

HOVO

Cursus Biotechnologie

Stamcellen en Tissue-Engineering

DNA/RNA-technologie en Veredeling

Synthetic biology en Cybernetica

Wat is leven ?

Genomics, proteomics

Lezen wetenschappelijke literatuur

De toekomst van biotechnologie

Normaal 8 colleges, nu in vogelvlucht

HET TURNHOUTS WETENSCHAPSCAFE

presenteert:

op dinsdag 10 december 2019
“DE BETAWETENSCHAPPEN IN
HET VOLGENDE DECENNIUM”

Spreker is:

RUUD LICHT

docent HOVO Brabant

Komen aan bod:

- * Kan synthetische biologie nieuw leven maken?
- * Zullen we ouderdomsziektes overwinnen?
- * Manipulatie van atomen, nanotechnologie, stamcellen, ...
- * Hoe kijken de wetenschappen naar het leven?

Om 20 u in café
Barzoen
Warandestr. 42
Turnhout
[www.facebook.com/
turnhoutswetenschapscafe](http://www.facebook.com/turnhoutswetenschapscafe)

vrijwillige bijdrage
2 €
website:
[www.turnhoutsweten
schapscafe.be](http://www.turnhoutswetenschapscafe.be)



VU- Louis Michielien Oude Vaartsstraat 44 Turnhout

Wetenschapscafe: R. Licht

Doctor in de Celbiologie,
Meer dan 20 jaar wetenschappelijk onderzoek gedaan

⇒ Vaccins, auto-immuniteit
⇒ Stamcellen en gen-techniek

⇒ Nu 6^e jaar HOVO
⇒ Schrijven over wetenschap
⇒ Beta-wetenschap (Science)
in een groter verband

⇒ Pelckmans / TUSK

HET TURNHOUTS WETENSCHAPSCAFE

presenteert:

op dinsdag 10 december 2019
**“DE BETAWETENSCHAPPEN IN
HET VOLGENDE DECENNIUM”**

Spreker is:

RUUD LICHT

docent HOVO Brabant

Komen aan bod:

- * Kan synthetische biologie nieuw leven maken?
- * Zullen we ouderdomsziektes overwinnen?
- * Manipulatie van atomen, nanotechnologie, stamcellen, ...
- * Hoe kijken de wetenschappen naar het leven?

Om 20 u in café
Barzoen
Warandestr. 42
Turnhout
[www.facebook.com/
turnhoutswetenschapscafe](http://www.facebook.com/turnhoutswetenschapscafe)

vrijwillige bijdrage
2 €
website:
[www.turnhoutsweten
schapscafe.be](http://www.turnhoutswetenschapscafe.be)



