

# Grafen i den cirkulära ekonomin

Andreas Hanning och Klas Cullbrand

Chalmers Industriteknik

januari 2021

Med stöd från

**VINNOVA**  
Sveriges innovationsmyndighet

**Energimyndigheten**

**FORMAS**

Strategiska  
innovations-  
program

## Introduktion

Denna rapport fokuserar på utmaningar och möjligheter för grafen som en del av den cirkulära ekonomin.

Dagens ekonomi är till största del baserat på en linjär modell. Denna linjära modell bygger på att råvaror utvinns från naturen och leds genom ett antal steg till antingen energiåtervinning där materialet eldas upp, eller deponi där det som inte kan brännas upp deponeras. Detta linjära system kan inte fortgå på en planet med fysiska gränser, varför framtidens ekonomi måste ställas om till en cirkulär modell. I en cirkulär ekonomi cirkulerar material så långt det är möjligt innan energiåtervinning eller deponi blir aktuellt.

Från den nyligen släppta rapporten ”Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige” är regeringens vision och mål följande<sup>1</sup>:

Vision: Ett samhälle där resurser används effektivt i giffria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material.

Övergripande mål: Omställningen till en cirkulär ekonomi ska bidra till att nå miljö- och klimatmålen, samt de globala målen i Agenda 2030.

Dagens samhälle uppskattas vara 8,6 % cirkulärt<sup>2</sup>, vilket är långt ifrån visionen i regeringens strategi för cirkulär omställning. Det är därför viktigt att undersöka var det finns möjligheter att gå från en linjär ekonomi till en cirkulär ekonomi inom alla områden i samhället, både inom etablerade system och tekniker, såväl som inom nya.

Med ett nytt material som grafen finns det stora möjligheter att redan i designfasen bygga förståelse för hur produkter innehållande grafen ska återtillverkas och återvinnas. Det grafen som tillförs produkter kan bidra både till förbättrade möjligheter till återvinning, men tillförandet av grafen kan också leda till att göra det svårare att återvinna produkter innehållande grafen.

I denna rapport återfinns en sammanställning av var grafenutvecklingen står idag, kopplat till både linjär och cirkulär ekonomi. Vi visar var fokus ligger i dagsläget, vilka utmaningar och möjligheter som föreligger och var det finns utvecklingspotential att gå från en linjär ekonomi till en cirkulär ekonomi.

---

<sup>1</sup> ”Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige”, Miljödepartementet (2020).

<https://www.regeringen.se/informationsmaterial/2020/07/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige/> hämtad 2020-08-04

<sup>2</sup> ”THE CIRCULARITY GAP REPORT 2020”, Circle Economy (2020), <https://www.circularity-gap.world/2020> hämtad 2020-08-04

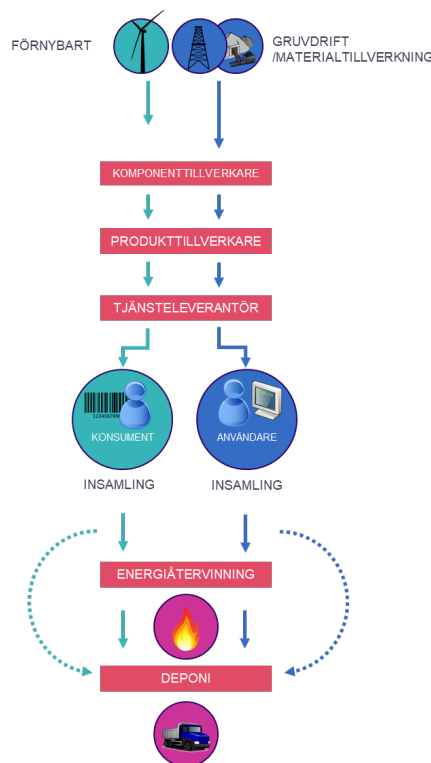
## Innehåll

Innehåll.....	2
Linjär och cirkulär ekonomi.....	3
Linjär ekonomi .....	4
Cirkulär ekonomi.....	4
Grafen och cirkulär ekonomi .....	7
Fokusera på tigha loopar .....	7
Grafen kan ersätta sällsynta ämnen.....	8
Cirkulär design viktigt för grafenprodukter .....	9
Förnybart kol nyckel till framtida grafentillverkning i en cirkulär ekonomi .....	10
Patent inom grafen och cirkulär ekonomi .....	11
Sammanfattning.....	12
Möjligheter.....	12
Utmaningar .....	12

## Linjär och cirkulär ekonomi

Den cirkulära ekonomin är en utvidgad version av dagens linjära ekonomi. Här förklarar vi skillnaden mellan de båda perspektiven.

