

[prɪnɔˈvaːʃɔn]

substantiv | handlingen att spåra innovation tillbaka till dess ursprung i forskning

bestämd form singular | [*prinnovationen*] | radikal transparens i kartläggningen av kunskap, människor och idéer – *det osynliga kollegiet gjort synligt*

verb | **att prinnovéra** [prɪnɔˈveːra] : att synliggöra dolda samband, att göra forskningslandskap läsbara

antonym | innovation (*innovationer* är till prinnovationer vad frukt är till rot)

There are an enormous number of people out there with invaluable information to share with you, and all you have to do is pick up the phone. They love it when you do, just as you love it when people ask if they can pick your brain about something you happen to know a great deal about—or, in my case, have a number of impassioned opinions on.

Say you happen to know a lot about knots, or penguins, or cheeses, and the right person asks you to tell him or her everything you know. What a wonderful and rare experience. Usually what happens in real life is that people ask you questions you can't remember the answer to, like what you came into the kitchen to get, or what happened on the Fourth of July in 1776 ...

When you do actually know a bit about something, it is such a pleasure to be asked a lot of questions about it.

Anne Lamott, Bird by Bird : Some Instructions on Writing and Life

EN PLAYBOOK FÖR PRINNOVATION

Från att nå ut till att göra skillnad

Innehåll

- 1. Playbook 9**
- 2. Belief Updates 33**
- 3. Ett experiment i periferin 75**
- 4. Vykort San Sebastián 83**

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

Förord från SIO Grafen Programkontor

Från forskning till verklig förändring

Många av de innovationer vi utvecklar idag kommer sannolikt att forma framtiden. De vi väljer att satsa på kommer att definiera den.

Sveriges innovationsanda har historiskt lett till anmärkningsvärda framsteg – både nationellt och globalt. Utmaningarna har varit många, men idag står vi inför en som kan vara helt ny. Det handlar inte om brist på kunskap, kompetens eller lösningar. Tvärtom. Vi har ett överflöd av alla tre – och ett system som har svårt att omvandla dem till verklig påverkan.

Klyftan mellan akademisk spetsforskning och kommersiell tillämpning är stor. Genombrott som görs vid våra universitet saknar ofta en konkret väg framåt. Som ett resultat läggs briljanta idéer och potentiellt banbrytande lösningar åt sidan innan de ens lämnar laboriet. Det vill vi ändra på.

Grafen och andra 2D-material är bland de mest lovande teknologier vi känner till idag. Med rätt stöd kan de bidra till en mer hållbar, elektrifierad och uppkopplad värld. Som ett strategiskt innovationsprogram är SIO Grafens uppdrag inte bara att stödja

teknologisk utveckling – utan också att forma de strukturer som möjliggör verklig innovation. Och som alltid kräver innovation nytänkande.

Genom en proaktiv metodik utvecklad i samarbete mellan KTH, Uppsala universitet och Linköpings universitet, utforskar detta projekt hur vi kan nå forskare tidigare – och ge rätt typ av stöd för att deras idéer ska kunna skapa verklig påverkan. På kort sikt är fokus på grafen. På lång sikt är målet att stärka Sveriges deeptech-kapacitet som helhet.

Med grund i vår samlade erfarenhet, intervjuer med forskare och fältstudier, skisserar denna handbok en möjlig väg mot ett mer innovationsdrivet, hållbart och framtidsberett forsknings-ekosystem. Genom att investera i djupare samarbete inom vetenskapen idag kan vi hjälpa till att bygga en ljusare morgondag.

Vi inbjuder dig att ta det första steget tillsammans med oss.

En not om författarskap

När projektet Prinnovation nu går mot sitt slut är det en sak som framträder tydligare än allt annat: det har varit ett gemensamt arbete, burit fram av ett mångsidigt och ständigt växande team.

Det märks i sidorna som följer. Vissa delar – som belief updates och datavisualiseringar – är resultatet av otaliga samtal inom projektet. Andra, som Maries reportage eller mitt eget vykort från konferensen Graphene 2025, tillkom mer självständigt.

Den första delen av denna publikation, playbooken, befinner sig någonstans mittemellan. Jag skrev den i min roll som projektkoordinator och affärscoach vid KTH Innovation, men alltid i dialog med kollektivet kring projektet – som nu omfattar över hundra forskare utöver kärngruppen.

Det är därför playbooken är skriven i första person plural: den speglar de samtal och diskussioner som format arbetet, samtidigt som den förblir en fältrapport skriven ur mitt perspektiv.

Hannes Eder, Stockholm, 24 september 2025

Att sätta scenen

En laborationsdagbok i förklädnad

Mars 2025. Projektet vi nu kallar *Prinnovation* står just i begrepp att börja, och de kommande sex månaderna kommer sannolikt att bjuda på både insikter och överraskningar. Den här texten är tänkt som en slags laborationsdagbok – en plats för att dokumentera antaganden, lärdomar och metoder i takt med att de växer fram. Men först: lite bakgrund.

Från kvant till 2D

Fröna till den här satsningen såddes under KTH Innovations medverkan i Quantum Sweden Innovation Platform (QSIP), där jag – Hannes – hade en ledande roll i att utforska nya sätt att skapa kontakt med forskningsmiljöer.

Det arbetet gav oss en chans att lyfta blicken och pröva ett annorlunda arbetssätt. I stället för att stå vid sidan och vänta på att idéer skulle dyka upp, gick vi in i labben för att hitta de innovationer som "väntade på att hända."

Tillvägagångssättet var stökigt, men inte godtyckligt. Med erfarenhet som både researcher och reporter från flera redaktionella sammanhang, hade jag med mig en slags journalistisk verktygslåda – ett sätt att orientera sig i ett landskap som fortfarande höll på att ta form.

Så här i efterhand kan det arbetet ses som ett slags konceptbevis: ett enpersonsexperiment i metod och domän. Det gick inte att skala upp – men pekade mot något som kanske kunde.

Prinnovation

Det nästa kapitlet tog sin början när Jon Wingborg – engagerad både i QSIP och SIO Grafen – föreslog att bygga vidare på det här arbetet på ett mer systematiskt sätt. Tillsammans med innovationskontoren i Linköping och Uppsala startade vi Prinnovation: ett ad hoc-projekt med dubbla syften. För det första att utforska och vidareutveckla nya metoder för outreach. För det andra att kartlägga forskningslandskapet kring 2D-material i Sverige.

Redan från början stod det klart att det här inte var den sortens projekt som börjar med en hypotes och slutar med entydiga slutsatser. Det rörde sig inte i en rak linje, och det talade inte med en enda röst. Själva teamet var tvärvetenskapligt, men mångfalden gick djupare än så. De signaler vi följde var blandade och fragmenterade. Det som växte fram var inte en sammanhängande bild, utan en uppsättning överlappande intryck: skisser, mönster, intuitioner. Vissa saker sades rakt ut. Andra bara anades. Ofta fick vi cirkla runt en fråga innan den visade konturer. Mycket av det som ingår här kommer från samtal som fördes off the record – i det tysta utrymmet mellan den officiella linjen och det människor faktiskt känner.

Att omforma outreach

Vad vi redan är bra på – och varför det inte räcker

Innovationskontor är bra på det de är byggda för att göra. Vi hjälper forskare och studenter att utveckla idéer – när de idéerna väl har knackat på vår dörr. Modellen är tydlig, strukturerad och serviceinriktad. IP-strategier, pitchcoachning, startupstöd: när ett projekt väl har fart, vet systemet hur man får det att rulla vidare. Den nuvarande modellen är utmärkt på att stötta idéer som redan har viss bärkraft. Det är vad den är designad för – och den gör just det väldigt väl. Men den är också reaktiv till sin natur: den bygger på att någon redan har insett att det de jobbar på kanske är något. Om det ögonblicket aldrig infinner sig – om idén aldrig passerar tröskeln – finns det inte mycket systemet kan göra.

Detta är inget misslyckande. Det är en strukturell begränsning

– en som det här projektet ville utforska från ett annat håll.

Vi ville titta uppströms: på den osynliga fasen. Nästan-idéerna. Forskningsresultaten som ännu inte har betraktats genom ett innovationsperspektiv – inte för att de saknar potential, utan för att ingen har tänkt på att leta där.

Det var där vi började, och vår fråga var enkel: vad händer om vi knackar först? Kan vi fånga något innan det kristalliseras – en aning, en glimt, en signal om att något kanske finns där, även om ingen riktigt vet vad det är?

Den här sortens arbete startar inte med ett formulär. Det börjar med en fråga, en gnutta förtroende – och ett öppet samtal.

Att omforma betyder att lära om

Språket kring verktyg är överallt inom innovation. Vi har verktyg för idébedömning, verktyg för patentstrategi, verktyg för startup-skalning. Men när det gäller outreach i tidigt skede – ögonblicket innan något är ett projekt – sträcker vi oss ofta efter fel verktyg.

Att omforma, i det här sammanhanget, innebär att ställa andra frågor. Att sakta ner. Att lära sig se ett områdes epistemiska konturer – inte bara vad som räknas som ett resultat, utan vad som missas, avfärdas eller lämnas utforskad.

Den förändringen kräver också nya instrument och tillvägagångssätt:

- **En ny typ av intervju:** mindre som due diligence, mer som dokumentär fältstudie.
- **Nya metoder för datautvinning:** använda bibliometriska signaler för att lyfta fram arbete som ligger under radarn.

- **Nya sätt att visualisera insikter:** göra mönster synliga över projekt, personer och institutioner.
- **Nya teamstrukturer:** sträckande över universitetsgränser och in i frilansvärlden.

Poängen är inte att kasta bort den befintliga verktygslådan – utan att bygga en kompletterande. En som kan verka uppströms och som ger utrymme för tvetydighet, inte bara acceleration.

Bortom måtvärden: låta kartan växa fram

En av de första sakerna vi var tvungna att konfrontera var hur lite vi faktiskt visste. Det fanns ingen gemensam karta över 2D-forskningslandskapet i Sverige – ingen gemensam lista över namn, ingen uppenbar startpunkt. Bara spridda aningar och känslan av att "det händer mycket där ute."

I de flesta innovationsarbeten tillhandahåller systemet måtvärden. Framgång kopplas till uppfinningsanmälningar, licensavtal, startups. Här hade vi inget av det. Ingen pipeline att hantera. Ingen tratt att fylla. Bara en fråga: *kunde vi lära oss något användbart genom att prata med människor som ännu inte trätt fram?*

Det betydde att vi satte våra egna mål – inte för output, utan för insats. Vi landade på 150 samtal. Inte för att det var ett magiskt tal, utan för att det var konkret – tillräckligt stort för att avslöja mönster, tillräckligt litet för att behålla det mänskliga. (Det var också ungefär tio procent av forskarna vi identifierat på våra universitet.)

Att arbeta på det här sättet kändes till en början förvirrande. Vi var vana vid att följa framsteg mot kända indikatorer. Här fanns

inga. Bara intryck. Tonfall. Den långsamma ackumuleringen av halv-sig-naler som kanske, eller kanske inte, betyder något.

Vi var tvungna att bygga nya uppmärksamhetssätt. Att lägga märke inte bara till vad som sades, utan hur det sades. Vad folk tvekade kring. Vad som återkom. Det fanns inga instrumentpaneler att luta sig mot – bara disciplinen att lyssna.

Ibland kändes det som att röra sig genom dimma. Men det betydde inte att vi var vilse. Det betydde att vi befann oss någonstans där de gamla kartorna inte räckte.

Vad detta är (och inte är)

Vad är egentligen en playbook?

Begreppet *playbook* har sina rötter i sportvärlden, där det syftar på en samling strategier, inövade drag och situationsanpassade svar som ett lag kan använda sig av i hetluften under en match. Det garanterar inte framgång. Det förutspår inte varje drag motståndaren gör. Men det hjälper laget att agera samordnat – utan att behöva uppfinna allt från början.

I startup- och innovationsvärlden har ordet fått en liknande betydelse: inte en manual, utan en levande uppsättning principer och angreppssätt. En playbook är ingen ritning. Det handlar inte om strikt kopiering. Det handlar om att omvandla insikt till handling – att visa vad som fungerade i ett sammanhang så att andra kan anpassa det till sitt eget.

Denna playbook erbjuder inga färdiga recept. Den skissar en väg – delvis planerad, delvis improviserad, fortfarande i rörelse. Vår förhoppning är att genom att redogöra för tankarna bakom våra val – vad vi prövade, vad som överraskade oss, vad vi skulle göra annorlunda nästa gång – kunna erbjuda något användbart, inte bara för dem som arbetar med 2D-material, utan för alla som vill tänka om kring outreach i en deeptech-kontext.

Byggd under flygning

Vi började inte detta projekt med en playbook. Vi skulle skriva en.

Till en början gjorde vi som de flesta seriösa satsningar: vi byggde struktur. Vi skrev intervjuguider, diskuterade frågornas ordning, försökte förutse vilka svar vi skulle få.

Men manusen föll snabbt bort – inte på grund av bristande noggrannhet, utan för att samtalen hade sitt eget liv. Forskarna öppnade upp på oväntade sätt. Sidohistorier visade sig vara guld värda. De bästa insikterna kom ofta från delar vi inte planerat.

I efterhand markerade det här skiftet – från manus till närvaro – en tyst vändpunkt. Vi slutade jaga rena data och började lyssna efter tonfall, spänning, metaforer, tvetydighet. Den förändrade uppmärksamheten omformade allt annat: våra metoder, vår struktur, vårt språk.

Detta var inget metodfel. Det var en utveckling. Vi byggde processen medan vi gick – skrev playboken samtidigt som vi använde den.

