



**Banbrytande teknologi:**  
att tänja gränserna för  
framtidens datorprestanda

# Banbrytande teknologi: att tänja gränserna för framtidens datorprestanda

**Morten Springborg,**

*Temaspecialist, C WorldWide Asset Management.*

---

## Viktiga lärdomar

- Moores lag har varit en av de viktigaste drivkrafterna för produktivitet och ekonomisk tillväxt de senaste 50 åren.
- Att kontinuerligt fortsätta fördubbla datorprestandan blir dock allt svårare och något som i hög grad blivit beroende av ett fåtal bolag – bolag som vi anser hör till världens viktigaste idag.
- Även om Moores lag skulle upphöra, betyder det inte slutet för datorernas prestanda-utveckling. De kommer i framtiden att bygga på en kombination av traditionell kiselbaserad databehandling och nya typer baserade på neuromorfiska principer och kvantprinciper.

I mer än 50 år har halvledarindustrin lyckats utveckla teknologier som har bekräftat den så kallade Moores lag, det vill säga att antalet komponenter på en integrerad krets fördubblas löpande och att datorprestandan därmed växer exponentiellt. Moores lag har därmed bidragit till att driva produktivitet och utvecklingen av affärsmodeller, och därmed även den ekonomiska

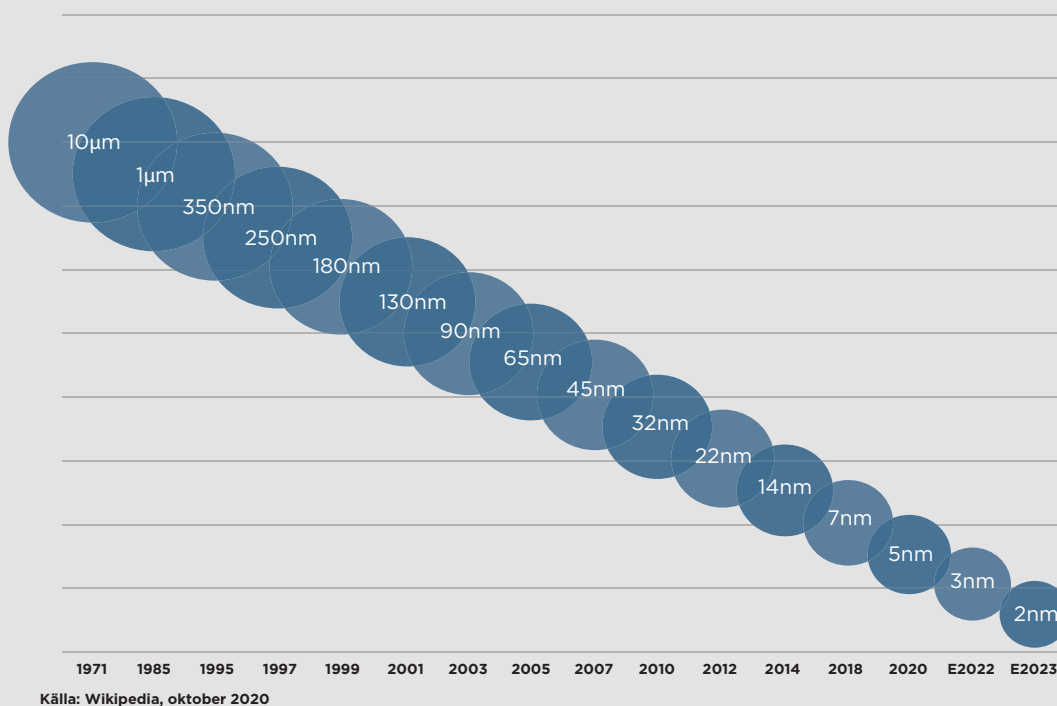
tillväxten under de senaste 50 åren. Se även [Fjärils-effekten och Taiwan som nutidens IT-hotspot](#).

Inom halvledarvärlden pratar man ofta om ”nodstorlek” för att beskriva utvecklingen. Noderna har blivit allt mindre under de senaste decennierna i takt med att tillverkningstekniken har utvecklats; se figur 1 på nästa sida. I början av 1970-talet var noderna i avancerad processteknik 10 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ), medan de minsta som tillverkas idag är omkring 5 nanometer (nm), alltså 2 000 gånger mindre.

