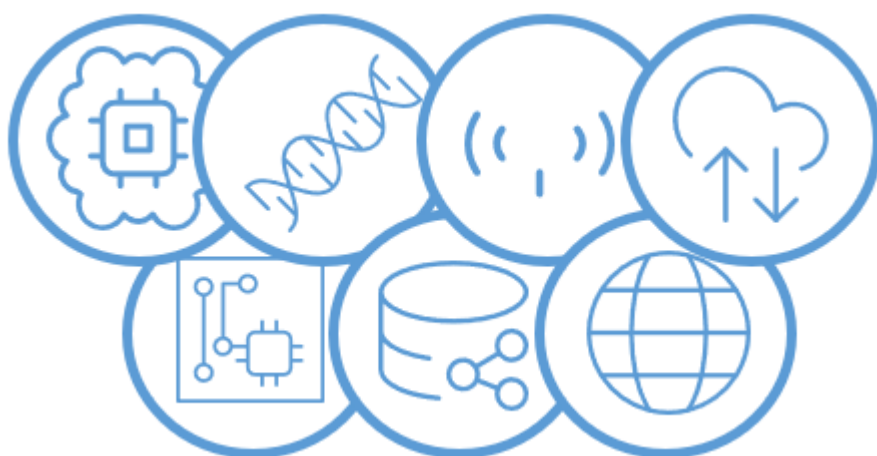


Komet informerar 2020:30, publicerad 2020-12-15

Den nya tekniken – så fungerar den

Hur påverkas regelverk och politik av teknik? För att kunna fatta kloka beslut behövs kunskap. Komet förklarar den nya tekniken – och berättar vad den kan användas till inom AI, IT, genetik och några andra spännande områden.



För att kunna fatta kloka beslut behövs kunskap

Detta underlag vänder sig till beslutsfattare och andra som är nyfikna på hur aktuell teknik påverkar samhället. Komet tror att det behövs kunskap om den nya tekniken för att förstå hur tekniken påverkar samhället och på så sätt ha bättre förutsättningar att fatta kloka beslut.

Faktabladerna har tidigare publicerats i serien *Komet kommenterar*, som tar upp aktuella internationella rapporter som rör regelverk, teknikutveckling och innovation. Syftet är att ge ett svenskt perspektiv, sätta information i ett sammanhang och göra underlaget lätt tillgängligt.

Faktabladerna bygger på underlag från Harvard

Belfer Center vid Harvard University har sedan 2019 gett ut en serie faktablad om aktuella teknikområden. Serien är riktad till politiska beslutsfattare i USA i syfte att ge överblick och förståelse av ny teknik. Under åren 2019–2020 har Belfer publicerat elva faktablad.

Belfer Center for Science and International Affairs är del av Harvard Kennedy School of Government som bland annat arbetar med hur ny teknik kan komma till nytta i samhället.

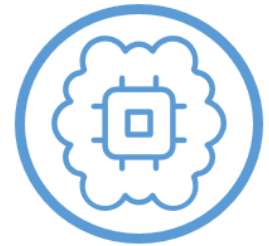
Innehåll

Den nya tekniken – så fungerar den	1
För att kunna fatta kloka beslut behövs kunskap	1
Faktabladen bygger på underlag från Harvard.....	1
Ny teknik inom elva aktuella områden.....	3
Artificiell intelligens, maskininlärning och deepfakes	3
Syntetisk biologi, genomredigering och gendrivare.....	9
5G och sakernas internet	15
Kvantdatorer, blockkedjor och geoengineering av solinstrålning.....	19
Förteckning över faktablad	25
Belfer Center Technology Factsheets.....	25
Faktablad från Komet kommenterar	26

Ny teknik inom elva aktuella områden

Artificiell intelligens, maskininlärning och deepfakes

Mer sofistikerade algoritmer och högre beräkningskapacitet gör att artificiell intelligens (AI) kan komma till nytta inom allt fler områden. Vid maskininlärning används kända data för att träna upp AI som sedan kan ställas inför ett nytt okänt problem. AI-teknik som ändrar film utan att det ska märkas brukar kallas deepfake.



Artificiell intelligens - Sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University¹

Författarna lyfter fram att det finns en lång diskussion om definitionen av artificiell intelligens (AI) och att enskilda organisationer ofta lagt ett stort arbete på att ta fram sin egen definition. Deras sammanfattning är att AI kan ses som "teori och tillämpning av algoritmer samt datorsystem för att utföra uppgifter som normalt kräver mänsklig intelligens".

Sedan begreppet artificiell intelligens först användes på femtiotalet har tekniken fått allt större spridning. Författarna ser en förklaring i mer sofistikerade algoritmer, väsentligt ökad beräkningskapacitet och allt fler användningsområden inom såväl näringsliv som samhälle.

Att AI fått allt större kapacitet beror enligt författarna på utvecklingen av internet och att enorma mängder data idag är en värdefull resurs för att träna, testa och tillämpa AI. En annan orsak är utveckling av hårdvara i datorer, vilken möjliggör snabb hantering av stora datamängder, till exempel kan dagens AI-system gå igenom tusentals patientjournaler inom sekunder. Slutligen har såväl modeller som algoritmer utvecklats över tid, vilket medfört att data kan komma till användning på fler, och mer kraftfulla, sätt.

Det amerikanska faktabladet ger en översikt av hur olika regelverk påverkar användningen av AI, både i USA och internationellt. Författarna tar upp regelverk för hantering av personuppgifter, strategidokument samt vägledning för ansvarsfull AI.

År 2017 hade över tjugo länder en dokumenterad plan för utveckling av AI, enligt författarna. Deras genomgång visar att länderna fram för allt utarbetat

Artificiell intelligens - kort om tekniken

Det är varken okontroversiellt eller enkelt att definiera artificiell intelligens (AI). Det beror både på att uppfattningen om vad AI är har varierat över tid och att det inte finns någon allmänt accepterad definition. Beskrivningen av AI som teknik i denna faktaruta utgår från hur området framställs i det amerikanska faktabladet.

AI kan definieras enligt flera kriterier:

- *Smal eller bred intelligens. Dagens AI är smal, i betydelsen att den är utformad för att utföra en specifik uppgift (såsom aktie-handel eller besvara klagomål från konsumenter).*
- *Tillvägagångssätt. AI kan tillämpa olika principer såsom abstrakt resonemang, maskininlärning, artificiella neurala nätverk eller djupinlärning.*
- *Metod för inlärning. Det finns olika sätt att träna AI. Det kan göras av en människa eller så får AI själv prova sig fram, med positiv återkoppling när det blir rätt, eller en kombination.*
- *Typ av uppgift. Syftet kan vara att göra en klassificering (t. ex. avgöra om en bild visar en hund eller en häst), eller att skapa något inom en viss kategori (t. ex. rita en bild av en hund).*

AI kan användas inom olika områden såsom digital bildbehandling, språkteknologi och inom robotik.

¹ Santus E, Christine N, Mellon C and Harshini J. *Technology Factsheet: Artificial intelligence*. Editor Jayanti A. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, January 2020

övergripande strategier för framtida satsningar inom AI, endast enstaka länder gav mer detaljerad information om till exempel budget eller arbetsgrupper. Författarna gör reflexionen att strategierna domineras av planer som rör det egna landet, men ser samtidigt behovet av att regelverken tar upp internationell samverkan inom AI.

Artificiell intelligens - Komet:s kommentarer

- Den svenska regeringen beslutade år 2018 om en nationell inriktning för artificiell intelligens (AI), med målet att Sverige ska vara ledande i att ta vara på möjligheterna med artificiell intelligens för att stärka svensk välfärd och konkurrenskraft.² Regeringen lyfter fram att en av de centrala förutsättningar som är viktigast för samhällets aktörer att hantera tillsammans är att utveckla regler, standarder, normer och etiska principer i syfte att vägleda etisk och hållbar AI-användning.
- Sedan 2019 har Sverige ett samverkansprogram inriktat på *Näringslivets digitala strukturomvandling*.³ Det är ett av fyra program som inrättats av regeringen för att samla näringsliv, akademi, civila samhället och offentliga aktörer under tematiska samhällsutmaningar. Frågeställningar som berör AI kan även komma upp i de andra programmen, till exempel *Hälsa och Life Science*.
- Sverige har ett nationellt center för artificiell intelligens, *AI Sweden*, som finansieras i samverkan mellan offentlig och privat sektor. Centret arbetar för att påskynda användningen av AI till förmån för samhället, svensk konkurrenskraft och landets invånare.⁴
- Den snabba utvecklingen av AI väcker många frågor om etik. Som exempel på en av flera etiska riktlinjer kan nämnas EU:s vägledning för ansvarsfull AI.⁵ Det saknas ännu samsyn om vad som krävs för att AI ska betraktas som etisk.⁶
- *Elements of AI* är en kostnadsfri onlinekurs som beskriver grunderna i AI.⁷ Kursen, som är tillgänglig på svenska, är framtagen av Helsingfors universitet och öppen för alla.

