



KTH/CSC

Stockholm Brain Institute

Anders Lansner

**Beräkningsbiologi
Datavetenskap och kommunikation
KTH och Stockholms Universitet**

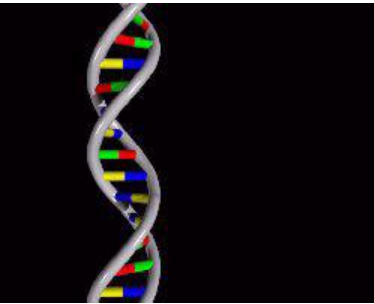


Synopsis

- **Hjärnan och hjärnforskning**
 - **Stockholm Brain Institute (SBI)**
- **Neuroinformatik**
 - **Hjärnavbildning**
 - **Hjärnsimulering**
 - **Kapacitetskrav**
- **Hjärninspirerad teknologi**

Kognitiv & beräkningsbaserad neurovetenskap

Genetiskt
program



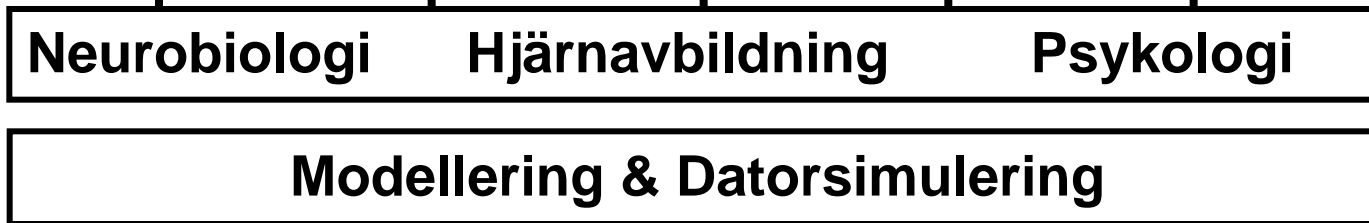
Neuronala
kretsar



Kognitiva
funktioner

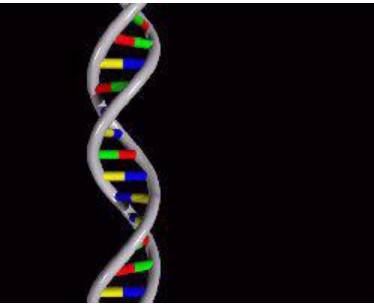


Uppmärksamhet
Minne
Inlärning
Språk
Beteende
Perception

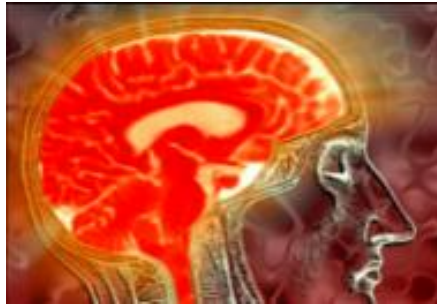


Kognitiva störningar leder till:

Genetiskt
program



Neuronala
kretsar



Kognitiva
funktioner



Kostnader för sjukdom:

Inom EU lider 127 miljoner (av totalt 466) av hjärnsjukdom eller beteendestörning

Totala årliga kostnader uppgår till €386 miljarder



Stockholm Brain Institute (SBI)

Vision & Goals

- Förstå hur hjärnan fungerar och interagerar med omgivningen
- Undersöka mekanismerna bakom störningar i denna interaktion som resulterar i beteendestörningar och psykiatriska sjukdomstillstånd
- Utveckla biomarkörer för tidig upptäckt och övervakning av patologiska processer
- Utveckla nya metoder för förebyggande och behandling
- Tillämpa denna förståelse och metodik på
 - sjukdomar som ADHD, schizofreni och demens
 - inlärning hos unga och äldre
 - teknik för hjärninterface och hjärnliknande beräkningar

SBI partners

Karolinska Institutet

7 neuroforskargrupper

KTH

Computational biology &
Neurocomputing

Paralleldatorcentrum

Stockholms Universitet

Psykologigrupp

AstraZeneca

IBM

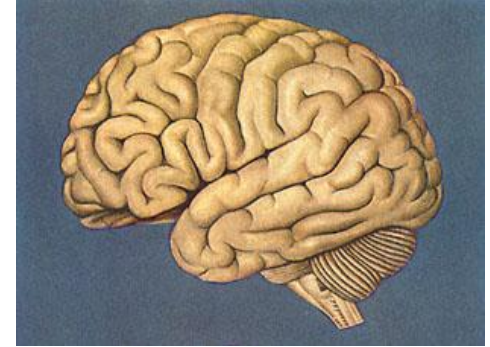
CogMed

...



