



Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

universiteit
hasselt

KU LEUVEN



Jan Genoe

jan.genoe@kuleuven.be

IEDM 2023 Hoogtepunten

Jaarlijkse momentopname van de technologische evolutie

maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

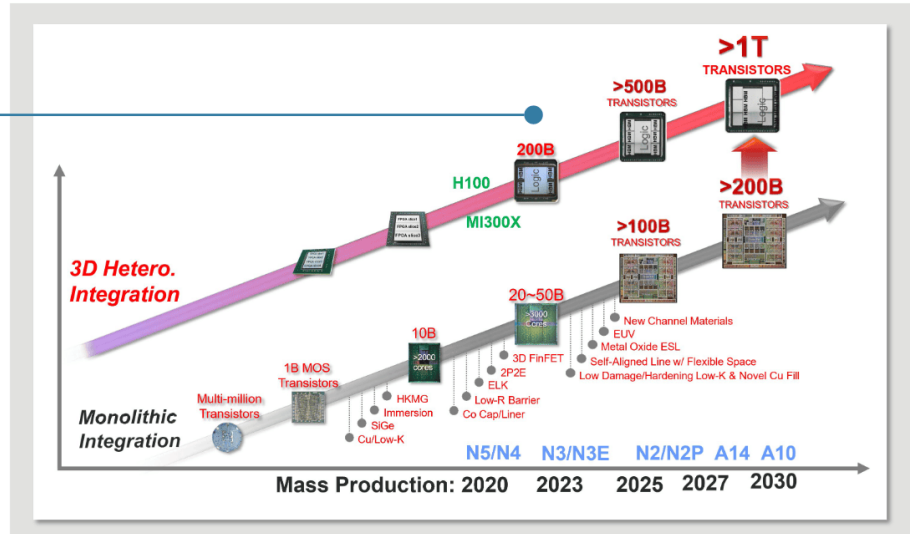
1

Elk jaar opnieuw is de IEDM conferentie een goed moment om de trends in de micro-elektronica technologie waar te nemen.

System Scaling Innovation



Enabled by TSMC
Adv Logic +
3DFabric™ (CoWoS,
SoIC, and InFO)
Technologies



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

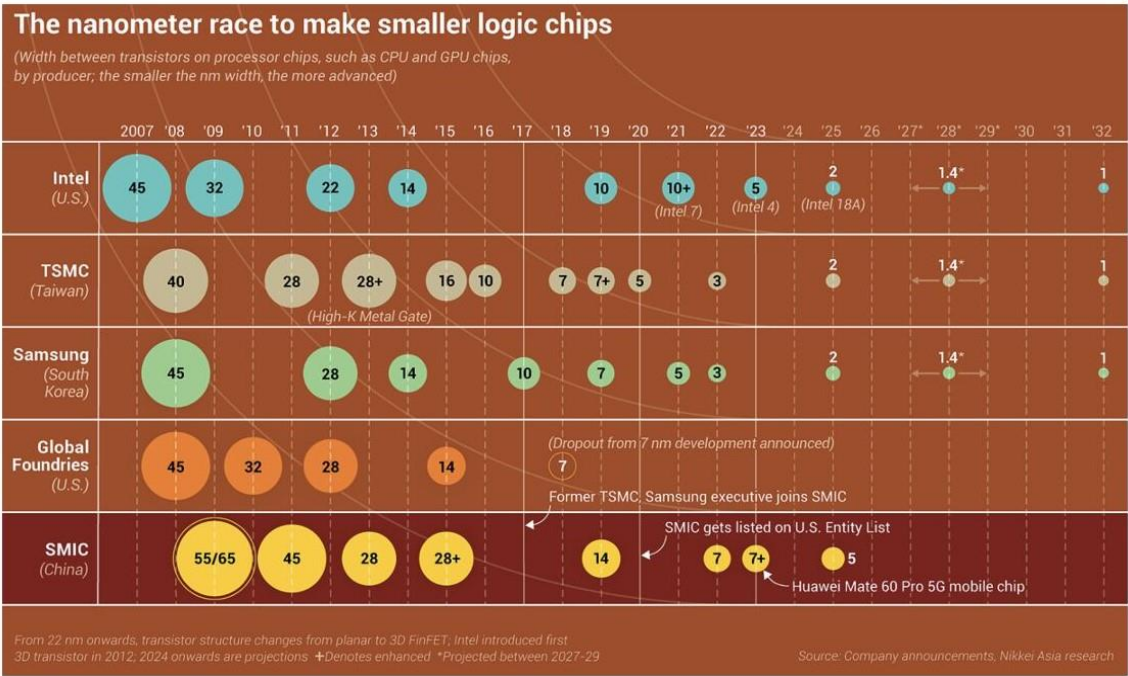
universiteit
hasselt

KU LEUVEN

2

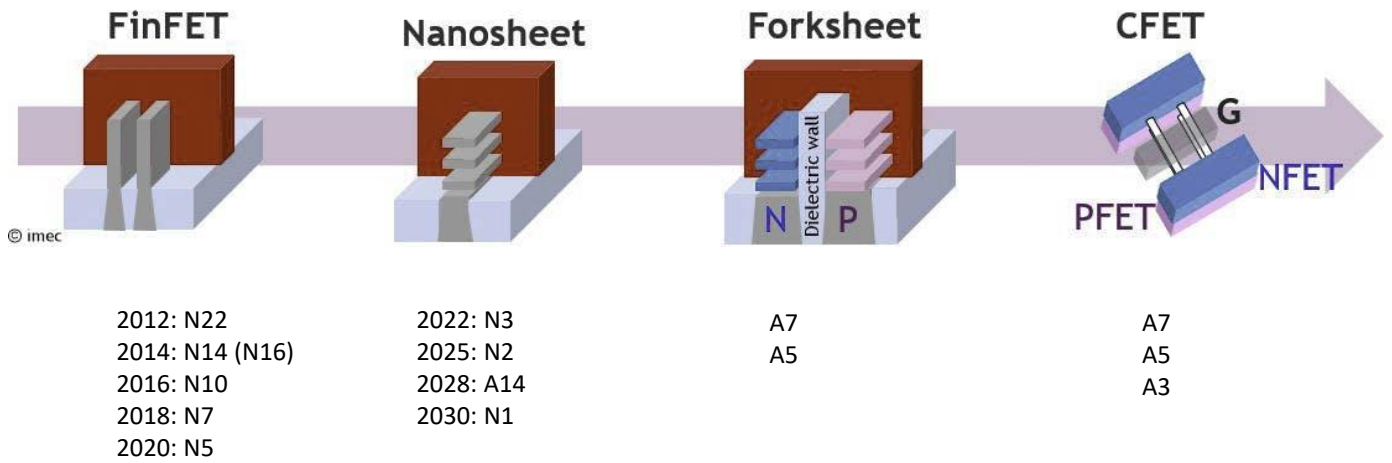


De nanometer race





Transistor evolutie



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

4

Figure 1 displays schematic cross-sections of various 1T1R architectures. The vertical axis on the left indicates layer thicknesses from 60nm to 155nm. The architectures shown are:

- A14 5T NS:** CPP = 42nm, MP = 18nm. Dimensions: 12nm, 15nm, 15nm, 15nm.
- A7 5T FS:** CPP = 39nm, MP = 16nm. Dimensions: 18.5nm, 15nm, 10nm, 10nm.
- 4T monoCFET:** Dimensions: 25nm, 25nm, 35nm.
- seqCFET(v1):** Dimensions: 25nm, 10nm, 20nm, 60nm, 15nm, 15nm.
- seqCFET(v2):** Dimensions: 25nm, 60nm, 15nm.
- seqCFET(v3):** Dimensions: 25nm, 45nm.

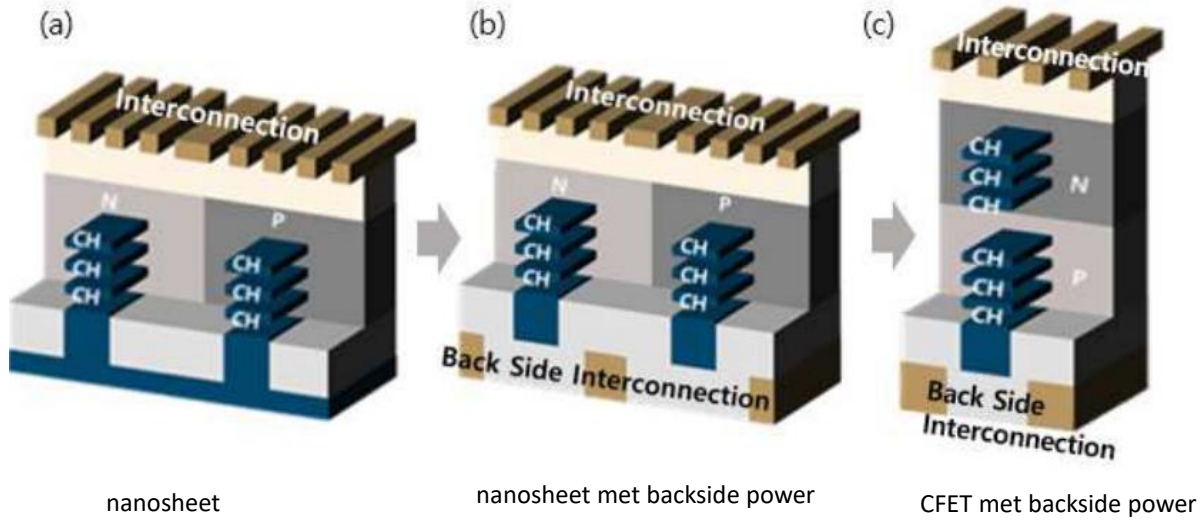
© imec

universiteit
hasselt

KU LEUVEN



Samsung roadmap



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

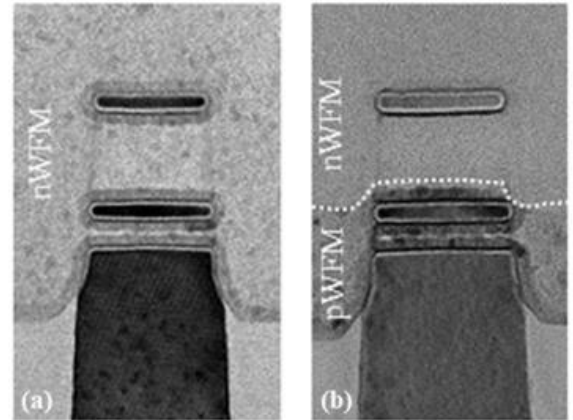
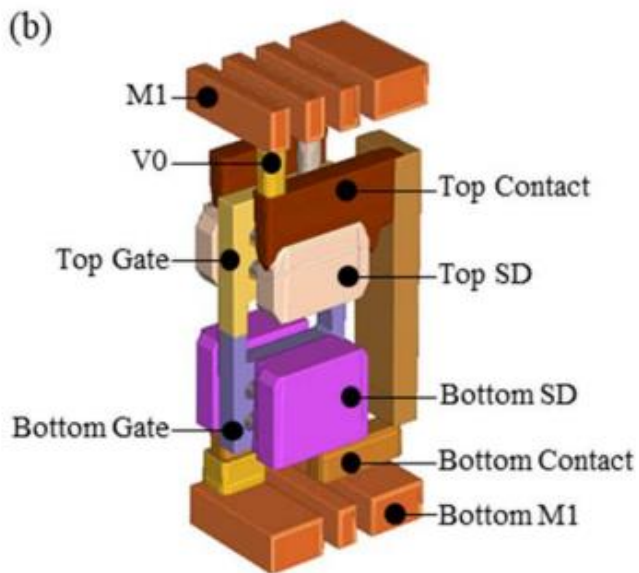
KU LEUVEN