Genom åren har Moores lag dödförklarats eller förutspått dö vid flera tillfällen när branschen har närmast sig submikronstorlekar. Redan vid ett avstånd på 1  $\mu\text{m}$  (1 000 nm) mellan enskilda transistorer var det många som ställde sig skeptiska till lagen och hur väl den skulle kunna upprätthållas. Nu är vi nere på 5 nm i och med att Apples senaste surfplattor iPad Air kommer att vara utrustade med bolagets nya A14 Bionic 5 nm-processor, tillverkad av Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC).

Att Moores lag fortfarande gäller är resultatet av många bolags arbete med att tänja på fysikens gränser. I värdekedjan för halvledare ingår utrustning för halvledarproduktion, med bolag som ASML, LAM och Applied Materials, fotomasktillverkare som Hoya och AGC samt halvledar-IP och designtjänstföretag som ARM,

**Figur 1: Processnoder genom tiderna**



Synopsys och Cadence. Dessa bolag har drivit på Moores lag och därmed varit oerhört viktiga för bolag som tillverkar och designar halvledare, oavsett om det har varit oberoende kontraktstillverkare som TSMC, som tillverkar kretsar för bolag som designar dem men inte har egna fabriker, eller tillverkare av integrerade enheter (IDM) som Intel och Samsung, som både designar och tillverkar egna kretsar. Här ingår även bolag som designar halvledare men som inte har egna fabriker, som Apple, HiSilicon, Nvidia och Mediatek, som alltså lägger ut produktionen på kontrakt till TSMC.

Genom åren har branschen utvecklats enligt Moores lag, och eftersom den blivit allt svårare att följa har många bolag antingen köpts upp eller helt enkelt fallit bort längs vägen. Detta har resulterat i kraftigt konsoliderade slutmarknader för dagens kvarstående aktörer. Här tittar vi på hur länge vi kan räkna med att Moores lag ska gälla. Vi lyfter även fram några av de mest koncentrerade

marknaderna för värdekedjan för halvledare och ett antal av de viktigaste bolagen inom branschen.

### **Litografins betydelse**

Även om framsteg inom alla delar av värdekedjan har bidragit till att Moores lag har fortsatt gälla, menar vi att det finns en viktig faktor på utrustningssidan som varit avgörande för branschens utveckling, nämligen litografi.

Transistorer tillverkas genom att de ”trycks” på en kisel-skiva. Detta görs genom att ljus strålas genom en fotomask, som därmed tränger igenom kiset och etsar mönstret på skivan. När storleken på transistorer minskar måste även ljuskällan göras mindre och mer exakt. Detta beror på att det finns grundläggande begränsningar, som bestäms av fysikens lagar, enligt vilka ljusets våglängd är kopplad till dimensionen på det som etsas med ljuskällan.

Litografiutrustningen avgörs av typen av ljuskälla och därmed våglängden på det ljus som används som källa för exponeringen av kiselskivan. På 1990-talet introducerades djup ultraviolett litografi (DUV). Till en början användes en våglängd på 248 nm med kryptonfluoridlaser (KrF) och sedan övergick man till argonfluoridlaser (ArF) med en våglängd på 193 nm. Eftersom halvledarnoderna blivit allt mindre har det krävts allt mindre våglängder för att tillverka de kritiska skikten i en integrerad krets. Det var så man fick fram extrem ultraviolett litografi (EUV). Det var resultatet av en storskalig insats från hela branschen under en period på mer än 20 år, där det nederländska bolaget ASML spelade en ledande roll.

### **ASML är avgörande för Moores lag**

ASML är en av världens ledande tillverkare av utrustning för halvledarproduktion. Bolaget är teknikledande inom litografisystem med en marknadsandel på över 80 procent. Under perioden fram till dess att EUV kom till, fanns det tre bolag som erbjöd DUV-utrustning, japanska Nikon och Canon samt ASML. ASML spelar idag en ännu viktigare roll för att Moores lag ska fortsätta gälla, eftersom dess två japanska konkurrenter slutat utveckla sin egen teknik. ASML är för närvarande den enda leverantören av EUV-litografiteknik.