Från fältanteckningar till belief updates

Om det här projektet har en kärnprodukt, så är det inte denna play-book – det är våra fältanteckningar.

De är röriga, ojämna och ofta motsägelsefulla. Men de är också den mest levande delen av arbetet. De fångar inte bara vad som sades, utan *hur* det sades: en tvekan i rösten, en sidokommentar, ett skiftande tonläge. Vissa pekar mot något att följa upp. Andra blottlägger osäkerhet. Många lever i ett slags gränsland – inte helt officiella, men inte heller privata. Den tvetydigheten är en del av deras värde. Det är också därför vi inte publicerar dem rakt av.

Ur detta material växte en andra form fram: det vi kallar *belief updates*. Termen kommer från bayesiansk sannolikhetsteori, där det betecknar ett skifte i övertygelse i ljuset av ny information. För oss handlar det om en förändrad blick – när något en forskare sade fick oss att se landskapet på ett nytt sätt.

Belief updates är stiliserade och anonymiserade – inte för att dölja något, utan för att spegla hur de uppstod: i samtal, inte som citat. De är inte resultat, inte slutsatser. De är destillat – en blandning av reflektion, signal och tolkningsförslag. Ibland motsäger de varandra. Det är som det ska vara. Syftet har aldrig varit att samla data, utan att skärpa uppmärksamheten. Att träna vår blick för vad som rör sig under ytan.

Vi satte ett ambitiöst mål: 150 fältanteckningar på sex månader. Några av de sista kommer att skrivas bara dagar före deadline. Den här playboken behövde däremot bli klar långt tidigare. Det du ser här är alltså ett utsnitt – en ögonblicksbild från en pågående process.

Men även utan tidsbrist hade vi inte tagit med allt. Mer är inte alltid bättre. Vi har valt ut tillräckligt för att visa på metod, ton och det slags mönsterigenkänning vi försökt träna. De talar inte för fältet. Men de visar vad som blir möjligt när man lyssnar på ett annat sätt.

Delvis avsiktligt

Det du ser här – belief updates, utdrag och reflektioner – utgör bara en bråkdel av det landskap vi har rört oss genom.

Bakom detta material finns ett större arbete: bibliometriska data, utvunna och städade; Excel-ark med tusentals rader; nätverksdiagram, publiceringsmönster och institutionella kluster. Vi har kartlagt, skannat och följt svaga signaler. Det arbetet formade vår riktning. Det hjälpte oss att avgöra var vi skulle titta närmare. Men det är inte material man läser från pärm till pärm.

Istället har vi valt att dela med oss av glimtar – utvalda visualiseringar som pekar mot djupet i det underliggande datalagret. De är inga dashboards. De är inga bevis. De är artefakter av uppmärksamhet – verktyg som hjälpte oss att omformulera det vi trodde att vi visste.

Och om belief updates fångar ögonblick av insikt från samtal, så visar de visuella elementen en annan form av lyssnande – en som lystrar efter mönster, topologi och signalstyrka i ett fält som fortfarande rör sig.

Tillsammans kartlägger de inte helheten. Men de antyder den. Och för nu är det tillräckligt.

Lyssnande som metod

Innan vi byggde några nya verktyg, innan vi kartlade fältet, innan vi skrev en enda trosuppdatering – började vi med samtal. Inte intervjuer. Inte enkäter. Samtal. Med personer vi ännu inte kände, om saker vi ännu inte förstod.

Det låter kanske enkelt. Men i ett system byggt kring leveranser och mätbara resultat kan det kännas ineffektivt – till och med riskabelt – att lyssna utan ett tydligt syfte. Speciellt när det inte finns någon garanterad produkt.

Ändå började vi där. Med frågor. Med tid. Med känslan av att något viktigt kunde dyka upp – inte trots tvetydigheten, utan på grund av den.

En av våra tidiga fältanteckningar fångade obehaget: hur lite det kan kännas som att man har att erbjuda när allt man har är nyfikenhet. Ingen pitch. Ingen finansiering. Bara ett uppriktigt intresse för vad någon arbetar med. Var det tillräckligt?

Tydligen, ja. Forskarna tog sig tid. De svarade. De öppnade upp. Ibland kändes det som om de hade väntat på att någon skulle fråga.

Det var vår första påminnelse: människor som bryr sig djupt om sitt arbete vill prata om det. Inte för att sälja det. Inte för att sammanfatta det. Bara för att bli hörda.

Så vi frågade. Och sedan lyssnade vi.

Den oundvikliga (och produktiva) epistemiska gråzonen

Innovation i ett tidigt skede sker ofta i utkanten av vad som för närvarande är förstått. Gränserna är suddiga och vokabulären håller fortfarande på att formas. I en sådan miljö har ingen all kunskap. Varken forskarna eller innovationspersonalen. Alla, på ett eller annat sätt, kliver utanför sin bekvämlighetszon.

Det här projektet gav oss tillåtelse att stanna kvar i det osäkra utrymmet – ett utrymme som ofta rusas igenom i jakten på resultat eller klarhet. Vi gav oss själva frihet att ställa frågor som riskerade att låta naiva, och ibland tänkte just den naiviteten vinklar som en erfaren expert kanske hade missat.

Samma gällde många av forskarna vi talade med. Vana att prata med kollegor behövde de byta register – ta till metaforer, sätta ord på det som vanligtvis är underförstått. Den rörelsen var inte alltid bekväm. Men den var produktiv. Den gjorde det möjligt för något annat att komma i blickfånget.

I sådana samtal ligger värdet inte i att veta mer. Det ligger i att uppmärksamma på ett annat sätt.

Att se systemet på ett annat sätt

Vad händer med 2D-material i Sverige? Vem jobbar med vad? Vart är det på väg?

Enkla frågor – men förvånansvärt svåra att besvara.

Det beror inte på att data saknas. Den finns: publikationer, patent, utlysningar, samarbeten. Men spåren är spridda. Alla ser en del av bilden – ingen ser helheten. White papers pekar ut trender. Vetenskapliga översikter stannar inom fältets ramar. Forskningsartiklar borrar djupt i ett enskilt ämne.

Vi ville något annat: få syn på vad som håller på att ta form. Inte för att förutse framtiden, utan för att orientera oss i nuet. Fånga konturerna innan de hårdnat till ortodoxi.

I det avseendet påminde vårt arbete om underrättelseanalys – inte spionage, utan *sensemaking*. Vi sökte inga svar, bara signaler: små förskjutningar, antydningar till rörelse, idéer som ännu inte fått namn. Vi försökte inte utse vinnare, utan följa energin.

Prinnovation gav oss utrymme att göra just det. Vi byggde kartor. Höll workshops. Läste mellan raderna. Och ställde frågor som sällan

får plats i innovationssystemet – öppna frågor, sådana som hjälper en att se vad som saknas snarare än vad som redan finns.

Så småningom började något bredare framträda. Inte bara *vem* som gör *vad*, utan *hur* nya sätt att tänka håller på att ta form – tyst, tvärdisciplinärt. Som i konst eller filosofi är det inga uttalade skolor. De känns innan de får namn. De samlas kring sätt att tala, lyssna, ställa frågor. De lämnar inga citeringsspår, men påverkar ändå arbetet.

Tack vare den generositet vi mött från forskare runtom i landet fick vi syn inte bara på systemets styrkor, utan också på de vardagsvillkor som formar hur forskningen möter samhället.

Den här sortens orientering ingår inte i något uppdrag. Men kanske borde den det. För ju bättre du ser, desto bättre kan du agera. Och just nu finns inget tydligt system för den typen av arbete – bara några lovande trådar.

Från outreach till resonans

Vi vill avsluta med en bredare reflektion – en som överraskade oss lika mycket som något annat vi stötte på. Den börjar med ett ord vi aldrig hade ifrågasatt: *outreach*.

Det är ett märkligt ord, egentligen. Lånat från försäljningens värld. Man sträcker sig ut – i hopp om att någon ska dras in. I ett innovationssammanhang är det begripligt: man har något att erbjuda – finansiering, coaching, strategiskt stöd – och den man kontakter förväntas vinna på det.

Men i det här projektet hade vi nästan ingenting att erbjuda. Ändå möttes vi av oväntad värme. Våra vanliga outreach-insatser kan ibland kännas som att knacka på stängda dörrar. Den här gången var det annorlunda. Människor var inte bara tillmötesgående – de var öppna. Som om de hade väntat på att någon skulle visa intresse. Som om det ömsesidiga i kontakten var själva poängen.

Varför?

Ett svar växte fram gradvis. Utifrån kan fältet kring 2D-material se sammanhållet ut. Inifrån känns det ofta splittrat. Det var sällan vi träffade två forskare som identifierade sig med samma delområde. Samma mångfald syntes på Graphene 2025, en internationell konferens där en av oss deltog: oräkneliga specialiseringar, men få gemensamma nämnare.

Ur ett vetenskapligt perspektiv är det inget problem. Specialisering driver fältet framåt. Men socialt kan det bli isolerande. Varje nisch blir en ensam nod i ett globalt nätverk – tekniskt uppkopplad, men utan lokal samhörighet.

Kanske var det därför människor tog emot oss. Inte för att vi kom med lösningar, utan för att själva närmandet – utan agenda, utan transaktion – berörde något annat. En längtan efter sammanhang. Efter resonans.

Vi talade med professorer som lett sina fält i decennier, och med

doktorander som just tagit sina första steg. Det som stack ut var inte ett sug efter innovationstöd i traditionell mening. Det var något mer ambient. En vilja att bli sedd. Kanske en lättnad över att någon faktiskt lyssnade – inte för att bedöma, inte för att extrahera, utan bara för att lägga märke till vad som pågick.

Det fick oss – oväntat – att tänka på Niels Bohr. Svårtolkad och ofta gåtfull, men ändå skapare av ett av vetenskapshistoriens mest inflytelserika sammanhang. Hans institut i Köpenhamn blev inte betydelsefullt för att han hade alla svaren. Det blomstrade för att det gav plats åt frågor. Det odlade inte bara excellens, utan sällskaplighet. Ett fält där tankar kunde veckla ut sig i relation till andra.

Vi påstår inte att vi åstadkom något liknande. Men dynamiken kändes bekant. Det vi mötte var inte en respons på ett erbjudande. Det var en respons på närvaro. På att någon klev in i rummet utan agenda. Bara för att lyssna. Bara för att se.

Vilket väcker en fråga: vad skulle hända om den sortens närvaro inte var undantaget?

Det för oss till ett andra begrepp: Φ (phi). I teorin om integrerad information används Φ som mått på hur mycket ett system är mer än summan av sina delar. Det mäter inte mängd – det mäter samhörighet.

En frisk hjärna har hög Φ – inte för att den innehåller mycket, utan för att delarna hänger djupt samman. Tänk om ett forskningsfält kunde vårdas på liknande sätt? Inte genom centralisering, utan genom små handlingar av uppmärksamhet. Inte genom att bygga nya strukturer, utan genom att förstärka det som redan försöker ta form.

Det är inte outreach som vi har känt det.

Men kanske är det vad outreach kan bli.

Framåt

Det här projektet hade aldrig kunnat bli av utan den välvilja och strategiska framsynthet som de tre cheferna för de medverkande innovationskontoren visade. I alfabetisk ordning: Lisa Ericsson, Malin Graffner Nordberg och Ingela Lindahl. När Prenovation nu går mot sitt slut samlade vi dem till ett kort samtal om lärdomar och vad som kan komma närmast.

Vad skiljer det här från den outreach ni normalt gör?

Malin: Outreach är en del av vår dagliga praktik. Det som särskilde det här projektet var metoden. Jag brukar tänka på outreach som en färskvara – eller till och med en slags kontaktsport. Det fungerar bara om man når forskarna precis i rätt ögonblick, när deras uppmärksamhet är inställd åt samma håll. Det här projektet gav oss ett mer medvetet och effektivt sätt att skapa de ögonblicken.

Ingela: Precis. Det nya för mig var att våra antenner riktades så uttalat mot en enda vertikal. Den skärpan gav oss en djupare insikt än vi nästan någonsin uppnår annars. På många sätt gick vi in i projektet medvetna om att det fanns saker vi visste att vi inte visste och genom att fokusera vår uppmärksamhet började de luckorna i förståelsen ta form.

Så det handlade egentligen inte om grafen?

Lisa: Nej. Det verkliga värdet i projektet låg aldrig i grafen som material – utan i metodiken. Det finns ett egenvärde i den här typen av detektivarbete: att bygga relationer, förstå vad som är på gång i ett fält, och använda den kunskapen för att kratta manegen för en mer aktiv roll. Ju större samhällsutmaningar vi står inför, desto viktigare blir det att innovationskontoren inte bara skördar frukterna av forskning, utan också hjälper till att sätta agendan och aktivt skapa värde. Sett på det viset är den här nya formen av outreach egentligen ett förstadium till venture creation – och det är något vi nu har börjat experimentera med på allvar.

Vad visade bibliometrin som ni annars inte hade sett?

Ingela: Den hjälpte oss att rikta in oss, men framför allt blottlade den sårbarheter vi inte var fullt medvetna om. Man såg tydligt hur avhoppet av en enda forskare kunde rubba ett helt fält – eller hur stora mängder finansiering inte alltid gav ett proportionerligt forskningsutbyte. Sådana mönster är svåra att upptäcka utan det här perspektivet.

Malin: För mig är det just därför datadriven medvetenhet är så viktig. Den skärper våra samtal med universitetsledningen, eftersom vi inte längre lutar oss mot anekdoter utan mot fakta. Och den tvingar oss att konfrontera verkligheter som inte alltid är smickrande – men som vi måste erkänna om vi vill vara trovärdiga.

Och vad händer nu?