Det finns ett antal gemensamma delar som är centrala för både den linjära och den cirkulära ekonomin. De kan illustreras i figur 1 där den linjära ekonomin visas. I den linjära ekonomin påbörjar ett material sin resa som ett råvaruuttag från ändliga eller förnybara källor. Dessa material förädlas sedan av komponenttillverkare, vidare till produkttillverkare och sedan vidare till tjänsteleverantörer. Därefter används produkten, för att sedan gå vidare till energiåtervinning (tex förbränning med el och/eller fjärrvärme som resultat) och till sist deponeras det som inte går att energiåtervinna.



Figur 1: Schematisk bild över den linjära ekonomin. Baserad på "The circular economy butterfly model"<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Circular Economy System Diagram (ellenmacarthurfoundation.org)

## Linjär ekonomi

I den linjära ekonomin är några punkter värda att belysa extra, materialuttaget, samt "end-of-life"-lösningarna. Den linjära ekonomin brukar ofta benämnas med "take-make-waste". Just "take" och "waste" är de två områden där den linjära ekonomin utmärker sig gentemot den cirkulära ekonomin. Den linjära ekonomin bygger på att nya råvaror tas från naturen. Antingen i form av ändliga resurser genom tex gruvdrift, eller genom förnybara resurser. I båda dessa fallen handlar det om nya material som tillförs ekonomin.

### Energiåtervinning

Förenklat sett, så sker i den linjära ekonomin ingen återvinning av varken hela produkter eller material. Dock sker mer eller mindre återvinning inom de flesta system, men i majoriteten av alla dagens flöden är det den linjära ekonomin som är normen, då bara 8,6 % av ekonomin uppskattas vara cirkulär<sup>4</sup>. Genom energiåtervinning så förbränns hela produkter eller deras ingående material. I den bästa av världar ger denna förbränning värme som används till el och/eller fjärrvärme, men det finns givetvis också exempel där avfall bränns upp utan någon återvinning av den energi som utvinns vid förbränningen. I denna fas finns det en

viss koppling till den cirkulära ekonomin i att förnybara material som förbränns återbildar biobaserad koldioxid till luften, vilket kan ses som en del i ett cirkulärt flöde.

### Deponi

Det material som blir kvar efter förbränning, eller de material som inte kan förbrännas av olika anledningar hamnar på deponi.

## Cirkulär ekonomi

Den cirkulära ekonomin delar alla steg som den linjära ekonomin består av. Skillnaden dem emellan är att i den cirkulära ekonomin så läggs vikten på återförande av produkter och material i en eller flera cirkulära loopar, för att minimera förlusten av material som sker vid energiåtervinning och deponering. En viktig grundpelare i den cirkulära ekonomin är också att designa produkter på ett sådant sätt att skadliga eller sällsynta ämnen minimeras i produkten. Det finns flera

