.

Mål med olika horisonter

I den föregående strategiska innovationsagendan för grafenområdet (2018) sattes tidshorisonterna för kort- och långsiktiga mål till 2020 respektive 2025. I den här agendan har vi reviderat dessa horisonter för att de ska stämma överens med vissa milstolpar för programmet.

- **Kortsiktiga mål** ska ha uppnåtts 2023 när SIO Grafen går mot slutet av sin tredje finansieringsetapp. Här kommer en utvärdering av programmet göras, i vilken uppnådda resultat blir en bärande del. Därefter kommer resultaten att matchas mot uppsatta mål.
- **Medellångsiktiga mål** ska ha uppnåtts 2026, vilket utgör slutet av den fjärde och sista finansieringsetappen för programmet, med motsvarande utvärdering mot uppsatta mål görs enligt ovan.
- Slutligen ska de **långsiktiga målen** vara uppnådda 2030, eftersom vår vision är att Sverige vid det laget ska vara ett av världens tio främsta länder på att utveckla och använda grafen och andra 2D-material industriellt.

Ekosystem Grafen 2030

SIO Grafens finansiering planeras vara slut år 2026. Under SIO Grafens etapp 4 (2024–2026) kommer därför en aktörsdriven efterföljare till det strategiska innovationsområdet SIO Grafen att skapas. Former och aktiviteter kommer fortsatt utgå från aktörernas behov att accelerera innovation kopplad till 2D-material, för att skapa samhällsnytta genom hög internationell konkurrenskraft.

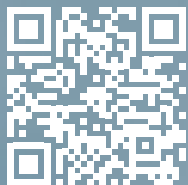
Målområden och uppföljning

SIO Grafen och dess förväntade efterföljare efter 2026 – Eko-system grafen 2030 – är ansvariga för att mäta måluppfyllelse.

Målen är uppdelade under ett antal rubriker som motsvarar de delområden vi identifierat i vår effektlogik. De hjälper oss att säkerställa att de aktiviteter vi genomför pekar mot de mål vi satt upp. Rubrikerna är:

- **2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde**
- **Det svenska ekosystemet för 2D-material är attraktivt och ändamålsenligt**
- **Det finns svenska leverantörer av 2D-material**
- **2D-material är möjliggörare för omställning till ett cirkulärt samhälle**

Vi listar inte målen här i dokumentet, i stället hittar du dem på siografen.se/agenda/mal – använd gärna QR-länken nedan.



REKOMMENDERADE INSATSER

Vi har kartlagt utmaningarna. Nu berättar vi vad vi vill göra för att åtgärda dem. Det handlar om insatser inom fyra områden.

Insatsområde A: Facilitering av produktframtagning

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

A1 Projekt som agerar "TRL-hiss": Som komplement till befintlig finansiering vill vi addera möjligheten till finansiering av stora "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 programmets etapp 3 (fram till 2023).

A2 Designregler för användning av 2D-material: 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 programmets etapp 3 och 4 (fram till 2026).

A3 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.

A4 Kontinuitet i satsningar: Dagens satsningar skapar förutsättningar för kommersialisering genom att bygga kunskap och ekosystem från grundforskning till tillämpad forskning. Detta behöver fortsätta på alla nivåer. Detta föreslås initieras av industrin genom aktivt deltagande i SIO Grafen och 2D-TECH.

A5 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 SIO Grafen i samverkan med inkubatorer och organisationer som stödjer företag i tidiga faser.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: **2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde, Det finns svenska leverantörer av 2D-material och 2D-material är möjliggörare för omställning till ett cirkulärt samhälle.**

Insatsområde B: **Kartläggning och tillgängliggörande**

Vi vill skapa förutsättningar för insatsområde A ovan genom att kartlägga och tillgängliggöra de primära verktyg och kontakter som kan underlätta produktframtagningen. Det handlar exempelvis om:

B1 **Infrastruktur och testbäddar:** Testbäddar och infrastruktur behöver kunna komma till nytta för grafenområdet. Förutsättningar för detta är:

- Att utbudet av anläggningar är kartlagt.
- Att behovsägande aktörer känner till anläggningarnas existens.
- Att anläggningarna själva är villiga och lämpade att ta emot 2D-materialrelaterade projekt (kopplat till både kompetenshöjning och hälsa nedan).
- Att det vid behov finns en matchning mellan typ av projekt och testbädd, vilket eventuellt kan leda till någon sorts märkning av testbäddar för 2D-materialändamål.