**Man kan nog med rätta säga att TSMC till viss del står bakom tillväxten för de flesta av världens stora halvledarföretag idag.**

Det bör understrykas hur oerhört komplex EUV-tekniken är. En laser genererar plasma i en vakuumkammare vid en temperatur på 220 000 °C, vilket är 30–40 gånger varmare än temperaturen på solens yta. Lasern riktas mot ett flöde av tenndroppar inuti litografisystemet, där den plattar till 50 000 av dessa små droppar varje sekund. Lasern träffar varje liten droppe två gånger. Vid

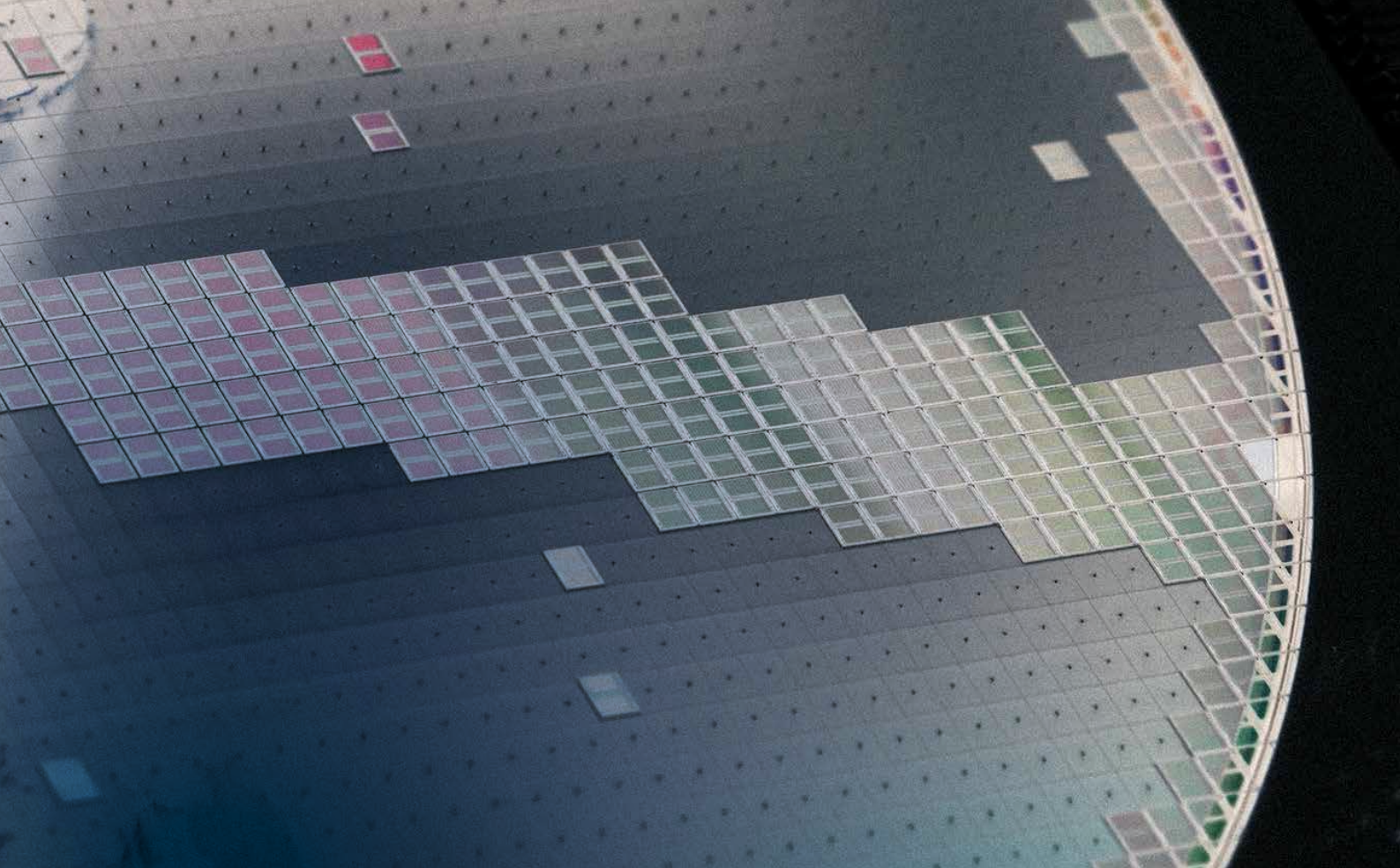
den andra träffen omvandlas den tillplattade droppen till plasma som avger EUV-ljus. Efter att ha passerat genom ett antal speglar riktas EUV-ljuset sedan mot skivorna.