Några siffror om människans hjärnbark

- Area: 2400 cm²
- Volym: 1,5 liter
- Effektförbrukning: 50 W
- Antal nervceller: 20 miljarder
- Antal kopplingar (synapser): $4 \cdot 10^{14}$
- Kilometer fibrer: 100 miljoner
- Antal meddelanden/s: $6 \cdot 10^{13}$





Neuroinformatik

- **Neuroinformatics combines neuroscience and informatics research to develop and apply advanced tools and approaches essential for a major advancement in understanding the structure and function of the brain.**
- **Three primary areas:**
 - **neuroscience data and knowledge bases, from molecular to behavioral levels**
 - **tools for data-acquisition, analysis, visualization and distribution data**
 - **theoretical, computational and simulation environments for modeling and understanding the brain (“computational neuroscience”)**
- **INCF**
 - **International Neuroinformatics Coordinating Facility**
 - **OECD**
 - **Sekretariat på Karolinska institutet**
 - **Start november 2005**



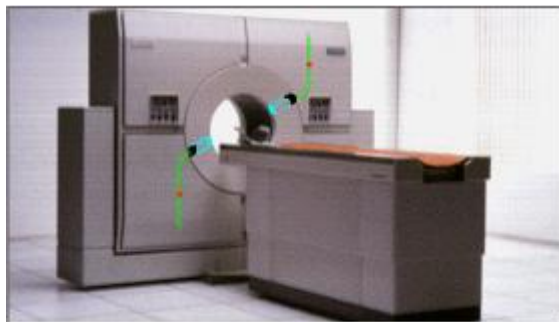
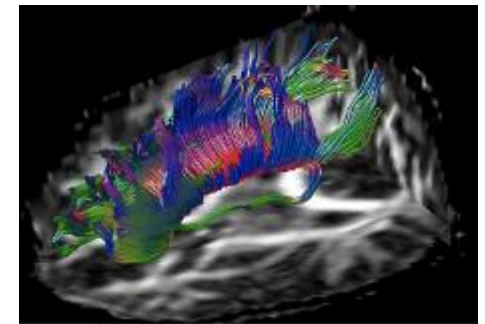
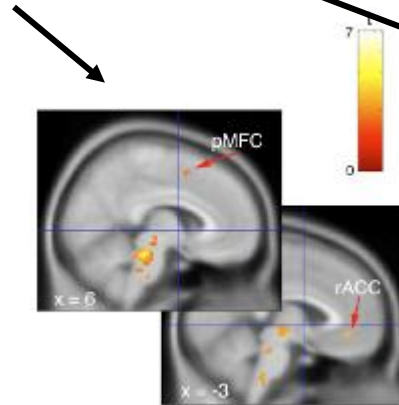
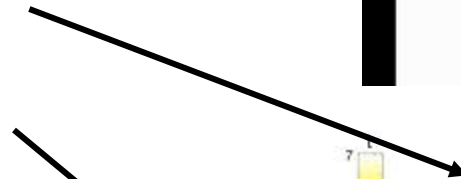
SBI – metodplattformar

- **Hjärnabbildning**
- **Modellering – simulering**

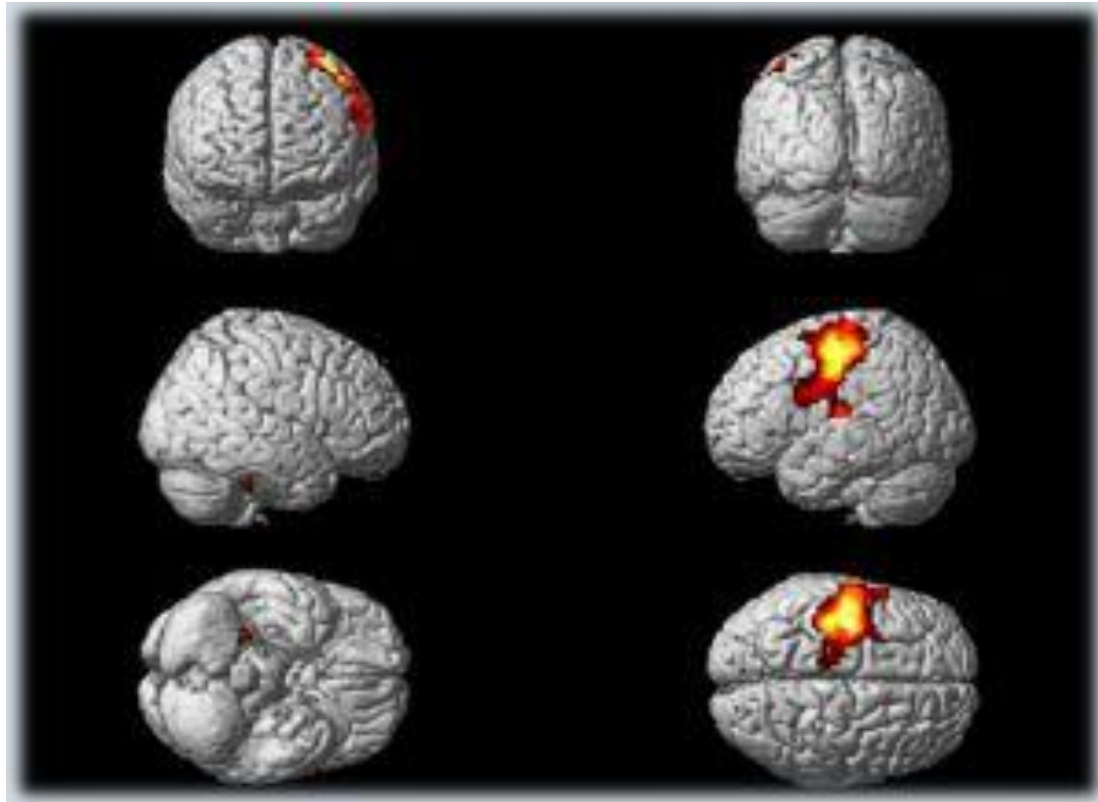
- **Krävande**
 - **Datalagring**
 - **Datatransport**
 - **Beräkningar**