² Regeringen, 2018, *Nationell inriktning för artificiell intelligens*. Näringsdepartementet Artikelnummer: N2018.14

³ www.regeringen.se/regeringens-politik/regeringens-strategiska-samverkansprogram/samverkansprogrammet-naringslivets-digitala-strukturomvandling/

⁴ www.ai.se/en/about-aisweden

⁵ *Ethics Guideline for Trustworthy AI*. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. European Commission. Brussels. Document made public on 8 April 2019 (dokumentet finns även tillgänglig på svenska).

⁶ *Globalt landskap av riktlinjer för AI och etik*. Komet kommenterar 2020:04.

⁷ www.elementsofai.se/

Maskininlärning - Sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University⁸

Författarna lyfter fram att tillvägagångssättet för att träna modeller (och även utformningen av själva modellerna) vid maskininlärning varierar, beroende på vilken typ av problem man försöker lösa.

Inlärningen kan delas upp i tre kategorier:

- Övervakad inlärning, där en människa tränar algoritmen genom att använda data som innehåller "rätt svar". Ett exempel är att lära ett e-postprogram att sortera bort skräppost genom att gå igenom inkomna meddelanden och markera om de är skräppost eller inte.
- Oövervakad inlärning, där algoritmen tränas på data som inte innehåller något "rätt svar" och där det inte heller finns någon människa som ger återkoppling. Här är syftet i stället att algoritmen ska lära sig att känna igen mönster i data och kunna bedöma nya uppgifter, baserat på hur väl nya data passar ihop med något tidigare känt mönster. Ett exempel är att träna algoritmen genom en uppsättning data över villapriser på olika adresser i en stad, för att sedan få ett automatiskt förslag på lämpligt utgångspris när ett nytt hus ska läggas ut till försäljning.
- En kombination av ovanstående. En människa tränar algoritmen på en liten datamängd (genom att återkoppla på om svaret är rätt eller fel), varefter algoritmen fortsätter träningen på egen hand med en större mängd data. Detta har blivit en populär metod eftersom det går åt mindre arbetstid, vilket håller nere kostnaden.

En särskild sorts maskininlärning är så kallad djupinlärning, där inlärningen sker genom positiv återkoppling (belöning) inom ramen för en avgränsad miljö. Djupinlärning har liknats vid det sätt den mänskliga hjärnan bearbetar information från sinnesorganen för att över tid utveckla en färdighet, till exempel att lära sig förstå ett språk. I tekniska applikationer används djupinlärning bland annat inom robotik, navigation och för att lösa komplexa strategispel. Se även avsnittet om deepfakes, manipulerade filmer som tas fram med hjälp av djupinlärning.

Maskininlärning - kort om tekniken

Maskininlärning består av tre huvudsakliga komponenter: en uppsättning data för träning och inlärning, en modell samt en algoritm.*

Vid maskininlärning matas träningsdata in i modellen och algoritmen jobbar sig fram till bästa möjliga lösning för det problem som ska undersökas, till exempel att hitta en tumör i en röntgenbild.

Själva inlärningen är en upprepad process, där algoritmen stegvis förändrar inställningarna i modellen lite i taget. Efter varje steg följer algoritmen upp hur bra utfallet blev – för att sedan gå tillbaka, göra ännu en liten förändring, göra om och undersöka om det gick att bli ännu lite bättre.

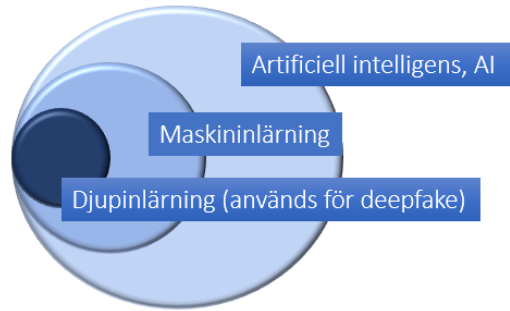
Tanken är att träna på kända data, för att sedan kunna använda modellen i nya situationer. Om modellen först lärt sig att känna igen tumörvävnad genom att gå igenom data från ett stort antal röntgenbilder (där det finns ett korrekt svar efter bedömning av läkare), så ska den sedan kunna identifiera en tumör i en helt ny bild som ett stöd vid diagnostik av cancer.

**) Algoritm är enligt Nationalencyklopedin en systematisk procedur som i ett ändligt antal steg anger hur man utför en beräkning eller löser ett givet problem.*

⁸ Robinson A and Herbert-Voss A. *Technology Factsheet: Machine Learning*. Editor Belei B. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.

Maskininläring - Komet:s kommentarer

- Maskininläring är en del av artificiell intelligens.
- En viktig omständighet av etisk betydelse är urval av data för träning av algoritmer vid maskininläring. Data behöver vara så rättvisande som möjligt och det gäller att vara vaksam på snedvridning av data för att minska risken för systematiska fel. En bildbehandlingsmodell som enbart tränats på foton av kvinnor riskerar att göra fel om den sedan tillämpas på bilder som visar män.
- Ett välkänt experiment är *The moral machine*, som undersöker moraliska dilemman för självkörande fordon.⁹ I experimentet studeras hur etiska principer till grund för styrning av maskiner varierar mellan olika länder och kulturer och om ställningstagande i ett dilemma skiljer sig åt beroende på kön, ålder eller inkomst. Experimentet illustrerar vikten av insyn i vilka data som använts för att träna en algoritm, för att kunna bedöma hur maskinen kommer att bete sig i ett skarpt läge. Det kan finnas utmaningar med system som byggs i ett land med vissa preferenser, säljs i ett annat och används i ett tredje. Ett exempel är beslutsstöd till vården – finns det risk att rekommendation om lämplig vårdinsats för en patient färgas av värderingar i det land träningsdata är hämtade från?
- Dagens system för maskininläring är begränsade till väl specificerade problem eftersom systemen ännu saknar känslighet för kontext, till skillnad från människor där redan små barn har en förståelse för sammanhangets betydelse. Beslutsfattare bör vara medvetna om begränsningarna och att maskininläring lämpar sig bäst för på distinkta och smala problem.¹⁰



⁹ Awad, E., Dsouza, S., Kim, R. et al. *The Moral Machine experiment*. Nature 563, 59–64.

¹⁰ Zysman J & Nitzberg M, 2020. *Governing AI: Understanding the Limits, Possibility, and Risks of AI in an Era of Intelligent Tools and Systems*. BRIE Working Paper, University of California, Berkeley.

Deep fakes - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University ¹¹

Det engelska ordet deepfake är en kombination av deep learning (djupinläring) och fake (påhittat). Det som avses är användning av artificiell intelligens för att förändra film eller andra visuella medier utan att förändringen ska märkas, så att filmen ser ut att vara autentisk.

Hur teknisk sofistikerade deepfakes är varierar, liksom tillämpningarna.

Författarna beskriver en skala från enkla förändringar (eng. cheap / shallow fakes) till deepfakes. Just deepfakes skiljer ut sig genom att manipulationen görs via djupinläring. Enkla förändringar görs i stället genom någon form av bild- eller videoredigeringsprogram.

Deep fakes - kort om tekniken

Deepfakes bygger på djupinläring, dvs artificiell intelligens som använder algoritmer inspirerade av hjärnans funktion (så kallade artificiella neurala nätverk).

Den mest använda metoden är en generativ modellering som kallas Generative adversarial networks, GAN. Den använder två neurala nätverk, där det ena skapar en helt ny bild varvid det andra tar över och bedömer sannolikheten att bilden är äkta. Det första nätverket får återkoppling om hur troligt det är att bilden uppfattas som verklig. Detta pågår tills det inte går att skilja den datorgenererade bilden från verkligheten. Nätverken tränas upp var för sig, det första på att skapa bilder och det andra på att bedöma äkthet. Ju större mängd data de tränat på, desto bättre blir förfälskningen.

En annan variant av generativa modeller är variations-autokodare (eng. variational autoencoder, VAE). Här arbetar två nätverk tillsammans. Ett av dem sammanfattar alla data som matas in, sedan tar det andra vid och försöker återskapa de ursprungliga data. Nätverken tränas på gemensamma data (t.ex. hundratals foton av en filmstjärna), till dess att inmatade och återskapade data stämmer överens. Därefter kan det återskapande nätverket justeras så att något läggs till i bilden (t.ex. att filmstjärnan har ett ärr på kinden). Genom att kombinera två uppsättningar VAE kan t.ex. filmstjärnans kropp få en politikers ansikte.

Tabellen visar tekniker, från enkla förändringar till deepfakes. Översättning av tabell i det amerikanska faktabladet.