Malin: Den stora frågan är skala. Piloten har varit resurskrävande, så utmaningen blir att göra det här sättet att arbeta till en del av vår vardag – utan att tappa närvaron som gjorde det värdefullt.

Ingela: Redan nu har det förändrat våra samtal. De har blivit mer intressanta, mer informerade, eftersom vi fått en skarpare känsla för var energin i fältet finns. Det kortsiktiga värdet är verkligt, även om de långsiktiga effekterna kommer att ta tid att slå rot.

Lisa: De frön vi sått här kommer att ta tid att växa, men momentumet är verkligt. Projektet visar en väg för innovationskontor att gå från ett reaktivt förhållningssätt till ett mer proaktivt – att finnas med tidigt, väcka intresse och forma möjligheter innan de blivit fullt synliga. Det är så det här arbetssättet kan spridas: inte bara till andra forskningsfält, utan till själva framtiden för hur vi ser på innovationskontorens roll.

En kort notis innan du dyker in

Det som följer är ingen sammanfattning. Det är ingen lista med slutsatser eller en katalog över problem att lösa.

Dessa belief updates är fragment. Destillerade från verkliga samtal, har de anonymiserats, stiliserats och spetsats till – inte för att dölja, utan för att bevara ton, friktion och tvetydighet. Varje fragment markerar en liten förändring i hur vi såg systemet.

De är inte definitiva. De bildar ingen enhetlig berättelse. Men de ritlar upp konturerna av en: formen på ett forskningslandskap i rörelse, och de tysta signaler som dök upp när vi lyssnade med nyfikenhet och utan agenda.

De är inte menade att läsas alla på en gång. Skumma. Pausa. Kom tillbaka senare. Låt dem dra in dig där det känns rätt.

Det sagt, vissa mönster börjar ändå träda fram. När fragmenten samlades började de klustra – inte efter institution eller disciplin, utan efter friktion. Efter känsla. Vissa handlade om språk. Andra om eftersläpning. Det som följer är inte organiserat tematiskt, utan tematiskt närliggande – grupperat mer efter resonans än efter taxonomi.

Ungefärligt innehåll:

- **De Två (eller Flera) Grafenerna** – hur fältet splittras beroende på användningsområde, skikttal eller bara semantik.
- **Systemiska Flaskhalsar** – när problemet inte är materialet, utan systemet runt omkring det.
- **Dolt Talent, Vilande Energi** – forskare som inte är inaktiva, bara osynliga – och vad som krävs för att få med dem.
- **Från Upptäckt till Översättning** – vad det egentligen innebär att ta en idé från labbet till livet.
- **Infrastruktur- och Tillverkningsluckor** – varför skala och reproducerbarhet spelar roll, och varför vi inte är där än.
- **Outreach, Aktivering och den Mänskliga Faktorn** – den ursprungliga känslan i detta projekt: att närvaro förändrar saker.

Tänk på dessa som sex fönster. Titta genom det som känns mest levande för dig. Gränserna mellan dem är porösa – och det är en del av poängen.

Grafen i två (eller flera) skepnader

När grafen inte är grafen

Källa: Universitetslektor med fokus på tryckt elektronik och beläggningar (KTH)

Före

Vi antog att råmaterialkvaliteten i grafenets leveranskedja var tillräckligt stabil för att forskare skulle kunna bygga vidare på den. Att tryckt elektronik och beläggningar var lovande tillämpningar på kort sikt. Att Sveriges offentliga finansieringssystem, när det väl aktiverats, skulle säkra kontinuitet hela vägen till kommersialisering.

Vad vi hörde

Trots stark offentlig finansiering och lång erfarenhet bromsas ett labs arbete upprepade gånger av osäkra insatsvaror i deras försök att bygga användningsfall inom värmeledning, keramiska och antibiotiska beläggningar. "Vi får ofta inte det vi betalat för" – material som beställts som grafen levereras snarare som grafit, med oförutsägbara egenskaper och variation mellan batcher. Detta gör det svårt att utveckla tillförlitliga processer, även när det finns industriellt intresse. I ett fall ledde ett proof-of-concept för keramiska beläggningar till intresse från en större industriaktör, men projektet avstannade på grund av inkonsekvent tillverkning. Inom medicinska beläggningar finns också intresse – men tillgången till testinfrastruktur och kliniska valideringsvägar är fortfarande otillräcklig. Utan standarder och reproducerbara insatsvaror går det inte att ta arbetet vidare.

Efter

Vi slutade betrakta grafenets leveranskedja som färdig att använda. Även lovande användningsområden faller sönder utan tillförlitliga insatsvaror – och tillit kräver både standarder och delat ansvar. Stark offentlig finansiering kan hjälpa idéer att lyfta, men det räcker inte. Utan en pålitlig leveranskedja och tydliga testvägar fastnar lovande projekt strax före verklig påverkan.

Grafen var bara början

Källa: Teoretisk fysiker med fokus på magnetism och kvantmaterial (KTH)

Före

Grafen betraktades fortfarande som flaggskeppet bland 2D-material. Även om nyare material vann mark, förblev grafen det strategiska och vetenskapliga centrumet. Vi antog att innovation inom 2D-material skulle sprida sig utåt från denna bekanta kärna.

Vad vi hörde

Grafen må ha öppnat dörren, men det är inte längre där det händer. Ur ett teoretiskt perspektiv betar det sig för mycket som kolfiber för att vara rikt på nya effekter. Egenskaperna är väldokumenterade men begränsade i tillämpning. Det verkliga löftet ligger nu i 2D-antiferromagnetiska material – instabila, komplexa, men potentiellt revolutionerande inom områden som neuromorfisk databehandling. Men denna typ av forskning kräver långsiktighet och djup tålamod. Simuleringar delas öppet; ibland bildas företag kring mjukvaran snarare än själva materialet. Men för att verkligt banbrytande materialforskning ska blomstra, måste finansieringslogiken skifta – från kortsiktiga sprintar till långa bågar.

Efter

Vi justerade vår karta. Grafen var kanske inkörsporten – men den mest spännande fysiken, och möjligen de mest omvälvande tillämpningarna, finns nu någon annanstans. Det skiftet kräver också ett tankeskifte: bort från applikationsfärdighet, och mot riskvillig, långsiktig finansiering. Vissa genombrott behöver tid att irra runt innan de hittar formen.

Storlek eller kvalitet – inte båda

Källa: Biträdande professor med fokus på ARPES och exfolierade 2D-material (Nederländerna)

Före

Vi antog att forskningen kring 2D-material gradvis rörde sig mot industriell skala – att experimentella forskare successivt löste problemen för att få större och renare prover. Vi föreställde oss att kvalitet och storlek kunde optimeras samtidigt. Vi antog också att gemensam infrastruktur hjälpte till att förena olika delområden.

Vad vi hörde

Vinkelupplöst fotoemissionsspektroskopi (ARPES) kräver prover i millimeterskala. Men de högsta kvalitetsflagorna fås endast genom exfoliering av bulk-kristaller, vilket ger små och sköra prover. Det gör högupplösta mätningar svåra och framstegen långsamma. Ett laboratorium har utvecklat en metod för att exfoliera något större prover, men den är inte patenterbar och långt ifrån att producera material i enhetsstorlek. Samtidigt verkar forskare inom ett splittrat ekosystem: materialvetare och komponentfysiker överlappar knappt. Delade labb och plattformar finns, men utvecklingen av infrastruktur hindras av strukturella begränsningar, som hyresmodeller som motverkar uppgraderingar. Små anslag hjälper – särskilt för unga forskare – men räcker bara en bit. Huvudbudskapet: vi försöker fortfarande förstå dessa material. Värdet ligger i att "bidra med ny kunskap", inte i att stressa fram produkter.

Efter

Vi övergav antagandet att skalan snart är inom räckhåll. För vissa frågor kanske den aldrig kommer – eller spelar någon roll. Och vi ställde in oss på en tystare sanning: infrastruktur stöder inte bara forskning – den avgör vad som faktiskt blir gjort. När hyresmodeller och karriärtidslinjer dominerar, tvingas även världsledande insikter anpassa sig till systemets begränsningar.

Delad marknad, saknad länk

Källa: VD för ett grafen baserat materialföretag som verkar i gränslandet mellan FoU och produktion i skala

Före

Vi antog att den största utmaningen för industriell användning av grafen var teknologisk: kostnad, konsistens eller kvalitet. Vi föreställde oss att företag främst hade svårt att skala upp på grund av tillverkningsbegränsningar.

Vad vi hörde

Tekniken är bara en del av problemet. Den verkliga klyftan är strukturell – mellan två separata grafenvärldar. Den ena fokuserar på atomärt tunna, epitaxiella lager för elektronik; den andra på bulkmaterial och kompositer för infrastruktur, förpackningar och hållbarhet. Dessa världar kommunicerar knappt. I den ena är hybridmaterial ”bara grafit”; i den andra är de marknadsklara. Det här företaget skalar upp snabbt – och förbereder sig på att leverera hundratals ton. Deras kompositer ersätter kopparledningar och blockerar väte-läckage, och deras kunder bryr sig inte om antal lager. Men för att testa nya material är de beroende av informella kontakter. Det finns inget enkelt sätt att genomföra mekaniska eller ledningstester via akademiska labb. Och ingen svensk aktör producerar grafen i skala – företag som LayerOne (Norge) eller Levidian (Storbritannien) fyller den rollen utomlands. Det är en lucka. En saknad länk i leveranskedjan. Och en missad möjlighet för Sverige.

Efter

Vi slutade anta att industriell skala följer vetenskapliga framsteg. Olika tillämpningar kräver olika infrastrukturer – och olika kulturer. Det som kopplar dem samman är inte fler artiklar. Det är testbäddar, översättning och tillit. Om Sverige vill leda inom tillämpad grafen, måste vi bygga både broarna – och fabriken.

Tio år från genomslog (igen)

Källa: Oberoende innovationskonsult med bakgrund inom materialvetenskap och affärsutveckling (tidigare University of Cambridge)

Före

Vi trodde att det europeiska Graphene Flagship – och ekosystemet det hjälpte till att skapa – hade förkortat vägen till kommersialisering. Vi såg tiårsvisionen som ett ambitiöst men möjligt mål, förutsatt tillräcklig samordning.

Vad vi hörde

Den där tiårsplanen återställs hela tiden. År 2013 lovade man att grafen skulle vara redo för marknaden år 2023. Det känns fortfarande som att det är tio år bort. Flaggskeppet var värdefullt – ”otroligt viktigt” – men förblev för akademiskt. Samtidigt har innebörden av vad som räknas som ”grafen” urvattnats. Tekniskt sett handlar det om ett enda atomlager. Men det mesta som säljs som grafen idag är tjockare och saknar de egenskaper som gjort materialet känt. Det är okej – så länge vi är ärliga med det. För halvledare krävs ”äkta” grafen. För kompositer kan ”grafenliknande” material fortfarande vara användbara. Men fältet är splittrat – i bottom-up (epitaxiellt, substratodlat) och top-down (pulver, exfolierat). De tjänar olika syften och talar olika språk. Att blanda ihop dem skadar trovärdigheten. Hetsen må ha lagt sig – men det kan vara något positivt, om det lämnar plats för klarhet.

Efter

Vi slutade anta att ”grafen” betyder samma sak för alla. Det gör det inte. Och det är okej – så länge vi är tydliga med vad som byggs, för vem, och med vilka förväntningar. Frågan är inte ”är det grafen?” utan ”är det tillräckligt bra för det du behöver?”

Två grafen, många silos

Källa: VD för producent av epitaxiellt grafen med stark akademisk bakgrund och verksamhet i flera länder

Före

Vi antog att Sverige hade ett någorlunda sammanhållet ekosystem för grafen – visst geografiskt utspritt, men ändå sammanlänkat. Vi trodde att uppskalningsutmaningarna var tekniska, inte strukturella.

Vad vi hörde

Ekosystemet är djupt fragmenterat – inte bara mellan akademi och industri, utan även inom industrin själv. Grafenfältet är tudelat: elektronik (t.ex. epitaxiellt, CVD-odlat grafen) och tillämpningar (t.ex. flakbaserade kompositer). Den förra är högteknologisk, låg TRL och koncentrerad till platser som Linköping och Göteborg. Den senare har mer omedelbar kommersiell potential. Men även inom elektroniken finns klyftor: CVD är billigare och skalbart, men inte lämpligt för halvledare; epitaxi är renare, men dyrt. När det gäller Sveriges akademiska aktörer leder Chalmers, LiU är starkt, men andra – inklusive KTH och Uppsala – har tappat. Nyckelpersoner har lämnat. Program sägs vara på väg att läggas ner. Rekryteringskanalerna försvagas. Och trots högprofilerade satsningar som Graphene Flagship saknas en samlad svensk strategi. Till och med uppskalning av testproduktion kräver att man hyr in sig utomlands.

Efter

Vi släppte idén om ett enat ”grafen-Sverige.” Det finns inte – inte än. Det som finns är ett lapptäcke av regionala silos, teknik kulturer och isolerade aktörer. Potentialen finns där, men strukturen är skör. Tills någon ritat upp en gemensam karta – och finansierar broarna – riskerar landet att fortsätta uppfinna på egen hand, men tävla utomlands.

Flaskhalsar i systemet

Det går inte att spinna ut en PowerPoint

Källa: Senior forskare och akademisk entreprenör med ledarskapserfarenhet (KTH)

Före

Vi antog att om lovande materialforskning var välfinansierad och skyddad med IP, skulle vägen till kommersialisering utvecklas naturligt. Att innovationsflaskhalsarna låg längre fram – i affärsmodeller, marknadsföring eller finansieringsrundor.