6

[1] IEDM 2023, talk 1.1



Samsung roadmap



CFET inverter met backside power

IM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

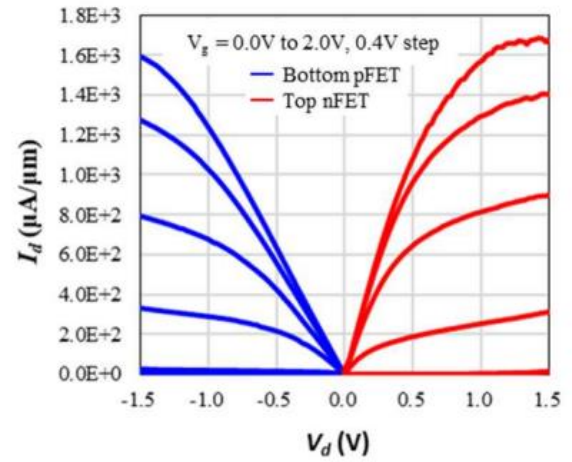
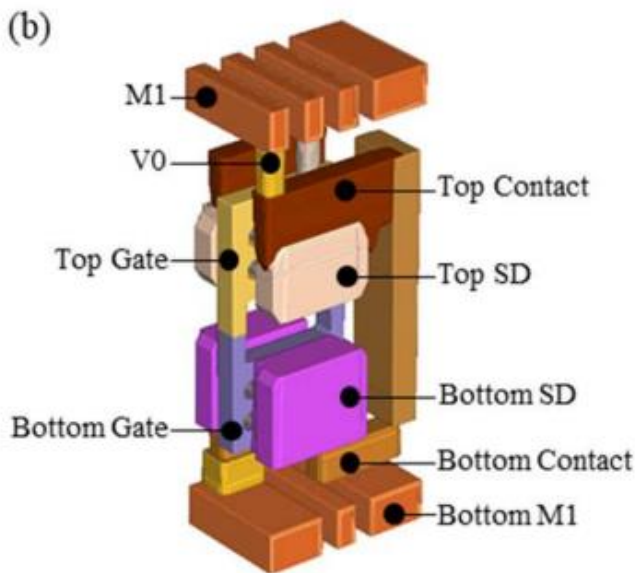
KU LEUVEN

7

[1] IEDM 2023, talk 1.1 + talk 29.4



Samsung roadmap



CFET inverter met backside power

IM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

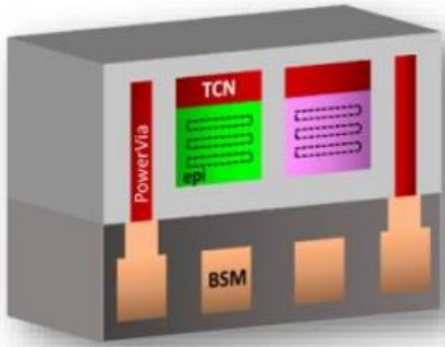
KU LEUVEN

8

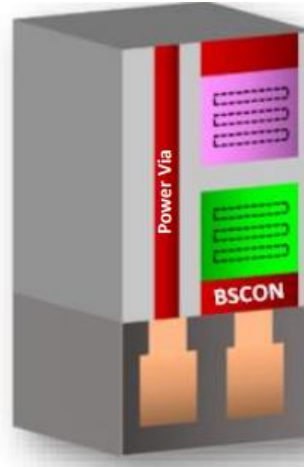
[1] IEDM 2023, talk 1.1 + talk 29.4



Intel roadmap



nanosheet met backside power



CFET met backside power

maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

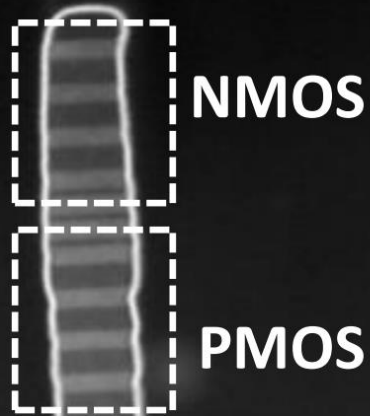
KU LEUVEN

9

[1] IEDM 2023, talk 29.2



Intel roadmap



CFET na fin recess

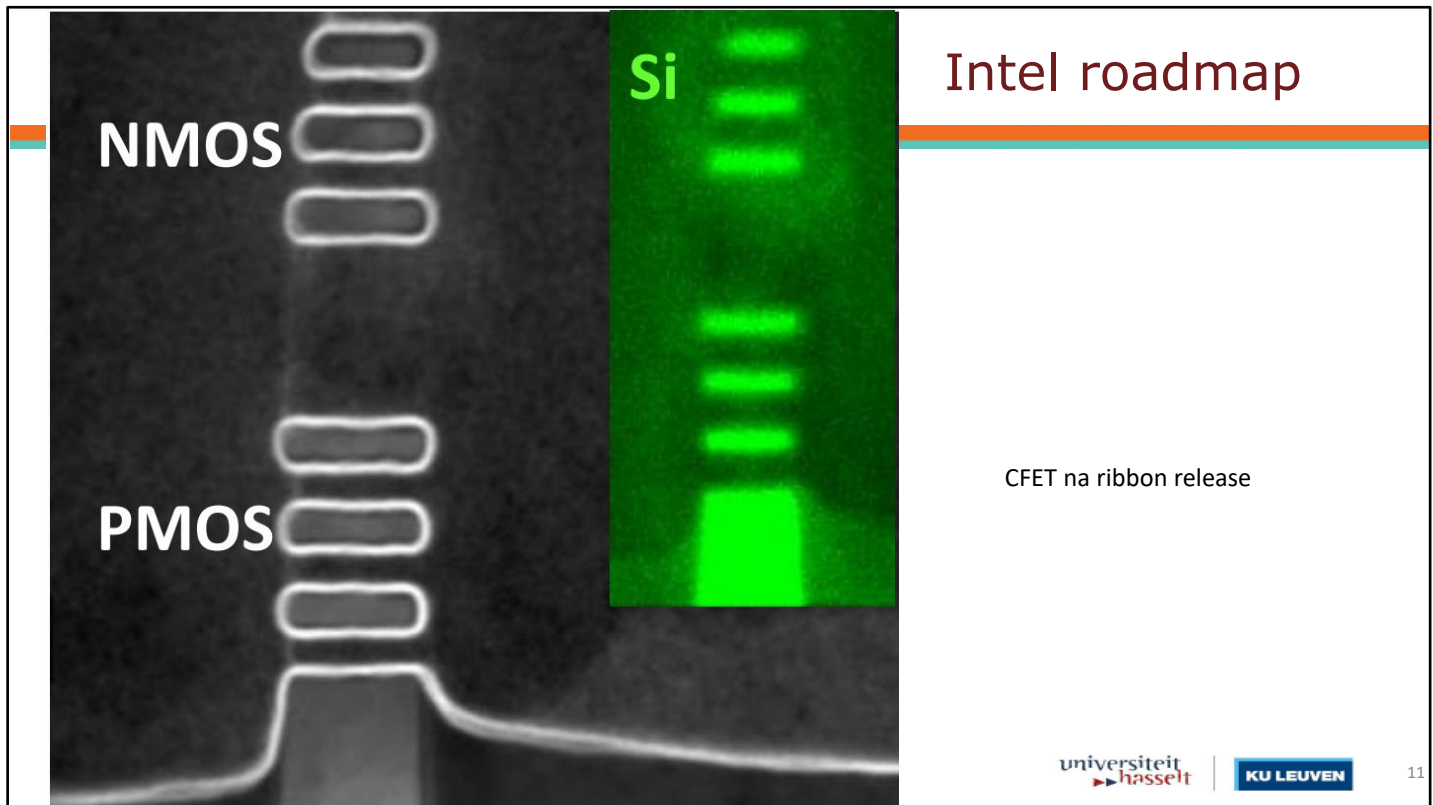
maandag 18 december 2023

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

10

[1] IEDM 2023, talk 29.2



[1] IEDM 2023, talk 29.2



W common gate

Intel roadmap

CFET na common gate fill

maandag 18 december 2023

universiteit
hasselt

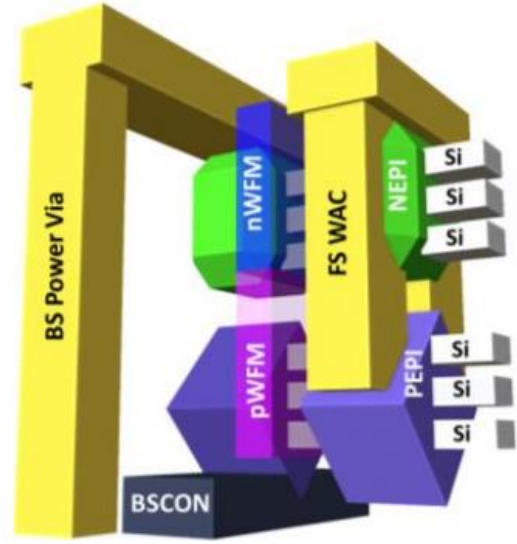
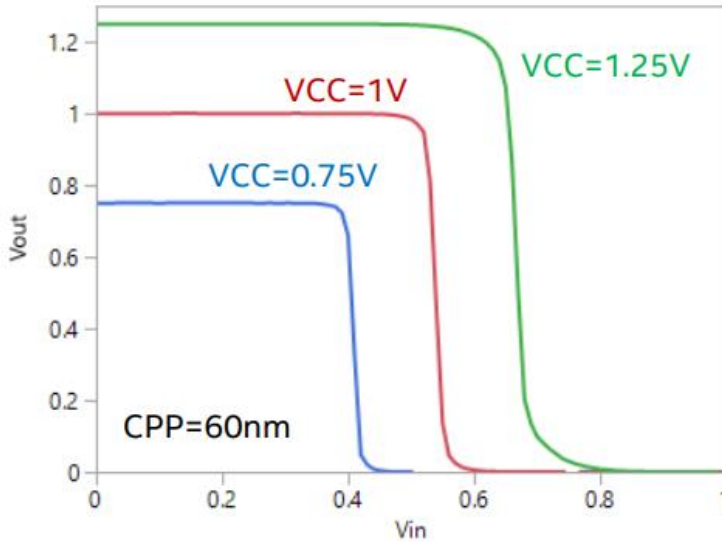
KU LEUVEN

12

[1] IEDM 2023, talk 29.2

Intel roadmap

CFET inverter



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

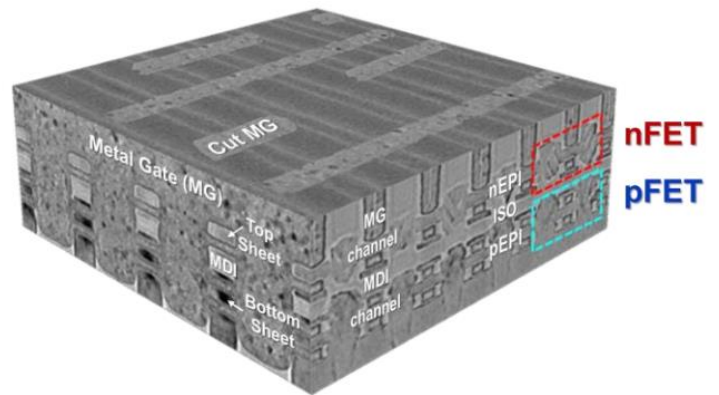
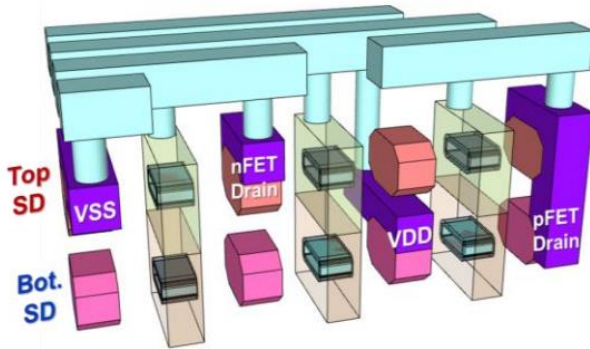
universiteit
hasselt