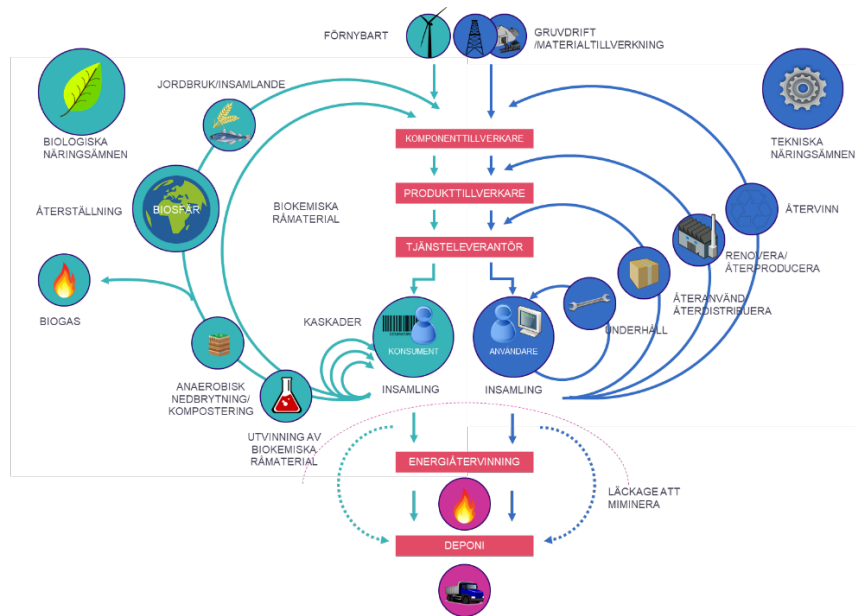
---

<sup>4</sup> "THE CIRCULARITY GAP REPORT 2020", Circle Economy (2020), <https://www.circularity-gap.world/2020> hämtad 2020-08-04

definitioner av cirkulär ekonomi, men en vanligt förekommande är definitionen från Ellen MacArthur Foundation:

En cirkulär ekonomi är baserad på principer av att designa bort avfall och utsläpp, fortsätta att använda produkter och material, samt återställa naturen och ekosystem.<sup>5</sup> samt återställa naturen och ekosystem.<sup>6</sup>

Inom den cirkulära ekonomin genomförs aktiviteter som återför produkter och material för att förlänga livslängden på dessa. Figuren nedan visar den så kallade "fjärilsmodellen – the circular economy butterfly model" som identifierar ett antal grundläggande delar av den cirkulära ekonomin.



Figur 2: "Fjärilsmodellen" för cirkulär ekonomi. Baserad på "The circular economy butterfly model"<sup>7</sup>

I den cirkulära ekonomin är tanken att produkter och material återförs till användnings- eller tillverkningsfaserna, genom cirkulära loopar. På den högra sidan av fjärilsdiagrammet återfinns de loopar som sker inom det tekniska systemet och på den vänstra sidan återfinns de loopar som kopplar till det biologiska kretsloppet. I de flesta fall går det att förutsätta att produkters värde minskar ju större (eller längre) loop som används. Det betyder att för att bibehålla så högt produktvärde som möjligt, så ska tigha loopar användas i första hand och därefter arbeta sig utåt i

<sup>5</sup> Ellen MacArthur Foundation, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

<sup>6</sup> Ellen MacArthur Foundation, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

<sup>7</sup> Circular Economy System Diagram (ellenmacarthurfoundation.org)

kaskader, innan produkterna bryts ned i beståndsdelar för att återvinna ingående material och ämnen.

### **Dematerialisering och transmateralisering**

Två viktiga koncept inom cirkulär ekonomi som kopplar både till den linjära, såväl som till den cirkulära ekonomin, är dematerialisering och transmateralisering. Dematerialisering, eller materialsubstitution, innebär att man minskar mängden material i en produkt, men samtidigt erbjuder en likvärdig produkt eller resultat. Transmateralisering, eller materialbyte, innebär att skadliga eller sällsynta ämnen byts ut till mindre skadliga eller mer vanligt förekommande ämnen. Dematerialisering sker i de olika leden inom produktionen, från komponenttillverkning till tillverkning av produkter. Transmateraliseringen kan ske från materialuttaget från litosfären (marken) och biosfären (naturen) vidare genom varje steg i tillverkningsprocesserna. Det kan också ske genom de olika stegen i den cirkulära ekonomin, där ämnen kan bytas ut i produkter tex vid uppgradering eller återproduktion av produkterna, då giftiga ämnen eller sällsynta resurser ersätts med mindre giftiga och mer vanliga ämnen.

### **Underhåll**

Underhåll fokuserar på service och underhåll av produkter som finns i aktiv tjänst. Det ser olika ut beroende på produkt, men för till exempel en bil handlar det om regelbundna besök på verkstad för service, såväl som utbyte av delar som gått sönder. Underhåll är ett sätt förlänga livslängden på produkter, vilket leder till lägre materialåtgång.