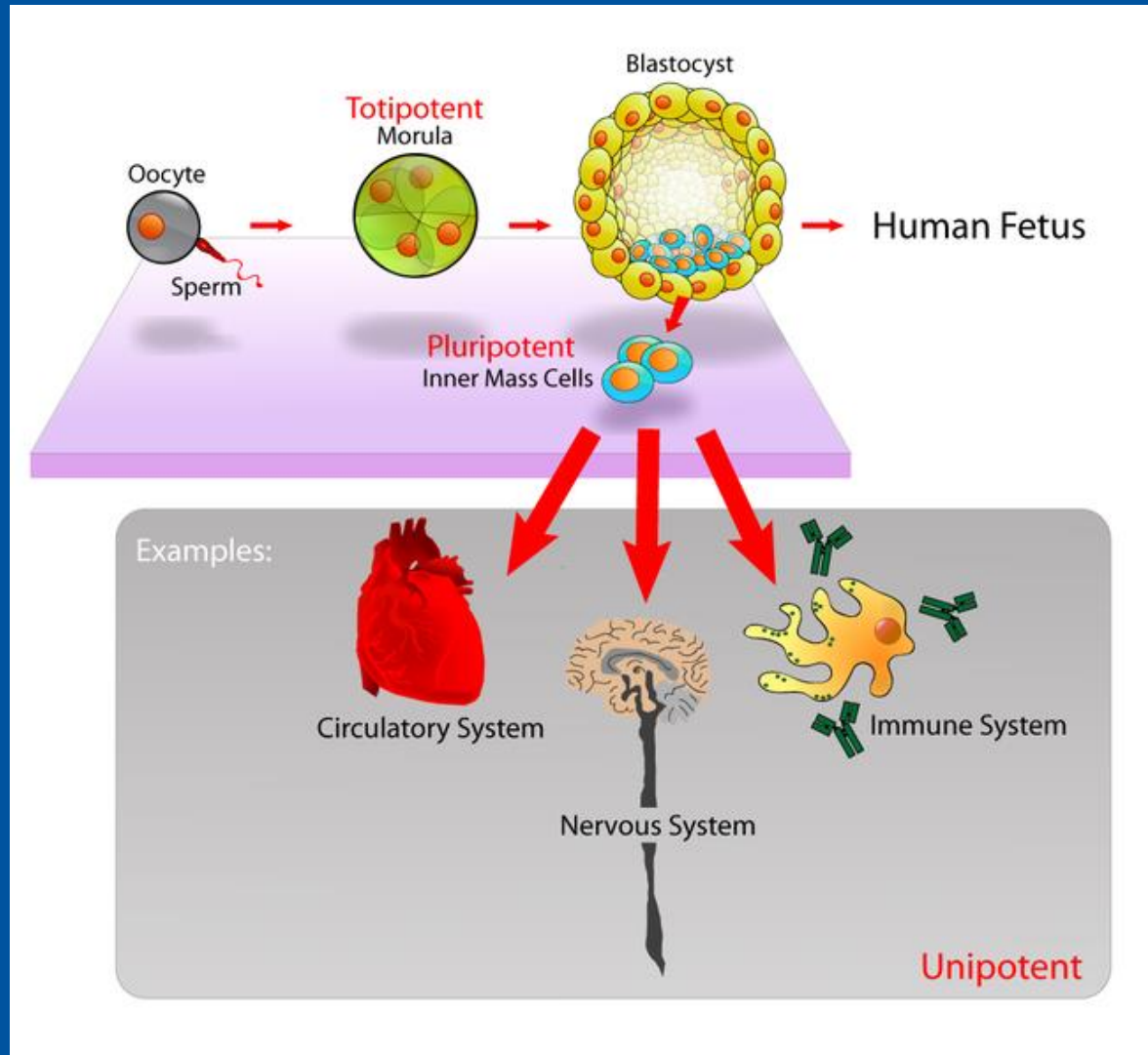
VU- Louis Michielens Oude Vaartsstraat 44 Turnhout

Slijtage
4^e fiets in 20 jaar tijd
Lichaam is wel gerepareerd in die tijd



Embryonale stamcel => Volwassen weefsels met “adult stem cells”