13

[1] IEDM 2023, talk 29.2



TSMC roadmap



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

KU LEUVEN

14

[1] IEDM 2023, talk 29.6



Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

universiteit
hasselt

KU LEUVEN



Jan Genoe

jan.genoe@kuleuven.be

ISSCC 2020 Hoogtepunten

Jaarlijkse momentopname van de technologische evolutie

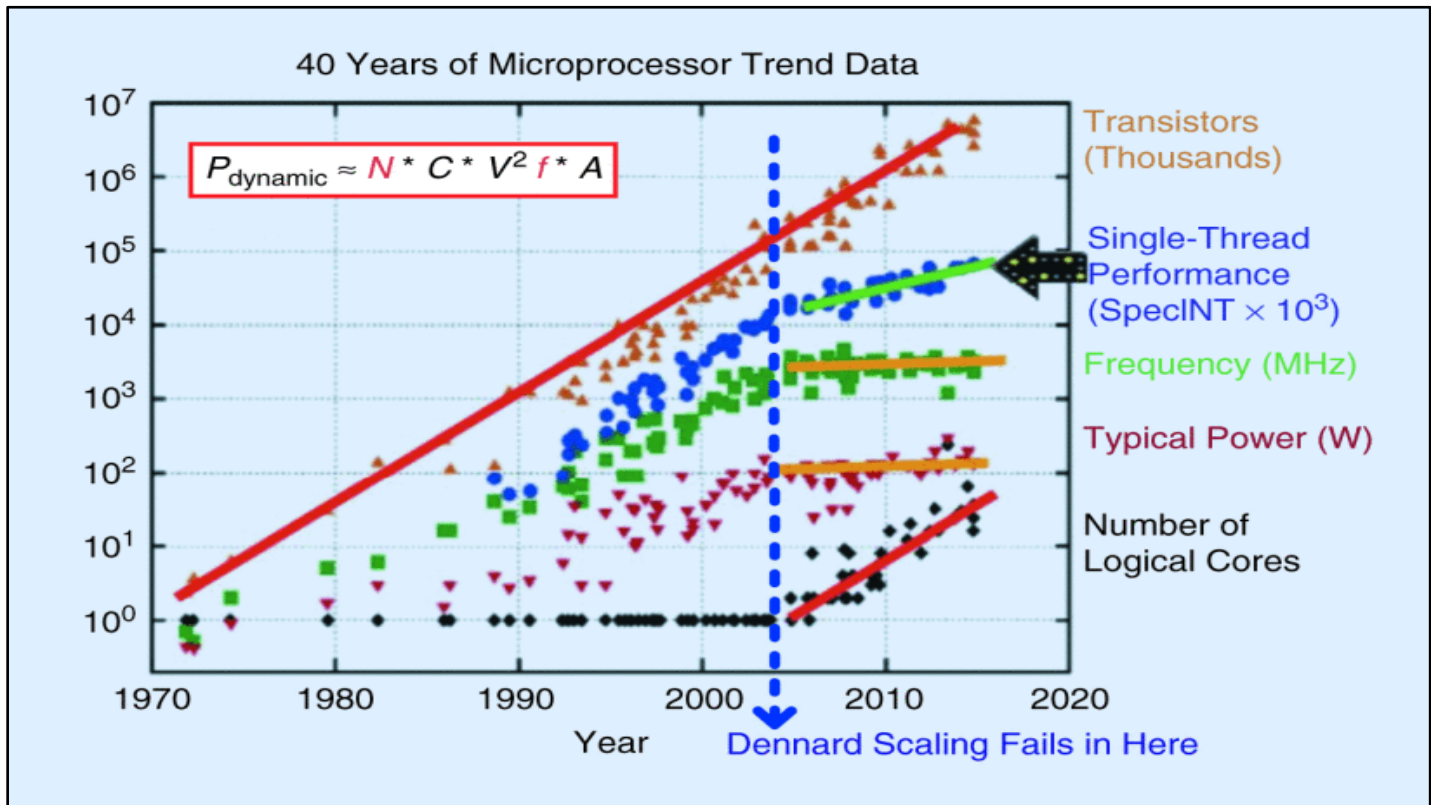
maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends


15

Elk jaar opnieuw is de ISSCC conferentie een goed moment om de trends in de micro-elektronica waar te nemen. Alle figuren in dit overzicht komen dan ook uit de onderstaande documenten. Hierin kan je dan ook alle verdere details terugvinden.

- [1] K. C. Smith, A. Wang, and L. C. Fujino, "Through the Looking Glass: Trend Tracking for ISSCC 2012," *IEEE Solid-State Circuits Mag.* 4, pp. 4–20, Mar. 2012.
- [2] S. Narendra, L. Fujino, and K. Smith, "Through the Looking Glass Continued (III): Update to Trends in Solid-State Circuits and Systems from ISSCC 2014 [ISSCC Trends]," *IEEE Solid-State Circuits Mag.*, pp. 49–53, Mar. 2014.
- [3] S. Narendra, L. Fujino, and K. Smith, "Through the Looking Glass? The 2015 Edition: Trends in Solid-State Circuits from ISSCC," *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 14–24, winter 2015.
- [4] http://isscc.org/doc/2016/ISSCC2016_TechTrends.pdf
- [5] http://isscc.org/wp-content/uploads/2018/06/2018_Looking_Glass.pdf
- [6] D. C. Daly, L. C. Fujino, and K. C. Smith, "Through the Looking Glass-2020 Edition: Trends in Solid-State Circuits From ISSCC," *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 8–24, winter 2020, doi: [10.1109/MSSC.2019.2952282](https://doi.org/10.1109/MSSC.2019.2952282).