### **Återanvändning och återdistribution**

Återanvändning av produkter kan komma i olika former. Dels kan det handla om en ny användare eller ägare, då en produkt helt enkelt byter ägarskap. Men det kan också baseras på en leasingmodell där produkten i fråga hyrs eller leasas från ett företag (eller privatpersoner).

### **Renovering och återproduktion**

Efter slutet på en definierad användningsfas kan en produkt komma att renoveras och rekonditioneras för att åter bli satt på marknaden. I fallet med en bil går det även att lyfta den renovering och även återtillverkning som sker av använda komponenter som i sin tur kan användas som reservdelar vid underhåll men även vid nytillverkning.

### **Återvinning**

Det sista steget fokuserar på återvinning av ingående material, som blir till ny råvara för att användas på nytt vid tillverkning av nya produkter. Det finns "grader" av återvinning som kan definieras med "likvärdig som innan", "upcycling", samt "downcycling".

## Grafen och cirkulär ekonomi

I artikeln "Graphene: the hype versus commercial reality"<sup>8</sup> lyfts milstolpar som nåtts i grafenutvecklingen med perspektiv framåt. I rapporten förmodas "full commercial adoption" omkring 2025 och då lyfts speciellt att grafen blir "standard"-additiv till kompositier, gummi, plaster, färger m.m. Mot slutet av årtiondet kommer grafen ersätta material inom många branscher tack vare förbättrade egenskaper.

I artikeln "Graphene is on track to deliver on its promises"<sup>9</sup> identifieras vilken typ av branscher som grafen kommer återfinnas inom omkring 2025. Där identifieras fyra stora grupper som energi (batterier, superkondensatorer); kompositier, ledande filmer och bläck; elektronik, fotonik och sensorer; samt R&D. I denna artikel lyfts tex superkondensatorer och batterier som tekniker som kommer generera både stor vinst och vara segment som kommer växa snabbt. Just superkondensatorer har redan visat exempel på delar i den cirkulära ekonomin, där återvunnen grafen från dessa superkondensatorer har använts som additiv i plast. I detta fall handlar det om återvinning av grafen för att lyfta in i nya produkter, där den yttersta loopan återvinning används, för att återföra grafen till komponenttillverkare.

### Fokusera på tigha loopar

För att bevara värde mellan olika kaskader i de cirkulära looparna, så finns det goda skäl att fundera över ifall det går att loopa tightare, dvs i första hand arbeta med underhåll, i andra hand återanvändning, sedan reovering och i sista led materialåtervinning för framtida grafenprodukter. Här finns det alltså möjlighet att fundera på vilka steg som kan tas tidigare. Exempel finns där batterier som används inom transporttillämpningar (batterier i bussar) återanvänds inom områden där hastigheten på energiöverföringen inte är lika viktig<sup>10</sup>. Detta är ett tydligt exempel på att i första hand underhålla batterierna inom dess första användningsfas, men då kvaliteten på produkten inte uppfyller kraven inom det första användningsområdet återanvända dem inom ett annat användningsområde. Detta skulle kunna fungera även för superkondensatorer eller batterier innehållande grafen, där ett nedtrappande förhållningssätt bidrar till att bibehålla produktens integritet längre, vilket bibehåller ett högt värde så länge som möjligt. Här är det dock viktigt att göra avvägningar och undersöka var break-even sker mellan återtillverkning och materialåtervinning vilket kräver grundliga undersökningar och studier. Studier av denna typ finns inom cirkulär ekonomi-forskning, men inga studier av detta slag med fokus på grafen har hittats i arbetet med denna rapport.

---

<sup>8</sup> Graphene: the hype versus commercial reality (Barkan, T, 2019), Nature Nanotechnology 14(10)

<sup>9</sup> Graphene is on track to deliver on its promises (Reiss et al, 2019), Nature Nanotechnology 14(10)

<sup>10</sup> <https://www.johannebergsciencepark.com/projekt/energilager-i-brf-viva>



## Grafen kan ersätta sällsynta ämnen

Enligt studien “Review of environmental life cycle assessment studies of graphene production”<sup>11</sup> har grafen sina mest lovande applikationer inom elektronik, där grafen tex har föreslagits som halvledarmaterial att ersätta kisel, men också som ersättning av ITO (indiumtennoxid, där indium är ett sällsynt material) i skärmar i tex mobiltelefoner. Andra områden som lyfts är som kompositmaterial för att öka materialstyrka och elektriska egenskaper. Ytterligare exempel som lyfts i artikeln är korrosionsskydd, flamskyddsmedel, inom bränsleceller, kondensatorer samt som biosensorer.