Klassifikation	Teknik för att förändra filmen
Enkla förändringar (eng. cheap fakes, shallow fakes)	<i>Förändrad kontext.</i> Ett befintligt filmklipp omnämns på ett felaktigt sätt, eller visas ur sitt sammanhang.
	<i>Dubbelgångare.</i> En skådespelare som är lik en verklig person hyrs in för att spela in ett filmklipp.
	<i>Snabba upp och sakta ner.</i> Filmhastigheten ändras på ett sätt som förändrar innebörden i det som filmats, eller hur man uppfattar det som skildras.
	<i>Byta ut ansiktet.</i> Animeringstekniken rotoskopi utgår från filmsekvenser, ritar av konturerna i varje filmruta och skapar animerad film. Tekniken kan användas för att få en illusion av att ansiktet är utbytt.
	<i>Läppsynchronisering.</i> Genom att synkronisera läpprörelserna i en filmsekvens med ljud som spelats in i ett helt annat sammanhang framstår det filmade uttalandet som autentiskt.
	<i>Ersätta ansiktet.</i> På digital väg överlagras bilden av en persons ansikte på någon annan.
	<i>Syntetisk talproduktion.</i> En verklig persons röst efterhämmas på konstgjord väg.
Deepfakes	<i>Återskapande av ansikte och röst.</i> Förändring av ansiktsdrag, mimik eller röst via bild- och ljud-behandling.
	<i>Skapa ett helt nytt ansikte.</i> Generera nya bilder som överlagras på en verklig persons ansikte med hjälp av avancerad mjukvara (utgår inte från någon befintlig verklig bild, helt nya bilder skapas digitalt).

¹¹ Davis, R. *Deepfakes. Tech factsheets for policymakers.* Ed. Jayanti A. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Spring 20201

Deep fakes - Komet:s kommentarer

- Våren 2018 ställdes en fråga i Sveriges riksdag om vilka åtgärder regeringen planerar för att deepfakes (manipulerade videofilmer) och annan bild- och ljudmanipulation inte ska skada tilltron till rörliga medier.¹² Ansvarig minister svarade att den snabba teknikutvecklingen ställer allt högre krav på såväl enskilda individer som samhällets aktörer. Förutom god informationssäkerhet behöver de som företräder samhället vara källkritiska, hålla sig informerade och låta bli att sprida oriktig information. Därtill lyfte ministern fram arbetet med att stärka den digitala kompetensen bland medborgarna och påtalade att manipulation av bild kan vara straffbart som förtal.
- Sveriges Utbildningsradio, UR, har gjort en film om hur deepfakes fungerar och vilka utmaningar de för med sig.¹³ Den vänder sig i första hand till ungdomar och illustrerar hur tekniken kan användas för desinformation som i värsta fall kan undergräva människors tillit till sanningen, när något som man tror är sant och äkta i själva verket är manipulerat.
- Den brittiska regeringen har tagit fram en rapport om deepfakes och vilseledande information.¹⁴ En slutsats är att det inte räcker med lagstiftning för att hantera risker, det krävs även investeringar i ny teknik för att avslöja manipulationer. I likhet med svenska initiativ ser den brittiska regeringen behov av utbildningssatsningar för att höja kunskap om deepfakes bland medborgarna.
- Exempel på svensk forskning inom området är utveckling av en app som kan avslöja deepfakes.¹⁵

¹² www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/skriftlig-fraga/deepfakes_H511938

¹³ <https://urplay.se/program/216095-var-digitala-planet-i-fokus-deepfakes>

¹⁴ *Deepfakes and Audiovisual Disinformation*. UK Government, Centre for Data Ethics and Innovation Independent report Snapshot Paper. Published 12 September 2019

¹⁵ www.lth.se/article/app-som-avsloejar-deepfake-under-utveckling/

Syntetisk biologi, genomredigering och gendrivare

Med syntetisk biologi går det att bygga komplexa biologiska system med funktioner som inte existerar i naturen. Genomredigering, t ex med verktyget Crispr/CAS9, kan användas för att göra förändringar i arvsmassan. Gendrivaren ser till att dess ärftliga egenskaper snabbt sprids. De förekommer naturligt, men kan också skapas med teknikens hjälp och användas för att förändra egenskaper hos växter eller djur.



Syntetisk biologi - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University¹⁶

Syntetisk biologi är ett forsknings- och utvecklingsområde där man på kemisk väg bygger ihop komplexa biologiska system med funktioner som inte existerar i naturen. Faktabladet beskriver syntetisk biologi som en möjlighet att konstruera helt nya levande organismer och att modifiera redan befintliga varelser, växter eller annat biologiskt material så att de får nya eller förbättrade egenskaper.

Några användningsområden är livsmedel och jordbruk (såsom genetiskt förändrade växter och djur och kött som odlas av celler i laboratorium), energi och klimat (såsom bio-bränslen av slam från reningsverk och biologisk nedbrytning av miljöföroreningar) samt hälsa och medicin (såsom vacciner mot infektionssjukdomar, biologiska läkemedel baserade på modifierade proteiner och biosensorer för att mäta blodsocker). Produkter baserade på syntetisk biologi står för två procent av USA:s ekonomi.

Författarna menar att det finns potential att utveckla syntetisk biologi, både avseende omfattning och möjliga tillämpningar. En ökning skulle ge ekonomiska vinster, menar författarna, men varnar även för risker. Till exempel kan tekniken påverka jordens ekosystem och användas för att tillverka vapen.

Författarna ser begränsningar i skalbarhet för teknik inom syntetisk biologi. De menar att det ännu är ett relativt litet antal mikrober eller växter som används. Dessutom behövs mer kunskap om hur genetiska element kan kombineras för nya tillämpningar. För att kunna skala upp behöver produktionstekniken utvecklas, menar författarna. Ett sätt är att befintliga mikrober görs effektivare, till exempel så att en organism kan producera mer av en specifik molekyl.

Eftersom det finns likheter med traditionell bioteknik inordnas produkter som tillverkas via syntetisk biologi i USA till största delen inom det regelverk som gäller för bioteknik.

Syntetisk biologi - kort om tekniken

Syntetisk biologi flätar samman kunskap från biologi, kemi, datavetenskap och ingenjörskonst för att bygga biologiska system. Kärnan i tekniken är att skapa "byggblock" som kan känna av inkommande signaler, utföra en process och producera ett resultat (såsom en signal eller en liten bit material).

Flera tekniker tillämpas inom området, såsom DNA-syntes för att producera artificiellt DNA. Detta kan kopplas samman med rekombinant DNA-teknik för att skapa längre (kromosom- och genomlängd) syntetiska DNA-konstruktioner.

DNA-sekvensering ger information om basparens ordningsföljd, vilket t. ex. kan användas för att bekräfta att funktionen i det DNA som skapats är den avsedda.

Genredigering åstadkommer förändringar i DNA-sekvensen genom att "klippa och klistra". Sedan några år tillbaka används ofta tekniken CRISPR/ Cas9 som bygger på en mekanism som är hämtad från bakteriers immunförsvar.

¹⁶ O'Leary C, Silver P, van Opstal E, Rozo M. *Synthetic Biology. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

Men författarna menar att USA bör utveckla regelverk specifikt för syntetisk biologi för att kunna hanteras dess konsekvenser. De menar att för att kunna utveckla regelverken måste beslutsfattarna sätta sig in i den nya tekniken och se till att dess möjligheter tas tillvara, samtidigt som samhället och dess invånare skyddas mot de risker syntetisk biologi för med sig.

Syntetisk biologi - Komet:s kommentarer

- I Sverige sker mycket av regleringen genom självständiga myndigheter, jämfört med flera andra länder där staten har ett större åtagande. Den genomgång av det amerikanska regelverket som finns i faktabladet om syntetisk biologi bör läsas med denna skillnad i åtanke.
- Syntetisk biologi är ett brett begrepp som kan omfatta många olika delområden. Ett sådant exempel är genteknik. Sedan mer än 25 år tillbaka har Sverige en myndighet, Gentekniknämnden, med särskilt uppdrag att främja en etiskt försvarbar och säker användning av gentekniken. Nämndens yttranden handlar ofta om genmodifierade grödor, men även om andra områden såsom medicin (bland annat om bakterier som genförändrats så att de kan användas för att behandla svårläkta sår).
- Ett annat exempel på svensk myndighet som bevakar delar av området syntetisk biologi är Statens medicinsketiska råd, Smer. Rådet har påtalat för regeringen att såväl etik som lagstiftning och politik inte hinner med i den snabba utvecklingen inom genteknik, varken i Sverige eller i andra länder.¹⁷ Smer har därför föreslagit att den lagstiftning som reglerar generiska förändringar inom medicin ska ses över. Komet ser detta som ett tydligt exempel på hur tekniken utvecklas snabbare än den juridiska regleringen¹⁸, se modell som beskrivs i Komet informerar 2019:05.
- Även när det gäller genetiska förändringar för grödor finns liknande eftersläpning. Dagens lagstiftning, som är harmoniserad inom EU, är teknikspecifik vilket ger en tröghet i anpassning till ändrade förutsättningar när tekniken utvecklas. Att kunna förändra växter, till exempel genom syntetisk biologi, kan bli allt viktigare när klimatet förändras.
- Syntetisk biologi används som ett samlingsbegrepp för flera olika tekniker (se faktaruta). Vissa är högteknologiska och finns bara på enstaka laboratorier, medan andra är lätt tillgängliga för alla som är intresserade.