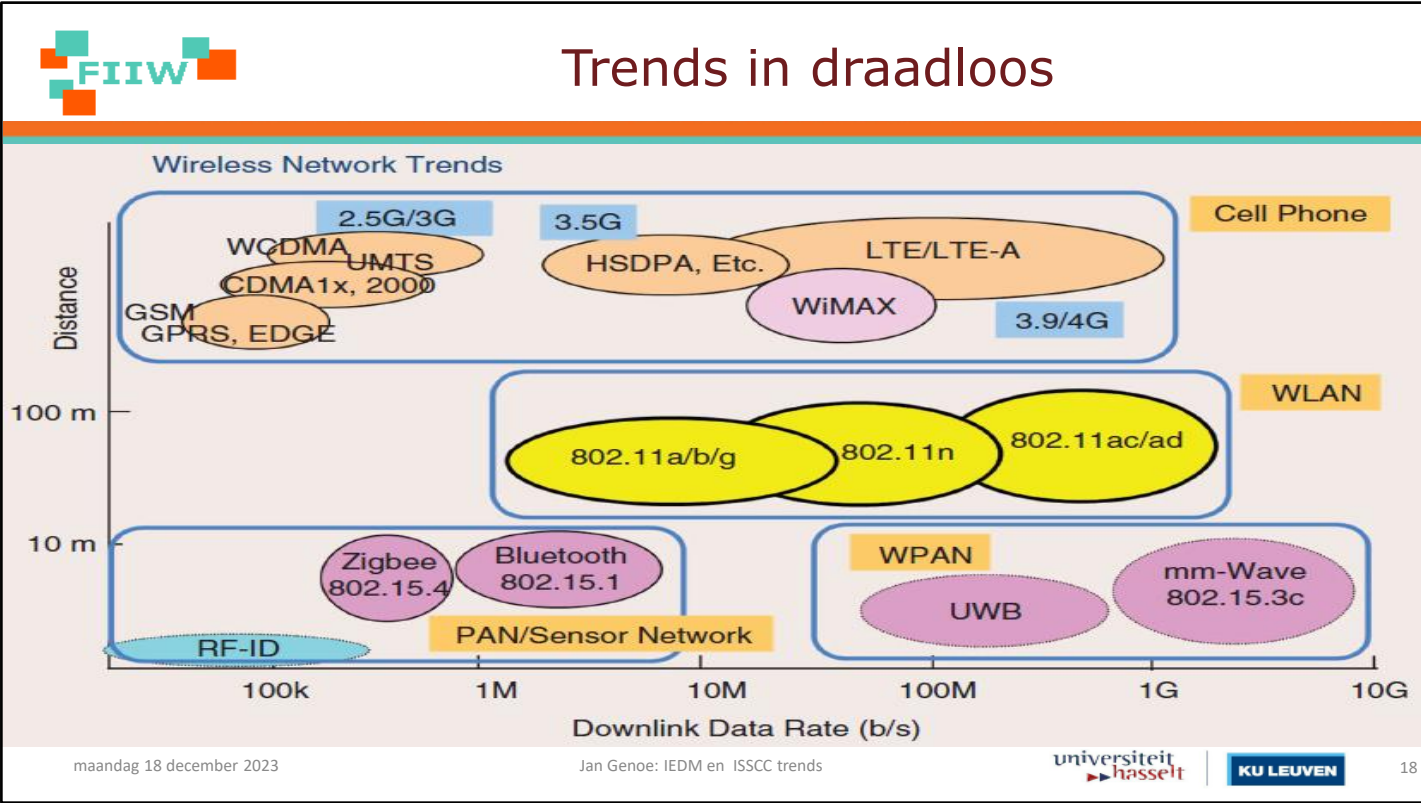


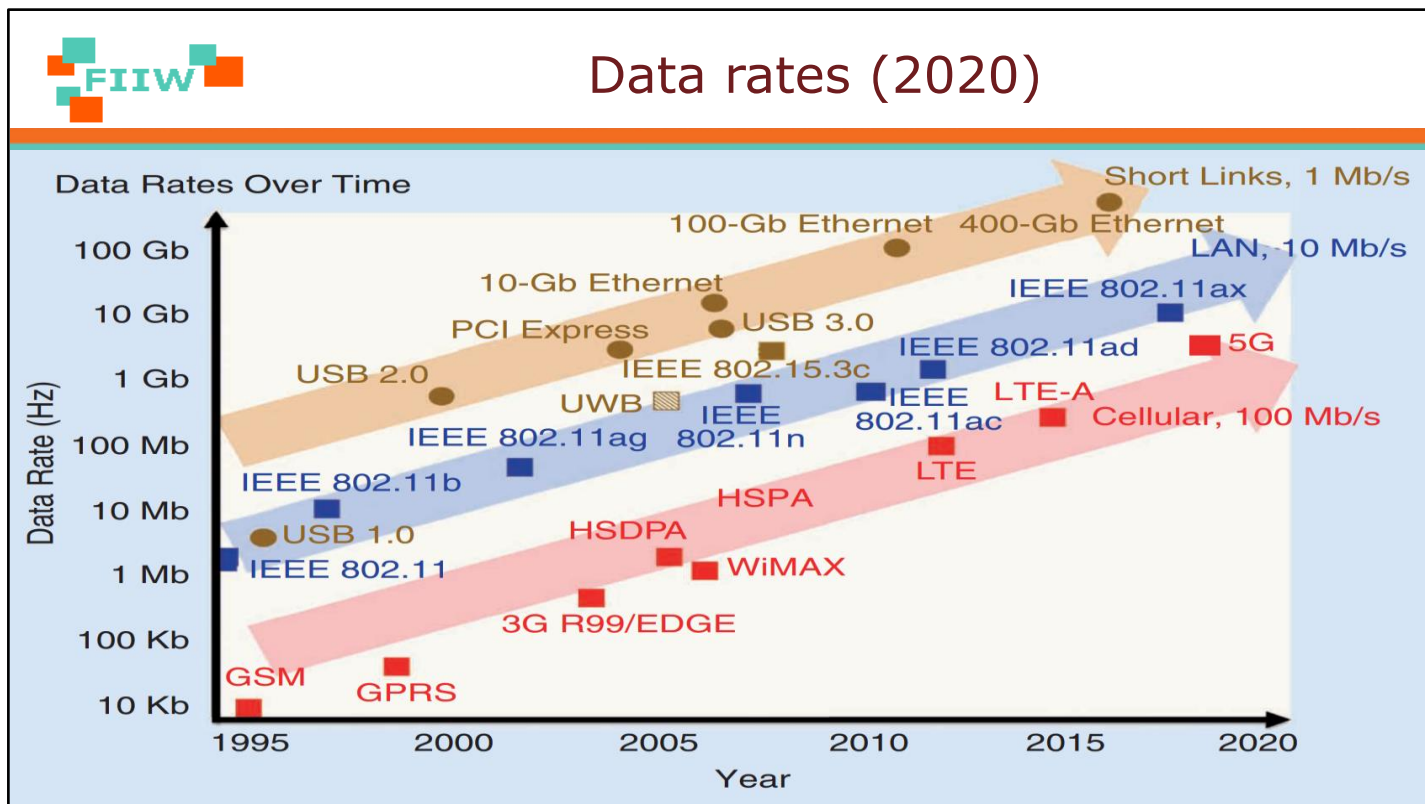
1. Xiu, L. Time Moore: Exploiting Moore's Law From The Perspective of Time. *IEEE Solid-State Circuits Magazine* **11**, 39–55 (2019).



Smartphone application processor trend

Graphics	OpenGL (ES1.1)		OpenGL/VG/MAX (ES2.0)			AR			VR Vulkan					
Display	VGA	WVGA at 60 f/s		SXGA at 60 f/s		WQXGA/WQXGA+ at 60 f/s		WQXGA/WQXGA+ at 60 f/sx2 (VR)			WQXGA/WQXGA+at 120 f/s			
Camera	5–8 M	10 M	16 M	20 M	24 M	12 MxDual 360° VR			16 MxDual 3D Depth/AR		80 M Triple			
Image/Video	H.264/AVC (VGA)	H.264/AVC (D1)	H.264/AVC (Full HD)		H.264/MVC H.264/SVC	H.265/VP9		H.265/VP9 HDR			AV1 HDR10+			
Audio	AAC	AAC Plus		WMA Dolby 5.1		Dolby TrueHD/Digital+			DSD Dolby Atmos		TWS Truly Wireless			
Accelerator	FPU	SMID Multicore (2–4)			Multicore (4–8)		Heterogeneous Multiprocessing			Neural-Net Processor		5 TOPS		
Downlink (Mb/s)	UMTS 0.4–2	HSPA 1.8–7		HSPA+ 7–42		LTE 100	LTE-A 150–750		LTE-A 1,600		LTE-A 2,000	5G 5,000		
CPU (MI/s)	300	500	800	2,400	2,400	6,000	12,000	12,000	100,000	13,000	112,000	19,000	162,000	22,000
	500	800	2,400	6,000	6,000	12,000	12,000	12,000	100,000	112,000	112,000	162,000	162,000	180,000
<div> <div>2007</div> <div>2008</div> <div>2009</div> <div>2010</div> <div>2011</div> <div>2012</div> <div>2013</div> <div>2014</div> <div>2015</div> <div>2016</div> <div>2017</div> <div>2018</div> <div>2019</div> <div>2020</div> </div>														





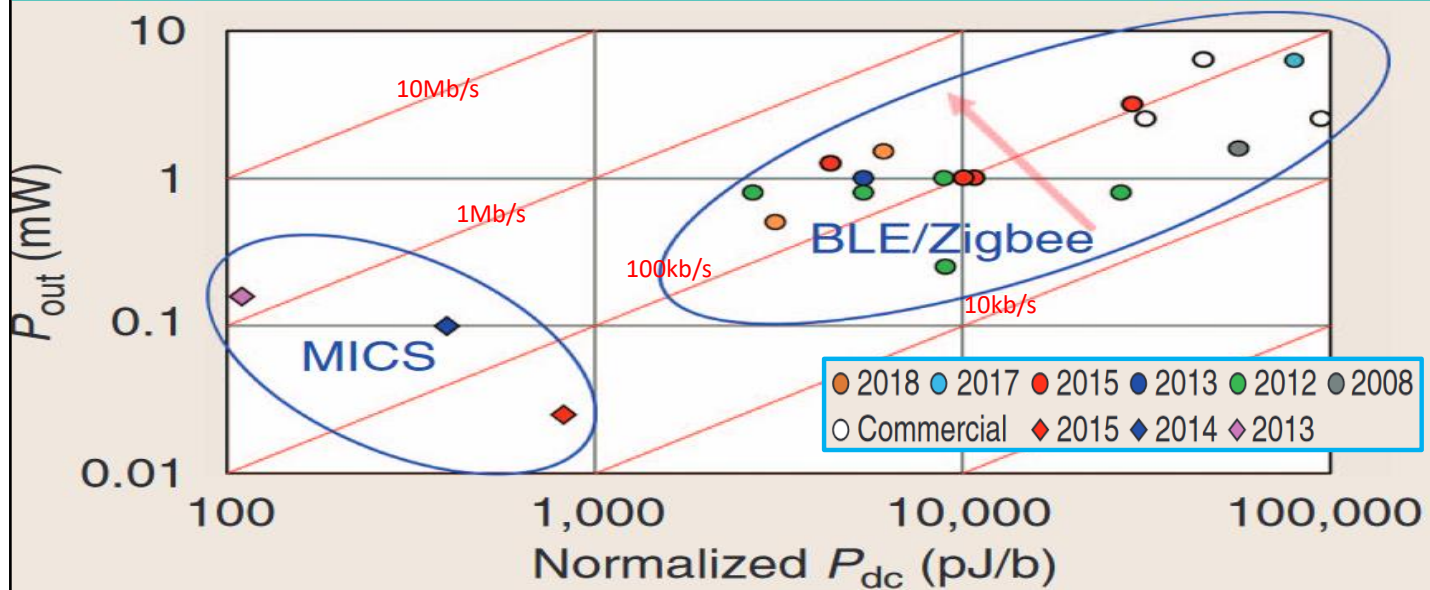
Op deze grafiek vinden we dezelfde draadloze protocols terug (vierkantjes) als functie van de datum van introductie.

De bedraade protocollen zijn ook weergegeven als bolletjes.

Bluetooth en Zigbee komen hier niet in voor, omdat hier niet de maximale data rate belangrijk is, maar wel de lage energie (zie volgende slides).



Low power wireless (zenden)



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

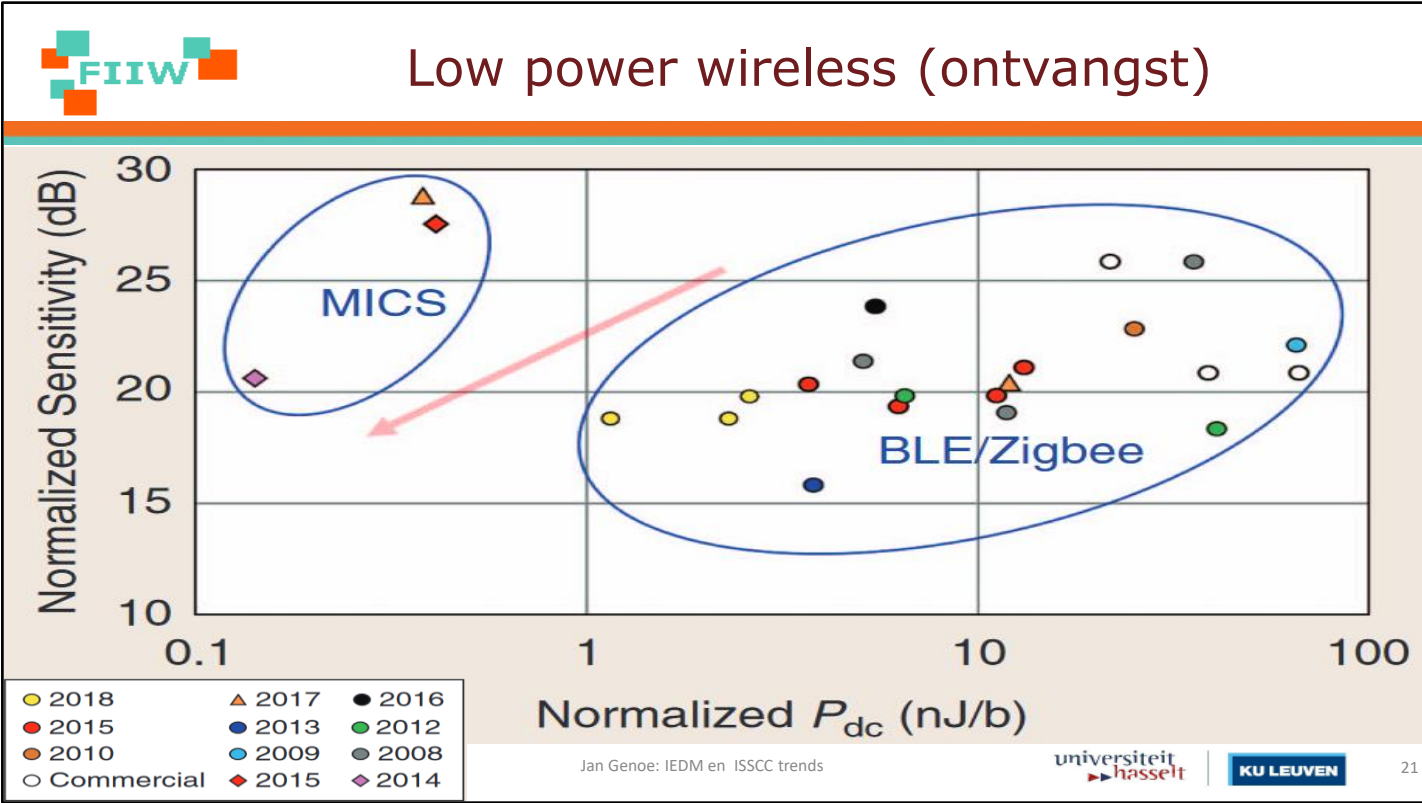
KU LEUVEN

20

Er zijn heel wat technologieën in de ontwikkeling om draadloos met zo weinig mogelijk energie per bit te communiceren.