Metodplattform 1

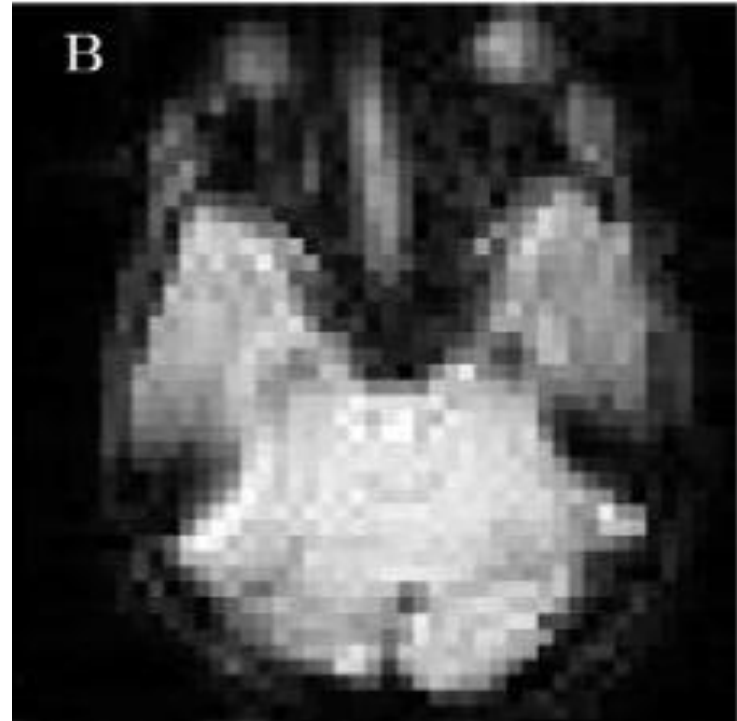
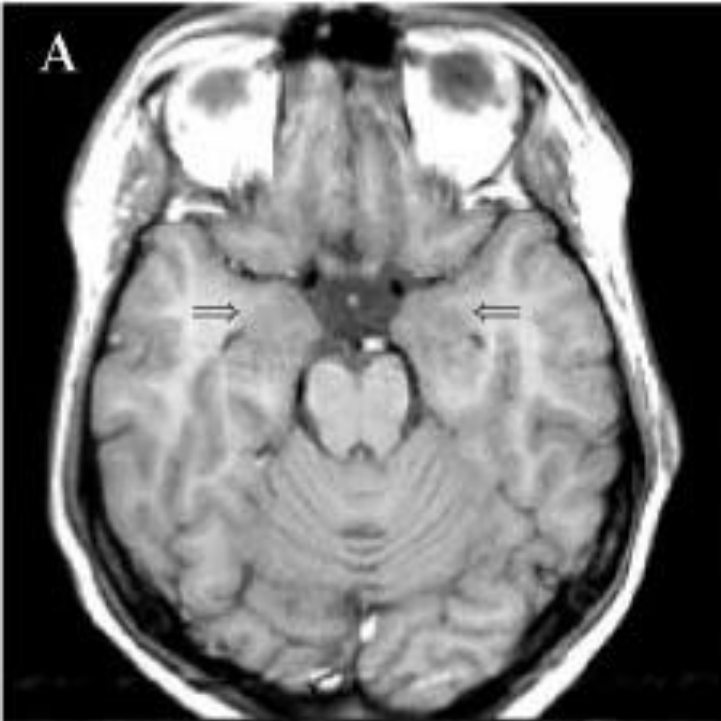
Brain imaging
Molecular
Structural
Functional



Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)



- **2 2 2 → 1 1 1mm voxels (high resolution)**



Spin Echo

BOLD, Unidirectional, sampling

**Artefakter reducerar signalen i BOLD och
Diffusionstensoravbildning**



Typiska datamängder

- **40 GB per frame med 30 frames per patient/körning**
- **4-8 körningar per day.**
- **Datatransport tidkritisk**
 - **40 GB/3 min behövs**
- **Utdata ca 1/10**