¹⁷ www.smer.se/skrivelser/tillsatt-en-parlamentarisk-utredning-for-att-se-over-lagstiftningen-pa-genteknikområdet/

¹⁸ Se modell som beskrivs i *Hantera den accelererande teknikutvecklingen*. Komet informerar 2019:05

Genomredigering - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University ¹⁹

Författarna tar upp användning av genomredigering inom flera områden. Beskrivningen av regelverken är dock i huvudsak inriktad på tillämpningar inom medicinområdet.

Författarna betonar att de regelverk som styr genomredigering på mänskliga celler ser olika ut beroende på om den görs på kroppsceller för att behandla sjukdom (somatisk genterapi) eller på celler där en förändring kommer att gå i arv till kommande generationer (ägg och spermier samt befruktade ägg). I många länder, till exempel USA och Sverige, är ärftliga genförändringar hos människor strikt förbjudna.

Genomredigering har tillämpningar inom flera olika områden, bland annat inom *jordbruk* (såsom större skördar, klimathärdighet och skadedjurshantering), *miljövård* (såsom klimat- och sjukdomshärdighet, begränsning av invasiva arter och biologisk rening), *energiområdet* (såsom industriella processer och biobränslen) samt *medicin* (såsom diagnostik, modellering, behandling av genetisk sjukdom och vävnadstransplantation).

Författarna identifierar ett antal variabler, som de menar avgör hur genomredigering kommer att användas framöver. De tar upp *teknisk genomförbarhet* (för vilka sjukdomar som somatisk cellredigering är en effektiv metod), *säkerhet* (vilka bieffekter som kan uppstå), *ägarskap och innovation* (om patent kommer att begränsa tillgången för innovatörer), *prisvärdhet och tillgång* (om tillgängligheten kommer att begränsas till ekonomiskt starka länder) samt *kontroll* (om det behövs licenser och reglering av "bio-hacking").

Genomredigering - kort om tekniken

En gen är en bit av arvsmassan, medan genom (annat ord för arvs massa) är en organisms totala mängd genetiskt material. DNA är det kemiska ämne (i form av en särskild sorts molekyl) som bär genom. DNA kan liknas vid en ritning med information om hur alla organismens celler ska byggas upp och fungera.

Genomredigering görs genom olika tekniker som åstadkommer riktade förändringar i DNA hos en organism. Det betyder att genetiskt material läggs till, ändras eller tas bort på specifika platser i genomet, "ritningen redigeras".

Genomredigering är inte nytt. Tekniker för att skapa genetiskt modifierade organismer (så kallade GMO) har använts i årtionden, fram för allt inom jordbruket. Möjligheten att tillämpa genom-redigering när det gäller människor var länge begränsad, eftersom tidigare metoder var långsamma och dyra. Metoderna ansågs inte heller tillräckligt säkra för att användas på människor.

Upptäckten av tekniken CRISPR-Cas9 ledde till snabbare, billigare och mer exakt genomredigering. CRISPR-Cas9 bygger på en mekanism som är hämtad från bakteriers immunförsvar. Tekniken kan ses som en anpassning av ett naturligt förekommande genomredigeringsystem.

Sedan några år används CRISPR-Cas9 för att göra ändringar i mänskligt DNA, t ex för att helt slå ut specifika gener, att öka eller minska aktiviteten i en viss gen eller för att byta ut en gen mot en annan. CRISPR-Cas9 beskrivs ibland som en "kniv på molekylärnivå" som kan användas för att klippa och klistra i genomet, till exempel för att undvika att en sjukdom ska uppstå.

¹⁹ Winterberg S, Shachar C, Lunshof J, Grolman J. June 2019. *Genome editing. Tech factsheets for policymakers*. Editor Belei B. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

Genomredigering - Komets kommentarer

- Den forskning som ledde fram till den nydanande tekniken CRISPR-Cas9 gjordes i Umeå och Berkeley, USA, av Emmanuelle Charpentier och Jennifer Doudna.²⁰ De beskrev tekniken för första gången år 2012 och sedan dess har verktyget använts och utvecklats inom många olika områden. Charpentier och Doudna erhöll Nobelpriset i kemi år 2020.
- Statens medicinska rådgivning, Smer, är sedan länge en aktiv röst i den svenska debatten om etiska aspekter av genteknik. Smer har även tagit fram kunskapsunderlag, se tema på rådets webbsida.²¹
- I Sverige styr lagen (2006:351) om genetisk integritet m.m. vad som är tillåtet att göra med mänskliga befruktade ägg inom forskning och inom sjukvård. Liksom vid all forskning som avser människor eller mänskliga celler krävs godkännande enligt etikprövningslagen (2003:460).
- Forskning om så kallade embryonala stamceller använder överblivna befruktade ägg som donerats av patienter som genomgått provrörsbefruktning. En anledning till intresset för embryonala stamceller är att de har förmågan att utvecklas till alla olika celltyper i den mänskliga kroppen. Det finns därför en förhoppning om att i framtiden kunna använda dem som ett slags byggmaterial för att kunna reparera vävnader och ersätta organ.
- Genetiskt modifierade organismer (förkortningen GMO används ofta) är noga reglerade i Sverige, liksom i andra länder. Inom EU finns en gemensam reglering av GMO. En översikt av svenska myndigheter med ansvar för frågeställningar kopplade till GMO finns hos Naturvårdsverket.²²
- Se även avsnittet om syntetisk biologi, särskilt om Gentekniknämnden som främjar etiskt försvarbar och säker användning av svensk genteknik.

²⁰ www.umu.se/forskning/fordjupa-dig/gensaxen-crispr-cas9-revolutionerar-gentekniken/

²¹ <https://smer.se/teman/genetisk-redigering/>

²² www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Naturvard/Genetiskt-modifierade-organismer/GMO--vem-gor-vad/

Gendrivare - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University²³

Författarna lyfter fram att genom- och genredigeringsteknik (såsom CRISPR/Cas9) kan användas för att arbeta med gendrivare. På så vis går det att snabbt åstadkomma en effekt, såsom att minska en viss population eller att sprida specifika egenskaper inom en population. Exempel på tillämpning kan vara att använda gendrivare för mer miljöanpassad hantering av ogräs, genom att föra in en egenskap som släcker ut en resistens mot giftfria bekämpningsmedel som utvecklats inom en viss art genom åren. Ett annat exempel är att använda gendrivare för att begränsa sjukdom som sprids till människor via insekter eller djur, såsom malaria via myggor.

Författarna menar att det finns många frågor kvar att lösa kring styrning och reglering av gendrivare, till exempel avseende forskning, utveckling, testning och distribution. De tar även upp frågor kring vem som ska ta ansvar för att utarbeta regler och policyer.

Eftersom gendrivare är utformade för att sprida sig så finns det risker. Om säkerheten inte är tillräckligt hög finns risken att en gendrivare oavsiktligt sprids till andra populationer än man tänkt sig, till exempel genom att den råkar komma ut ur laboratoriet och sprids i naturen. Därför har det blivit intressant att försöka utforma gendrivare som på något sätt har en inneboende begränsning, till exempel att de bara fungerar under en viss tid eller under vissa förutsättningar. Det finns flera modeller av hur sådan självreglering skulle kunna konstrueras, men man är ännu inte säker på om det fungerar.

Enligt författarna har endast enstaka länder upprättat regler specifikt för gendrivare. Istället tillämpar de flesta länder regler som är utformade för mer generella genredigeringsmetoder. Eftersom området utvecklas så snabbt – och för att det finns risker – menar författarna att beslutsfattarna bör överväga tekniskspecifik lagstiftning för att styra användningen av gendrivare.

Gendrivare - kort om tekniken

En gen (arvsanlag) är en bit av arvsmassan. Genen bär ärftliga egenskaper från föräldrarna till deras avkomma. Gener kan liknas vid ritningar, där en viss gen innehåller den information som behövs för att tillverka ett visst protein som fyller en bestämd funktion i organismen.

En förenklad beskrivning är att en gen har med sig hälften av sina ärftliga egenskaper från den ena föräldern, och hälften från den andra. På samma sätt sprids hälften genens egenskaper i sin tur vidare till hälften av nästa generation.

Men gendrivaren har kommit på ett sätt att fuskas. Den ser till att dess ärftliga egenskaper sprids vidare till MER än hälften av avkomman. På så sätt får den en konkurrensfördel, vilket gör att de ärftliga egenskaperna snabbt sprids vidare till många individer inom en population. Spridningen sker trots att den egenskap som sprids inte är till någon fördel för organismen. Därför kallas gendrivare ibland för "själviska gener".

Gendrivare förekommer naturligt, men kan också skapas med teknikens hjälp. Verktyg för genomredigering (såsom CRISPR/Cas9) kan användas för att förändra specifika delar av en gen så att den blir en gendrivare. På så sätt kan människor förändra egenskaper hos olika arter, till exempel av jäst, fruktflugor eller myggor.