Med flera hundra tusen komponenter är ett EUV-litografisystem en av de mest komplexa maskiner som någonsin byggts. Totalt väger den 180 ton och förbrukar mer än 1 MW el. Första generationens EUV-maskiner kostar 120 miljoner USD och priset för framtida versioner kommer att öka i takt med att produktiviteten ökar, vilket ASML kompenseras för. Betydelsen av det enorma arbete som branschen har gjort kan inte underskattas. Om utvecklingen hade misslyckats skulle Moores lag ha upphört, kretsindustrin skulle ha slutat växa och vi skulle förmodligen ha sett en betydligt lägre total produktivitetsökning i världsekonomin.

### **Hoya är ensam leverantör**

Hoya är ett ledande japanskt teknikbolag som verkar inom fyra huvudsakliga områden med gemensam teknik som är resultatet av flera års djuplodande forskning inom glasteknik. Divisionerna är elektrooptik (halvledare och LCD-fotomasker/blankämnen, optiska linser och glassubstrat för hårddiskar), avbildning (kameror och linsmoduler), hälsovård (glasögon och kontaktlinser) och sjukvård (endoskop). Enligt vår mening är fotomasker den mest spännande verksamheten. Hoya är en dominerande aktör med gynnsamma tillväxtutsikter eftersom storskalig användning av EUV-litografi kommer att driva en stark efterfrågan. AGC och Hoya är de två enda leverantörerna av blankämnen för EUV-masker, en viktig komponent i en litografimaskin.

Vi har inga exakta uppskattningar för priset på deras produkt, men Hoya har antytt att det motsvarar en ”medelstor bil”, vilket är ungefär 30 000 USD och grovt räknat 10–20 gånger dyrare än ett optiskt blankämne för DUV – den teknik som föregick EUV. Litografiprocessen kräver i genomsnitt fem blankämnen för EUV-masker för 7 nm-tillämpningar, 14 för 5 nm och 22 för 3 nm. I takt med att EUV-tekniken tar fart under de närmaste åren får Hoya, som idag är den enda leverantören av blankämnen för fotomasker till Samsung och TSMC, en betydande positiv mixeffekt. AGC är leverantör till



Intel, men hittills har inte Intel lanserat kommersiell EUV. Hoya kan därmed betraktas som den enda leverantören av blankämnen för EUV.

### **Konsoliderad tillverkning**

I halvledarindustrins begynnelse var det samma bolag som både designade och tillverkade kretsar. Det är dock bara en handfull tillverkare, som Intel, som har hållit fast vid samma affärsmodell fram till idag. Under 1980-talet började tillverkare separera design och produktion. Genom att specialisera sig kunde de fokusera på att utveckla nya sätt att tänja på de fysiska gränserna och därmed hålla Moores lag vid liv. Samtidigt kunde ett mycket större antal teknikbolag koncentrera sig på att designa för en uppsjö av nya produkter, bland annat datorer, konsoler, smartphones och nätverk.

Genom åren har halvledarindustrin konsoliderats rejält. 2001 fanns närmare 30 halvledartillverkare som producerade avancerade kretsar. Framöver kommer det sannolikt bara att finnas två: TSMC och Samsung, nu när Intel har meddelat att bolaget överväger att lägga

ut avancerad tillverkning. Utöver att det är tekniskt komplext med produktion på atomnivå blir kostnaderna också ohanterbara för alla som inte producerar stora volymer. Kostnaden för en produktionsanläggning stiger med cirka 13 procent per år och förväntas uppgå till 16 miljarder USD eller mer år 2022, medan forsknings- och utvecklingskostnaderna för att starta en ny anläggning kan uppgå till 4 miljarder USD.