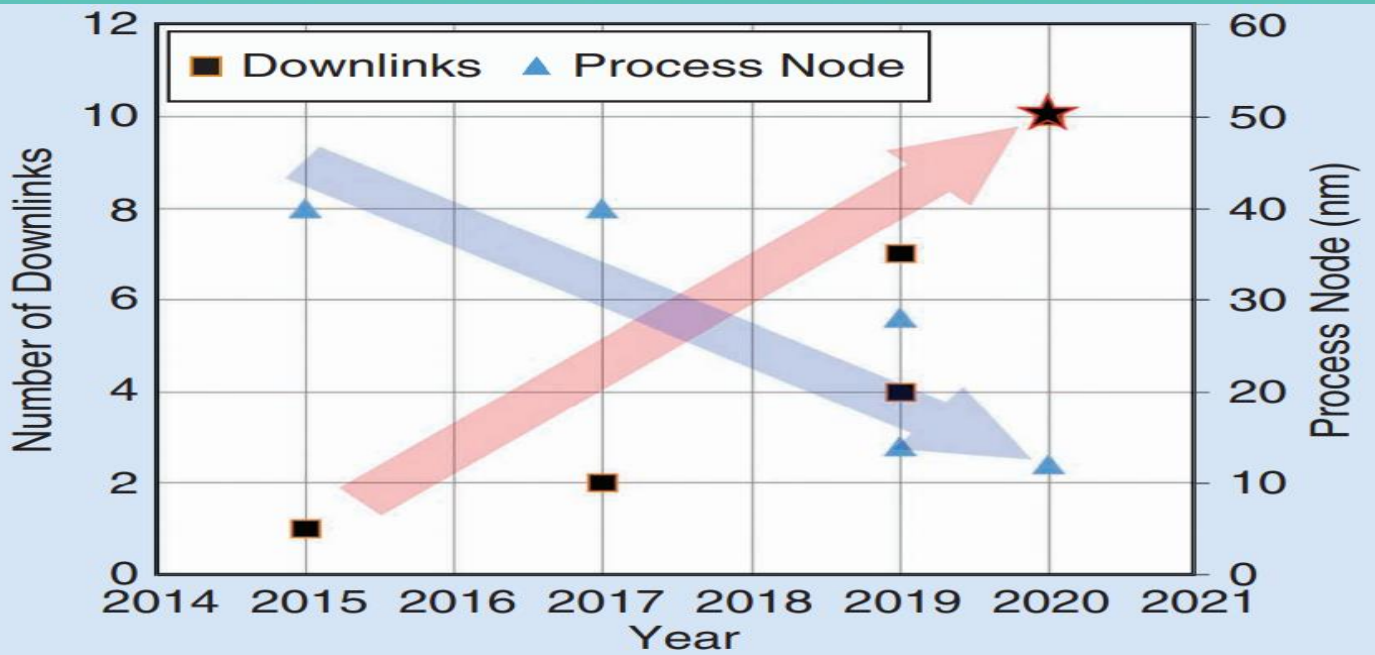
- Bluetooth Low energy (BLE) op 2.4 GHz
- Zigbee op 2.4 GHz
- Medical lcs in de ISM band

De diagonale lijnen geven de data rate aan. Volgens de pijl is de data rate telkens een factor 10 hoger.



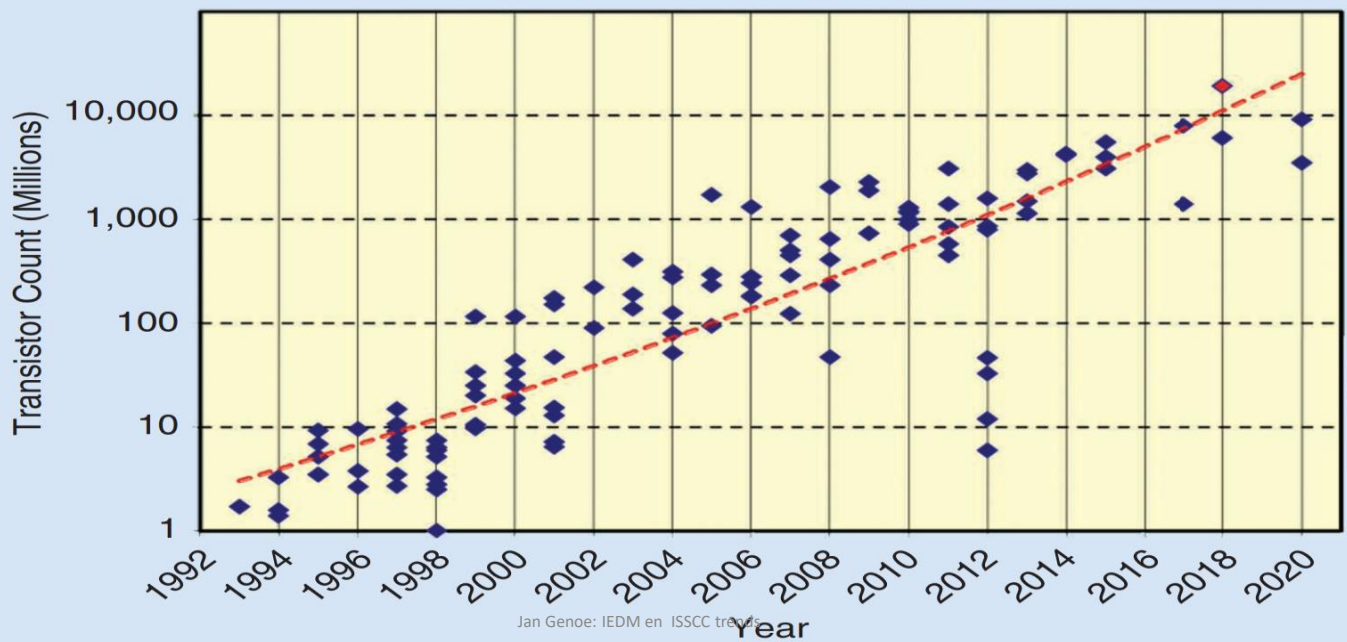


Aantal parallelle downlinks in GSM SOCs





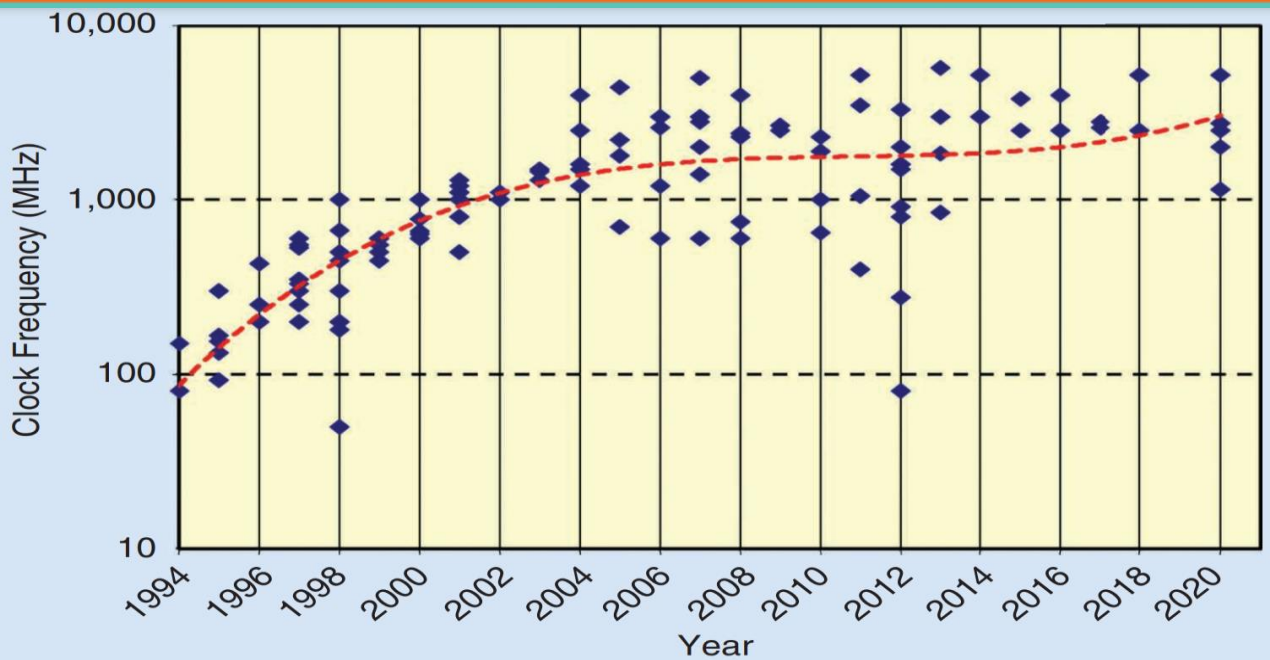
Chip complexity



Deze grafiek toont het aantal transistors per chip. De rode ruit geeft een multi-chip module aan.



Clock frequency

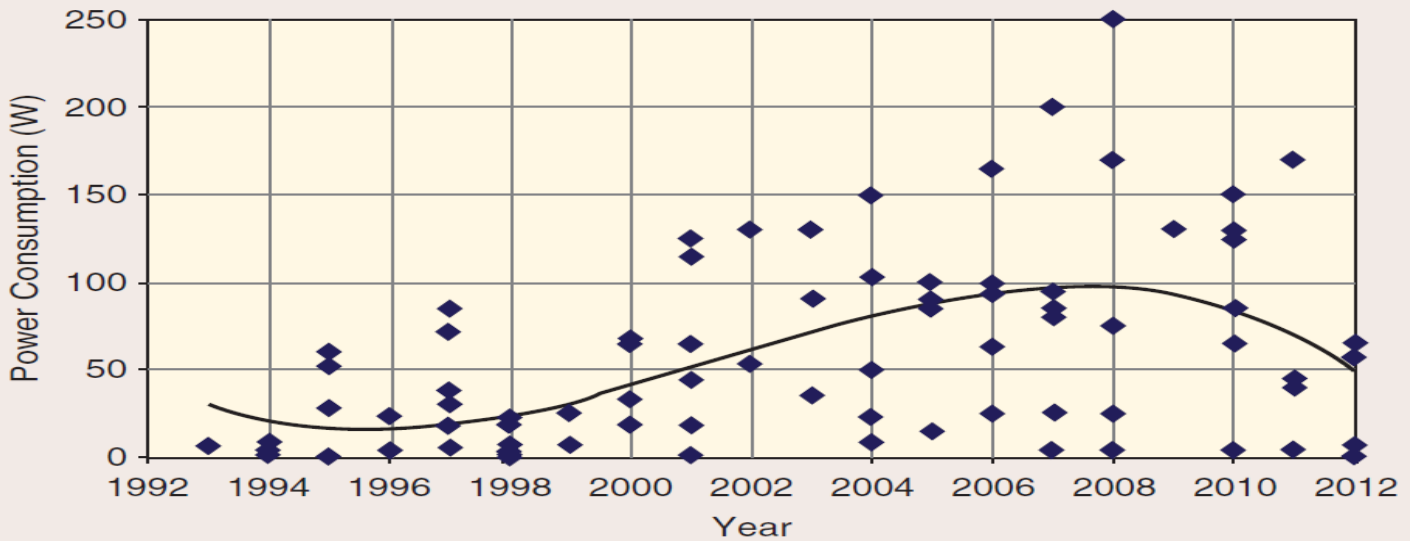


We merken dat vanaf 2002 de klokfrequentie niet meer zo sterk stijgt. De reden hiervoor is dat het vermogen verbruik bij steeds hogere kloksnelheid veel te hoog zou worden. Vanaf 2015 zien we terug een mogelijke stijging. De vraag is of de trend aanhoudt.