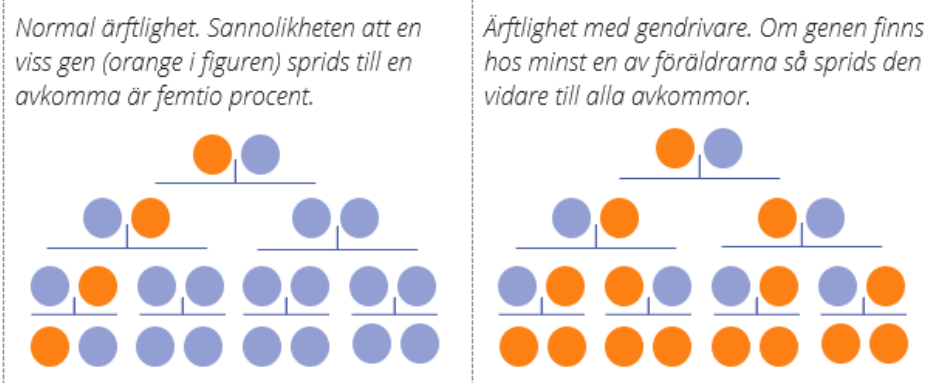
Teknisk tillämpning av gendrivare har använts för att minska vissa insektsarters förmåga att sprida smitta. Till exempel har tekniken använts för att sprida sterilitet bland malariamygghonor, vilket minskade antalet myggor. På så sätt minskade malariasmittan bland människor.

²³ Lunshof J, Shachar C, Edison R, Jayanti A. *Technology Factsheet: Gene Drives*. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, January 2020.

Gendrivare - Komets kommentarer

- Se avsnittet om syntetisk biologi för beskrivning av svenskt regelverk inom genteknik. Sverige har ingen rättslig reglering specifikt inriktad på gendrivare.
- I Sverige har organismer som på något sätt är genetiskt modifierade än så länge bara satts ut i naturen under kontrollerade fältförsök.²⁴
- Svenska Gentekniknämnden har i uppdrag att främja en etiskt försvarbar och säker användning av gentekniken. Nämnden har tagit fram ett faktablad om gendrivare, inklusive referenslista för den som vill fördjupa sig inom området.²⁵
- Amerikanska vetenskapsakademien utarbetade år 2016 en översikt av forskningsläge och framtida utvecklingspotential för gendrivare.²⁶ Rapporten tar också upp frågor som rör användning av gendrivare i förhållande till etik och värdegrund, till exempel "det är *möjligt* att utrota en hel art – men är det *önskvärt*?". Motsvarande ämnen tas även upp i en europeisk rapport från år 2019.²⁷

Förenklad beskrivning av hur en gendrivare snabbt får spridning i en population.



²⁴ www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Naturvard/Genetiskt-modifierade-organismer/GMO-i-Sverige/

²⁵ www.genteknik.se/genetik-och-genteknik/genmodifierade-organismer-gmo/gendrivare/

²⁶ Front Matter." National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*. Washington, DC: The National Academies Press

²⁷ *Gene drives. A report on their science, applications, social aspects, ethics and regulations*. Publishers: Critical Scientists Switzerland, European Network of Scientists for Social and Environmental Responsibility and Vereinigung Deutscher Wissenschaftler. Editor Dressel, H. Published May, 2019.

5G och sakernas internet

5G är femte generationens teknik för mobilnät som underlättar användningen av annan ny teknik. Sakernas internet (eng. Internet of Things, IoT) kommer till användning inom allt fler delar av samhället. 500 miljarder enheter beräknas vara anslutna år 2030.



5G - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University²⁸

5G är femte generationens teknik för mobilnät. Jämfört med tidigare generationer ger 5G högre prestanda och flera nya funktioner som underlättar för annan teknik, såsom sakernas internet (eng. internet of things, IoT) och virtuell verklighet (eng. virtual reality, VR).

5G har en lång rad användningsområden, t. ex. självkörande fordon, smarta städer och robotar för fjärrkirurgi. De första 5G-nätverken lanserades i mitten av 2019 och deras funktion är fortfarande begränsade. Författarna tror att standarder för 5G-nätverk kommer att vara på plats under början av 2020-talet, medan den tekniska funktionaliteten fortsätter att utvecklas under hela decenniet.

Författarna menar att 5G innebär möjligheter såsom snabbare uppkoppling och möjlighet att hantera stora mängder data. Men se ser även risker, till exempel när det gäller nationell säkerhet och människors integritet.

I USA regleras 5G i huvudsak på federal nivå, med tyngdpunkt på bland annat uppbyggnad av infrastruktur och allokering av spektrum. Internationellt sett regleras 5G mestadels genom tekniska standarder. Författarna menar att 5G är en kärnkomponent i framtidens digitala infrastruktur och att beslutsfattare därför bör delta i den offentliga debatten, särskilt om regelverk.

När det gäller begränsningar i 5G lyfter författarna fram att täckningen är gles och att marknaden ännu inte hunnit utveckla särskilt många produkter som är kompatibla med 5G. Hittills har uppbyggnad av själva infrastrukturen tagit så mycket kraft att andra nödvändiga delar

5G - kort om tekniken

En rad specifikationer gäller för 5G. De viktigaste är förbättrat mobilt bredband (enhanced mobile broadband, eMBB, med topphastighet över 10 gigabytes per sekund), kommunikation med extremt låg fördröjning som i princip alltid fungerar (ultra-reliable and low latency communications, URLLC, med mindre än en millisekunds fördröjning) samt ett stort antal uppkopplade enheter med lång räckvidd och låg energiförbrukning (massive machine type communications, mMTC, med en miljon anslutna enheter per kvadratkilometer).

De huvudsakliga beståndsdelarna i 5G är corenätet (som håller reda på var mobiltelefoner finns och kopplar trafik mellan mobilerna och tjänster i nätet såsom internet och molnplattformar), radioaccessnätet (som består av radiobasstationer), användarens enhet (t. ex. mobiltelefon eller läsplatta) och det trådlösa nätverket (wireless spectrum).

Jämfört med 4G har 5G ökad funktionalitet och databehandlingen görs närmare källan. Det innebär övergång till en mer decentraliserad modell. En annan skillnad är att 5G använder andra frekvenser i det trådlösa bredbandet. Val av frekvens påverkar funktionen, höga frekvenser ger snabb dataöverföring men medför begränsningar i det avstånd över vilket data kan skickas.

För att få smidig övergång till 5G har de stora företagen inom området enats om att samarbeta så att 4G och 5G under en period kan dela dynamiskt på ett frekvensspektrum (eng. dynamic spectrum sharing, DSS).

Nätverks-skivning (network slicing) är en teknik för att skicka flera olika sorters data i samma nätverk och med samma basstationer. Data för ett visst ändamål tilldelas en egen "skiva" av nätverket med den kapacitet och fördröjning som är lämplig för ändamålet. Skivorna är helt separerade, om det blir problem med överföringen av data i en skiva påverkas inte tillgängligheten i de övriga.

²⁸ Yen H, Simpson D, Gorman L. 5G. Tech factsheets for policymakers. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A. Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

av ekosystemet kring 5G släpar efter, menar de, och gör bedömningen att en fullständig övergång till 5G ligger flera år bort i tiden.

5G - Komets kommentarer

- I slutet av maj 2020 startades Sveriges första publika kommersiella 5G-nät.²⁹ För att använda nätet krävs en mobiltelefon som är anpassad för 5G, något som ännu är ovanligt. Det har redan tidigare funnits 5G-nät för forskning och utveckling. Det första öppnades vid Kungliga tekniska högskolans område i december 2018.³⁰
- Fyra av de företag som är störst på infrastruktur för 5G är svenska Ericsson, kinesiska Huawei, finska Nokia och sydkoreanska Samsung.
- Regeringen har skapat fyra strategiska samverkansprogram inom områden som bedöms vara av stor betydelse för Sveriges framtida tillväxt. Ett av dem är inriktat mot näringslivets digitala strukturomvandling.³¹
- I Sverige har myndigheten Post- och telestyrelsen (PTS) ett samlat ansvar för området för elektronisk kommunikation. Det innebär bland annat att PTS ska främja tillgången till säkra och effektiva elektroniska kommunikationer. PTS har fått ett särskilt uppdrag för att främja tillgängliggörandet av 5G-nät för landsbygdens företag. I utbyggnaden av 5G behövs tillgång till frekvenser för att sända data. PTS har tagit fram en spektrumplan som bland annat möjliggör 5G-tester i Sverige. Under 2020 planerar PTS att tilldela frekvenser i 3,5 GHz-bandet som lämpar sig för mobila bredbandstjänster och som därmed är intressanta för utbyggnad av 5G i Sverige.³²

²⁹ www.nyteknik.se/digitalisering/sveriges-forsta-publika-5g-nat-ar-igang-6995866

³⁰ www.kth.se/aktuellt/nyheter/sveriges-forsta-5g-nat-invigs-1.862403

³¹ www.regeringen.se/regeringens-politik/regeringens-strategiska-samverkansprogram/

³² pts.se/sv/bransch/radio/auktioner/3-5-ghz-bandet/

Sakernas internet (eng. Internet of Things, IoT) - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University³³

Trots att begreppet *sakernas internet* (eng. Internet of Things, IoT) ofta används saknas gemensam definition. Begreppet används vanligtvis för att beskriva ett nätverk av smarta enheter som känner av eller interagerar med omgivningen. Enheterna i nätverket kan kontinuerligt samla in information, reagera på den och kommunicera både med människor och med andra enheter.