Andra exempel som lyfts i intervjuer under arbetet med denna rapport, är grafen som additiv till bland annat betong, i olika plaster, eller tex i färg. I dessa exempel är det ökad materialstyrka som ökad slitstyrka eller motståndskraft mot rörelser som är de primära skälen till inblandningen av grafen. Dessa är exempel på där grafen ersätter andra material, som i fallet med betong där grafen är tänkt att ersätta traditionell armering, för att både öka materialstyrka och minska vikten hos den färdiga produkten.

I exemplet där grafen ersätter kisel som halvledarmaterial byts ett, om än vanligt förekommande ämne som kisel, ut mot grafen vilket gör att bytet sker till ett ännu mer vanligt förekommande ämne. Detsamma gäller i exemplet där indium i skärmar byts mot grafen, då är det ett ämne som är sällsynt som byts ut mot mer vanligt förekommande kol i form av grafen. Även i fallen där grafen är tänkt att användas som korrosionsskydd, tex där krom ersätts, och i fallet där grafen ska användas som flamskyddsmedel, så är det transmaterialisering som är aktuellt att diskutera.

I fallet med betong, där grafen är tänkt att ersätta traditionell armering, så är det både transmaterialisering (järn byts mot kol) och dematerialisering (tyngre material byts mot lättare med bibehållen funktion) som är aktuellt. Här ersätter grafen både cement och armering, vilket bidrar till minskade utsläpp av koldioxid vid cementtillverkning, såväl som minskat behov av järn.

---

<sup>11</sup> Review of environmental life cycle assessment studies of graphene production, Arvidsson, R. (2017), Advanced Materials Letters 8(3), 187-195

## Cirkulär design viktigt för grafenprodukter

I artikeln "Graphene is on track to deliver on its promises"<sup>12</sup> nämns en mycket viktig aspekt för den cirkulära ekonomin:

*"However, if producers want to stay in the market they must build trust for reproducible and fully characterized materials..."<sup>13</sup>*

Detta harmoniserar väl med det pågående arbete som sker inom EU med så kallade "digitala produktpass", där produkter loggas och deras innehåll kan följas för att

underlätta återvinning. Detta genom att redan från designfasen identifiera hur produkterna är uppbyggda, samt i denna fas minimera skadliga ämnen och logga detta i ett digitalt produktpass som följer med produkten. Detta förslag återfinns i EU:s handlingsplan för den cirkulära ekonomin, "En ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin – För ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa"<sup>14</sup>. I EU:s handlingsplan identifieras ett antal viktiga produktvärdekedjor som är grundläggande för den cirkulära ekonomin: "Elektronik och IKT", "Batterier och fordon", "Förpackningar", "Plast", "Textilier", "Byggnader och byggnader", "Livsmedel, vatten och näringsämnen". Nästan alla viktiga produktvärdekedjor för den cirkulära ekonomin är områden där grafen har identifierats att ha stora möjligheter att bidra. Från artikeln "Graphene is on track to deliver on its promises"<sup>15</sup> ser vi att det är just elektronik, batterier, fordonsindustrin och kompositmaterial som ser stora möjligheter till 2025. Även området "livsmedel, vatten och näringsämnen" berörs av grafen, då vattenfiltrering också identifieras som ett område med stor potential för grafen.