Power verbruik

Total Power Consumption



maandag 18 december 2023

Jan Genoe: IEDM en ISSCC trends

universiteit
hasselt

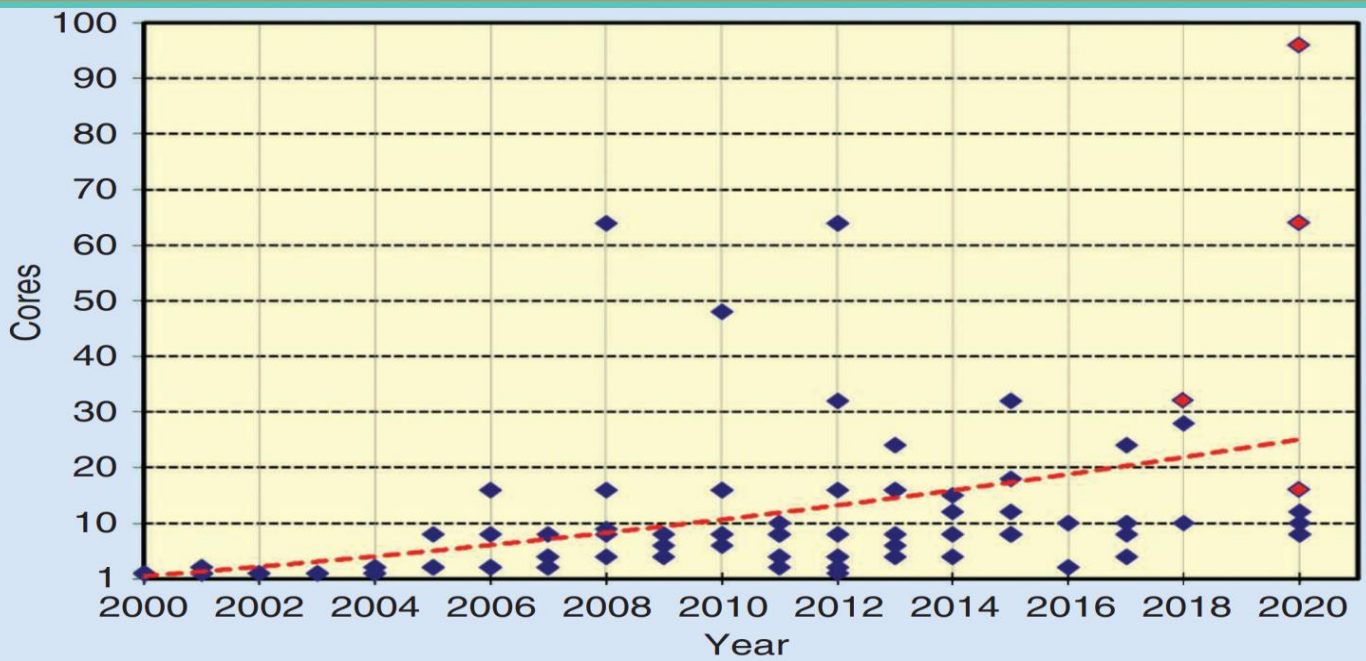
KU LEUVEN

25

In deze grafiek zien we het vermogen verbruik als een functie van de tijd. De stijging is problematisch omwille van de problemen en de kost de chips gekoeld te krijgen. Dit is de reden waarom men vanaf 2002 de klokfrequentie niet meer laat stijgen. Vanaf 2010 is er echt aandacht voor andere technieken om het vermogen verbruik van de chips te reduceren. Wanneer dat goed is doorgevoerd, kan er misschien lokaal we aan hogere kloksnelheden gewerkt worden.



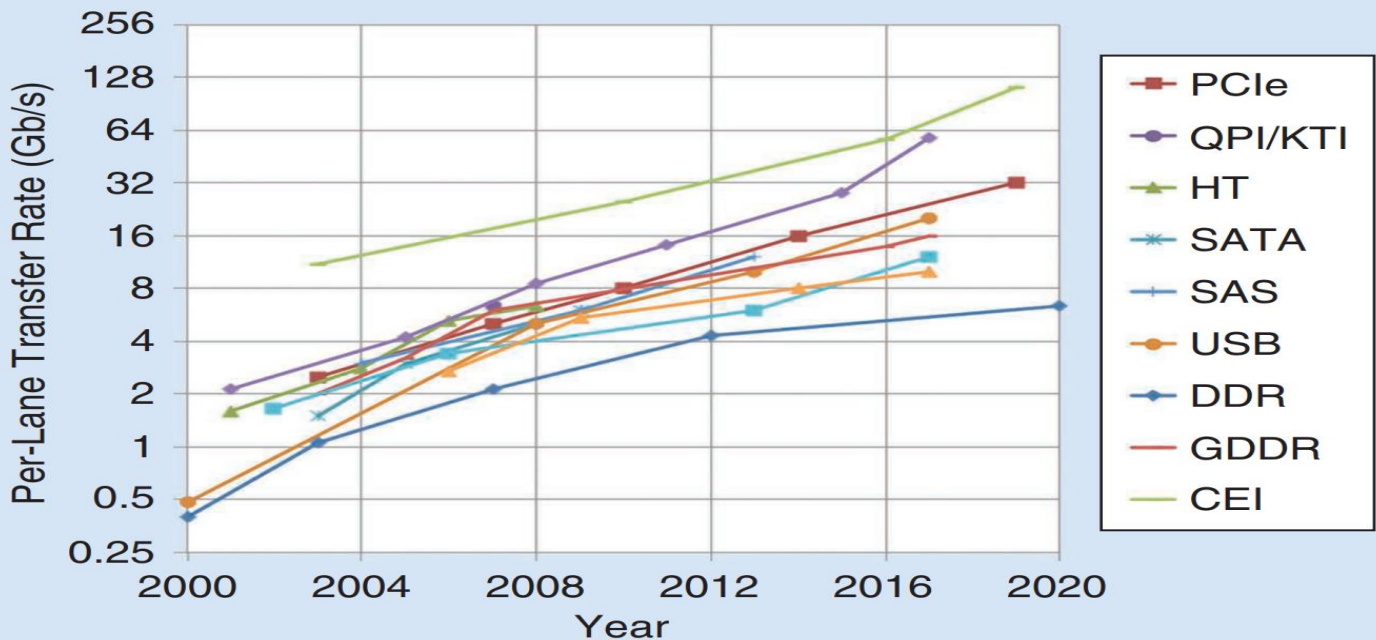
Aantal cores



De prestaties van de systemen blijven echter nog wel stijgen. Dit gebeurt onder andere door een toenemend aantal cores op de Silicon die.



Per pin IO data rate



Als we bedraade verbindingen bekijken, is de data rate natuurlijk afhankelijk van het aantal draden en dus ook van het aantal IO pinnen. Het is het meest logisch van te kijken naar de datarate/ het aantal IO pinnen.

PCIe: peripheral component interconnect express;

QPI/KTI: QuickPath Interconnect/Keizer Technology Interconnect;

[https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_QuickPath_Interconnect]

HT: HyperTransport; [<https://en.wikipedia.org/wiki/HyperTransport>]

SATA: serial advanced technology attachment;

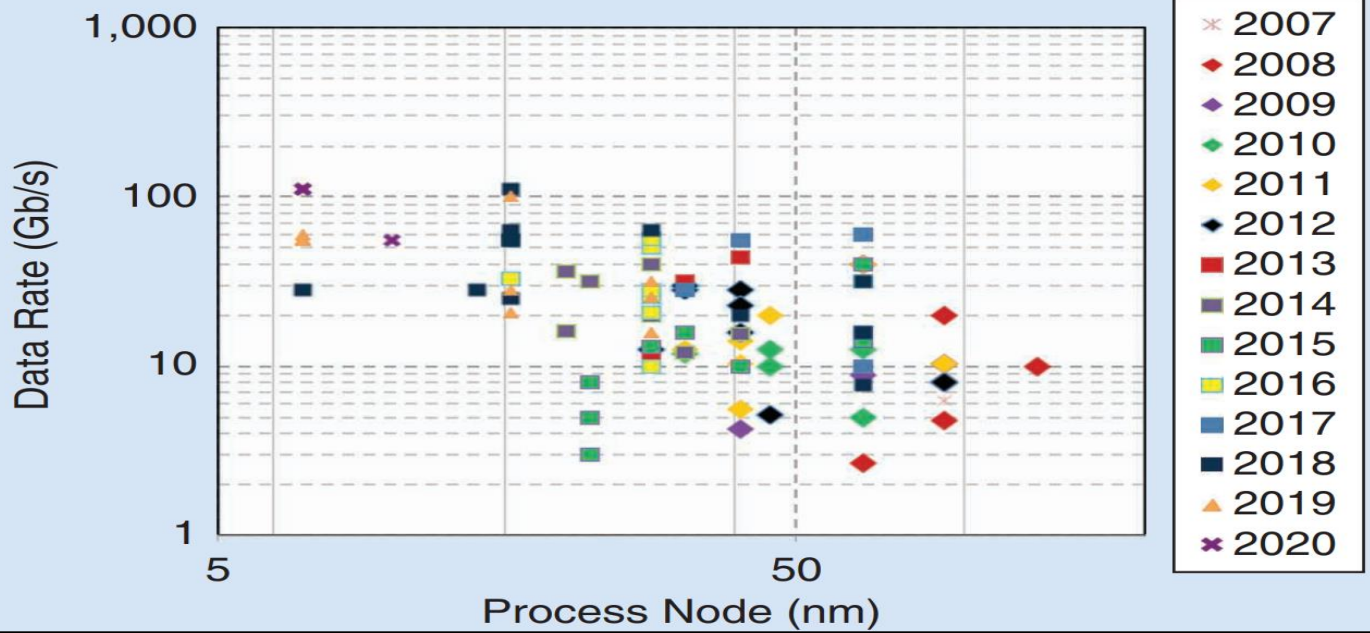
SAS: serial attached small computer system interface;

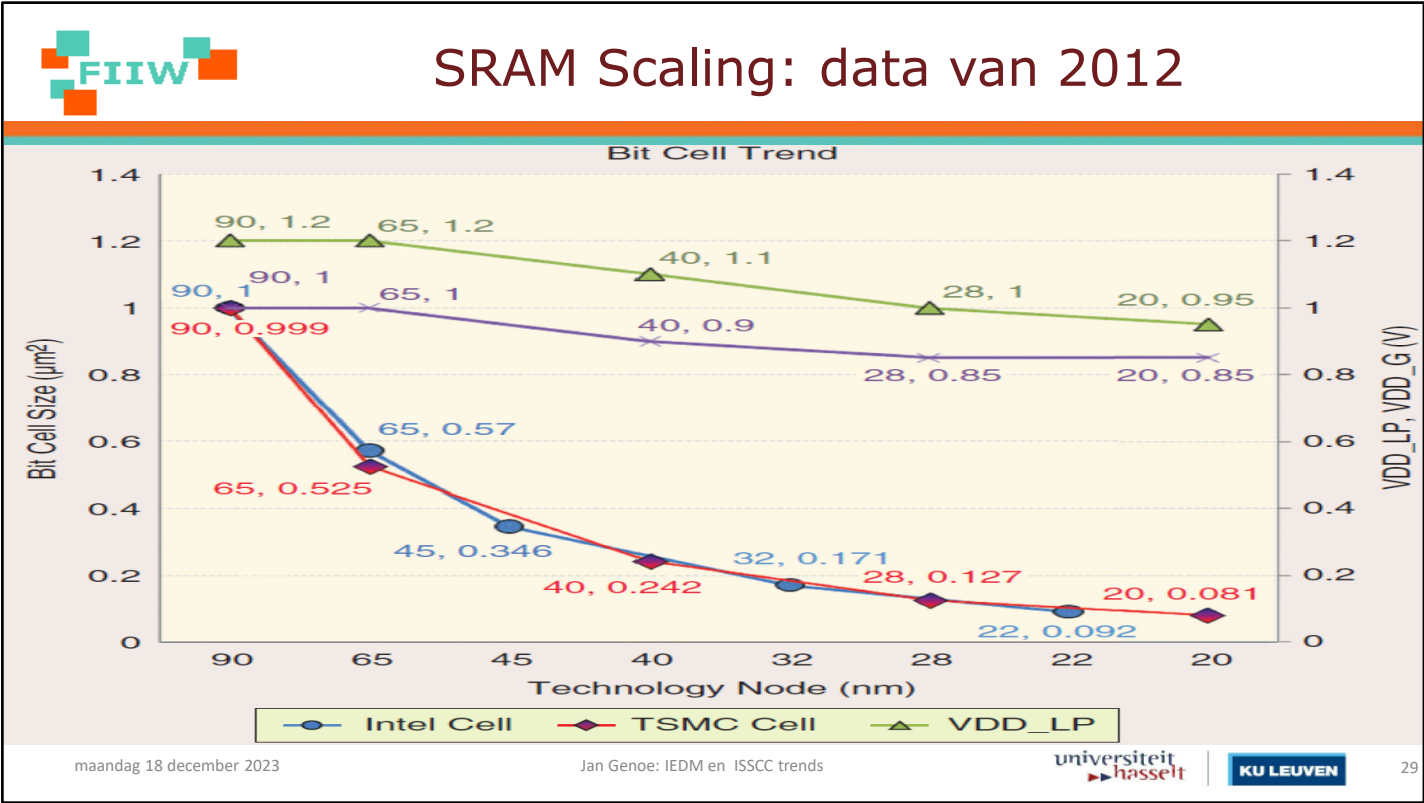
GDDR: graphics DDR;

CEI: comparably efficient interconnection.