Författarna bedömer att användning av sakernas internet kommer att öka och att 500 miljarder enheter kommer att vara anslutna till internet år 2030.

Utvecklingen väcker frågor om ansvar, öppenhet, säkerhet och sekretess menar författarna. De lyfter särskilt fram sårbarheten – om säkerheten brister för en enda enhet kan hela nätverket drabbas. Detta oavsett om bristen finns i den fysiska säkerheten, i systemet eller i datahanteringen.

För att värna sekretessen hos individer som använder enheter anslutna till sakernas internet kan det behövas nya modeller för samtycke och avvägning mellan samhällets behov och individens skydd. Det behövs också en medvetenhet om risken för snedvridning av data på ett sätt som utmanar likabehandling av människor.

Sakernas internet - kort om tekniken

Viktiga komponenter i system för sakernas internet är:

Inbyggda datorer (eng. embedded computers). Enheterna programmeras och kontrolleras via ett operativsystem som har en specifik funktion och är del av ett större mekaniskt eller elektriskt system.

Sensorer och ställdon (eng. sensing / actuation) som samlar in data och känner av förändringar i omgivningen (enhetens "sinnesorgan"), medan ställdon ser till att någonting händer genom att aktivera olika funktioner (enhetens "muskler").

Uppkoppling. Enheterna är anslutna till internet, t.ex. via mobilnät, trådlöst nätverk eller blåttand (eng. bluetooth).

Programmerbarhet så att enheterna kan uppgraderas eller ges en förändrad funktion.

Unik identitet, så att det går att få kontakt med exakt rätt enhet vid kommunikation med en människa eller med en annan enhet.

Autonomi. Enheterna kan behöva någon form av inbyggt beslutsstöd som styr vad som ska hända om en enhet blir bortkopplad från nätverket eller om den tappar kontakten med andra enheter.

Ständig funktion (eng ubiquity). Enheterna är i allmänhet alltid påslagna och nåbara.

³³ Kim N, Lee I and Zazo J. *Internet of Things. Tech factsheets for policymakers*. Ed. Belei B. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.

Tabellen visar exempel på produkter som använder sakernas internet inom olika sektorer. Översättning av tabell i det amerikanska faktabladet.

Sektor	Typ av produkt	Exempel på användning
Jordbruk	Smart jordbruk	Sensor känner av fuktnivå i odling och startar bevattning när det blir för torrt
Turism	Individanpassade hotellrum	Anpassning av temperatur, ljus och larminställning samt kontakt med rumsservice
Näringsliv	Materialflöde	Kontroll av lagerstatus hos företages återförsäljare och inom varuhus
Handel	Produkter för smarta hem	Assistans med hushållsuppgifter, såsom matlagning, bevattning och att styra apparater
Utbildning	Verktyg för digital inlärning	Utbildningsstöd. Interaktiva utbildningsmoduler. Uppföljning av elevernas utveckling.
Energi	Mäta energianvändning	Dokumentation och anpassning av energikonsumtion
Finans	Närhetssensorer	Säker tillgång till banktjänster, t.ex. via biometrisk autentisering på mobiltelefoner
Hälsa	Hälsorelaterad uppföljning	Upptäcka mönster och göra en bedömning av hälsoläget på distans
Bygg	Smarta byggnader	Visa energianvändning under byggprocessen. Uppföljning av hur långt bygget hunnit
Media	Digitalt innehåll	Kundanpassat innehåll
Transport	Vägbeskrivning	Optimal anpassning av vägbeskrivning, baserad på sensordata om köbildning

Sakernas internet (eng. Internet of Things, IoT) - Komet:s kommentarer

- En svensk guide till sakernas internet finns att läsa via Internetstiftelsen.³⁴ Den tar bland annat upp hur samhället påverkas och hur fyra svenska profiler inom området ser på utvecklingen.
- Sveriges kommuner och regioner, SKR, menar att sakernas internet kan skapa nya möjligheter för välfärd och samhällsbyggnad. SKR har beskrivit hur tekniken kan komma till användning inom hälso- och sjukvård, fastigheter samt miljö och stadsutveckling.³⁵ I likhet med det amerikanska faktabladets författare lyfter SKR frågor om säkerhet och integritet. SKR ser också behov av att klargöra gränssnitt och standarder och menar att kommuner och regioner som köper produkter kan påverka detta genom att vara tydliga med vilka krav de ställer när de gör upphandlingar.
- Sverige har ett strategiskt innovationsprogram inriktat mot sakernas internet, IoT Sverige, som finansieras av Vinnova, Energimyndigheten och Formas samt externa aktörer.³⁶ Programmet ger stöd till innovativa projekt, inriktade på sakernas internet, som genomförs över hela landet.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, beskriver risker med sakernas internet och ger konkreta råd om hur riskerna kan hanteras.⁵ Underlaget bygger på analys av FOI, Försvarets forskningsinstitut.³⁷ Risker som lyfts fram ligger i linje med de som beskrivs i det amerikanska faktabladet, till exempel att säkerheten hos enheter, system och tjänster är beroende av såväl säkerheten hos själva enheterna som installation, underhåll och användning av enheterna och systemet de ingår i.

³⁴ Internetstiftelsen, 2016. *Internet of Things. En guide till sakernas internet*. IIS internetguide, nr 43.

³⁵ Sveriges Kommuner och Landsting, 2017. *Sakernas internet – möjligheter för välfärd och samhällsbyggnad*. Malin Annergård. Bestnr: 5452.

³⁶ <https://iotsverige.se/>

³⁷ Försvarets forskningsanstalt, 2018. *NCS3 Studie – IoT relaterade risker och Strategier. Risker relaterade till Internet of Things (IoT) och vad myndigheter kan göra för att motverka dem*. Vidar Hedtjärn Swaling, Jessica Johansson. FOI-R--4591--SE

Kvantdatorer, blockkedjor och geoengineering av solinstrålning

En kvantdator kan lösa komplexa problem mycket snabbare än en vanlig dator. Blockkedjor lagrar information utspritt på flera datorer och skapar en spårbar lista av händelser som inte går att manipulera. Geoengineering av solinstrålning är olika typer av ny teknik som påverkar hur mycket solljus som träffar jorden. Syftet är att minska den globala uppvärmningen.



Kvantdatorer - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University³⁸

En kvantdator kan lösa komplexa problem mycket snabbare än en vanlig dator. En beräkning som skulle ta flera år kan istället göras på några sekunder. Genom att utnyttja förmågan för delar i datorn att samtidigt existera i flera sammankopplade tillstånd öppnas nya möjligheter för parallell informationsbehandling.

Det finns förhoppningar om att kvantdatorer i framtiden kan användas för att lösa problem inom t. ex. kryptografi, kemi, medicin, materialvetenskap och maskininlärning. Kvantdatorer tros vara särskilt lämpande för problem inom optimering.

Även om området är i en tidig utvecklingsfas så har det redan lockat till sig intresse från såväl forskare som ny-startade och väletablerade företag som Google, IBM och Microsoft. Flera länder har investerat i utveckling av tekniken inom kvantdatorområdet. Det finansiella stödet och intresset för området har snabbat på utvecklingen. Kompletta system för kvantberäkningar, särskilt sådana som är kommersiellt hållbara, ligger dock troligtvis decennier bort.

Några av områdets utmaningar är att skala upp systemen (eftersom man vill att qubits ska vara hoptvinnade blir de allt svårare att hantera när antalet ökar), att utveckla kontrollsystem, att få stabila system och att undvika störningar från omgivningen (som vibrationer, temperaturvariationer och elektromagnetiska vågor), att rätta upp fel på kort sikt men samtidigt undvika att korrigeringen medför fel på lång sikt, att skapa metoder för effektiv transformering av stora mängder data i "klassiskt format" till kvanttill-

Kvantdatorer - kort om tekniken

En vanlig dator arbetar med de binära talen 0 och 1 (eng. "bits"). En kvantdator använder istället kvantbitar (eng. quantum bits, "qubits") för att lagra och hantera information. Det är stor skillnad mellan bits och qubits. Bits kan liknas vid av-och-på-knappar som har två lägen. Qubits kan istället jämföras med en dimmer, som kan ha oändligt många lägen mellan av och på.

Kvantdatorer drar särskilt nytta av två egenskaper hos qubits. Det första är överlagring, vilket innebär att en qubit samtidigt kan vara "0" och "1". Eftersom den kan existera i båda tillstånden på samma gång så kan den utföra flera beräkningar samtidigt.