Men här är det viktigt att belysa vikten av att tillverka produkter innehållande grafen på ett sätt som minskar påverkan på miljön. Då handlar det om att designa för återbruk och återtillverkning redan i designfasen. I frågan om design, så är en generell åsikt att miljöaspekter ska beaktas så tidigt som möjligt i designprocessen, då det fortfarande finns rum för designförändringar. Dock är det svårt att utföra livscykelanalyser tidigt i produktutvecklingen, vilket brukar kallas "designparadoxen".<sup>16</sup>

Viktigt att notera här är att byte från sållsynta och eller giftiga ämnen till grafen, bör bidra till en minskad påverkan på miljön. Att byta från tunga material, som

---

<sup>12</sup> Graphene is on track to deliver on its promises (Reiss et al, 2019), Nature Nanotechnology 14(10)

<sup>13</sup> Graphene is on track to deliver on its promises (Reiss et al, 2019), Nature Nanotechnology 14(10)

<sup>14</sup> En ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin – För ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa (EU-kommissionen, 2020), <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>

<sup>15</sup> Graphene is on track to deliver on its promises (Reiss et al, 2019), Nature Nanotechnology 14(10)

<sup>16</sup> Circular economy and its impact on use of natural resources and the environment (Tillman et al, 2020). Kapitel i kommande boken "Resource-Efficient and Effective Solutions – A handbook on how to develop and provide them". Chalmers tekniska högskola, Institutionen för teknikens ekonomi och organisation, avdelningen för miljösystemanalys, rapport 2020:1.

armeringsjärn till lätta material som grafen, bidrar till att både transmaterialisera och dematerialisera. Att i designfasen också förstå hur en produkt ska återtillverkas och återvinnas, bidrar till att minska dess påverkan. Det är då viktigt att förstå ifall det grafen som tillförs produkten bidrar till dessa möjligheter, eller om tillförandet av grafen leder till att göra det svårare att återvinna. Här är det också viktigt att fundera på ifall grafen som additiv försvårar återvinningen av plaster. Här finns stora behov av ytterligare studier.

## **Förnybart kol nyckel till framtida grafentillverkning i en cirkulär ekonomi**

Grafen har visat sig att kunna ersätta en stor mängd sällsynta grundämnen. Här finns det stor potential att byta från ändliga resurser i små mängder, till förnybara flöden av kol från biomassa. I artikeln "Carbon nanomaterials as potential substitutes for scarce metals"<sup>17</sup> undersöks om grafen kan ersätta material som finns i små mängder i jordskorpan. I denna studie undersöktes ifall grafen kan ersätta 14 olika sällsynta grundämnen i deras huvudsakliga användningsområden. För 13 av dessa ämnen fanns det exempel där grafen kan ersätta dessa, det var enbart guld för användning inom smyckestillverkning som inte fick en ersättning med grafen.

I artikeln ovan nämndes också ett viktigt perspektiv i hur vi använder sällsynta metaller:

*For example, while a circuit board in the 1980s typically used 11 elements, this increased to 15 in the 1990s and to 60 in the 2000s.*

Det är en utveckling som på sikt inte är hållbar, utan systemet måste röra sig mot ämnen med större tillgänglighet, helst med förnybara flöden. Enligt artikeln ovan så kommer det alltid infinna sig problem i en ekonomi som är baserad på ett stort utnyttjande av sällsynta ämnen. Därför argumenterar de för transmaterialisering bort från sällsynta ämnen till flöden av förnybara ämnen – där grafen baserat på biologiskt kol kommer vara grunden för framtidens grafenmarknad.

Bara för att en viss del sällsynta resurser ersätts av grafen, så innebär det inte att det per automatik blir en bättre produkt utifrån ett cirkulärt perspektiv. Exempel har visat på nya material som består av ännu fler grundämnen än tidigare, där man tillsatt grafen men lyfter fram detta som ett bra alternativ pga grafeninnehållet<sup>18</sup>. Detta blir ett steg tillbaka, då den typen av material blir ännu svårare att återvinna än rena material.

Detsamma kan nämnas kring CVD-produktion av grafen. Här används koppar som en viktig beståndsdel i produktionen. Koppar är i sin tur en sällsynt resurs, som måste

---

<sup>17</sup> Carbon nanomaterials as potential substitutes for scarce metals (Arvidsson & Sandén), *Journal of Cleaner Production* 156 (2017) 253-261

<sup>18</sup> Kommunikation med Rickard Arvidsson, Chalmers tekniska högskola

ha en mycket hög återvinningsgrad för att kunna fortsätta användas i samhället framöver. Därför är det av största vikt att i CVD-produktion sträva efter fullständig återvinning av koppar i produktionen. Det kan illustreras genom en mindre loop inom de olika tillverkningsprocesserna i fjärilsdiagrammet, där tillverkarna själva måste se till att det blir ett nästintill slutet system för kopparanvändningen för att denna teknik ska kunna ses som framtidssäkrad.