- **max 10 min turnaround**

- **PET ca 100 GB och mer**
- **Kvalitet kräver mycket beräkningar**



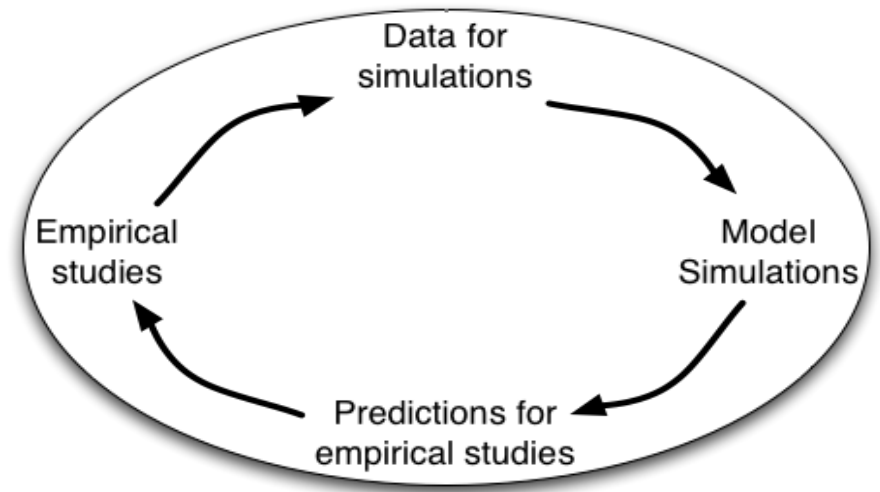
Beräkningskrävande bearbetning

- **Eliminering av rörelseartefakter i 3D bildserier**
 - Dataset av storleksordning 20-40 GB/patient
 - Iterativ rekonstruktion, 100 iterationer typiskt, icke tidskritiskt
- **Diffusionsavbildning – probabilistisk bestämning av fiberbuntar**
 - Dataset av storleksordning 20-40 GB/patient * 32 riktningar
 - Iterativ rekonstruktion, 100 iterationer typiskt, icke tidskritiskt
- **Bayesiansk rekonstruktion med MRI för high resolution PET**
 - Dataset av storleksordningen 100 GB/patient
 - Iterativ rekonstruktion, 300 iterationer typiskt
 - Tidskritiskt (isotoper)
- **Strukturell normalisering av multimodala data (MRI, PET, EEG, ...)**
 - redan rekonstruerade bilder från flera patienter
 - Iterativt, 24 timmar/körning på Linuxkluster
 - Begränsande för forskningen

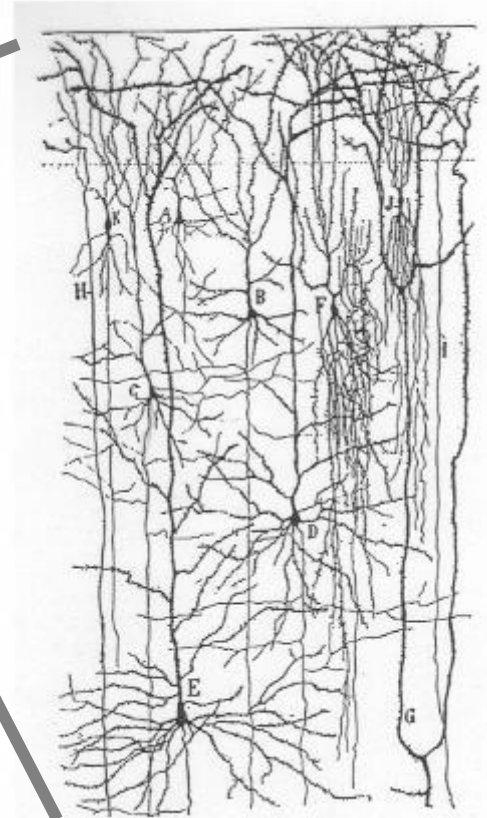
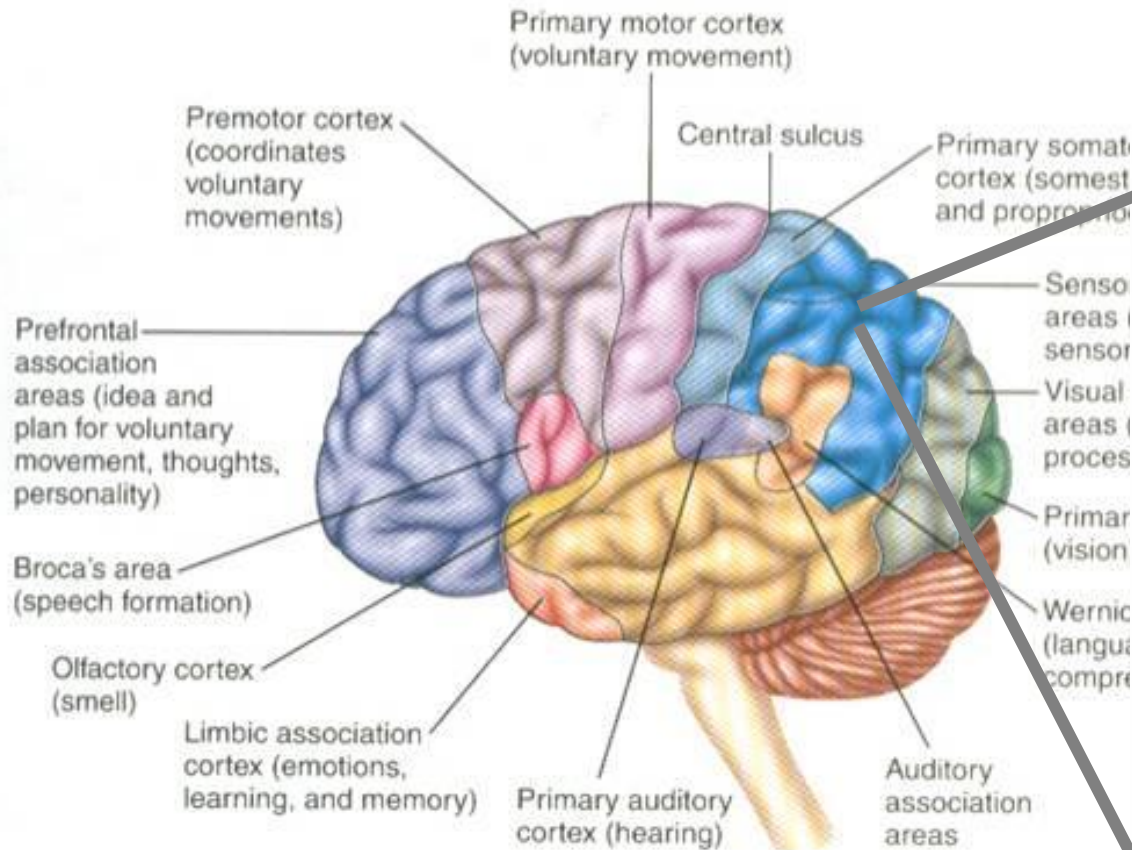
Metodplattform 2