Vad vi hörde

Det verkliga gapet är uppströms: utan robust, reproducerbar processteknik får startups inget riktigt fäste. Många forskningsinsatser skyndar sig att publicera eller ta patent på ett nytt material, men kommer aldrig förbi labb-bänken. Istället för att bygga skalbara processer, fokuserar man på akademisk nyhet. Utan processtekniker och tvärvetenskapligt stöd i renrum, förblir lovande idéer fast i PowerPoint-stadiet. Ett förslag: inför labbkontroller för projekt i tidigt skede – en slags teknisk due diligence för att skilja skalbara processer från spekulativa påståenden.

Efter

Vi skiftade fokus från vad som saknas i affärsplanen till vad som saknas i fabriken. Kommersialisering börjar inte med IP – den börjar med repeterbarhet. Och tills Sverige stärker sin delade tillverkningsinfrastruktur och integrerar processtänk i forskningsincitamenten, kommer även goda idéer att misslyckas med att få fäste.

Du kan inte skala det som inte belönas

Källa: Senior materialforskare, innovationsförespråkare och ledare inom forskningsinfrastruktur och policy (LiU / SSF)

Före

Vi antog att innovationsstöd i huvudsak handlade om finansiering, och att när forskare hade ett patent eller en prototyp, skulle systemet hjälpa till att driva det vidare. Vi antog också att de flesta hinder var tekniska – lösbara med bättre ingenjörskonst eller mer kapital.

Vad vi hörde

Akademisk kultur behandlar fortfarande innovation som ett sidoprojekt. Att publicera ger befordran; patent och startups gör det inte. Institutionsledare avråder från marknadsinriktat arbete. Forskare saknar pengar och stöd för att ansöka om patent – och ansöker ofta för tidigt, vilket försvagar deras position. Utan strukturerade incitament stagnerar även goda idéer. Samtidigt är uppskalningsfasen – det verkliga testet – fysiskt krävande, underfinansierad och sällan institutionellt stödd. Universiteten behöver internt kapital för prototyper, gemensamma IP-upplägg och tydliga vägar för forskare att stanna kvar utan att behöva gå över till fullt entreprenörskap. Mellanhänder hjälper, men måste ha mandat. EU-bidrag är skrämmande byråkratiska; att skriva dem kräver specialister, inte bara forskare med lediga kvällar. Utan reformer kommer Sveriges bästa idéer att fortsätta lämna landet – till Boston eller Shenzhen.

Efter

Vi ser inte längre innovationsfriktion som enbart ett finansieringsproblem. Det är kulturellt, processmässigt och ackumulativt. System belönar det de mäter, och just nu mäter de fel saker. Tills innovation räknas på samma tavla som citeringar, kan de bästa materialen stanna kvar i labbet – eller lämna landet.

Tänk om systemet

Källa: Universitetslektor och CTO för startup, jobbar mellan forskning och industri (LiU)

Före

Vi antog att när en prototyp väl existerade, skulle dess användbarhet tala för sig själv – att lovande sensorforskning naturligt skulle hitta sin väg in i industrin. Vi antog också att unga forskare skulle driva den övergången, med rätt verktyg och ambition.

Vad vi hörde

Den verkliga flaskhalsen är inte prototypen – det är systemet. Sensorsystem på labbnivå presterar ofta bättre än kommersiella alternativ, men är för riskabla att ta in utan stöd. Forskare vet hur man bygger, men inte hur man översätter. Industrin vet inte alltid vad de ska be om, och forskare vet inte hur de ska svara på deras språk. Denna ömsesidiga okunskap hindrar spridning. Ett svar: börja tidigare. Ett nationellt doktorandnätverk kopplar nu samman unga forskare inom 2D-material över hela Sverige. Men ett företagande tänkesätt är fortfarande sällsynt, och Vinnova når inte de tidiga karriärstadierna. Samtidigt pågår banbrytande arbete – som omvänd modellering, där forskare inte börjar med ett material och ser vad det kan göra, utan med ett mål (som en molekyl eller ett tillstånd) och simulerar det optimala materialet för ändamålet. Det är AI möter sensorer möter målinriktad design. Det är framtiden – men bara om strukturerna finns för att bära det vidare. Nationella excellenscentra kan hjälpa.

Efter

Vi slutade anta att god vetenskap hittar en marknad av sig själv. Avståndet mellan insikt och genomslag är längre än det ser ut – och bron måste byggas från båda håll. För att gå från molekyl till marknad kanske det inte är materialet som behöver omdesignas – utan systemet runt omkring.

Mikroskopet räcker inte

Källa: Senior mikroskopist och infrastruktursansvarig inom 2D-material och katalys (LiU, Ångströmhuset)

Före

Vi antog att djup strukturell förståelse av 2D-material – särskilt via mikroskopi – var i sig värdefull för både akademi och industri, och att infrastruktur innebar fördel. Vi underskattade hur svårt det är att göra skillnad när strukturella brister kvarstår, även i avancerade miljöer.

Vad vi hörde

LiU har några av Europas mest avancerade mikroskopiresurser. Ändå är det svårt att översätta upptäckter till tillämpning. Även lovande arbeten – som strukturell stabilisering av 2D-tytor – fastnar när nyhetskrav hindrar patentering eller när industrin är för avvaktande för att anpassa sig. Stora företag undviker grundforskning. Infrastrukturförändringar är kostsamma. Kulturell felinställning och låg upplevd brådskas gör att universitetsgenombrott inte tas i bruk. Samtidigt kan försök att uppmuntra tvärvetenskap eller genomslag slå fel – och bli kryss-i-rutan-aktiviteter i stället för meningsfulla samarbeten. Lösningen: bygg verkliga forum, inte bara utlysningar. Träna forskare i att kommunicera över gränser. Hjälp dem planera för tillämpning från början. Och viktigast: behandla avancerade material som en nationell strategisk resurs – i paritet med AI.

Efter

Vi slutade tro att kapacitet i sig ger genomslag. Inte ens världsledande instrument kan kompensera för svaga incitament, ytliga partnerskap eller kulturell osynk. För att få avancerade material att spela roll krävs mer än atomer i fokus – det krävs system i samklang.

Goldene är på riktigt

Källa: Biträdande professor verksam inom 2D-materialsyntes, katalys, biomedicinsk sensorteknik och industriell tillämpning (LiU)

Före

Vi såg materialgenombrott – som ett monolager av guld – som framtids-satsningar: med lång tidshorisont, osäker utdelning och mestadels hype i nuläget. Vi antog också att den verkliga utmaningen skulle vara att framställa materialet, inte att lista ut vad man ska göra med det.

Vad vi hörde

Goldene sitter inte fast i labbet – det produceras redan i stor skala. Skivor i wafer-storlek är verklighet. Trippellager är mer stabila. Kemin kan överföras till andra metaller. Och användningsområdena är många: PFAS-nedbrytning i vatten, vätgasutveckling, tryckt elektronik, biosensorer, till och med UV-utlösta cancerbehandlingar. Samarbetena finns redan – med IVI, TU Wien, RISE, Nvidia, Tanaka Precious Metals. Marknadsanalys är gjord. Ett företag är på gång. Så varför ser vi det inte överallt? För att det verkliga arbetet börjar efter upptäckten: validera effekten, skala upp processen, navigera reglering, skydda IP. Och allt detta kräver tid, ingenjörskapacitet och seriös finansiering – långt utöver vad forskningsbidrag täcker. Sverige har talangen, men stödssystemet är fragmenterat. Det som behövs är en ut hållig, tvärvetenskaplig satsning: som förenar cleantech, medtech och mikroelektronik. Och en omvärdering av vad "tidigt skede" egentligen innebär.

Efter

Vi uppdaterade vår syn på hur innovation sker – inte som ett genombrott, utan som en fläta. Materialet är klart. Vetenskapen håller. Det som saknas är inte guldet – det är limmet: valideringskapacitet, ingenjörresurser och strategiskt kapital för att hålla ihop helheten. Om Sverige vill leda måste vi sluta vänta på "genomslag" och börja investera i översättningens långa båg.

Dold talang, slumrande kraft

Inte allt kol är grafen

Källa: Senior polymerforskare med fokus på hållbara material och kolbaserade tillsatser (KTH)

Före

Vi tenderade att slå ihop kolbaserade nanomaterial under samma paraply. Grafen, kolprickar, kolfjäll – allt i samma familj, trodde vi, bara i olika upplösningar. Vi antog att närliggande forskning var knuten till 2D-narrativet, eller åtminstone riktade sig ditåt.

Vad vi hörde

En del forskning vill inte dras in i 2D-tältet. En långvarig studie av kolbaserade tillsatser i biobaserade polymerer klargjorde: "Det här är inte grafen – inte ens 2D." Fokuset låg på 0D- och 1D-strukturer: kolprickar, flingor, oxiderade partiklar som är för små eller för oordnade för att räknas som lager. Dessa tillsattes polymerer för att ge antibakteriella, fluorescerande eller cellstomme egenskaper. Arbetet var närliggande men inte överlappande. Finansiering kom från andra håll. Kommersialisering var aldrig en kärnprioritet, men kan bli det beroende på var nästa forskargeneration tar det.

Efter

Vi korrigerade vår vana att se alla kolbaserade nanostrukturer som biflöden till grafenströmmens huvudfåra. Inte allt svart och nano vill vara lagerlagt. Närliggande arbete med kolprickar kanske inte direkt matar in i 2D-ekosystemet – men det breddar ändå det konceptuella fältet. Och vissa vägar böjer sig först mot genomslag när rätt person kommer för att utforska dem.

Ingen bryr sig om det är 2D

Källa: Professor i oorganisk kemi och tunna beläggningar för energi- och industriella tillämpningar (Uppsala universitet)

Före

Vi antog att forskare inom 2D-material såg ”2D” som en identitet – en samlande egenskap värd att signalera till samarbetspartners, företag eller finansörer. Vi antog också att 2D-material främst förknippades med fysik eller elektroniska enheter.

Vad vi hörde

I många verkliga sammanhang är 2D-begreppet irrelevant. En startup baserad på ultrahårda beläggningar – hårdare än Gorilla Glass – kom från denna forskares labb, men materialet marknadsförs inte som ”2D”. Det är tunt, ja, men det kunderna bryr sig om är prestandan, inte klassificeringen. Förstärkning och slitstyrka är det viktiga. På samma sätt fokuserar pågående akademiskt arbete mer på keramer än på grafen. Industripartners bryr sig inte om lagerantal – de bryr sig om hållbarhet, vidhäftning och skalbarhet. Nätverkande är fortfarande viktigt, särskilt lokalt, men modeord är det inte. Vad skulle hjälpa? Mer sammanbindande länkar mellan universitetsgrupper och närliggande företag, särskilt på platser som Uppsala där lokala industrikopplingar är svagare än i Linköping.

Efter

Vi släppte tanken att ”2D” är ett säljargument. Det är ofta en forskningskategori, inte en kommersiell. Utanför labbet är det vad materialet gör som räknas. Tunt är ingen pitch – prestanda är det. Och för att överbrygga forskning och tillämpning kan närhet och praktisk nytta väga tyngre än nomenklatur.

Vilande intresse

Källa: Senior teoretisk fysiker med fokus på atomistisk modellering inom nanobioteknik och amorfa material (Uppsala universitet)

Före

Vi antog att när forskare väl lämnade 2D-material skulle de sannolikt inte återvända – att uppmärksamhet följer finansiering, och expertis följer efter.

Vad vi hörde

Under en tid var grafen framtiden för biosensorer – särskilt inom DNA-sekvensering via nanoporer. De var djupt engagerade i att modellera nanomaterialens beteende och utforska nya sensorarkitekturer. Men detta arbete nådde sin topp runt 2010–2012, och fokus skiftade gradvis. Idag är de mer involverade i proteinsensorik och amorfa material. Intresset har inte försvunnit – det är bara vilande. De har hållit sig uppdaterade med litteraturen. Samarbeten med solid-state-grupper fortsätter. De använder de lokala MyFab-anläggningarna. Och viktigt är att de är öppna: för att återaktivera gamla forskningslinjer, för nya samarbeten och för att kliva tillbaka in. Det som saknas är inte vilja – det är en trigger.

Efter

Vi reviderade vår bild av expertlandskapet. Inte alla aktiva inom 2D är synliga som sådana. Några av de mest värdefulla erfarenheterna finns i utkanten, tyst tillgängliga, väntande på rätt anledning att engagera sig igen. Vilande betyder inte ointresserad. Ibland räcker en inbjudan.

Tyst vilja

Källa: Senior lektor och beräkningsfysiker som arbetar med 2D-material, magnetism och elektronisk dynamik (Uppsala universitet)

Före

Vi föreställde oss att beräkningsforskare antingen var fullt integrerade i applikationskedjor eller för långt bort för att bry sig. Vi antog att huvudproblemet var brist på intresse eller relevans.

Vad vi hörde

Det finns intresse men inte mycket infrastruktur för att stödja det. Hans arbete spänner över heterostrukturer, defektteknik och magnetiska 2D-material. Han har varit delaktig i EU-projekt och samarbetar nära med Chalmers. Men kopplingar till innovationskontor är minimala, och han är inte ansluten till SIO Graphene. Det beror inte på motstånd – bara tröghet. Han är entusiastisk inför nya kontakter, angelägen att få veta om kommande evenemang, och har flera konkreta förslag på vem mer man bör prata med. Men han är försiktig med att lova för mycket – samarbeten måste vara meningsfulla, och bidragen är tydligast när teori möter en definierad experimentell eller applikationsfråga. Det som saknas är inte vilja – det är matchmaking.