Det viktiga är att ställa detta i jämförelse med var återvinningen sker. Det är tex enklare att återvinna koppar i en sluten produktionsprocess där tillverkarna har full kontroll på hela processen, jämfört med tex återvinning av indium från mobiltelefoner som finns på konsumentmarknaden.

Att byta från en sällsynt resurs till en annan, enbart lite mindre sällsynt resurs, köper bara tid i en kedja som på sikt behöver bli helt cirkulär. Ett sätt att gå direkt till en mer cirkulär värld, är att se till att det kol som används för att tillverka grafen, baseras på förnybara resurser. Då bidrar grafentillverkningen inte till klimatpåverkan, vilken tillverkning från fossilt kol gör (förenklat, produktionen måste i sådana fall ske med helt förnybara eller fossilfria källor). Här krävs det fortsatt arbete för att förstå hur påverkan sker i de olika stegen i grafentillverkningen.

## Patent inom grafen och cirkulär ekonomi

Vi har genomfört en patentsökning för att se vilken typ av patent som finns registrerade kopplat till grafen och cirkulär ekonomi. Följande söksträng användes:

Grafen + "circular economy" OR recycle+ OR circularity OR reuse OR reusing

Denna sökning resulterade i över 2500 registrerade patent globalt. När sökningen begränsas till patentfamiljer som har medlemmar publicerade som EP, GB, FR, DE, eller SE, dvs inlämnade till antingen europeiska patentmyndigheten, eller i Storbritannien, Tyskland, Frankrike eller Sverige, så blir det mer hanterbara 140 träffar.

Ytterligare en sökning inom sk patentklass gjordes med sökning på grafen inom CPC-klassen "Y02W (Climate Change Mitigation Technologies Related to Wastewater Treatment or Waste Management)". Globalt blir det 600 träffar inom denna klass och med samma begränsning som ovan blir det 50 träffar.

Omfattningen av sökningen är för stor för att analysera i denna rapport. Listorna innehåller enbart titel och patentägare. För att analysera innehållet i patenten behöver även introduktion till patenten analyseras och det finns inte tid till denna typ av analys i detta projekt. Listorna över patent delas med programkontoret som bilaga till denna rapport.

## Sammanfattning

Grafen i den cirkulära ekonomin leder till både möjligheter och utmaningar. Möjligheter som kan bidra till minskad miljöpåverkan, men också utmaningar som kan försvåra centrala aspekter i den cirkulära ekonomin. Här nedan sammanfattas dessa möjligheter och utmaningar och de kopplas till fjärilsdiagrammet för den cirkulära ekonomin i figur 3 nedan.