### **TSMC dominerande**

Man kan diskutera vem som borde ingå i teknologins ”*Hall of Fame*”, men en person är definitivt Morris Chang, grundare av TSMC. På 1980-talet arbetade han på Texas Instruments. Där såg han vilka problem oberoende halvledarföretag utan egen tillverkning stod inför. På den tiden kostade det omkring 50-100 miljoner USD att starta en ny anläggning, främst på grund av tillverkningskostnaden. Det gick att anlita Intel, Texas Instruments eller Motorola för produktionen, men det var ingen tillförlitlig lösning. Dessutom var de dina konkurrenter!

I mitten av 1980-talet fick Morris Chang i uppdrag av den taiwanesiska regeringen att identifiera var Taiwan kunde investera för att bygga upp global teknikkapacitet. I en intervju från 2007 säger han så här:

*“När jag var på TI och General Instruments fanns det många designers av integrerade kretsar som ville sluta och starta eget, men det enda ... som hindrade dem från att sluta var att de inte kunde få in tillräckligt med kapital för att starta ett eget företag. ... man trodde att alla företag behövde egen tillverkning, ... och det var den mest kapitalintensiva delen av ett halvledarföretag. Jag såg alla de här personerna som ville sluta, men som stoppades för att de inte lyckades få in pengar för att bygga en fabrik. Så jag tänkte att TSMC, en renodlad kontraktstillverkare av halvledare, kunde vara lösningen. På så sätt kunde vi hjälpa de här personerna att starta egna verksamheter. De skulle bli våra kunder och samtidigt utgöra en stabil och växande marknad för oss.”*

Resten är historia. Genom att bygga upp en storskalig verksamhet och erbjuda tillverkning åt väldigt många bolag som själva saknade tillverkning, kunde TSMC så småningom växa om branschledaren Intel. Intel är inte längre det ledande bolaget och kommer att få det oerhört svårt att få upp tillverkningen till tidigare nivå.



**I korthet vet vi inte när Moores lag kommer att upphöra att gälla, men med största sannolikhet har vi ännu några ”dubblingar” framför oss.**

Bolag som Apple, Amazon, Nvidia och AMD med flera har tvärtom framgångsrikt använt sig av TSMC för tillverkning och utmanar Intels position när det gäller övergripande prestanda. Man kan nog med rätta säga att TSMC till viss del står bakom tillväxten för de flesta av världens stora halvledarföretag idag.

Marknaden för kontraktstillverkning av halvledare är kraftigt koncentrerad och värderas till 65 miljarder USD. TSMC har en marknadsandel på över 50 procent. Samsung Electronics har en andraplats med en marknadsandel på cirka 18 procent. Andra kontraktstillverkare är Global Foundries, taiwanesiska UMC och kinesiska SMIC. TSMC och Samsung är de enda bolag som håller det som i sammanhanget kallas avancerad teknisk nivå – alla andra har kastat in handduken för många år sedan.



**Resultatet är att datorprestandan inte kommer (och kan inte) baseras på ständigt ökande processorkraft (det vill säga Moores lag), utan snarare på förmågan att förstå och dra slutsatser från massiva datainsamlingar.**

Det bör noteras att mindre ledande nodchip ökar kraftigt vilket är ett segment där TSMC är dominerande. Deras försäljning är tre gånger större än närmaste konkurrents, vilket ger skalfördelar i form av lägre enhetskostnader och ökad marknadsandel. Under andra kvartalet 2020 stod den mest avancerade 7 nm-noden för cirka 36 procent av TSMC:s försäljning. Detta motsvarar cirka 3,3 miljarder USD, lika mycket som all försäljning av noder tillsammans för Samsung, SMIC och UMC.

### **Hur länge kan EUV förlänga Moores lag?**

Målet för nästa generations EUV-maskiner med hög NA (numerisk apertur) är att nå nivåer ner till 2, kanske till och med 1 nm, innan decenniet är slut. Dessutom finns olika möjligheter att välja bland för att Moores lag ska fortsätta gälla. Bland dessa kan nämnas användningen av innovativa material (så kallad dopning) för att skapa nya typer av transistorer, exempelvis övergång från CMOS FET till FinFET och så småningom till så kallad Gate All Around FET.