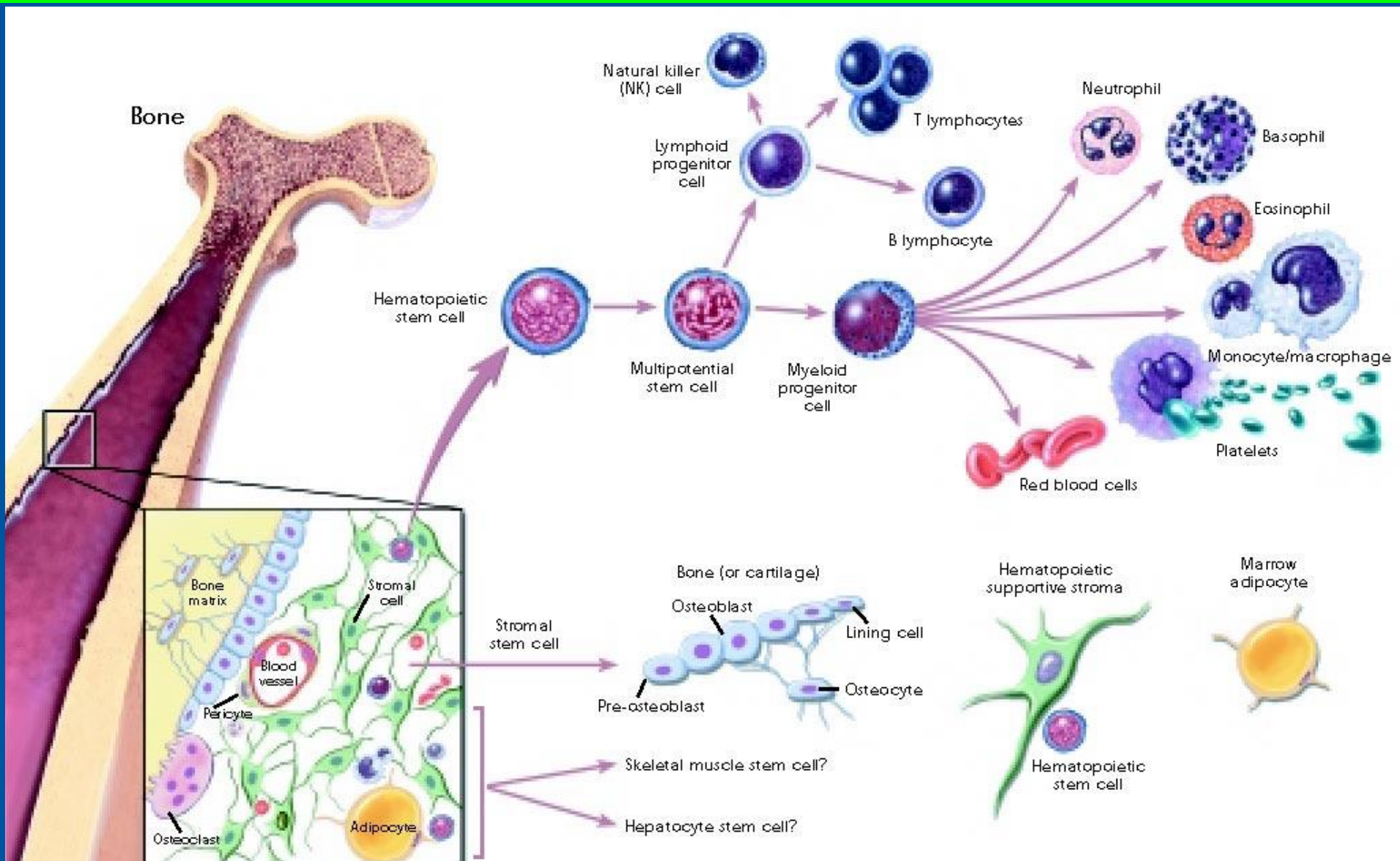
ES



Adult
Stem
cells

Na de embryonale ontwikkeling blijven stamcellen actief => adult stem cells

Stamcellen in het beenmerg: Hematopoetische stamcel en de mesenchymale stamcel (MSC)



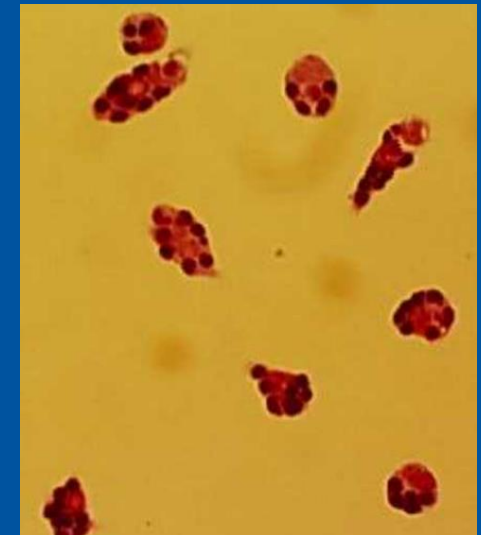
Halfwaardetijd cellen

- Rode bloedcel 110 dagen
- Huidcel 21 dagen
- Darm epitheel 2 dagen
- Long epitheelcel 2 jaar

⇒ Vrijwel elke cel in het lichaam is vervangen na ~10 jaar

⇒ Elke 10 jaar bent u, letterlijk, iemand anders

NB Meeste cellen gaan ordelijk dood via apoptose,
en worden verwijderd door macrofagen