Efter

Vi omvärderade vår syn på ”yttercirkeln.” Några av de mest villiga bidragsgivarna till innovation finns strax utanför den vanliga kretsen – synliga, kapabla men oengagerade av strukturella snarare än personliga skäl. Möjligheten? Bygg bättre påfarter. Och missta inte tystnad för stängdhet.

Redo när du är det

Källa: Forskare i strukturell kemi som arbetar med nanomaterial för energitillämpningar (Uppsala universitet)

Före

Vi antog att forskare som arbetar med 2D-material – även sporadiskt – hade åtminstone någon koppling till existerande innovationsplattformar eller nationella nätverk. Vi trodde att intresse och engagemang gick hand i hand.

Vad vi hörde

Vissa forskare är angelägna om att koppla ihop sig – men har ännu inte blivit inbjudna. Hon arbetar med nanomaterial för energilagring och konversion, där 2D-material är ett av flera alternativ. Hon har aldrig haft någon kontakt med SIO Graphene eller något innovationskontor och är inte del av något nationellt 2D-nätverk. Men hon är tydligt öppen: för samarbete, för evenemang och för att tänka på omvandling. Hon nämner en lucka – Uppsala är inte väl kopplat till Graphene Flagship eller liknande initiativ. Och hon ger tips – andra avdelningar på campus som arbetar närmare enheter. Intresset finns där. Infrastrukturen saknas.

Efter

Vi uppdaterade vår syn på vem som är ”i fältet.” Många forskare är närliggande 2D-arbete – inte märkta av det, men öppna för det. Utan plattformar att engagera sig genom stannar deras energi lokalt. Men det behöver inte vara så. Vad som behövs är en enkel dörr att gå igenom. Och en anledning att säga ja när den öppnas.

Från upptäckt till tillämpning

Fönstret för Wafer-Scale

Källa: Senior forskare inom mikrotillverkning och akademisk entreprenör (KTH)

Före

Wafer-skalaintegration betraktades som ett långsiktigt mål för 2D-material – något som låg utom räckhåll för de flesta akademiska laboratorier. Gränsen mellan materialforskning och mikrotillverkning antogs vara svår och långsam att korsa.

Vad vi hörde

En grupp som arbetar med mikro- och nanofabricering har redan utökat wafer-bondingstekniker till 2D-material, med substrat som köpts in externt. Deras fokus är inte på materialsyntes utan på integration – att bygga processkedjor som fungerar i skala. Det gör dem till ett undantag; medan många labb är begränsade till små flagor eller chip, kan denna arbeta på waferskala tack vare specialiserade renrumsverktyg som finns tillgängliga lokalt. Översättningsinsatser har redan börjat genom en startup som fokuserar på sensortillämpningar – ett av de få områden där industriellt inträde känns möjligt. Bredare engagemang från industrin är fortfarande svårt att nå, särskilt bland Sveriges större företag. Men vissa nischer börjar öppnas.

Efter

Vi skärpte vår uppfattning om var verklig beredskap kan uppstå först. Flaskhalsen är inte bara materialkvaliteten – det är bearbetningsinfrastrukturen. Grupper som kan hantera hela wafers, även med ofullkomligt material, är bättre positionerade att röra sig snabbare. Sensorer kan vara den första livskraftiga inträdeshöjden, långt innan mainstream halvledare öppnar upp. Och när ekosystemet inte kan samordnas kring gemensamma behov beror det inte på brist på forskning – utan på en lucka i incitament och språk.

Grafitens Andra Liv

Källa: Senior forskare inom polymernanokompositer och hållbara material (KTH)

Före

Vi antog att världen hade gått vidare från de tidiga hypcyklerna för grafen, och att praktiska tillämpningar skulle kräva materialformat som var mer robusta än ett enda atomlager. Vi antog också att om stora företag gjorde verkliga satsningar på grafen skulle vi höra om det.

Vad vi hörde

Det finns fortfarande skäl att se grafen som i sin linda. Problemet är inte att det misslyckades, utan att det fortfarande är för känsligt. Många av dess bästa egenskaper försvinner vid stapling eller i större skala, då avbrott förstör ledningsförmågan. Istället för att vara ett misslyckande liknar detta kolnanorör (CNT): en långsam utveckling, med kommersiell relevans som kommer först efter djupa, ofta osynliga industriella investeringar. Några stora företag kan redan investera. En industriell anläggning utomlands undersökte CNT i full skala innan man hade ett definierat användningsområde. Parallellt är rå grafit under press från batteriefterfrågan och pekas ut av EU som kritiskt. Att återvinna grafit till grafen kan vara en möjlig väg framåt. En tyst, lovande tillämpning är att använda grafenbaserade smörjmedel för att minska mekanisk friktion i olika system, vilket möjliggör energibesparingar i global skala.

Efter

Vi uppdaterade vår tidslinjeuppfattning. Om grafen fortfarande är i sin början beror det inte bara på att vetenskapen går långsamt. Det beror också på att vissa industriella investeringar är diskreta avsiktligt. Samtidigt kan uppströmsbegränsningar som grafitbrist påverka området mer än efterfrågan nedströms. Ibland kommer användbarheten inte från vad materialet kan göra på papper, utan från var det kan återvinnas och hur tyst det kan spara energi.

Vänta med att starta bolaget för tidigt

Källa: Senior materialforskare och gruppleddare (LiU)

Före

Vi trodde att när ett nytt material väl hade upptäckts, följde resan mot tillämpning naturligt. Vi antog att finansieringssystemen, även om de var bristfälliga, generellt flyttade idéer från labb till marknad. Och vi såg spin-outs som en användbar indikator på framgång.

Vad vi hörde

Inte så snabbt. Vissa upptäckter, som 2D-guld, är knappt förbi syntesstadiet. Även om spektroskopiska data ser lovande ut, är ingen redo att prata katalys än. Och det är okej. Att rusa till att bilda företag innan ett verkligt användningsfall är tydligt leder ofta till återvändsgränder. Vad som behövs är tidig, öppen samverkan med industrin – långt innan prototyper eller immaterialrätt. Men finansieringsstrukturer gör det svårt. Nationella utlysningar är för smala och oförutsägbara. Europeiska utlysningar är lovande men för krävande. Samtidigt skapar trycket att spinna ut företag för dess egen skull en slags teater av omvandling. Vad skulle hjälpa istället? Stöd vid ansökningsskrivande. Erkännande för forskare som gör omvandlande arbete. Och friheten att låta idéer växa fram underifrån, inte bara från toppstyrda policyprioriteringar.

Efter

Vi justerade våra förväntningar. Klyftan mellan upptäckt och implementering är inte bara teknisk – den är procedurmässig, kulturell och psykologisk. Att skala upp ett material är svårt. Att koordinera ett EU-projekt med flera partners är ännu svårare. Att prata om kommersialisering på ett ärligt, precist och inspirerande sätt? Det är en sällsynt kompetens. Så kanske frågan inte är "varför har de inte startat företag än?" utan "varför skulle de? Vad skulle det lösa?"

Proof of Concept, vägens slut

Källa: Senior tillämpad forskare inom nanoteknologi, vätgasproduktion och biosensorer (LiU)

Före

Vi antog att tillämpad forskning med synliga prototyper – särskilt inom ren energi och sensorteknik – hade en tydlig väg att följa: bygga, testa, samarbeta, skala upp. Vi trodde att den verkliga utmaningen var att få vetenskapen att fungera, inte att få finansiering när den väl gjorde det.

Vad vi hörde

Prototyper finns i mängd: grafenbiosensorer, soldrivna vätgaskatalysatorer, självförsörjande zinkoxid-sensorer för bilar, dörrar och vattensäkerhet. Vetenskapen fungerar. Kostnaderna är låga. Men inget händer. Varför? För att när proof-of-concept är byggt så upphör stödet. Sveriges innovationssystem underfinansierar kraftigt Technology Readiness Levels 5–7 – den stökiga, dyra mellanfasen mellan labb och marknad. Internationella doktorander brukade hjälpa till att överbrygga gapet, med externa stipendier. Den pipelinen är nu stängd av regleringar. Bidragsgivare avslår ansökningar även med industriellt stöd. En startup som simulerade solljus med 98 % noggrannhet lade ner på grund av bristande stöd. Samtidigt premierar akademien publikationer, inte uthållighet. Forskare sätter ihop lågkostnadslösningar av bulk-kemikalier samtidigt som lovande teknik stannar upp på grund av några hundratusen kronor i finansiering.

Efter

Vi slutade förväxla prototyp med framsteg. Att ha en enhet på bänken är inte halvvägs – det är knappt steg två. Utan institutionella mekanismer för att ta tillämpad forskning förbi proof-of-concept kommer bra idéer fortsätta staplas, precis utanför räckhåll för påverkan. Innovationssystemet saknar inte bara kapital – det saknar kontinuitet.

Från fråga till patent

Källa: Entreprenör och medgrundare till ett bio-baserat grafenföretag med fokus på hållbarhet och ren produktion

Före

Vi antog att de flesta deeptech-startups kom från forskning – att det måste finnas ett labb, en artikel eller åtminstone en forskningsledare i ursprungshistorien. Vi trodde också att materialutveckling alltid började med grundforskning, inte med en magkänsla.

Vad vi hörde

Denna startup började inte i ett labb – den började med en fråga: varför måste grafenproduktionen vara så smutsig? Ur samtalet mellan en ekonom och en bränslecellsforskare föddes en satsning: att det borde vara möjligt att extrahera grafen från lignin, en biprodukt från skogsindustrin. Ingen tidigare forskning. Ingen institutionell förankring. Bara tid, tillgång till labb och modet att prova. Ett år senare ansökte de om patent. Deras produkt är reducerad grafenoxid (rGO), riktad mot batterier och bränsleceller. De hittade allierade på KTH och fick tidigt stöd av SIO Grafen, som hjälpte dem att koppla in sig i akademisk infrastruktur som Electrum-labbet och att knyta kontakter med forskare. Den närheten var avgörande. Men deras väg handlade inte om publicering. Den handlade om att bevisa, piva och hålla sig tillräckligt nära vetenskapen för att bygga något nytt – utan att börja från den.

Efter

Vi omprogrammerade vår bild av hur deeptech kan börja. Vissa material kommer inte från forskning – de kommer från frustration, nyfikenhet och ett tomt papper. Och med rätt stöd kan även en utomstående fråga leda till insidereffekt.

Luckor i infrastruktur och tillverknings- kapacitet

Lagerantal spelar ingen roll

Källa: Materialforskare med erfarenhet från startupvärlden och ett internationellt perspektiv (KTH)

Före

Precision på enkel-lager betraktades som avgörande för 2D-materialstudier. Startup aktivitet sågs som en följd av tekniska framsteg. Man antog att Sveriges avancerade infrastruktur hade en motsvarighet i ett integrerat innovations-ekosystem.

Vad vi hörde

Materiallets funktionella gräns är inte alltid dess fysiska tjocklek. Om elektroniskt beteende förblir begränsat till ett plan, blir lagerantal sekundärt. Ett forskningsprojekt inom magnetiska 2D-material syftar till drastiska förbättringar i logik- och minnesenheters effektivitet – flera magnituder inom effekt och storlek. Men trots stark bearbetningskapacitet har det omgivande ekosystemet svårt att samordna sig. Grupper som skapar nya material är inte väl kopplade till dem som utformar enheter. Samtidigt tenderar innovationsstödet att vänta på proof-of-concepts som ännu inte existerar. I en mer integrerad miljö hade processen sannolikt gått snabbare.

Efter

Vi släppte tanken att "verkliga" 2D-material måste vara enkel-lager. Och vi omvärderade vad ett ekosystem behöver för att omvandla forskning till handling: inte bara finansiering och faciliteter, utan gemensamt fokus och flytande dialog mellan fält. När detta saknas förblir potentialen latent.

Kompositer är ett lagspel

Källa: Expert inom simulering och materialmodellering, med fokus på polymerer och nanokompositer (KTH)

Före

Vi såg grafenecosystemet som fragmenterat men naturligt självorganiserande – löst koordinerat genom finansieringsutlysningar och drivet av varierade tillämpningar. Vi antog att kompositer var ett nedströmsdomän, i väntan på bättre basmaterial för att frigöra deras potential.

Vad vi hörde

Framtiden för grafen i verkliga system kanske inte ligger i rena material, utan i vad de kan tillsättas till. Ett forskningsprojekt har integrerat grafen i industriella kabelskarvar – inte en mediavänlig tillämpning, men en där små vinster i ledningsförmåga har stor betydelse i praktiken. Liknande idéer gäller nu för bärbar teknik: flexibla sensorer, bättre mekanisk anpassning. Men allt detta hänger på materialkvaliteten. Högpresterande grafen lämpad för kompositer är fortfarande knapp, och problemet är inte bara lokalt – det är globalt. På detta kommer ett nationellt landskap där forskargrupper tävlar om samma utlysningar, ofta duplicerar arbete i stället för att koordinera det, vilket bromsar framsteg. Möjligheterna finns, men systemet är inte utformat för att ta tillvara på dem.

Efter

Vi uppdaterade vår känsla för var genomslag kan ske först. Inte i spektakulära nya enheter, utan i infrastruktur – kraft, sensorer, isolering. Kompositer är ett ensemblearbete: de kräver inte bara materialprestanda utan samordning över laboratorier, leverantörer och användningsfall. Utan kvalitet i input och strukturell samordning kommer även väl positionerade satsningar att underprestera.

Provet är flaskhalsen

Källa: Fysiker i början av karriären, med fokus på elektronisk struktur hos 2D-material (KTH)

Före

Vi antog att förståelsen av 2D-material på elektronisk nivå främst handlade om att ha rätt instrument – strålrör, lasrar, algoritmer. Vi tänkte inte lika mycket på hur avgörande det är att ha ett tillräckligt bra prov från början.