Modellering & simulering

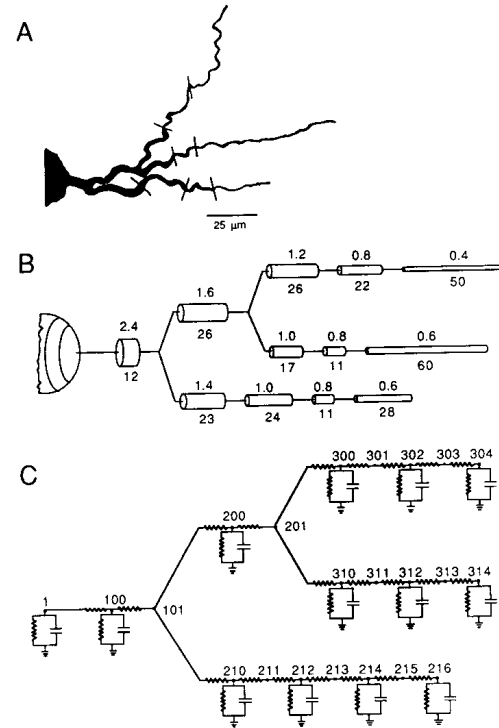
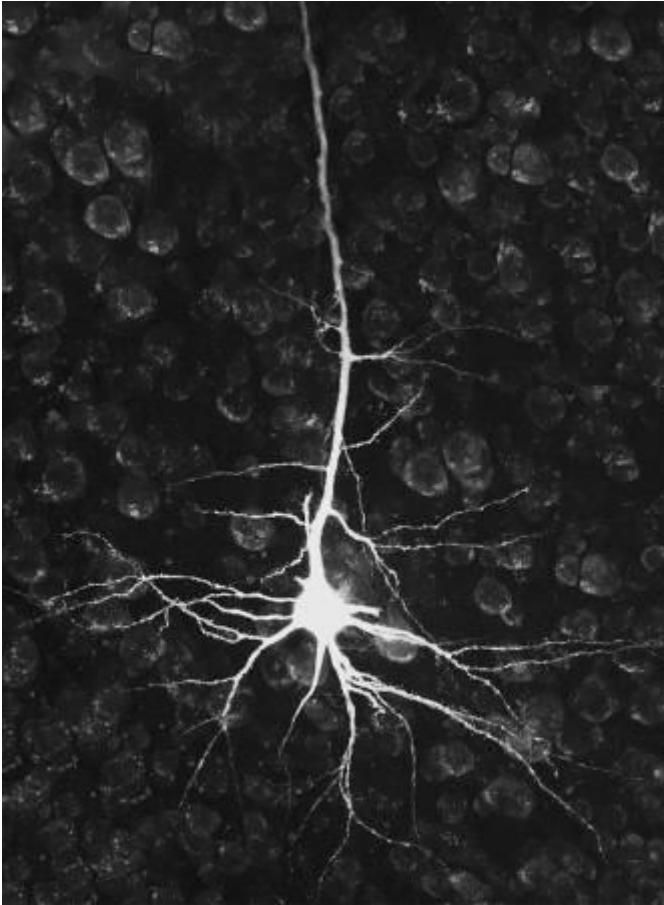
- Kvantitativ modellering och numerisk simulering från jonkanalsnivå till fullskaliga dynamiska nätverkssimuleringar
- Abstraktioner → hjärninspirerade algoritmer och beräkningar