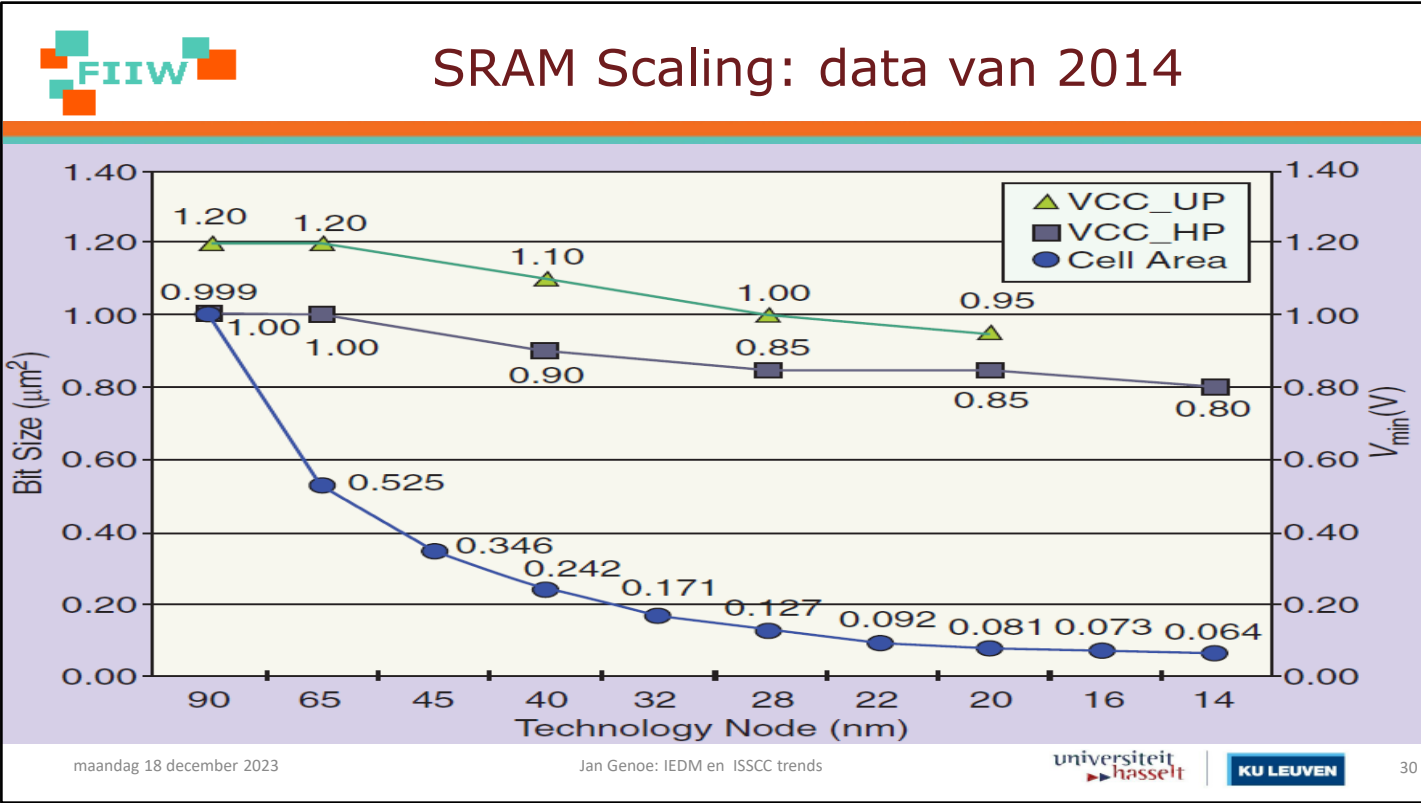


Data rate vs process node





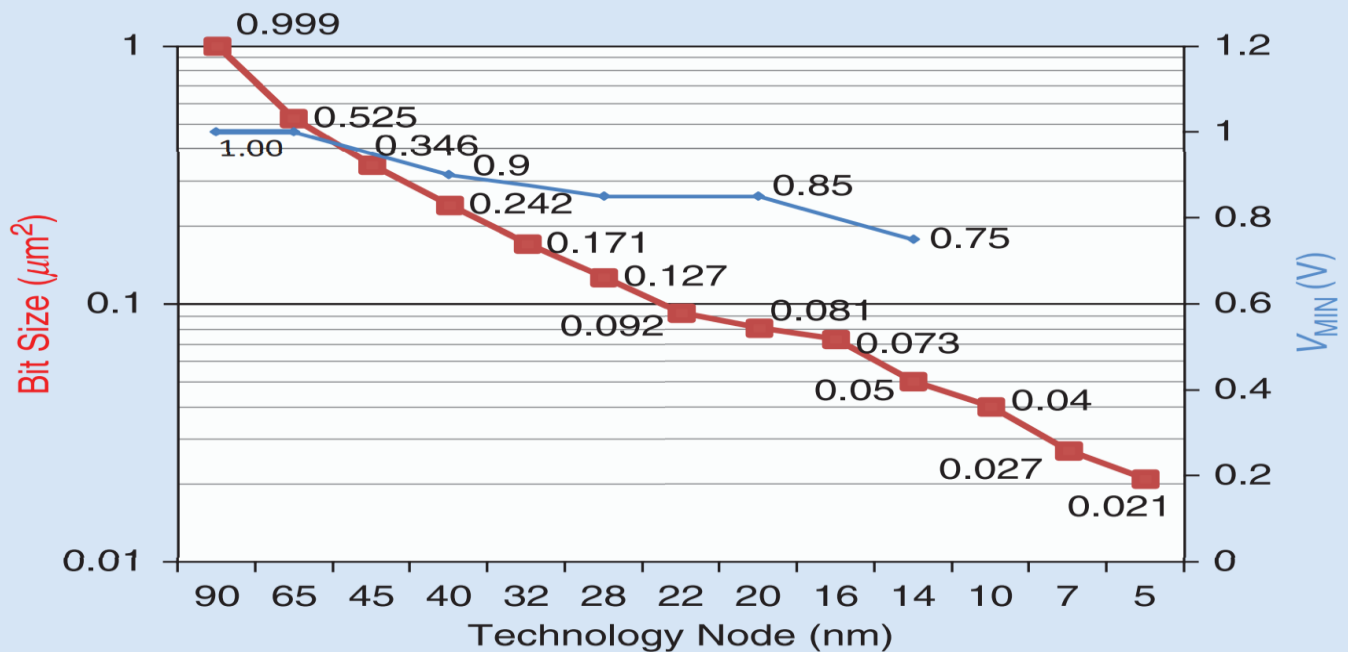
De data van 2012 laat heel duidelijk zien hoe Intel en TSMC elk jaar weer opnieuw haasje over doen in het streven naar de kleinste SRAM Cell.



Dezelfde data maar weer 2 jaar verder. We zien dat de geheugencellen weer kleiner geworden zijn en dat de voedingspanning nog verder gezakt is.