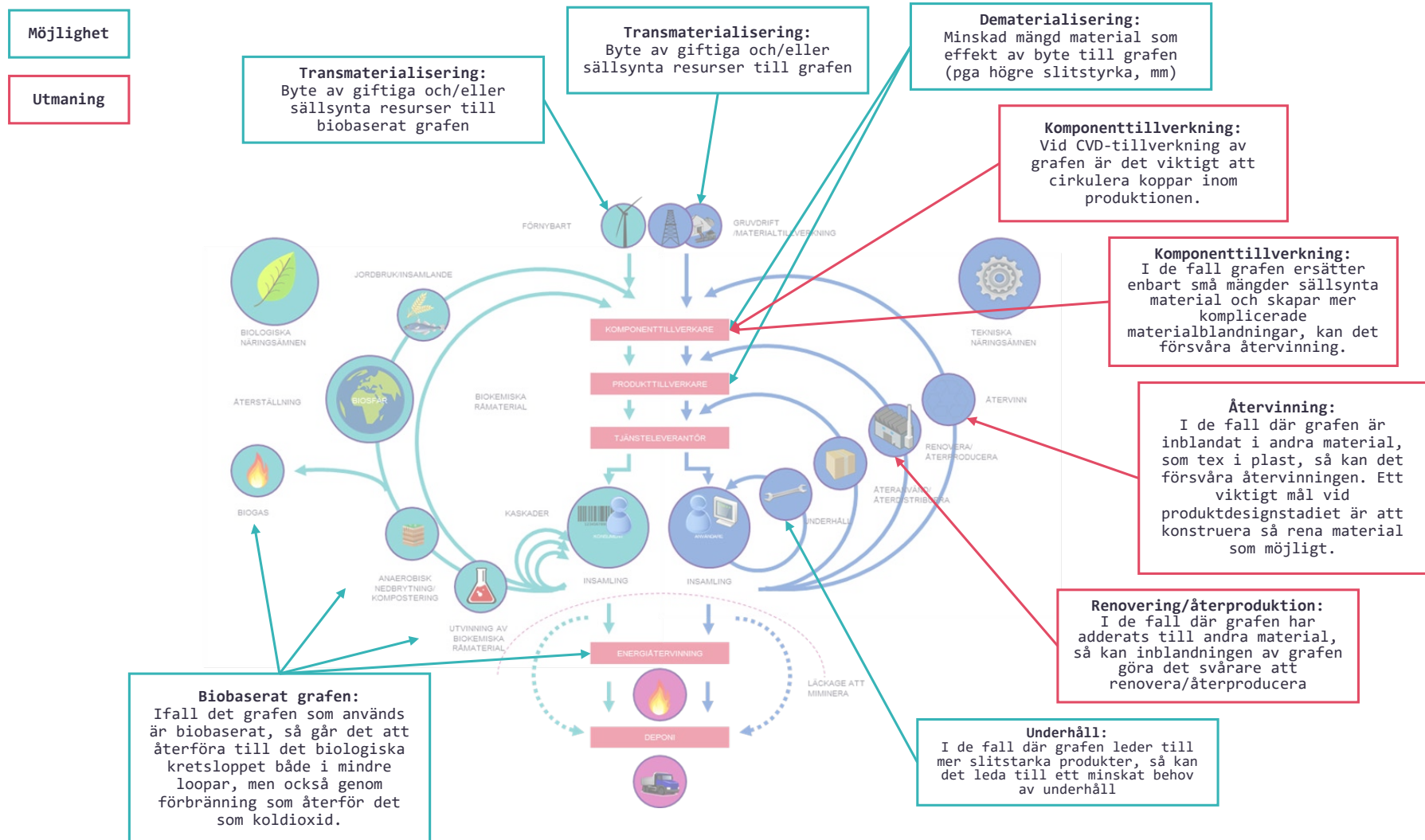
### Möjligheter

- Grafen kan användas för att ersätta en stor mängd sällsynta material som används tex inom elektronik.
  - Denna transmaterialisering – dvs byte av skadliga och eller sällsynta material – kommer kunna bidra till minskad miljöpåverkan inom en rad områden.
- De områden som pekas ut som framtida tillämpningsområden för grafen överlappar med de områden som pekas ut i EU:s handlingsplan för cirkulär ekonomi.
  - Grafen kan alltså ses som en viktig möjliggörare för den framtida cirkulära ekonomin.
- Grafen i en framtida cirkulär ekonomi bör tillverkas från förnybara källor.
  - Då ersätter produktionen sällsynta eller miljöskadliga ändliga resurser, med förnybara flöden av kol.
- Grafen kan användas för att skapa lättare material, vilket kan leda till energieffektivisering.

### Utmaningar

- Ökad inblandning av grafen i tex plaster kan försvåra återvinning av produkterna.
- I de fall där grafen ersätter en mindre mängd sällsynta ämnen kan det leda till ännu mer komplicerade material, vilket försvårar återvinning.
- Vid CVD-tillverkning av grafen är det viktigt att koppar i produktionen används i ett nästintill cirkulärt system, då koppar är en begränsad resurs.

SIO Grafen – Grafen i den cirkulära ekonomin



Figur 3: Möjligheter och utmaningar för grafen inom den cirkulära ekonomin.