Det andra är hoptvinning, att flera qubits tvinnas ihop och fungerar som en sammanhängande grupp. Detta gör att qubits kan dela information inom sin hoptvinnade grupp. Överlagring och hoptvinning gör att beräkningshastigheten är väsentligt mycket högre, ibland exponentiellt, jämfört med en vanlig dator.

Ett sätt att beskriva skillnaden är tankeexperimentet att datorn ska hitta vägen genom en labyrinth. En vanlig dator skulle i tur och ordning prova alla tänkbara stigar tills den hittar den korrekta lösningen. Men en kvantdator skulle testa alla stigar på samma gång och därför snabbare ta sig ut ur labyrinthen.

³⁸ Iyer, A. *Quantum Computing*. Tech factsheets for policymakers. Spring 2020 Series. Ed. Rosenfeld E, Lukin M, Oliver W, Jayanti A. Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

stånd, design av algoritmer samt utveckling av mjukvara för kvantdatorer.

För närvarande fokuserar USA på att bygga upp teknisk kunskap, system för forskningssamarbete samt kompetens hos de som arbetar inom området. Kvantberäkning kan i framtiden påverka områden såsom digital säkerhet, hälso- och sjukvård och artificiell intelligens. Därför menar författarna att beslutsfattarna bör ha förståelse för hur tekniken kan komma att utvecklas. Författarna menar också att beslutsfattarna måste överväga hur kvantdatorer kan komma till nytta i samhället, samtidigt som risker för integritet och säkerhet måste hanteras.

Kvantdatorer - Komet:s kommentarer

- Sverige ligger långt framme inom forskning som rör kvantdatorer. Professor Per Delning vid Chalmers Tekniska högskola leder en stor satsning med medel från såväl forskningsfinansiärer och universitet som från industrin³⁹. I likhet med de amerikanska satsningar som beskrivs i faktabladet bygger Sverige upp kunskap, system och kompetens inom området.
- Även på EU-nivå görs en storsatsning på kvantdatorer, Quantum Flagship.⁴⁰ Det är en av Europas största investeringar inom forskning och innovation och den omfattar i storleksordningen tio miljarder kronor. Sverige deltar tillsammans med många andra europeiska länder.
- Strävan efter att dra fördel av kvanttekniken är global. Redan i augusti 2016 sände Kina upp världens första satellit, Micius, som nyttjar tekniken för kommunikation.⁴¹ Här har kvantteknik använts för att skapa kodnycklar som ger mycket säker informationsöverföring.
- Den amerikanska Nobelpristagaren i fysik Frank Wilczek är professor vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) och vid Stockholms Universitet. Vid en presentation om bland annat kvantdatorer vid Forskningspolitiska dagen 2019 avrundade han med följande framtidsspaning (i översättning): "Utrymmet för kreativitet är enormt. Vi bör tänka såväl brett som långsiktigt".
- Även om det finns en stark utveckling inom området befinner sig dagens forskning ännu på grundforskningsnivå och att det dröjer innan mer praktiska tillämpningarna blir relevanta.

³⁹ www.chalmers.se/sv/nyheter/Sidor/Nu-startar-bygget-av-en-svensk-quantdator.aspx

⁴⁰ <https://qt.eu/>

⁴¹ www.aerospace-technology.com/projects/micius-quantum-communication-satellite/

Blockkedjor - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University⁴²

Blockkedjor används för att lagra information utspjutt på flera datorer. Tekniken togs i bruk år 2009 i samband med lanseringen av den digitala valutan *bitcoin*. Sedan dess har blockkedjor använts för många olika syften, framför allt inom bank och finans samt för att följa produkters tillverkning, distribution och leverans.

Blockkedjor och andra applikationer som bygger på tekniken *distribuerade liggare* har fördelar jämfört med traditionella databaser, till exempel högre säkerhet. De används därför vid utveckling av vissa nya tekniker, såsom sakernas internet (*internet of things*, IoT).

Författarna menar att regleringen av blockkedjor ännu är begränsad och framför allt består av självreglering av de som arbetar inom fältet.

Som fördelar med blockkedjor lyfter författarna fram datasäkerhet, möjligheten att verifiera att data inte har manipulerats, transparens samt bred tillgänglighet.

Å andra sidan finns en rad risker och utmaningar, menar författarna. De tar särskilt upp dataskydd (det går inte att bli "glömd"), juridik (det är oklart hur så kallade smarta kontrakt som bygger på blockkedjor svarar mot traditionell lagstiftning), tekniska utmaningar, skalbarhet, hållbarhetsaspekter (kräver mycket el), att det är oklart hur säkerheten ser ut på längre sikt samt risken att blockkedjor missbrukas av totalitära regimer. Författarna anser att de många utmaningarna med blockkedjor måste lösas inom en snar framtid.

Blockkedjor - kort om tekniken

Blockkedjor bygger på tekniken distribuerad liggare (decentralized ledger technology, DLT), vilket innebär att en förteckning över händelser fördelas ut i identiska poster på många datorer istället för att finnas lagrad centralt.

Elektroniska signaturer kopplas till alla poster. En signatur skapas av den som lägger till en post, och dessutom läggs en signatur till av varje dator när datorn sparar en uppdaterad version av liggaren. Genom att liggaren finns i många exemplar, som dessutom bär med sig information om alla ändringar som gjorts över tid, blir den i praktiken omöjlig att manipulera.

Blockkedjor lagrar krypterade data i nätverk där alla datorer kommunicerar med varandra som jämlikar (peer-to-peer network, P2P). Blockkedjan är en komplett, distribuerad, lista som kopplar samman sekventiella "block" av information till "kedjor". Varje block innehåller en sammanfattning av det block som ligger före i kedjan.

För att göra en ändring (till exempel ett tillägg) krävs ett godkännande från ett antal datorer i nätverket. De kontrollerar att den som vill göra ändringen har rätt att göra det, och dessutom kollar själva blockkedjan. Om allt stämmer godkänner datorerna ändringen, och lägger till ett nytt block som innehåller informationen (och en signatur) i kedjan.

Offentligt tillgängliga blockkedjor har en liggare som är öppen för alla, samtidigt som posterna är decentraliserade såsom beskrivs ovan. En användare kan be om tillåtelse att skriva eller lägga till information i blockkedjan. Tekniken används för de flesta kryptovalutor (såsom den virtuella valutan bitcoin). Blockkedjor kan också användas inom ett enskilt företag eller organisation, till exempel för revision eller registerhantering.

⁴² Endemann B, Wladawsky-Berger I, LaPointe C, Yen H. *Blockchains. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A, Belel B.Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

Blockkedjor - Komet:s kommentarer

- Regeringen har gett två myndigheter, Lantmäteriet och Myndigheten för digital förvaltning (DIGG), i uppdrag att testa ny teknik för automatisering i den offentliga förvaltningen.⁴³ Inom ramen för uppdraget ska myndigheterna testa om blockkedjeteknik kan vara ett sätt att öka transparensen.
- Lantmäteriet har tillsammans med bland annat Skatteverket drivit i ett utvecklingsprojekt som uppmärksammats av såväl World Economic Forum som Wall Street Journal.⁴⁴ Projektet genomfördes sommaren 2018, och det innefattade världens första helt digitala fastighetsöverlåtelse med hjälp av en blockkedjelösning. Att våga testa och att genomföra försök med ny teknik är något som Komet lyfter fram som ett viktigt sätt att få ny kunskap. Läs mer i Komets rapporter om försök, som bland annat ger en internationell utblick i ämnet.⁴⁵
- Det amerikanska faktabladet beskriver att blockkedjor ofta används i applikationer kopplade till valuta. Här i Sverige driver Riksbanken ett pilotprojekt som undersöker teknik för en digital centralbankspeng, en e-krona.⁴⁶ Den tekniska lösningen kommer att baseras på en distribuerad liggare (*distribuerad ledger technology, DLT*) vilken är den teknik som används i blockkedjor.

⁴³ Regeringsuppdrag från Infrastrukturdepartementet. *Uppdrag om att testa ny teknik vid automatisering inom offentlig förvaltning*. Diariennr. I2019/03237/DF. Publicerad 12 december 2019

⁴⁴ www.lantmateriet.se/sv/nyheter-och-press/nyheter/2018/blockkedjan-testad-live--kan-spara-miljard-er-at-bostadskopare-och-bolankunder/

⁴⁵ Komet, 2019 samt 2020. *Försök för teknologisk innovation*. Komet beskriver 2019:09 samt *Försök! – Rapport med förslag till regeringen*. Komet beskriver 2020:23.

⁴⁶ www.riksbank.se/sv/betalningar--kontanter/e-krona/teknisk-losning-for-e-kronapiloten/

Geoengineering av solinstrålning - sammanfattning av faktablad från Belfer Center vid Harvard University⁴⁷

Författarna beskriver geoengineering av solinstrålning som olika typer av ny teknik som påverkar hur mycket solljus som träffar jorden. Oavsett vilken teknik som används är syftet att minska den globala uppvärmningen.