Hjärnbarkens areor och mikrokretsar



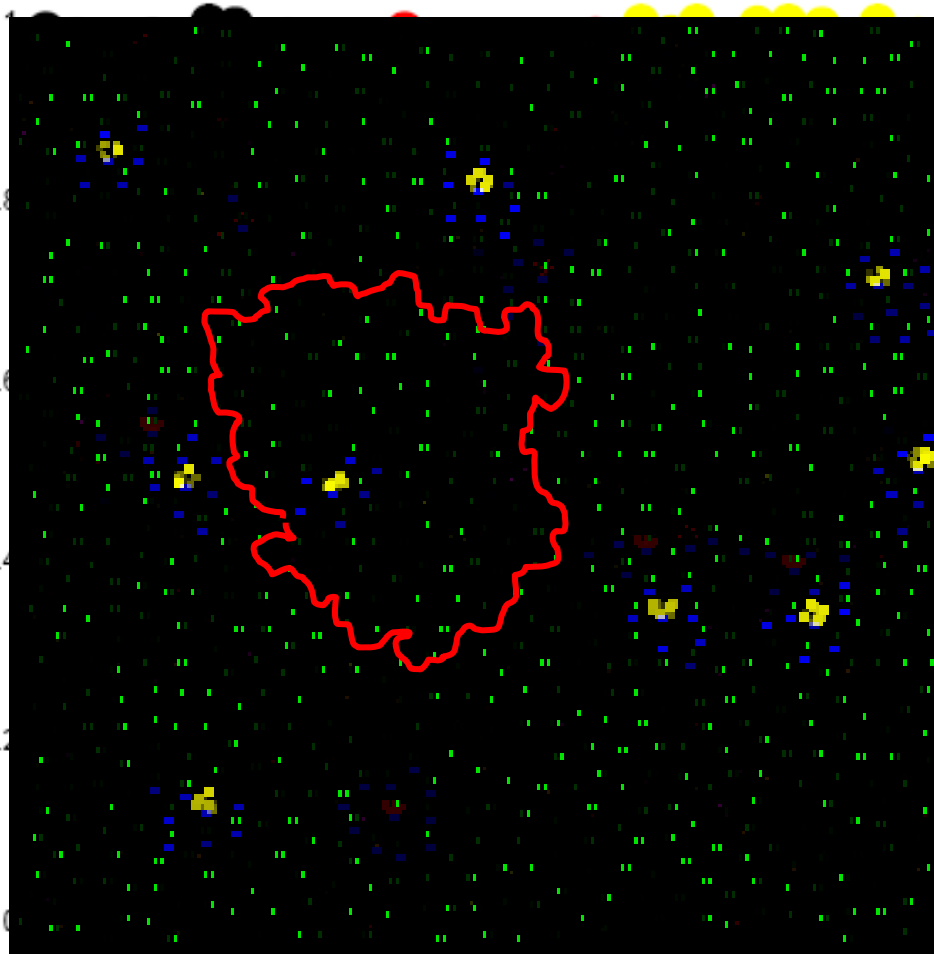
Modell för en cell - signalbehandling



- Ekvivalent elektrisk krets
- + fler jonkanaler
- Stora nätverk ⇒ beräkningstungt!

Resultat, visualisering

Nätverkslayout

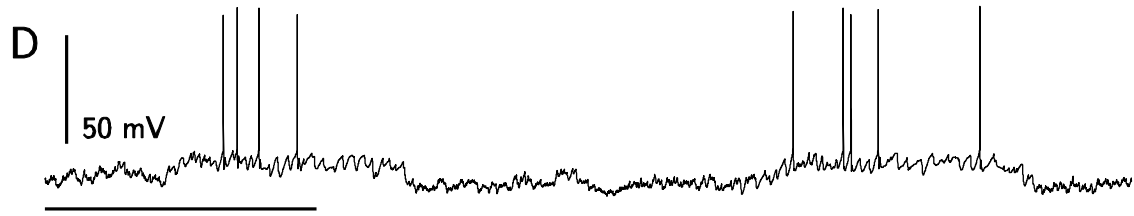
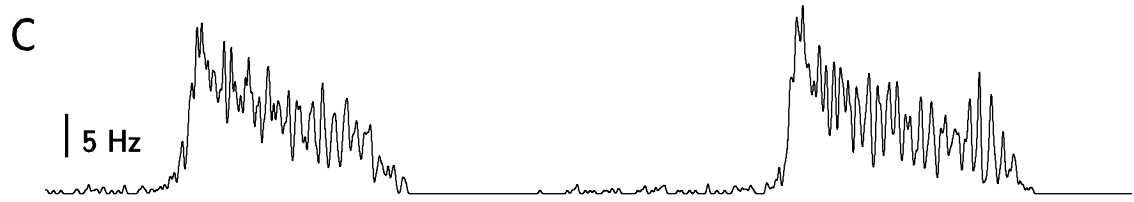
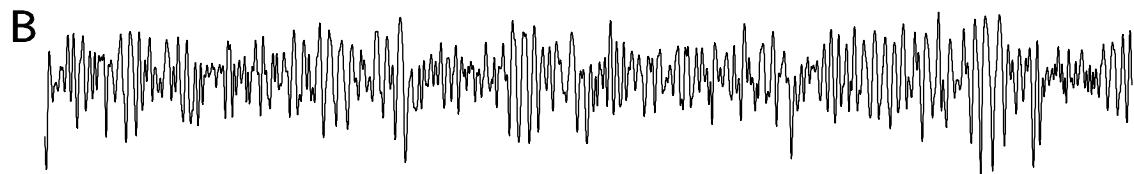


- 1x1 mm yta
- 29700 celler
- 15 miljoner synapser
- 9 hyperkolumner
- Varje hyperkolumn
 - 100 minikolumner
 - 100 basketceller
- 100 mönster lagrade

9 hypercolumner



- 1x1 mm yta
- 29700 celler
- 15 miljoner synapser
- 9 hyperkolumner
- Varje hyperkolumn
 - 100 minikolumner
 - 100 basketceller
- 100 mönster lagrade