Vad vi hörde

Mätinstrumenten är avancerade – ultrafasta lasrar, synkrotronljus, tidsupplösning på sub-pikosekundnivå. Men det som begränsar är fortfarande provberedningen. För att experimenten ska fungera måste exfolierade prover vara rena, stabila och tillräckligt stora – vilket ofta kräver att man bygger eller modifierar utrustning själv. I detta fall: en specialanpassad vakuumkammare för exfoliering. Först därefter spelar optiken en roll. Det finns intresse för samhällsnytta – och medvetenhet om att datorparadigm kan förändras – men fokus ligger fortfarande på att möjliggöra bättre mätning. Kommersiell tillämpning finns i horisonten, men är ännu diffus.

Efter

Vi omvärderade vad "infrastruktur" betyder i grundforskning. Det handlar inte bara om detektorer eller mjukvara – utan om kvaliteten på proverna som möjliggör allt annat. Om samhällseffekter ska följa, börjar det inte med en pitch – utan med en flaga som går att mäta.

Låt forskarna forska

Källa: Universitetslektor och grundare inom energimaterial och biosensorer (LiU)

Före

Vi antog att akademiska spin-outs borde ledas av sina grundare – att den som gör genombrottet också bör ta det till marknaden. Vi trodde också att de största hindren för kommersialisering var finansiering eller IP, inte ledarskap.

Vad vi hörde

Hans laboratorium arbetar på två fronter: biosensorer och hållbara energimaterial. Deras grafenprojekt, från flygplansbeläggningar till kromatografisensorer, visar tidiga framsteg men fastnar vid skalning eller finansiering. Det underliggande problemet? För få forskare är utbildade att tänka som entreprenörer, och för få bolag leds av personer som förstår marknaden. LINXOLE utvecklar håltransportmaterial för perovskit solceller. Det stöds av LEAD och Wallenberg, men utvecklingen bromsas av att marknaden ännu inte är redo. Ändå är det bättre att någon med affärserfarenhet driver det. Forskare bör fokusera på det de gör bäst. Den större lärdomen: även med Sveriges generösa stöd i tidiga skeden stannar översättning av om materialen inte är mogna eller ledarskapet felplicerat. Lokala nätverk spelar också roll – och utländska forskare har ofta svårt att få tillgång till dem.

Efter

Vi uppdaterade vår förståelse för vad tidig kommersialisering kräver. Inte bara pengar. Inte bara patent. Utan rätt person i rätt roll vid rätt tidpunkt. En forskare behöver inte vara vd. Kanske borde de inte vara det. Och den klarheten kan avgöra om ett bolag lyckas eller inte.

Organiska solceller – verkliga hinder

Källa: Erfaren forskare inom organiska solceller

Före

Vi antog att innovation inom solenergi främst handlade om effektivitet – att bättre prestanda ledde till spridning och att organiska solceller, trots sin flexibilitet och hållbarhet, var en nisch jämfört med kisel och perovskiter.

Vad vi hörde

Organiska solceller (OPVs) har inte lämnat loppet – de springer bara på en annan bana. Dessa transparenta, flexibla solceller är inte avsedda för tak, utan för fönsterrutor, växthus och bärbara enheter. Till skillnad från styva kiselpaneler är de idealiska för jordbruk och mobil laddning – marknader som kan vara lika stora som de traditionella, men som får mycket mindre finansiering. Tidigt stöd för affärs- och kommersialiseringsutbildning är avgörande om forskare ska kunna ta sina idéer ut ur labbet. Utöver individens motivation saknas ofta strukturerat stöd – för finansiering, nätverk och samarbeten med industrin. Dessa brister gör det svårt för lovande forskning att nå samhällspåverkan.

Efter

Vi slutade likställa solenergiinnovation med labbeffektivitet. Verklig påverkan beror på användbarhet, flexibilitet och genomförande. För att OPVs ska skalas upp krävs mer än bättre material – det krävs testbäddar, möjligheter och talangutveckling. Och finansiering även för mindre ”hypade” teknologier, samt kommersialiseringsutbildning tidigt i forskarkarriären.

Den mänskliga Faktorn

Bortom substraten

Källa: Erfaren materialkemist (KTH)

Före

Vi antog att utvecklingen av 2D-material per definition var knuten till substrat. Att skillnaden låg främst mellan exfoliering och epitaxi. Och att tillverkning endast skedde i renrum, eller inte alls.

Vad vi hörde

En grupp syntetiserade 2D- och kvasi-2D-material i lösning – helt utan substrat. Deras kolloidala metod gjorde det möjligt att utforska nya arkitekturer, förbättra transportegenskaper och till och med bygga fungerande tillämpningar (sensorer, termoelektriska vätskor, smörjning vid skärning). Dessutom begränsades deras experimentella räckvidd inte av vad renrummet tillät. Under en period startade de till och med en startup – som kollapsade när en större industriell partner drog sig ur, med motiveringen att de var obekväma med ordet "nanopartiklar." Forskaren blev övertygad om att Sveriges labbinfrastruktur och investerarkonservatism gör kommersialisering extremt svår.

Efter

Vi uppdaterade vår mentala modell för vem som kan arbeta med 2D-material. Det är inte bara fysiker som kan spela – kemilabb med lösningsbaserad syntes kan ha färre begränsningar och en bredare experimentell spelplan än de som bygger enheter. Substratfritt betyder inte marginaliserat. Men vi hörde också en varning: även lovande prototyper kommer ingenvart om industrin finner språket skrämmande och ekosystemet sprött.

Tillräckligt för en artikel

Källa: Doktorand tidigt i karriären, med praktisk erfarenhet av exfolierade 2D-material (SU, tidigare KTH)

Före

Vi antog att meningsfull experimentell forskning på 2D-material krävde avancerad infrastruktur – renrum, handskboxar, wafer-prover i skala och enkel-lagerprecision.

Vad vi hörde

En mastersstudent, som arbetade med ofullkomliga exfolierade kristaller och utan åtkomst till vakuumkammare, lyckades trots det få fram publiceringsvärda insikter om ytegenskaper i komplexa 2D-system. Hennes ”hemgjorda” prover var inte enkel-lager, men tillräckligt bra för att visa något påtagligt. Arbetet kommer att bli en vetenskaplig artikel. När hon sedan skulle välja var hon skulle göra sin doktorandstudie, stannade hon inte kvar i samma labb – hon valde i stället plats där finansieringen var trygg och grundförutsättningarna fanns.

Efter

Vi omvärderade vår bild av det minimalt fungerande setup för att lära något nytt. Perfektion är inte ett krav – men infrastrukturluckor påverkar karriärvägar. Några av de skarpaste hjärnorna gör sitt bästa med begränsade verktyg, och när de lämnar, är det inte för prestige – det är för stabilitet. Ekosystemet betalar för sin ojämnhet i form av talangflykt.

Välj era strider tillsammans

Källa: Teoretisk fysiker med expertis inom kvantmaterial och internationella FoU-system (Nordita/UConn)

Före

Vi såg grafen både som plattform och affischnamn – ett material vars tillämpningar skulle skalas upp eller stanna av, beroende på kvalitet och användningsområde. Vi antog att nationella strategier fortfarande kunde påverka deeptech-utveckling, även i mindre länder.

Vad vi hörde

Landskapet splittras: inom vissa områden har grafen redan levererat – i lim, beläggningar och kompositer. Men inom andra, som halvledare, optik och magnetism, är det fortfarande en plattform för grundforskning. De flesta nya 2D-material är fortfarande outforskade. Deras potential ligger inte främst i enskilda produkter, utan i deras förmåga att möjliggöra fysiken bakom nästa generations teknologier – kvantdatorer, neuromorfiska system med mera. Den framtiden kan inte nås i ensamhet. Små länder som försöker på egen hand riskerar att bli irrelevanta. Internationella jättar rekryterar det bästa från hela världen. Norden måste göra detsamma. Samtidigt stöter kommersialisering av grundforskning ofta på hinder: forskare vill förbli forskare, men saknar stöd och flexibla strukturer för att testa idéer utan att riskera sin karriär. ”Skjutdörrarna” saknas – möjligheter att röra sig mellan akademi och entreprenörskap.

Efter

Vi zoomade ut. Flaskhalsen är inte bara teknisk – den är systemisk. Stöd till grundläggande 2D-forskning måste kombineras med institutionell smidighet och internationell samverkan. Utan det riskerar de bästa idéerna – och personerna bakom dem – att fastna på fel sida av dörren.

Hydrofob, hydrofil, hjälpsam

Källa: Nydisputerad doktor i materialvetenskap och energiutvinning (KTH)

Före

Vi tänkte på 2D-material främst utifrån deras elektroniska eller optiska egenskaper – bandgap, rörlighet, konduktivitet. Vi reflekterade inte lika mycket över hur grundläggande kemiska egenskaper, som hydrofobicitet, kan avgöra om materialet kan användas i tillverkning. Vi antog att 2D-forskning och prototyputveckling skedde i samma labb – eller åtminstone på samma våningsplan.

Vad vi hörde

Vissa material vill helt enkelt inte bli printade. Grafen, till exempel, är för hydrofob för vissa bläckbaserade tekniker. MXene, däremot, är hydrofilt – mycket lättare att blanda, skriva ut och bygga prototyper med. Det gör det mer lämpat för 3D-printade superkondensatorer på papper, tejp eller film. Men det har också sina begränsningar – MXene är instabilt i luft och oxiderar lätt. Varje material innebär en kompromiss. Samtidigt uppstod en bredare insikt: ingenjörer och materialforskare arbetar ofta sida vid sida, men inte tillsammans. Deras kulturer, tidshorisonter och incitament skiljer sig. För unga forskare kan den uppdelningen innebära att man arbetar i isolering – ensam, osäker på när eller hur man ska engagera sig i kommersialisering.

Efter

Vi uppdaterade vår bild av vad som räknas som en ”begränsande faktor” inom materialforskning. Ibland handlar det inte om prestanda utan om kemi – inte om hur ett material fungerar när det väl är integrerat, utan om det överhuvudtaget går att hantera. Och vi noterade en tystare designbrist: osynliga väggar mellan institutioner kan begränsa minst lika mycket som materialets egenskaper.

Någon var tvungen att säga ”ja”

Källa: Medgrundare av ett fotonikfokuserat grafen-spinoff från KTH

Före

Vi antog att de flesta startups uppstod genom en kombination av forskningsmognad och entreprenöriell drivkraft – att vetenskapen ledde vägen, och stödet kom i efterhand.

Vad vi hörde

Ibland är det stödet som gör vetenskapen till ett företag. Denna spinoff från KTH bygger på mer än ett decennium av forskning inom MEMS och integration av 2D-material för sensorer och fotonik. Den tekniska grunden var solid. Men det var först när SIO Grafen gav sitt stöd – två gånger – som teamet vågade ta steget. Denna medgrundare ser fältet som tudelat: materialcentrerat kontra halvledarcentrerat, med begränsad dialog mellan dem. Det spelar roll, eftersom potentiella spin-offs fastnar när de inte vet var de hör hemma. Han menar att KTH skulle kunna skapa fler kommersiella vägar – särskilt inom halvledarrelaterad 2D – om mer riktade strukturer fanns på plats. Jämfört med kvantteknologi har grafen högre teknologimognad (TRLs) och är mindre tvärvetenskapligt. Men flaskhalsen är likadan: risktagande och brobyggande.

Efter

Vi justerade vår bild av vad som verkligen sätter igång startups. Det handlar inte bara om mognad. Det handlar om tillåtelse. Någon måste säga ja, tidigt, för att idén ska kunna röra sig framåt. Och ju mer splittrat fältet är, desto tydligare, mer specifika och upprepade behöver dessa tidiga ja vara.

Från labb till lansering

Källa: Professor i materialvetenskap med erfarenhet från både akademisk forskning och teknisk kommersialisering

Före

Vi antog att starka forskningsresultat naturligt skulle leda till marknaden – att vetenskapliga framsteg drev innovation, och att forskarna själva skulle bli förkämpar för sina teknologier.

Vad vi hörde

De flesta teknologier fastnar i labbet – bara ett fåtal tar sig vidare. Ledande lim där 2D-material som MXene blandas med polymerer för att matcha lödprestanda, samt flexibla värmeledande substrat som är avgörande för värmehantering i framtidens elektronik – båda är redo för startup. Men det krävs mer än vetenskap för att nå dit. Det krävs strategiskt fokus. Finansiering bör riktas mot teknologier med kommersiell potential – inte bara vetenskaplig meritering. Den största flaskhalsen är entreprenörskap. Forskare leder sällan vägen. Kommersialisering kräver att rätt person tar stafettpinnen – ofta någon med affärsbakgrund, som ändå förstår tekniken och vågar ta steget. Även med rätt team på plats spelar omgivningen en avgörande roll. Ett ihållande gap i finansiering före seed-stadiet håller tillbaka framsteg – och samarbete, även om det är avgörande, är inte alltid lätt. Stora företag tenderar att vara hemlighetsfulla och riskaverta, och inom akademien fungerar partnerskap bäst när de är kompletterande snarare än konkurrerande.

Efter

Vetenskap säljer inte sig själv. Den verkliga vägen till påverkan ligger i fokus, översättning och team – inte bara data. För att få lovande resultat ut i verkligheten krävs strukturerat stöd, strategisk finansiering, entreprenöriell matchning och pre-seed-kapital som vågar ta risk.