När man kommer under 1 nm och börjar mäta nodstorlek i pikometer finns det många krafter som hindrar transistorer från att bli mindre. Det går att sikta på mindre storlek, men man kan inte bryta mot fysikens lagar. När vi når gränsen finns det fortfarande ett sätt att placera transistorer och det är vertikalt. Om transistorer staplas ovanpå varandra går det automatiskt att dubbla, tredubbla eller till och med fyrdubbla antalet transistorer per kvadratmillimeter. Det ger betydande möjligheter, förutsatt att problemen med överskottsvärme går att lösa.

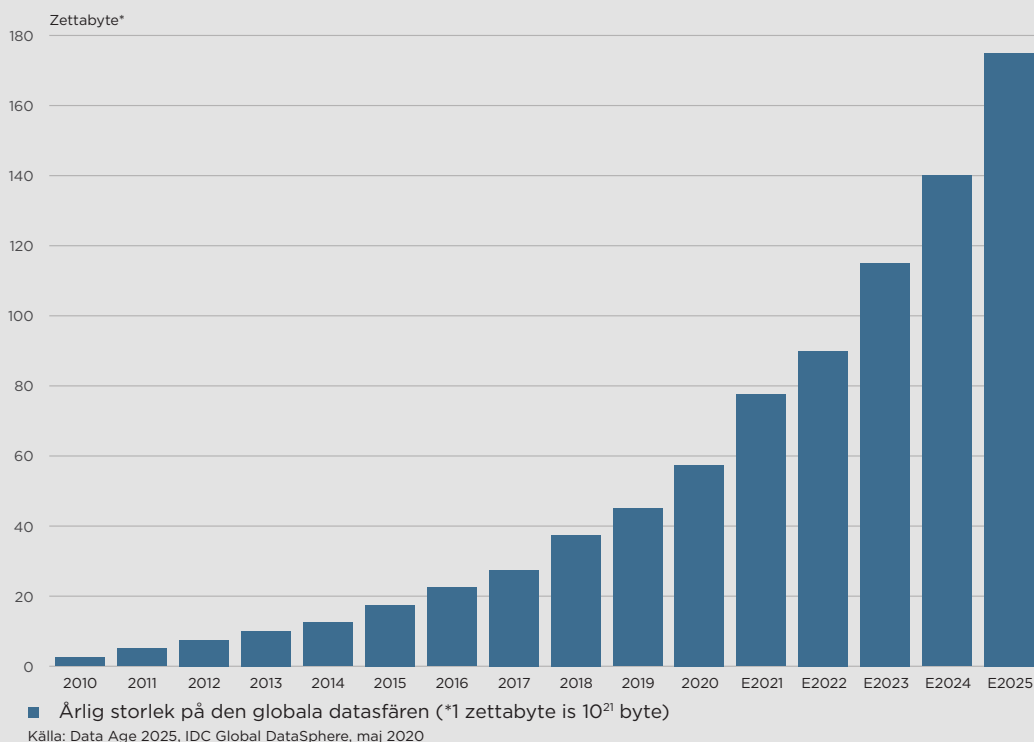
I korthet vet vi inte när Moores lag kommer att upphöra att gälla, men med största sannolikhet har vi ännu några ”dubblingar” framför oss. Dagens mest avancerade chip har mer än 50 miljarder transistorer, och att gå från 7 till potentiellt 1 nm innebär att vi kan multiplicera detta med 8, eventuellt före 2030, till 400 miljarder transistorer utan att behöva gå över till 3D. Utöver detta finns det potential för bättre optimerad programvara och snabbare kod.

Även om tillverkare kan lyckas klämma fram ytterligare några generationer av ännu mer avancerade kretsar, är tiden då det gick att räkna med snabbare och billigare sådana vartannat år helt klart över. Det innebär dock inte att datorutvecklingen är slut. I själva verket behöver vi ett nytt system för datorprestanda för att dra nytta av potentialen från den nya eran med så kallad *edge computing*.