100 hyperkolumner



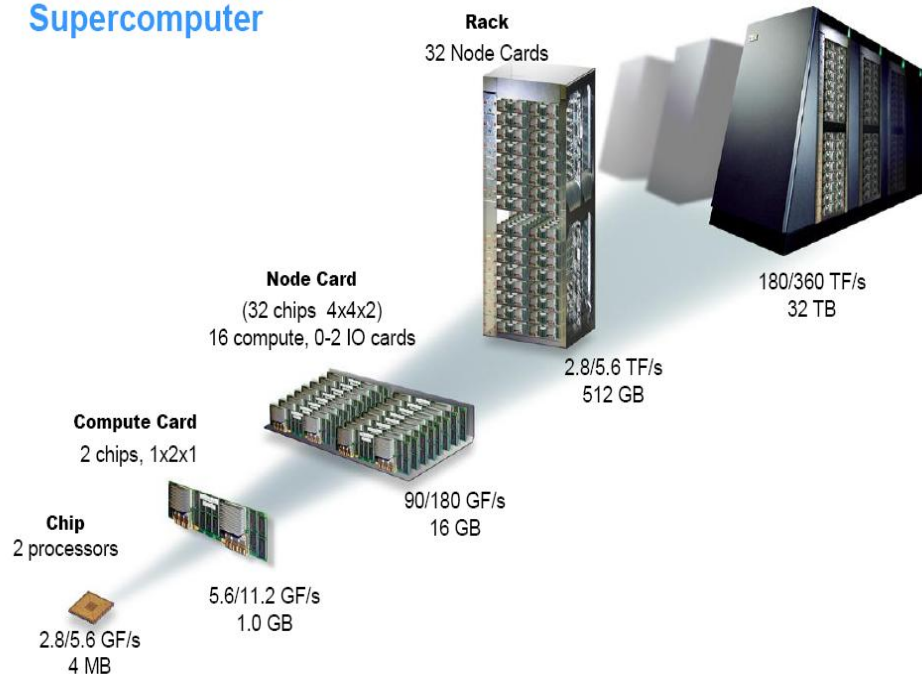
≈ 4x4 mm

- 330000 celler
- 161 miljoner synapser

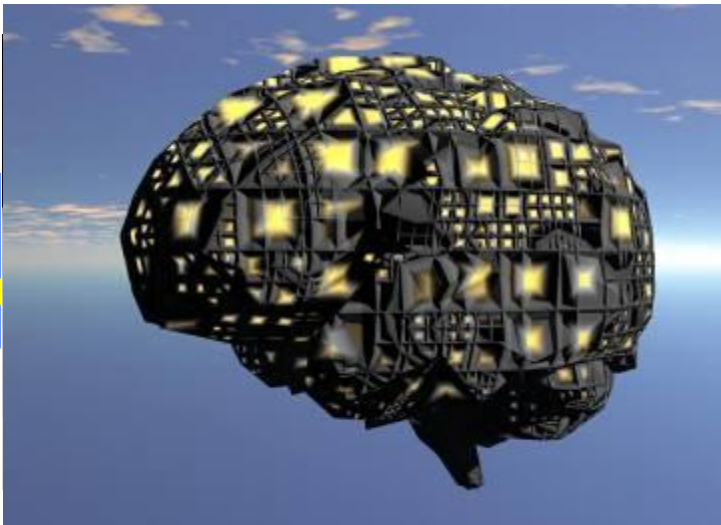
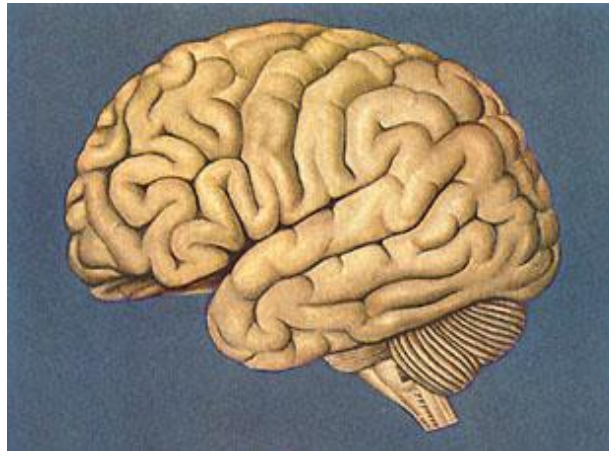
Parallellsimulering av detaljerade fullskalemodeller

- Parallelliserande simulator: **SPLIT**
- [KTH/Paralleldatorcentrum (PDC)]
- **Blue Gene/L (IBM Rochester)**
 - 2048 processorer (1/64 av full maskin)
- The Blue Gene/L Supercomputer

-
-



Hjärnforskning ↔ Datavetenskap



Hjärna ↔ Dator jämförelse

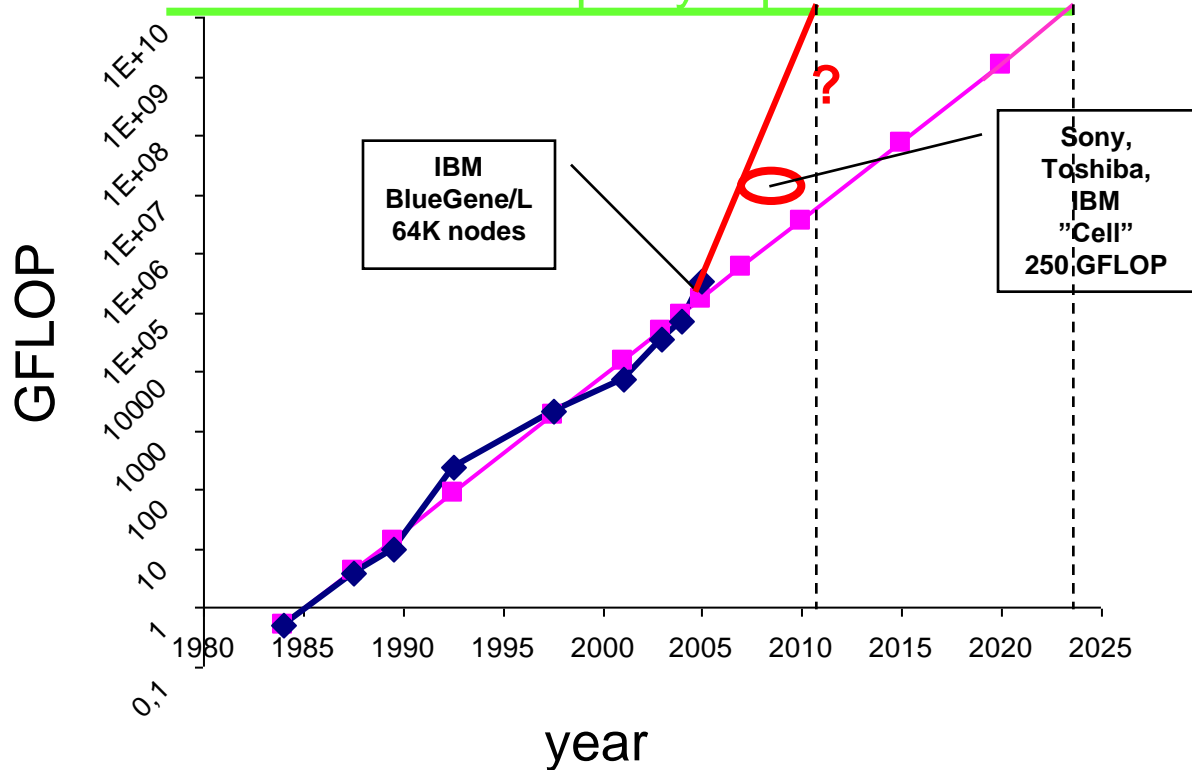
	Hjärna	IBM BG	Hjärna:BG
Beräkningar (op/s)	$1 \cdot 10^{18}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$0.7 \cdot 10^3$
Minne (B)	$1 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^1$
Bandbredd (bit/s)	$1 \cdot 10^{13}$	$7 \cdot 10^{13}$	0.14
Effektförbrukning	50 W	1 MW	$5 \cdot 10^{-5}$
Volym (m ³)	0,002	200	$1 \cdot 10^{-5}$