Stamcellen

Kanker en veroudering

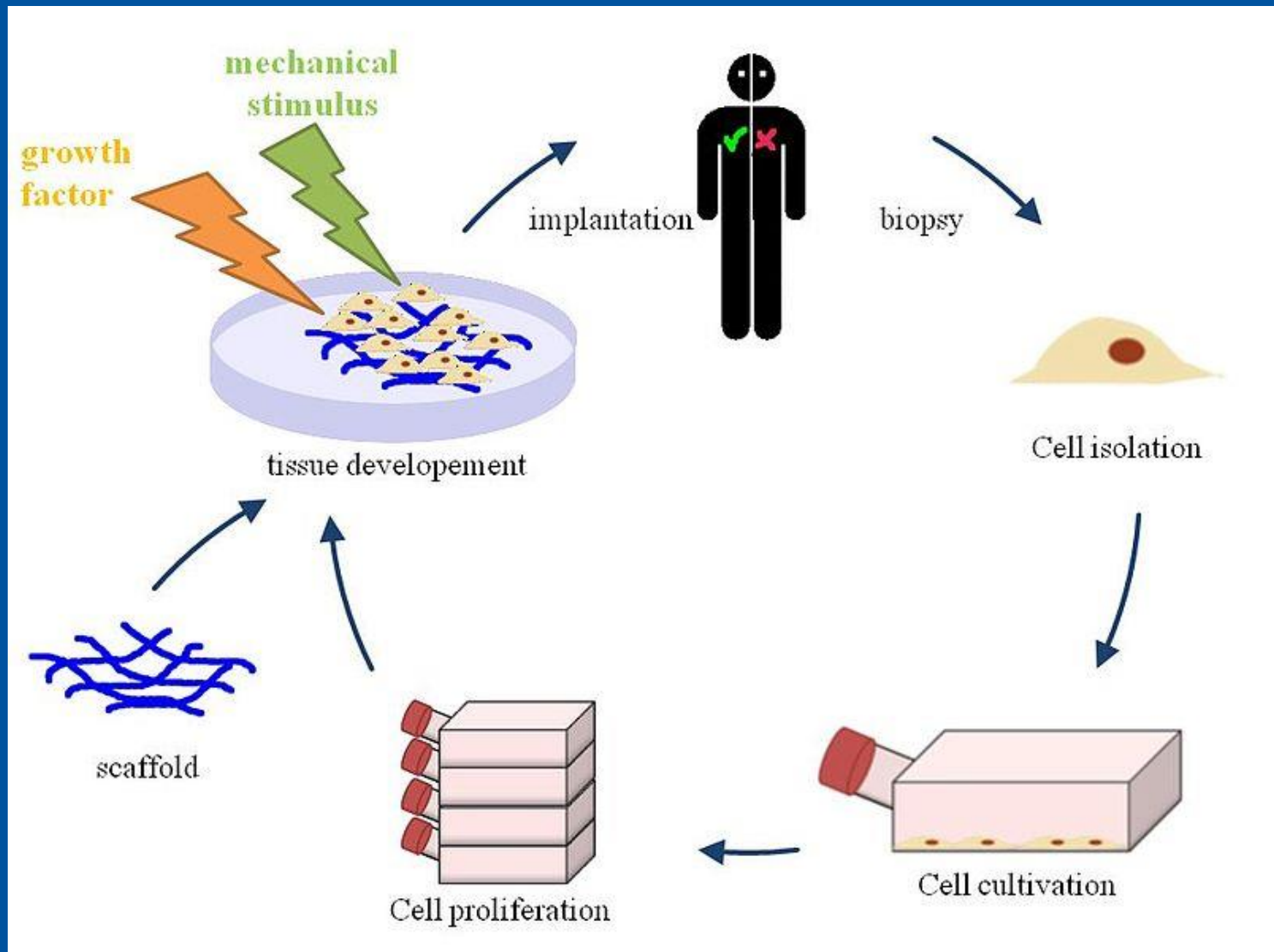
- Stamcellen kunnen nog volop delen. Maar ongecontroleerd delen is ongewenst (kanker) => stamcel controle is essentieel
- Veroudering hoort bij lang leven, want kanker moet worden voorkomen?
- Stamcellen van muizen delen veel beter dan die van mensen (1-100 jaar)
- Onderzoek naar stimulatie en remming stamcellen zorgt voor betere therapieën.