Författarna lyfter fram att det finns risker med geoengineering av solinstrålning och att mycket ännu är osäkert. För att fatta beslut inför framtiden menar de att det behövs god förståelse av effektivitet, fördelar och risker och strategier för att göra användningen säkrare.

Att geoengineering av solinstrålning inte kan ersätta arbetet med att minska utsläpp av växthusgaser betonas starkt av författarna. Tekniken kan alltså inte användas för att neutralisera klimatpåverkan från dagens utsläpp av växthusgaser (främst koldioxid), och inte heller för att tvätta bort effekterna av utsläpp som skett tidigare under historien till exempel från industrier och fordon.

Effekten skulle bli olika, beroende på vilken teknik som tillämpas. Utsläpp av partiklar i stratosfären skulle kunna få en jämn påverkan på stora områden och därigenom påverka klimatvariablerna förhållandevis brett, medan effekten av ljusare moln skulle bli mer fläckvis eftersom varje moln bara skuggar en begränsad del av landytan.

Författarnas bedömning är att geoengineering av solinstrålning, i kombination med minskning av utsläpp av växthusgaser, skulle kunna ha flera positiva effekter på klimatet såsom mindre extrema temperaturer och mindre intensiva tropiska stormar. Det kan också begränsa effekterna av klimatförändringar i havsmiljön, såsom högre vattennivå och stigande temperatur. Men de betonar samtidigt att fördelar måste vägas mot risker.

Bland riskerna lyfter författarna att en lokal effekt kan vara negativ, även om den globala effekten är gynnsam. Det finns även risk att luftkvalitet och ozonskikt påverkas på sätt som är svåra att förutsäga.

Geoengineering av solinstrålning - kort om tekniken

Geoengineering av solinstrålning kan ses som en princip – ett sätt att begränsa klimatpåverkan från solenergi – snarare än en viss specifik teknik.

Till exempel kan olika tekniska lösningar tillämpas på marken, i luften (genom att påverka molnen), högre upp i jordens atmosfär (genom att sprida ut partiklar på några mils höjd) eller i rymden.

En ljus markyta värms inte upp lika mycket som en mörk. Därför går det att begränsa uppvärmningen från solen genom att måla ytor vita eller genom att odla ljusa grödor.

Molnen kan påverkas genom att göra dem ljusare så att de reflekterar bort mer av solenergin (eng. marine cloud brightening), ungefär såsom ett parasoll fungerar. En annan teknik är att minska tjockleken på vissa typer av höga moln, vilket gör att de släpper igenom mer strålning från jorden ut i rymden (eng. cirrus cloud thinning) vilket i sin tur medför att jorden kan bli av med en del överskottsvärme.

Att sprida ut små partiklar som är finfördelade i en gas på hög höjd skulle ge ett skikt som får en del av solstrålarna att studsas (eng. stratospheric aerosol scattering). Effekten kan uppstå naturligt när aska sprids efter ett vulkanutbrott. Vid geoengineering vill man helst använda partiklar som i sig är reflekterande, såsom aluminium, barium eller svaveldioxid.

Exempel på rymdbaserad teknik är att reflektera bort solljus bort från jorden genom att placera speglar i rymden.

⁴⁷ Burns L, Keith D, Irvine P, Horton J. *Technology Factsheet: Solar Geoengineering*. Editor Belei B. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.

Geoengineering av solinstrålning - Komets kommentarer

- I det amerikanska faktabladet beskrivs geoengineering som teknik för att begränsa solinstrålningens effekter. Enligt svenska SMHI har begreppet geoengineering, "en storskalig och avsiktlig manipulering av en planets klimat", kommit att användas för tekniska ingrepp i syfte att stoppa uppvärmning av jorden.⁴⁸ Geoengineering kan antingen ske genom att minska den mängd solljus som träffar jorden (som alltså tas upp i detta faktablad) eller genom att eliminera växthusgaser från atmosfären.
- Om geoengineering tillämpas kan hela jorden påverkas. Internationella regelverk som styr användning av denna teknik blir därför viktiga. En beskrivning av juridiken finns i boken *Climate Engineering and the Law*, som beskriver hur regelverk för bland annat ansvar och kompensation skulle kunna utformas.⁴⁹
- Förenta nationernas miljöprogram, UNEP, samordnar FN:s miljöarbete. I en konvention för biologisk mångfald har UNEP beslutat om ett moratorium avseende geoengineering. Det innebär att inga sådana aktiviteter ska äga rum förrän det finns en tillräcklig vetenskaplig bas.⁵⁰ Små forskningsstudier under väl kontrollerade förutsättningar är dock undantagna.
- En kommentar om geoengineering i syfte att eliminera växthusgaser från atmosfären (alltså inte begränsning av solinstrålning) är att UNEP:s moratorium har ett undantag för koldioxidinfångning och lagring (CCS) från fossila bränslen, om koldioxiden fångas in innan den når atmosfären. Den svenska Klimatpolitiska vägvalsutredningen har föreslagit att Sverige bör verka för att ändra moratoriet, så att undantaget om CCS även omfattar biobränslen.⁵¹
- Mer läsning om geoengineering finns exempelvis i en sammanställning om forskning, kostnader, möjligheter och risker med tekniken av en amerikansk icke-statlig organisation år 2019.⁵²

⁴⁸ www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatpaverkan/geoengineering-1.75609

⁴⁹ Gerrard MB and Hester T, 2018. *Climate Engineering and the Law. Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal*. Cambridge University Press

⁵⁰ Convention on Biological Diversity. Decision adopted by the conference of the Parties to the convention on biological diversity tenth meeting. UNEP/CBD/COP/DEC/X/33. 29 October 2010.

⁵¹ Klimatpolitiska vägvalsutredningen. *Vägen till en klimatpositiv framtid*. SOU 2020:4. Januari 2020

⁵² *Ensuring a safe climate. A National Imperative for Research in Climate Intervention and Earth System Prediction*. Silver Lining, 2019.

Förteckning över faktablad

Belfer Center Technology Factsheets

- **5G**
Yen H, Simpson D, Gorman L. *5G. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A. Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.
- **Artificiell intelligens**
Santus E, Christine N, Mellon C, Harshini J. *Technology Factsheet: Artificial intelligence*. Ed. Jayanti A. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Jan 2020.
- **Blockkedjor**
Endemann B, Wladawsky-Berger I, LaPointe C, Yen H. *Blockchains. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A, Belei B. Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.
- **Deepfakes, manipulerade filmer gjorda med AI-teknik**
Davis, R. *Deepfakes. Tech factsheets for policymakers*. Ed. Jayanti A. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Spring 2020.
- **Geoengineering av solinstrålning**
Burns L, Keith D, Irvine P, Horton J. *Technology Factsheet: Solar Geoengineering*. Editor Belei B. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.
- **Gendrivare**
Lunshof J, Shachar C, Edison R, Jayanti A. *Technology Factsheet: Gene Drives*. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, January 2020.
- **Genomredigering**
Winterberg S, Shachar C, Lunshof J, Grolman J. June 2019. *Genome editing. Tech factsheets for policymakers*. Ed. Belei B. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.
- **Kvantdatorer**
Iyer, A. *Quantum Computing. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Rosenfeld E, Lukin M, Oliver W, Jayanti A. Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.
- **Maskininlärning**
Robinson A and Herbert-Voss A. *Technology Factsheet: Machine Learning*. Editor Belei B. Paper, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.
- **Sakernas internet (eng. Internet of Things, IoT)**
Kim N, Lee I and Zazo J. *Internet of Things. Tech factsheets for policymakers*. Ed. Belei B. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, June 2019.
- **Syntetisk biologi**
O'Leary C, Silver P, van Opstal E, Rozo M. *Synthetic Biology. Tech factsheets for policymakers*. Spring 2020 Series. Ed. Jayanti A. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.

Faktablad från Komet kommenterar

- **5G**
5G – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:14, publicerad 2020-09-01.
- **Artificiell intelligens**
Artificiell intelligens – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:25, publicerad 2020-11-04.
- **Blockkedjor**
Blockkedjor – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:16, publicerad 20-09-01.
- **Deepfakes, manipulerade filmer gjorda med AI-teknik**
Manipulerade filmer gjorda med AI-teknik (eng. deepfakes) – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:27, publicerad 2020-11-04.
- **Gendrivare**
Gendrivare – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:21, publicerad 2020-11-17.
- **Geoengineering av solinstrålning**
Geoengineering av solinstrålning – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:22, publicerad 2020-11-17.
- **Genomredigering**
Genomredigering – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:19, publicerad 2020-10-07.
- **Kvantdatorer**
Kvantdatorer – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:17, publicerad 2020-09-01.
- **Maskininlärning**
Maskininlärning - korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:26, publicerad 2020-11-04.
- **Sakernas internet (eng. Internet of Things, IoT)**
Sakernas internet – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:27, publicerad 2020-11-17.
- **Syntetisk biologi**
Syntetisk biologi – korta faktablad om aktuell teknik. Komet kommenterar 2020:15, publicerad 2020-09-01.