Total "brain gain": $\approx 3 \cdot 10^{13}$

Utveckling av beräkningskraft

Moore's law → super-Moore

100 ops/synapse/ms



Hjärnliknande teknologi?

- Dator – Hjärna interface
- Programvara
 - Detaljerade simuleringar →
konnektionistiska algoritmer
- Datorarkitektur
 - Parallella och distribuerade beräkningar
 - Dedicerad hårdvara ...
 - Analog VLSI
 - Stokastiska beräkningar
 - Molekylära beräkningssubstrat
 - Råtthjärnbark på 2 2 cm

EU/FACETS – analog VLSI

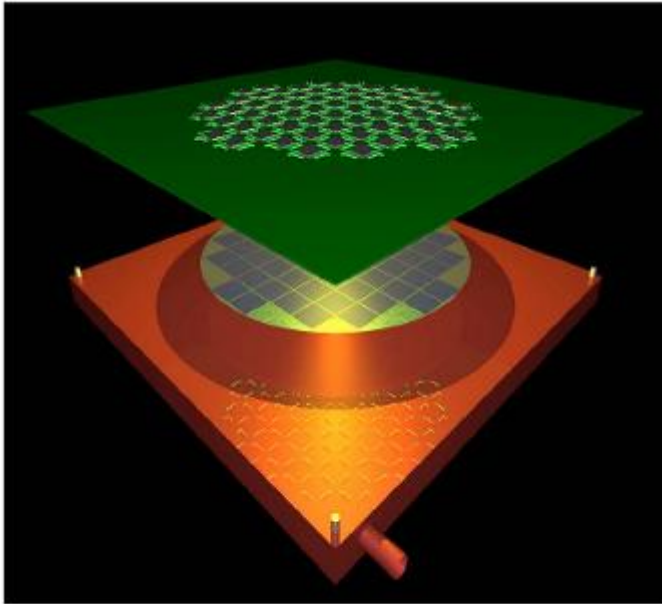


Figure 2 : Schematic layout of a Neural processing Unit (NPU) in an exploded view.

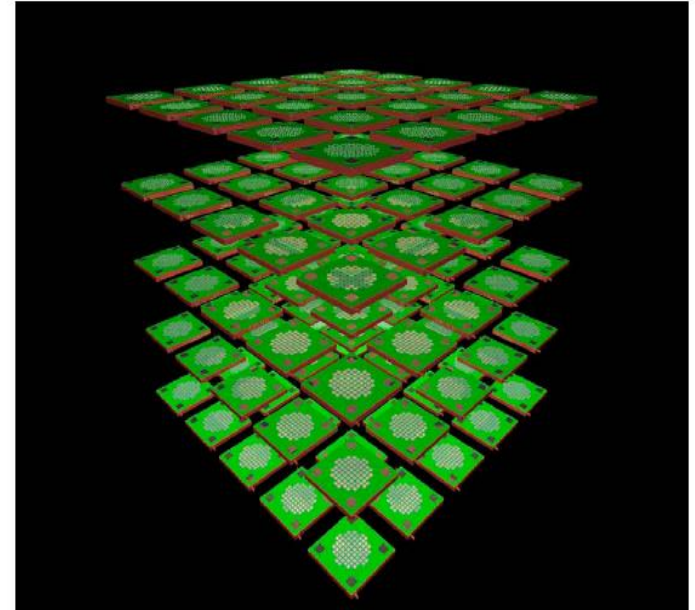


Figure 4 : Superstructure scenario neglecting mechanical supports.

Process Technology	UMC 0.18 μm CMOS
Wafer Size	8 inch
Synapse Size	10 μm^2
Synapses per Wafer	1.5 10^7
Synapse-to-Neuron Ratio	1000
Neurons per Wafer	1.5 10^5
Power of single neuron/synapse system	1 – 50 μW
Power of single NPU incl. digital overhead	about 100 W

Table 2 : Parameter list of the proposed FACETS facility

Framtidens AI-system



- ... styrs av "artificiella nervsystem", baserade på kunskap om hur hjärnan fungerar?



KTH/CSC

The End