## Edge computing och den nya dataeran

Datorerna kommer i framtiden att behöva förstå ”mörk” data – se figur 2. Cirka 90 procent av världens data är ”mörk”, vilket betyder att människor och datorer inte kan använda den på ett meningsfullt sätt, och 2025 kommer mer än 460 exabyte data (motsvarande 213 miljoner DVD-skivor) att genereras varje dag. Den kan emellertid vara oerhört värdefull, och nya databaserade beräkningsmetoder som maskininlärning används

**Figur 2: Dataexplosion**



i allt större utsträckning för att kunna dra nytta av sådan data.

Det krävs dock mycket kraft för att kunna hantera data, och för att få fram insikter för att driva dataeran krävs betydande beräkningskraft. Dagens CPU-arkitekturer är dock inte optimala. Särskilda chip som är utformade för att påskynda specifika typer av beräkningar i datacenter med fokus på dataanalys och maskininlärning har därför vunnit marknadsandelar under de senaste åren. Det handlar om grafikprocessorer som kan utföra många likartade beräkningar parallellt. Det går visserligen att öka prestandan genom parallell databehandling i multikärnprocessorer, men vinsten har ett pris när alla kärnor på processorn kommunicerar med varandra. Energiförbrukningen blir nämligen mycket hög – så pass hög att kommunikationen mellan chip står för mer än hälften av datorns totala strömförbrukning.

## Datorprestanda i framtiden

Resultatet är att datorprestandan inte kommer (och kan inte) baseras på ständigt ökande processorkraft (det vill säga Moores lag), utan snarare på förmågan att förstå och dra slutsatser från massiva datainsamlingar. Det finns flera sätt datorprestanda kan fortsätta att växa exponentiellt på. Det kommer dock inte att ske genom traditionell arkitektur utan genom att omdefiniera datorprestandan i sig. Genombrott inom fysik och biologi är det som kommer att driva utvecklingen inom artificiell intelligens, sakernas internet, robotteknik och autonoma system. När Moores lag vid en punkt upphör att gälla, kommer neuromorfa och kvantbaserade system tillsammans med traditionell kiselbaserad databehandling att ligga till grund för en helt ny era för datorprestanda, vilket vi kommer att titta närmare på i kommande perspektiv.

Denna publikation har upprättas av C WorldWide Asset Management Fondsmaeglerselskab A/S Danmark Filial i Sverige (CWW AM SE). Denna publikation tillhandahålls endast i informationssyfte och utgör inte, och skall inte betraktas som, ett erbjudande, en uppmaning eller en inbjudan att delta i investeringsaktiviteter, ej heller som investeringsrådgivning eller som investeringsanalys. Publikationen har således inte framtagits i enlighet med lagkrav utformade för att främja oberoende investeringsanalys, och är inte föremål för något förbud att handla innan investeringsanalysens spridning. All information som är uttryckta är endast gällande från och med tidpunkten för offentliggörandet och kan komma att ändras. Publikationen har utarbetats från källor CWW AM SE anser vara pålitliga och alla rimliga försiktighetsåtgärder har vidtagits för att säkerställa att uppgifterna är korrekta och noggrant preciserade. Korrektheten och noggrannheten är emellertid inte garanterad och CWW AM SE tar inget ansvar för eventuella fel eller brister. Publikationen får inte reproduceras eller distribueras, helt eller delvis, utan skriftligt samtycke från CWW AM SE. Investeringar i fondandelar är alltid förknippade med risk. Historisk avkastning är ingen tillförlitlig indikator för framtida avkastning. Fondandelar kan både öka och minska i värde, och kan påverkas av ändringar i valutakursen. Det finns inga garantier för att du får tillbaka hela det investerade kapitalet. För mer information, se respektive KIID och prospekt på [cworldwide.com/se](http://cworldwide.com/se).

## **C WorldWide Asset Management Fondsmaeglerselskab A/S Danmark Filial i Sverige**

Box 7648 · Blasieholmsgatan 5 · SE-103 94 Stockholm  
Tel +46 8 535 273 00 · Org.nr. 516405-7233 · [cworldwide.com/se](http://cworldwide.com/se)  
Insikt Q4 2020