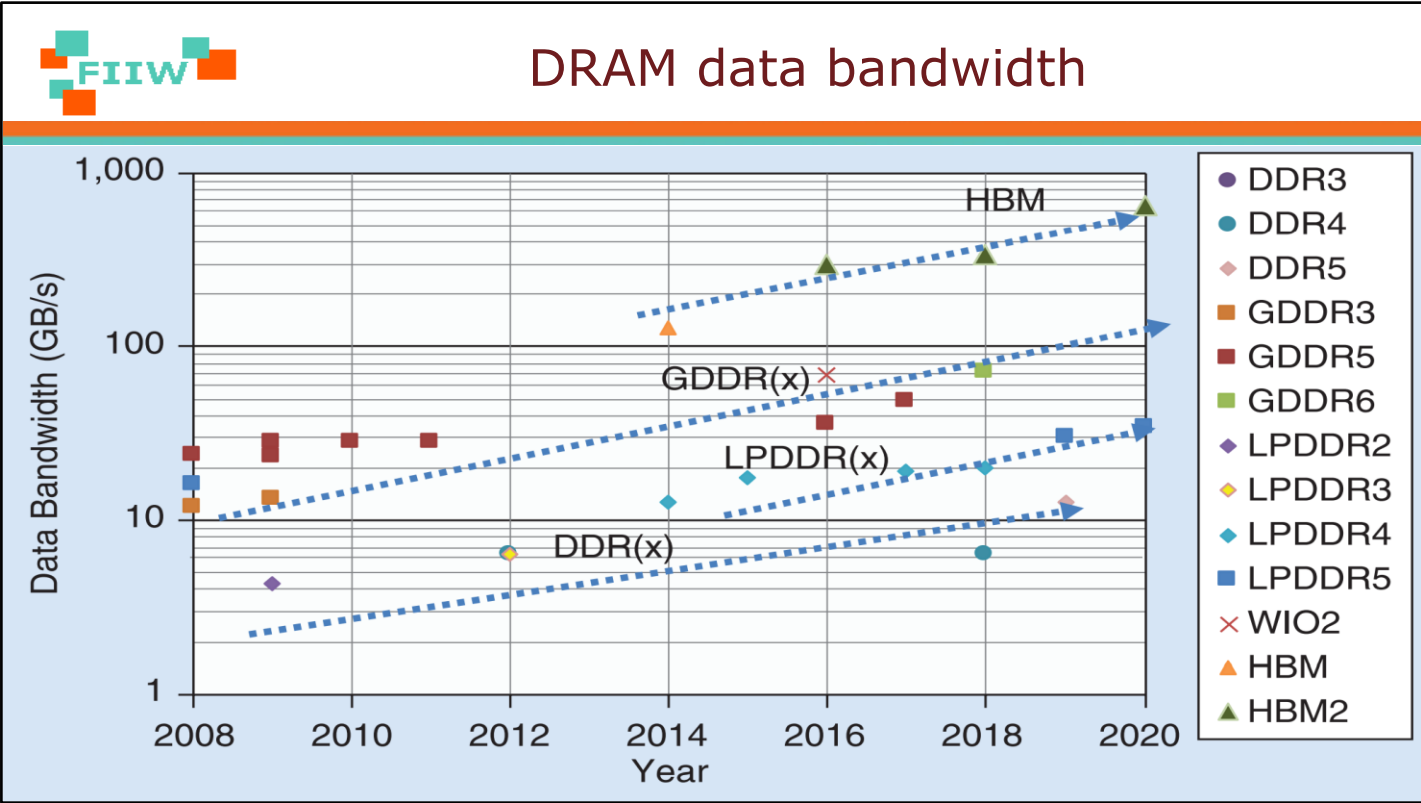


SRAM Scaling: data van 2018



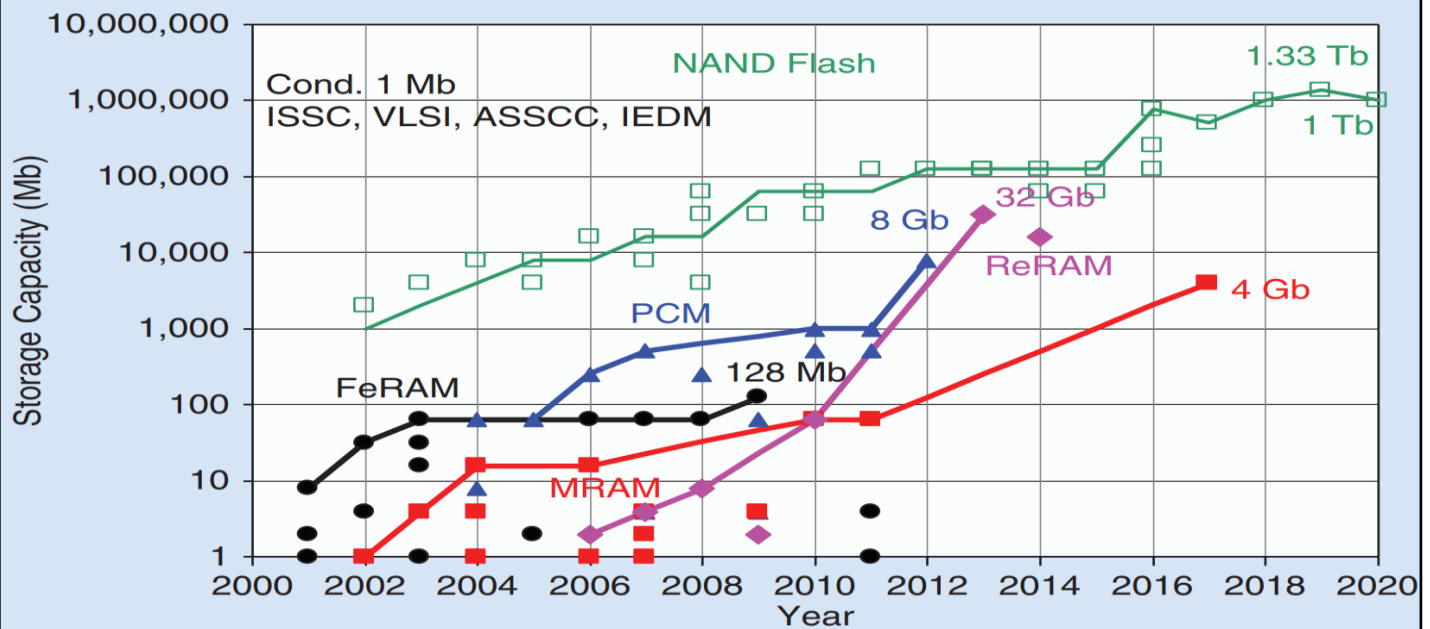
Omdat in de grafiek van 2014 de verdere evolutie lijkt stil te vallen wanneer de bit size te dicht bij nul komt, staat de 2020 grafiek op log schaal. Daarin zie je dat de evolutie niet stopt, maar eerder nog versnelt.

Ook de spanning die gebruikt wordt blijft verder dalen.





Niet vluchtige geheugen capaciteit



Er zijn heel wat verschillende niet vluchtige opslag technologieën.

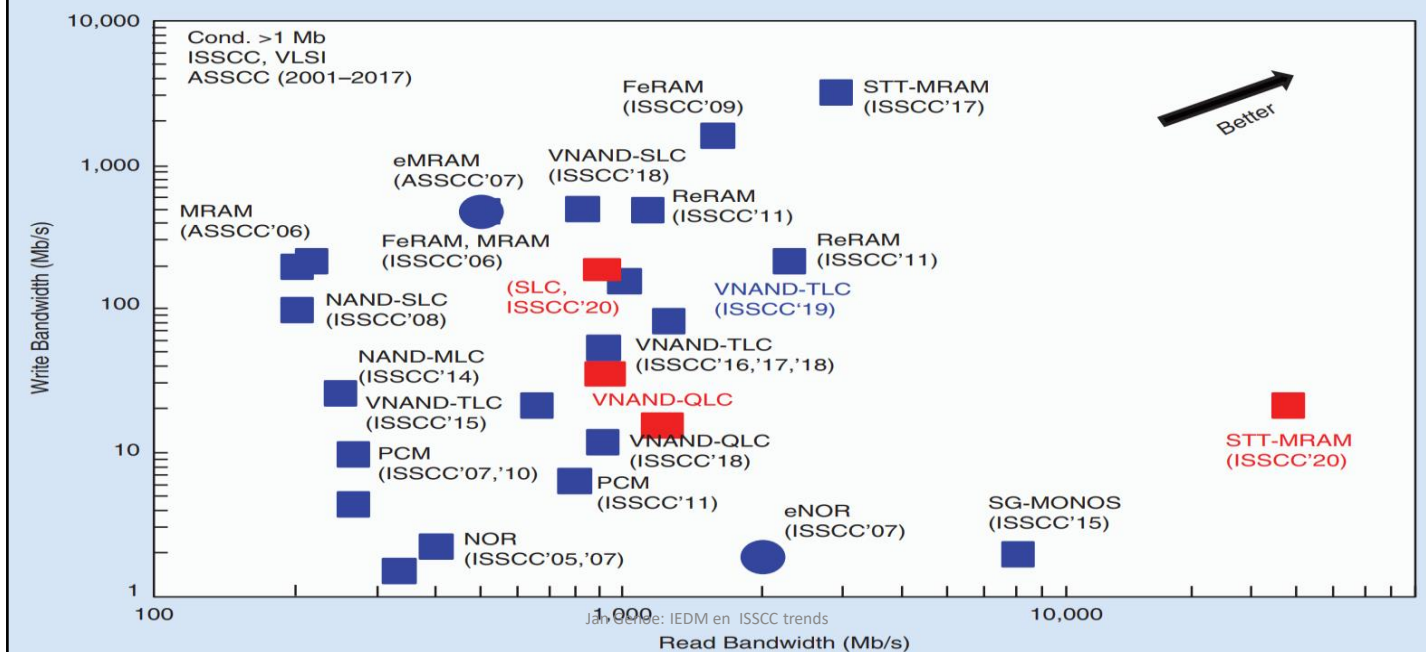
Deze slide toont de maximale opslagcapaciteit per chip. Natuurlijk zitten er in een product (GSM, USB-stick, ...) mogelijk meerdere chips.

Natuurlijk kunnen er ook kleinere chips gemaakt worden met dezelfde technologie. Dan gaat de kostprijs evenredig omlaag.

Voor een mobiel device is vaak het niet-vluchtig geheugen een belangrijke component in de prijs.



Schrijf-lees Bandbreedte NVM



Als je de geheugen capacity bekijkt op de vorige slide, zou je vanzelfsprekend steeds NAND Flash gebruiken.

Waarom zijn er dan nog alternatieve niet vluchtige geheugens op de markt?

Wel de belangrijkste reden hiervoor is de lees- en schrijfbandbreedte.

Normaal zit NAND flash hier helemaal links onder in de hoek.

Door parallelisme in te voeren (meerdere identieke blokken naast elkaar), kunnen we de schrijfbandbreedte verhogen.

De NOR Flash zit dan klassiek op de horizontale as.

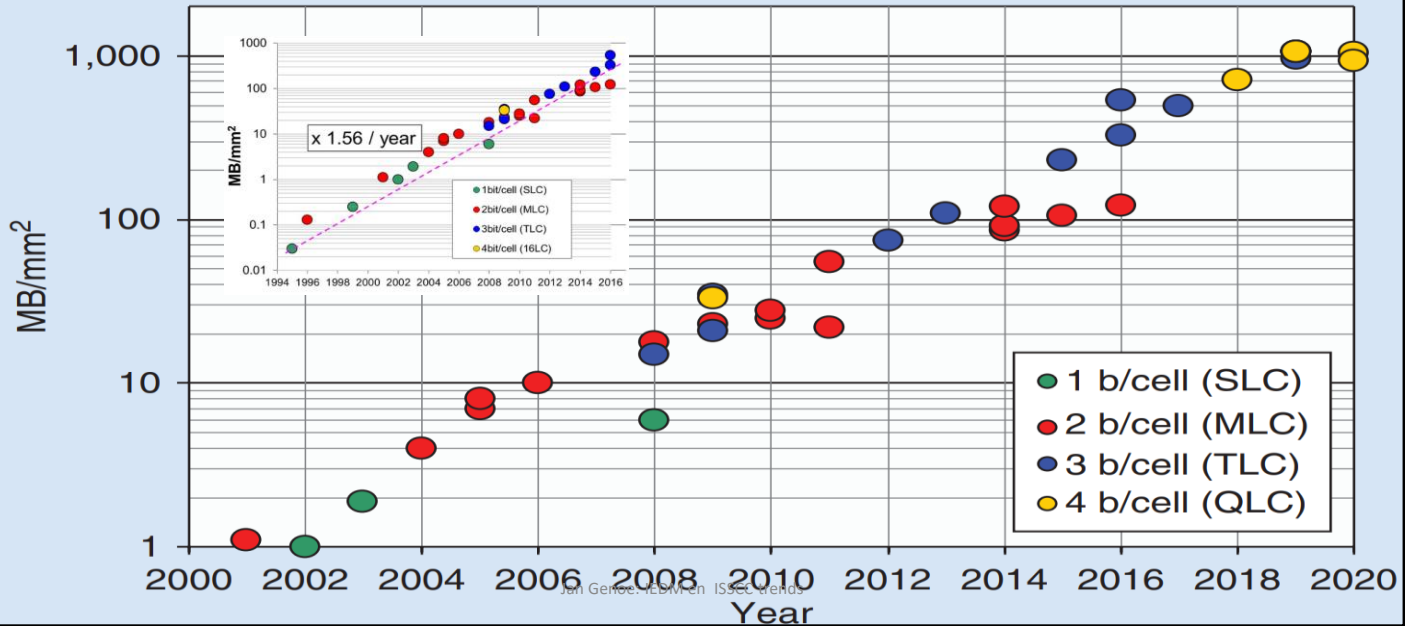
De alternatieve technologieën (Emerging Non-Volatile RAM) zijn wel sneller in lees en schrijfbewerkingen (zie blauwe kader).

In 2018 is daar echter verandering in gekomen.

Op ISSCC 2018 zijn er 3 chips voorgesteld (rode vierkanten), die wel sneller lezen en schrijven toelaten.



NAND Flash memory density



NAND flash blijft de koning van de opslag.

Deze grafiek geeft een overzicht van de evolutie van de NAND Flash densiteit gedurende de laatste 15 jaar. Deze densiteit wordt uitgedrukt in het aantal MB per mm² silicon oppervlakte. We zien dat we bijna een GB kunnen opslagen op een mm². Hiervoor is heel wat technologische inspanning nodig: we moeten zelf gaan tot 4 bits per cell.

De recente grafiek geeft enkel de laatste 20 jaar weer.

De inset geeft aan dat deze evolutie al langer dan 20 jaar bezig is. We zien al bijna 25 jaar dezelfde trend.