Ett experiment i periferin

När vi tog oss an det här projektet hade vi en ganska vagt formulerad idé om att vi ville leta efter berättelser. För inspiration vände vi oss till Marie Granmar – vetenskapsjournalist med ingenjörsbakgrund som under många år skrivit för bland annat *Forskning & Framsteg*. Vi var nyfikna på vad som skulle hända om hon pratade med samma människor som vi själva mött – men med en annan vinkel. Vi såg samarbetet som ett avsiktligt experiment i projektets periferi. Och vi blev förtjusta över vad hon kom tillbaka med.

”Grafen har varit en ögonöppnare”

Bättre vattenrening, energisnålare elektronik och nya tvådimensionella supermaterial. Den Nobelprisbelönade upptäckten om materialet grafen är fortfarande viktig, även om utvecklingen går i nya riktningar. Så här ser tre forskare på framtiden för det hajpade materialet.

Förväntningarna har varit höga ända sedan forskningsgenombrottet för över 20 år sedan, som ledde till Nobelpris i fysik 2010. Allt har inte blivit som man först trodde, men forskningen på materialet grafen har öppnat många nya dörrar. Det menar tre forskare i Linköping, Stockholm och Uppsala.

– De supertunna skikten av kol, bara ett atomlager tjockt, som forskarna André Geim och Konstantin Novoselov tog fram var ett material med egenskaper som inga andra material hade. Det ledde till en boom av ny forskning, säger Biplab Sanyal, docent i fysik vid Uppsala universitet.

Han är en av de forskare som publicerat flest artiklar som rör grafen i Sverige mellan 2015 och 2024. Under den tiden har utman-



Av Marie Granmar

ingarna delvis skiftat. Mängder av olika grafenmaterial har framställts på kemisk väg, bland annat större grafenflagor för industriellt bruk.

Stora förhoppningar fanns i början om att grafen skulle ersätta kisel och revolutionera all möjlig elektronik. Men där är vi inte riktigt än, menar Biplab Sanyal och tillägger att det är vanligt att processer för att få fram nya tillämpningar tar tid – mellan fem och 50 år.

– Samtidigt har genombrottet med grafen varit viktigt för utvecklingen av den teoretiska materialfysiken. Vi har lärt oss väldigt mycket om den här typen av material, säger han.

Ett område som enligt Biplab Sanyal fått ett uppsving tack vare framstegen med grafen är supraledande material. Alltså material som leder el utan förluster, vilket efterfrågas i till exempel kvantdatorer, teknik för energilagring och medicinsk utrustning som magnetkameror.

De supraledande egenskaperna har observerats i grafen med två lager vridna i förhållande till varandra med en liten vinkel.

Över huvud taget har förståelsen av materialfysiken ökat, till exempel att det finns fler kvanttillstånd än man tidigare trott.

– Det har öppnats en helt ny värld av legobyggande i nanoskala, säger Biplab Sanyal.

Han kom från en post-doc i Kanada till Uppsala universitet år 2000, i samma veva som Ångströmlaboratoriet byggdes. Det var bra timing, och Biplab Sanyal upplevde att han bidrog med sina erfarenheter av forskning på legeringar (mix av metaller).

– Det var en vibrerande atmosfär här och en stor forskargrupp där många delade mina intressen. Så är det fortfarande och det är därför jag trivs så bra, säger han.

För närvarande är hans forskning till stor del inriktad på tvådimensionella magnetiska material. De kallas tvådimensionella eftersom de är supertunna och stabila i ett lager.

Ett mål för forskningen är att få fram material som gör mobiltelefoner mer energieffektiva. Det är viktigt i en tid då alltmer data hanteras av bärbara enheter. Det behövs mer datalagring och snabb trafik för till exempel sociala medier.

Bland annat studerar Biplab Sanyal material som baseras på järn, germanium och tellurium, som visat sig ha mycket goda magnetiska egenskaper. De är viktiga för så kallad spintronics, även kallad spinnlektronik. Där används inte bara elektroners laddning för att lagra eller överföra information, utan även elektroners spintillstånd. Framför allt är detta värdefullt i utvecklingen av nya datorminnen.

– Grafen kan hjälpa till även här, i kombination med andra material, säger Biplab Sanyal.

En bra egenskap med de tvådimensionella magnetiska materialen som han studerar är att de fungerar i rumstemperatur.

– Man kan ju inte bära omkring på ett kylskåp överallt, skämtar Biplab Sanyal.

Mycket är på gång, men det finns också många utmaningar kvar – som att få tillräckligt god kvalitet i materialen som tas fram, skala upp för industriell tillverkning, med mera.

Per Persson, professor i fysik på Linköpings universitet, menar att framstegen med grafen har varit viktiga för mycket annat än att ta fram tunna, starka skikt av kol. Grafen har varit en ögonöppnare, bland annat för det hans forskargrupp sysslar med – material som kallas MXener (uttalas "maxener").

MXener har likheter med grafen – de framställs som supertunna skikt, bara enstaka atomlager tjocka, och leder el och värme som metaller. De löser sig även väl i vatten, vilket är en förutsättning för många tillämpningar. MXener har även fördelen att de går att skräddarsy på många olika sätt.

– Grafen är ju rätt begränsat, eftersom det bara är kol, medan

MXener är tusen olika kombinationer av grundämnen. Det är bra, för ju mer man kan bygga materialet från grunden desto mer kan man använda det till, säger Per Persson.

Han har också publicerat artiklar om grafen, men arbetar i dag mest med andra tvådimensionella material. Bland annat har han varit med och visat hur man kan lösa upp MXener i enskilda flak.

– Den heliga gralen för all den här forskningen är att få fram material som är tåliga, men samtidigt har stor yta och låg vikt, säger Per Persson och ger en rad exempel på tillämpningar.

Supertunna, starka och elektriskt ledande MXener kan förbättra olika sorters energilagring – till exempel kondensatorer som gör det möjligt att återvinna bromsenergi från spårvagnar, hissar och lyftkranar. Ett annat exempel är nya formgjutna datorhöljen som avskärmar elektromagnetiska fält och är mycket smidigare än dagens plåtchassin.

Per Persson har under 30 år specialiserat sig på elektronmikroskopi och sett många fascinerande strukturer under luppen.

– Det går knappt en dag utan wow-känsla, när jag dyker in i prover uppförstorade en miljon gånger, säger han.

Tvådimensionella material är vackrare än andra, enligt Per Persson, eftersom det inte är så mycket som stör i bakgrunden och man ser olika effekter mer tydligt.

– Det vackraste är nog när vi värmer prover, atomer lägger sig till rätta, och strukturen stämmer med teorin, säger han.

Att Per Perssons forskning styrt in mer på andra tvådimensionella material än grafen beror dock inte bara på att de är intressanta. Han tycker att forskningen på grafen borde fortsätta, men för att bedriva forskning krävs också finansiering. Anslagen påverkar i hög grad vad forskare inriktar sig på.

För att forskningsresultat ska utmytna i nya produkter behövs

även företag som är riskvilliga och vill lyfta blicken mot horisonten. Det tycker han saknas i Sverige.

– Många är för försiktiga, och då riskerar de att missa nästa grej, säger Per Persson.

Utveckling som han tycker har tagit positiv fart är den inom grön energi och hållbarhet. Till exempel finns goda resultat när det gäller nya material för vattenrening. Då handlar det om så kallade endimensionella kolmaterial, som grafenoxid.

Satsningarna påverkas av FN:s globala hållbarhetsmål som många länder anammat. Ambitioner finns till exempel att undvika så kallade konfliktmetaller (då mineraler utvinns i länder med krig eller där mänskliga rättigheter kränks). Nya material anses också vara viktiga i omställningen mot mer grön energi, till exempel i solpaneler och batterier, och för att fler människor ska få rent vatten.

En forskare som studerat grafenoxid för vattenrening är Minna Hakkarainen, professor i polymerteknik på Kungliga tekniska högskolan (KTH) i Stockholm. Bland annat har hon deltagit i utvecklingen av en metod för filtrering av tungmetaller ur vatten.

Ett liknande membranmaterial har fått pris och kommersialiserats i Australien.

Minna Hakkarainen arbetar i dag mest med polymerer. Hon är i grunden kemist från Helsingfors universitet och kom till Stockholm 1992 som nordisk utbytesstudent. Hon uppmuntrades av sin finlandssvenska professor att söka stipendiet.

– Sedan blev jag kvar i Sverige, men har haft många samarbeten med forskare i Finland, säger hon.

Minna Hakkarainen håller med om att den första hajpen kring grafen har svalnat, men tror samtidigt att materialet kommer att ha fortsatt stor betydelse.

– Det finns god potential för olika tillämpningar, inte minst

inom polymerkompositer. Våldigt små mängder av grafenoxid kan förbättra mekaniska egenskaper, möjliggöra annars icke blandbara polymerer eller introducera helt nya egenskaper. Det kan till exempel handla om antibakteriella egenskaper, vilket är intressant för biomedicinska tillämpningar, säger hon.

Att grafen och grafenoxid kan bli viktiga inslag i många sammanhang framöver bedömer även forskningsinstitutet Rise. På sin blogg skriver de i en trendanalys i oktober 2024 att materialet har en betydande marknadstillväxt.

Enligt Graphene Global market report 2024 växte marknaden från 1,08 till 1,32 miljarder dollar mellan 2023 och 2024. Trenden förväntas fortsätta och nå 2,98 miljarder dollar 2028. En viktig drivkraft är att tillverkningen blivit mindre kostsam, tack vare nya produktionstekniker.

Ett av få företag i Sverige som tillverkar och säljer grafenbase-rade produkter är Graphmatech i Uppsala. Under det senaste året har de lanserat flera nya produkter. Bland annat ett nytt komposit-material som minskar läckage från vätgastankar, för vilket de fått 10 miljoner kronor i stöd från Energimyndigheten.

Kompositen med polyamid och grafen används som ett foder i tryckkärlen som används för transport och lagring. Fodret hindrar vätgasen att läcka ut, vilket är viktigt då gasen är klimatpåverkande.



Minna Hakkarainen



Per Persson



Biplab Sanyal

Att driva innovation

... handlar mer om att förstå helheten än att kunna alla detaljer. Men det är lätt att låta sig dras ner i tekniken ändå. Så blev det i San Sebastián, där vi snappade upp intryck från Graphene2025 – en konferens med 250 talare från hela världen. Vi hann bara skrapa på ytan, men det var mer än nog för att väcka vår nyfikenhet.

Vykort från San Sebastián

Av Hannes Eder

Det första som slog oss på "Graphene2025" var hur själva konferensnamnet tycks ha blivit ifrånsprunget av utvecklingen. Grafen må ha varit det material som satte fart på 2D-revolutionen, men nästan tjugo år efter Geim och Novoselovs banbrytande arbete är listan över atomtunna material närmast oöverskådlig. Det svällande släktträdet går – åtminstone schematiskt – att dela in i tre huvudkategorier: elementära material, föreningar och heterostrukturer.



Till de elementära materialen hör grafen (en utmärkt elektrisk ledare), fosforen (en halvledare) och hexagonalt bornitrid (hBN), som är elektriskt isolerande men värmeledande. Utöver dessa tre finns en rad andra monolager, såsom silicene, germanene och antimonene – ofta med mer experimentell karaktär.

Den andra gruppen, föreningar, domineras av de så kallade Transition Metal Dichalcogenides (TMDs) – kemiska föreningar med

formeln MX_2 , där M är en övergångsmetall (som molybden eller wolfram) och X ett kalkogen (svavel, selen eller tellur). Exempel inkluderar MoS_2 , WS_2 , MoSe_2 och WSe_2 . Till skillnad från grafen är TMD:er i grunden halvledande, vilket gör dem särskilt intressanta för tillämpningar inom elektronik, fotonik och sensorer.

Den tredje och kanske mest omtalade kategorin är heterostrukturer – material konstruerade genom att stapla olika 2D-lager på varandra. Eftersom lagren hålls samman av svaga van der Waals-krafter, snarare än kovalenta bindningar, kan de kombineras utan att förstöras strukturellt. Denna ”lego-liknande” metod möjliggör skräddarsydda materialegenskaper, och det är inte ovanligt att man i samma struktur kombinerar exempelvis ett ledande grafenlager med ett halvledande MoS_2 -lager och ett isolerande bornitridlager.

Det andra som snabbt blir tydligt är hur de möjliga tillämpningsområdena för 2D-material har expanderat kraftigt. För den som främst känner till affischnamnet grafen är det vanligt att associera till två tillämpningsspår. När materialet var som mest hajpat i kölvattnet av upptäckten, lyftes särskilt två egenskaper fram: dels den exceptionellt höga elektriska ledningsförmågan, som förutspåddes möjliggöra nästa generations miniatyriserade elektronik; dels den extrema mekaniska hållfastheten – grafen är ungefär 200 gånger starkare än stål per viktenhet – vilket antogs kunna förbättra egenskaperna hos traditionella kompositmaterial såsom gummi, betong och plast.

I viss mån har dessa två egenskaper också realiserats i praktiska tillämpningar. Grafen tillsätts idag i kommersiella kompositer för att förbättra elektrisk och termisk ledningsförmåga, och används exempelvis i värmeledande filmer, korrosionsskydd och viss sport-

utrustning. Inom elektronik har det däremot visat sig svårt att uppfylla de ursprungliga löften. Grafens avsaknad av bandgap har begränsat dess användning i logikkomponenter, där andra 2D-material som TMD:er visat större potential.

Samtidigt är det tydligt att vissa förhoppningar ännu inte infriats. Flera talare på Graphene2025 återkom till det faktum att tillgången på grafenpulver idag vida överstiger den industriella efterfrågan. Produktionen har skalats upp snabbare än marknaden, vilket speglar ett klassiskt mönster i utvecklingen av nya material: potentialen är tydlig, men vägen till bred kommersialisering är ofta längre och krokigare än initialt förväntat.