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

B2 **Internationalisering:** Svensk 2D-materialinnovations 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. Samverkan med internationaliseringsaktörer bör ingå.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: **2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde, Det svenska ekosystemet för 2D-material är attraktivt och ändamålsenligt och 2D-material är möjliggörare för omställning till ett cirkulärt samhälle.**

Insatsområde C: Ramverk

Vi vill skapa nödvändiga ramverk inom vissa identifierade områden som bedöms ha särskilt stor inverkan på innovationsområdets utveckling, för att 2D-material ska kunna ta plats i tillämpningar. Det rör sig huvudsakligen om följande:

C1 Karaktärisering och standardisering: En förutsättning för att innovationsaktörer ska kunna arbeta med och samarbeta kring 2D-material är att dessa är karaktäriserade och standardiserade. 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.

C2 Hälsa: En annan förutsättning för att 2D-material ska kunna ta plats i tillämpningar på allvar är att det är tydligt för alla aktörer hur man borgar för en säker hantering av materialen så att aktörer inte undviker dem av rädsla för hälsorisker vid exempelvis tillverkning, bearbetning, konstruktion och återvinning. Vi föreslår därför:

- Att riktlinjer för säker industriell hantering av 2D-material och material som innehåller 2D-material tas fram.
- Att kartläggning av 2D-materials hälsopåverkan fortsätter och att riktlinjer för hantering av 2D-material och material som innehåller 2D-material inkluderar dessa aspekter.

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).

C3 Cirkulär ekonomi: Det är viktigt att koppla in 2D-material i befintliga cirkulära ramverk. Vi föreslår därför:

- Att ett arbete för att förtydliga hur befintliga ramverk kopplas till 2D-material initieras.

Denna aktivitet föreslås initieras av SIO Grafen.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: **2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde, Det finns svenska leverantörer av 2D-material och 2D-material är möjliggörare för omställning till ett cirkulärt samhälle.**

Insatsområde D: Aktörssamling inom ekosystemet

Vi vill att alla aktörer verksamma inom 2D-materialrelaterad 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 och handlar i detta sammanhang om följande:

D1 Utbildning: Om 2D-materialområdet ska kunna tillväxa och vara internationellt konkurrenskraftigt måste vi säkerställa att vi kan utbilda de individer området behöver. Vi föreslår:

- Att grafens och andra 2D-materials närvaro i grundutbildningen ökas genom exempelvis seminarier och kurser (inklusive kartläggning av nuvarande utbud).
- Att det säkerställs 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 2D-materialrelaterade akademien i samverkan med SIO Grafen.

D2 Fortbildning: 2D-materialområdet utvecklas fort, vilket ställer höga krav på kontinuerlig kompetenshöjning. Vi ser behov av:

- Att ökade kontaktytor skapas mellan företag och utbildande akademi inom 2D-materialområdet för att säkerställa aktuella och relevanta frågeställningar i utbildningen.
- Att relevant och målgruppsanpassad vidareutbildning tillhandahålls för yrkesverksamma inom 2D-materialområdet.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av den i Sverige aktiva 2D-materialrelaterade industrin i samverkan med SIO Grafen.

D3 Nätverksfrämjande åtgärder: Vi behöver stärka det svenska ekosystemet för 2D-materialaktörer genom att **förtydliga** nätverket (renodla noder), **förstärka** det (skapa starkare kopplingar) och **förstora** det (koppla upp 2D-material mot "omvärlden"). Nyckelaktiviteter är:

- Att aktivt kontakta nya personer, nya industriella aktörer och nya samhällsaktörer med avsikt att koppla in dem i det svenska ekosystemet för 2D-material.
- Att synliggöra den kompetens som finns och byggs på 2D-materialområdet för att skapa rollmodeller för ökad attraktivitet hos området.
- Att synliggöra de individer som utbildas i Sverige inom 2D-materialområdet, så dess aktörer lättare kan anställa dem och därmed bidra 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 2D-material, både genom höjd svensk närvaro på internationella 2D-materialkonferenser och genom höjd grafennärvaro på övriga konferenser.
- Att författa och sprida success stories för större nationell och internationell synlighet på alla nivåer och skapa en högre internationell profil.

Dessa aktiviteter föreslås initialt utföras av SIO Grafen.

Uppfyller helt eller delvis målen inom följande målområden: **2D-material är ett svenskt industriellt styrkeområde** och **2D-material är möjliggörare för omställning till ett cirkulärt samhälle**.

MAPPNING MELLAN UTMANINGAR OCH INSATSER

Våra rekommenderade insatser är formulerade för att på bästa sätt adressera de utmaningar vi har identifierat i vår analys. Här visar vi hur.

Insatser:

Facilitering av produktframtagning	A1 Projekt som agerar "TRL-hiss"
	A2 Designregler för användning av 2D-material
	A3 Industrins kravställning
	A4 Kontinuitet i satsningar
	A5 Rätt finansiering till rätt sak
Kartläggning och tillgängliggörande	B1 Infrastruktur och testbäddar
	B2 Internationalisering
Ramverk	C1 Karaktärisering och standardisering
	C2 Hälsa
	C3 Cirkulär ekonomi
Aktörssamling inom ekosystemet	D1 Utbildning
	D2 Fortbildning
	D3 Nätverksfrämjande åtgärder

DELTAGARE I AGENDAARBETET

För att en strategisk agenda ska representera hela sitt innovationsområde behöver den produceras av en bred samling aktörer. En avgränsad arbetsgrupp har via en inkluderande process tillvaratagit hela områdets synpunkter.

Arbetsgrupp

Anna Andersson **ABB**

Cristina Andersson **Chalmers/2D-TECH**

Nazanin Emani **LTU**

Kajsa Lake **2D fab**

Linnea Selegård **Saab**

Mamoun Taher **Graphmatech**

Projektledare

Elisabeth Sagström **SIO Grafen**

Johan Ek Weis **SIO Grafen**

Processledare, redaktör, formgivare

Gunnar Linn **Linnkonsult**



**CLIMATE
NEUTRAL**
**MEASURE
REDUCE
OFFSET NOW**

Referensgrupp

Agendaarbetet har varit ämne för två workshoppar med deltagare från hela området för 2D-materialrelaterad innovation i Sverige. Dessutom har agendan stämts av med områdets aktörer i en publik remissvända.