Detta är dock inte hela bilden. I ett av de mer industrinära anförandena framhöll Sainathan Nagarathanam från Tata Steel att deras största hinder för att nå TRL 9 i sina utvecklingsprojekt inte var bristande tillämpningsidéer eller tekniska barriärer – utan just tillgången till grafen av tillräcklig kvalitet. Enligt honom är det fortfarande svårt att hitta leverantörer som kan erbjuda grafenpulver i större kvantiteter med tillräcklig och reproducerbar materialspecifikation. Detta motsägelserfulla läge – där vissa aktörer brottas med överskott och andra med brist – vittnar om att marknaden ännu inte är mogen, och att standardisering, certifiering och leveranskedjor alltjämt är stora flaskhalsar.

Det är alltså inte bristen på grafen i sig som är problemet, utan bristen på standardiserat, kvalitetssäkrat grafen i industriellt relevanta volymer. Samtidigt visade några presentationer på alternativa spår, där hållbarhet snarare än prestanda stod i centrum. Hjalmar Granberg från RISE AB presenterade ett projekt där man med hjälp av laser omvandlar lignocellulosa – alltså biomassa från trä och växter – till ett ledande grafenliknande material. Det är en metod som

sticker ut genom sin låga miljöpåverkan, sitt cirkulära tänkande och möjligheten till lokal tillverkning. Om det är en lösning på ett verkligt problem återstår att se – men det påminner om att 2D-material inte bara behöver vara high-tech, utan också kan kopplas till bioekonomi och hållbar produktion.

Om grafen ursprungligen lanserades som ett universal-material, antydde konferensens program ett tydligt skifte i riktning mot mer applikationsdriven och materialspecifik forskning. Flera presentationer utgick från specifika tillämpningsområden snarare än från materialens egenskaper i sig, och det var tydligt att 2D-material numeras som en verktygslåda snarare än ett enskilt teknologiskt genombrott.

Ett område som fick stort utrymme var optoelektronik, där särskilt TMD:er (som MoS_2 och WSe_2) visade framfötterna som ljuskänsliga halvledare med stor potential inom fotodetektion, IR-sensorik och modulära fotoniska kretsar.

Ett särskilt uppseendeväckande inslag var presentationen av Valentyn S. Volkov, medgrundare till det Dubai-baserade företaget XPANCEO, som utvecklar multifunktionella smarta kontaktlinser baserade på 2D-material. Volkov är en etablerad forskare med ett h-index på ca 43 och över 10 000 citeringar, och bolaget har redan publicerat resultat i *Nature Communications* (2023), vilket vittnar om en stark vetenskaplig förankring. I XPANCEO:s vetenskapliga rådgivning och styrelse återfinns bland andra nobelpristagaren Konstantin Novoselov, en av grafenets upptäckare.

Företaget, som grundades 2019, har hittills tagit in cirka 40 miljoner dollar i riskkapital och kunde under konferensen visa prototyper av sina kontaktlinser, där flera futuristiska funktioner kombineras i ett bärbart format:

- biosensorik, exempelvis mätning av hornhinnetryck och andra biomarkörer
- korrigerande av färgblindhet
- förmåga att se i det infraröda spektrumet
- gränssnittsstyrning via ögonrörelser
- och – möjligen mest visionärt – optisk zoom integrerad i linsens yta.

Flera av dessa funktioner demonstrerades i rudimentär form under konferensen, men som Volkov själv betonade i ett privat samtal efter sin presentation befinner sig teknologin fortfarande på en låg TRL. Den första kommersiella produkten är planerad till slutet av 2026, men mycket av den mest spektakulära funktionaliteten ligger enligt honom själv fortfarande långt in i framtiden. I det ljuset var känslan av science fiction kanske inte missvisande.

Det mest slående är kanske inte enskilda funktioner, utan det faktum att linserna redan i dagens prototyper kombinerar över femtio olika 2D-material – en siffra som enligt Volkov växer i takt med att nya funktionella lager tillkommer. Det vittnar om ett paradigmskifte inom fotonik och materialintegration, där 2D-materialens modulära karaktär gör det möjligt att skräddarsy optiska, elektriska och kemiska egenskaper på mikronivå.

I förlängningen av den växande skaran 2D-material som lämpar sig för fotonik finner man tillämpningar med märkliga namn som *valleytronik* och *twistronik*.

Den förra är ett forskningsfält där information kodas i de så kallade *valleys* – lokala energiminima i ett materials bandstruktur – vilka kan manipuleras med hjälp av cirkulärt polariserat ljus eller elektriska fält. Monolagers TMD:er som MoS_2 och WSe_2 har visat sig särskilt

lovande för detta ändamål, eftersom deras bandstruktur tillåter selektiv excitonexcitation i specifika valleys, vilket öppnar för en ny typ av optoelektronisk kodning utöver laddning och spinn.

Twistroniken, å sin sida, bygger på ett till synes enkelt men effektivt koncept: att rotera två atomlager i förhållande till varandra med en liten vinkel – ofta under två grader. Denna *magic angle* rotation kan ge upphov till helt nya elektroniska fenomen, som supraledning eller Mott-isolering, genom att skapa en moiré-superstruktur i det resulterande materialet. Även om twistroniken till en början var mest förknippad med grafen-grafen-kombinationer, pågår idag intensiv forskning om hur även andra 2D-material – inklusive TMD:er och hBN – kan användas i vridna heterostrukturer för att realisera kvanttillstånd med specifika optiska eller elektriska egenskaper.

Båda dessa fält befinner sig ännu i huvudsak på grundforskningsnivå, men flera talare på konferensen betonade deras långsiktiga potential – inte minst inom kvantinformation, fotonik och avancerade sensorsystem.

En mer jordnära tillämpning som snart verkar kunna dyka upp i kommande generationers elbilar och mobiltelefoner är så kallade superkapacitorer. Till skillnad från vanliga batterier, som lagrar energi genom kemiska reaktioner, lagrar superkapacitorer energi elektrostatisk – alltså i form av en laddningsfördelning mellan två elektroder. Detta gör att de kan laddas och laddas ur på bråkdelen av en sekund, har en mycket längre livslängd (upp till hundratusentals cykler), och fungerar bättre vid extrem kyla. I teorin skulle superkapacitorer därför kunna ersätta eller komplettera dagens batterier i tillämpningar där snabb laddning, hög effekt och lång hållbarhet är viktigare än maximal energitäthet – till exempel i wearables, start-stop-system i bilar, eller nästa generations mobiltelefoner.

Teknologin har länge varit föremål för intensiv forskning, men har haft svårt att nå utbredd kommersiell användning, dels på grund av begränsad energidensitet, dels för att tillverkningsprocesserna varit svåra att skala upp. Det är här 2D-material – med sina extremt höga yta-till-volym-förhållanden och goda ledningsförmåga – kommer in i bilden som en potentiell game-changer.

Flera forskargrupper runt om i världen undersöker nu hur dessa material kan användas för att skapa nästa generations superkapacitorer, men i många fall befinner sig arbetet fortfarande på laboratorienivå. Ett undantag är det internationella projektet RiC2D, som presenterades av professor Hassan Arafat från Khalifa University i Förenade Arabemiraten. Projektet sticker ut genom att ha tagit konkreta steg mot industriell tillämpning, och illustrerar hur långt fältet faktiskt har kommit på kort tid.

I RiC2D utvecklar man en teknik för att framställa mikrosuperkapacitorer med hjälp av Electrohydrodynamic (EHD) printing – en metod där bläck baserade på 2D-material som grafen, MXener och kolnanorör skrivs ut med mikronprecision för att bygga upp porösa elektrodstrukturer lager för lager. Den stora fördelen med tekniken är att man kan skapa mycket tunna, men samtidigt extremt ytrika elektroder, vilket är avgörande för att lagra så mycket laddning som möjligt på liten yta.

I tidigare studier har projektet rapporterat en arealkapacitans på upp till $1\,450\text{ mF/cm}^2$ – en till två tiopotenser högre än vad som är vanligt i dagens kommersiella mikrosuperkapacitorer. Det innebär i praktiken mer energi per kvadratmillimeter – något som öppnar för tillämpningar där varje millimeter räknas, som i bärbar elektronik eller inbyggda sensorsystem.

Även om TRL-nivån inte angavs uttryckligen i presentationen,

var intrycket att detta sannolikt var ett av de projekt som kommit längst mot faktisk implementering. Tekniken hade demonstrerats i relevanta miljöer, och forskarna beskrev en tydlig väg mot produktionssättning. Det är ännu för tidigt att tala om bred industriell lansering, men RiC2D illustrerar hur långt 2D-materialforskningen har kommit från labbskala mot verkliga tillämpningar – inte minst inom energilagring, där behovet av snabba, tåliga och småskaliga lösningar fortsätter att växa.

Uppräkningen av futuristiska tillämpningsområden skulle kunna fortsätta – från vattenrening och miljösensorik, till kvantoptiska kretsar och atomtunna batterikomponenter – men jag väljer att avsluta med en observation av hur 2D-material, mer än på något annat vis, kan komma att förändra människans livsvillkor. Jag tänker på det framväxande området bioelektronik, och då särskilt neurala gränssnitt.

Vet man något om detta så tänker man förmodligen framför allt på Elon Musks företag Neuralink, som fått mycket medial uppmärksamhet för sina ambitioner att koppla samman hjärnan med datorer via implanterade trådar och chip. I själva verket är Neuralink bara en av flera aktörer inom området – och under Graphene2025 presenterades ett alternativ som både vetenskapligt och teknologiskt tycktes betydligt mer jordnära: det spanska företaget INBRAIN Neuroelectronics.

INBRAIN är en spin-off från det europeiska Graphene Flagship-programmet och utvecklar grafenbaserade elektroder för hjärnimplantat – extremt tunna, flexibla och konduktiva filmer som kan placeras direkt mot hjärnvävnad med minimal vävnadspåverkan. Till skillnad från många konventionella implantatmaterial, som bygger på metaller eller polymerer, utnyttjar INBRAIN grafenets kombina-

tion av mekanisk följsamhet, elektrisk ledningsförmåga och biokompatibilitet. Företaget har redan genomfört en första klinisk implantationsstudie och planerar nu vidare tillämpningar inom behandling av neurologiska sjukdomar som Parkinsons, epilepsi och demens.

Att använda grafen i kroppen väcker naturligtvis frågor om toxicitet och biologisk nedbrytbarhet, men här har forskningen tagit tydliga steg framåt. Bland annat har Bengt Fadeel och hans grupp vid Karolinska Institutet visat att grafenoxid – beroende på struktur och funktionalisering – kan brytas ned av kroppens immunförsvar och att materialet i flera former är mindre cytotoxiskt än till exempel kolnanorör. Sammantaget talar mycket för att grafen, rätt utformat, kan bli ett långsiktigt hållbart material även i medicinska sammanhang.

Några av de mest insiktsfulla reflektionerna kom kanske inte från scenen, utan i samtal vid kaffebord. Andrew Strudwick från GEIC – Graphene Engineering Innovation Centre i Manchester – berättade att deras anläggning har utmärkta rulle-till-rulle-kapaciteter för CVD-produktion, men att de inte arbetar med epitaxi. Ironiskt nog är det just epitaxi som Strudwick själv doktorerat på – och enligt honom ligger Sverige i absolut framkant inom området.

Detta öppnar för en mer nyanserad karta än den vanliga uppdelningen i pulverkompositer kontra elektronik. Inom just elektronik antyder spänningen mellan CVD och epitaxi att det finns flera teknologiska vägar, med olika krav på kristallstruktur, substratintegration och materialspecifikation. Och det är i detta spänningsfält som de längre linjerna i materialhistorien blir synliga.

Epitaxi är ingen ny teknik – och detsamma gäller flera av de material som nu räknas till 2D-familjen. TMD:er som MoS₂ användes i bulkform långt innan de blev monolager-sensationer. Även

MXener-materialen har sitt ursprung i MAX-faser som började studeras redan på 1990-talet. Den nya vågen handlar alltså inte bara om att upptäcka något nytt, utan om att skala ned, strukturera om och ibland återupptäcka vad man redan hade. Kanske är det just denna blandning av kontinuitet och förskjutning som gör 2D-materialens utveckling så svår att placera i ett givet fack.

Avslutningsvis noterades ett skifte i ton och representation. Könnsbalansen bland talarna framstod spontant som bättre än vid många jämförbara konferenser inom fysik och materialvetenskap – en observation som också delades av den franska fysikern Annick Loiseau, en av pionjärerna bakom Graphene Flagship och en central gestalt i fältets utveckling. I ett samtal vid sidan av scenen spekulerade hon i att EU:s långvariga jämställdhetsarbete inom forskningsfinansiering nu möjligen börjar ge resultat, åtminstone i form av en något mer blandad sammansättning bland yngre forskare.

En genomgång av programmet visade att cirka 20 % av talarna var kvinnor – fortfarande långt från jämställt, men ändå högre än genomsnittet i många av de discipliner som 2D-materialforskningen vilar på. Särskilt doktorandpresentationerna utmärkte sig genom en jämnare fördelning, vilket tyder på en gradvis förändring. Bland de inbjudna keynote-talare var kvinnor däremot fortfarande kraftigt underrepresenterade.

Siffror säger förstås bara en del av sanningen. Men intrycket kvarstod: samtalen kändes ovanligt generösa, återhållna och reflekterande. Kanske bidrog en större mångfald i rummet till just detta. För arrangörer, finansiärer och forskningsledare innebär det inte bara ett ansvar – utan också en möjlighet: att forma kulturen i ett forskningsfält som fortfarande är i färd med att hitta sin form.