SIO Grafens styrelse 2021

Fredrik Sahlén **ABB**, ordförande

Nazanin Emami **LTU**, vice ordförande

Jens Eriksson **LiU**

Per Hallander **Saab**

Linda Karlsson **FOI**

Lena Killander **Applied Nanosurfaces**

Jari Kinaret **Chalmers/Graphene Flagship**

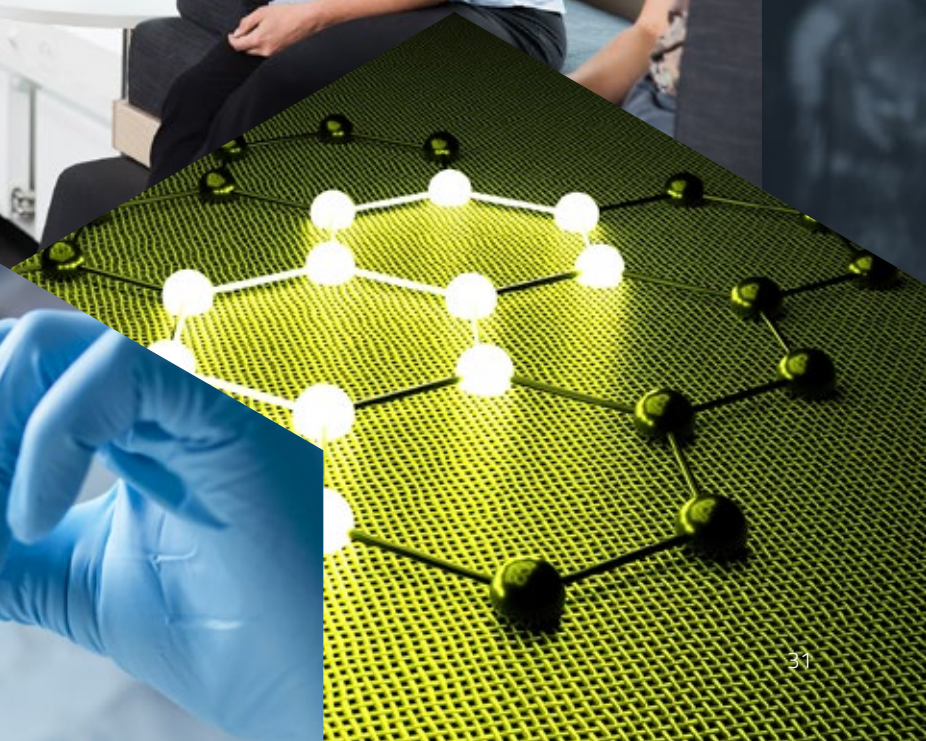
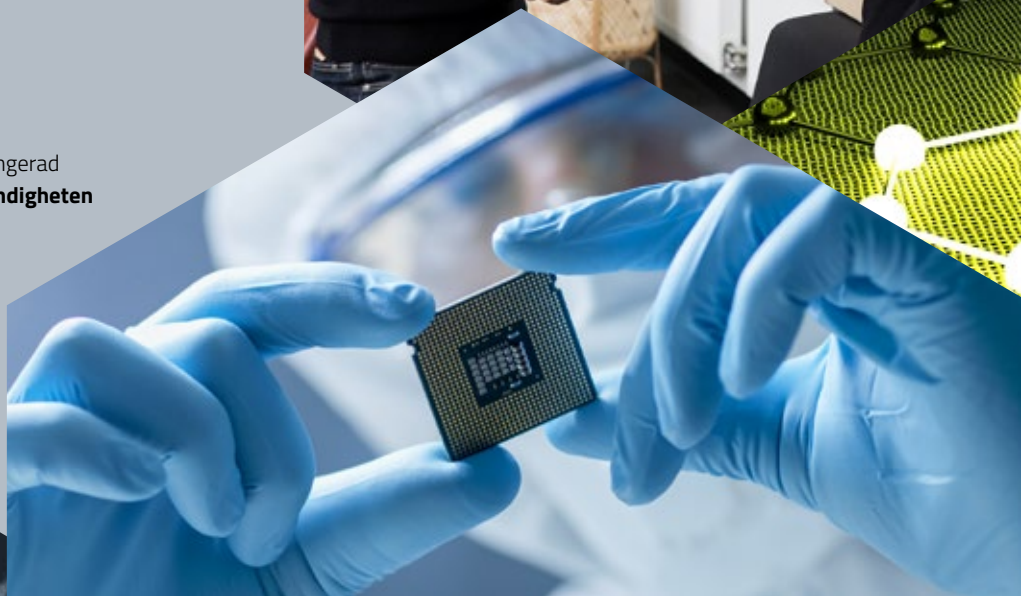
Katarina Malaga **RISE**

Olga Santos **Alfa Laval**

Mamoun Taher **Graphmatech**

Samuel Lara Avila **Chalmers/2D-TECH**, adjungerad

Representanter från **Vinnova** och **Energimyndigheten**



Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

SIO
GRAFEN 