NB Ed Roos: Kanker simpel uitgelegd (Ook HOVO)

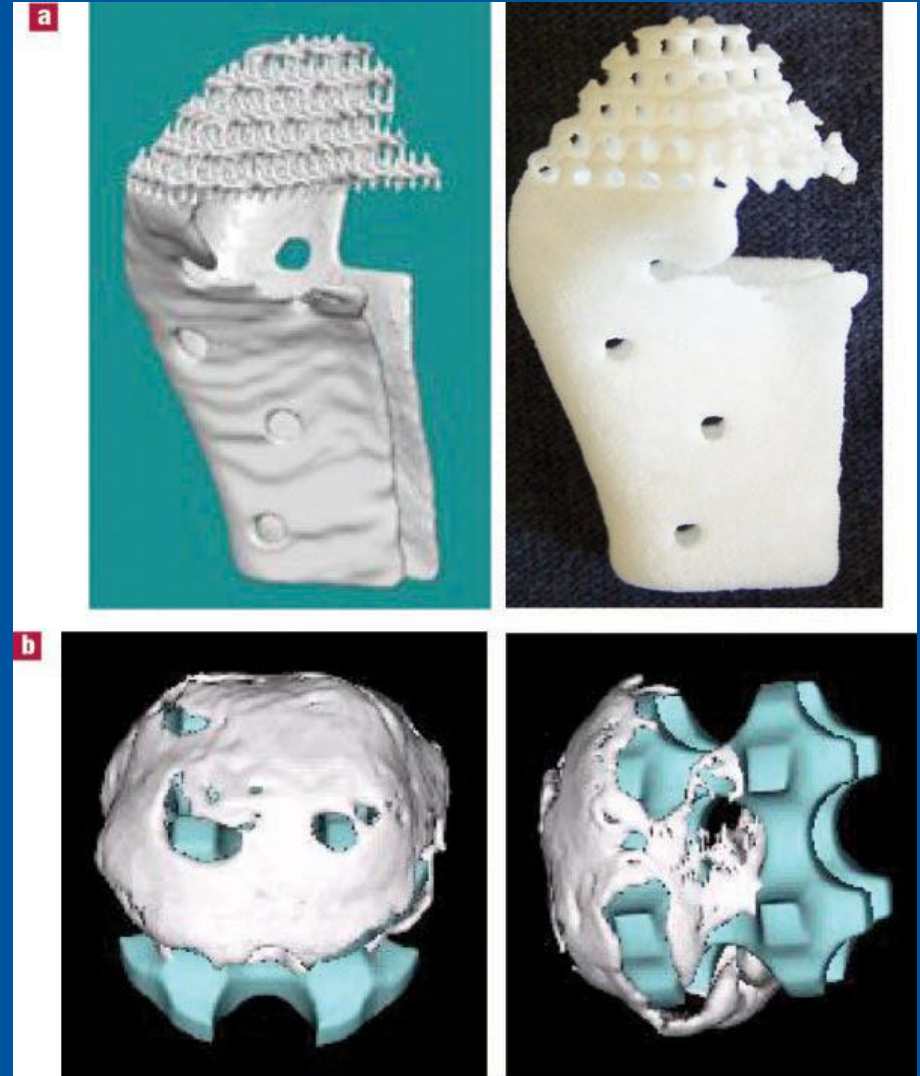
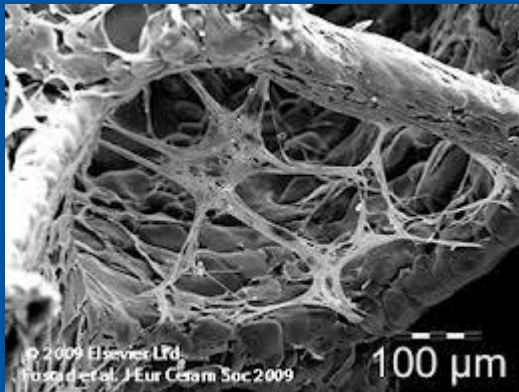
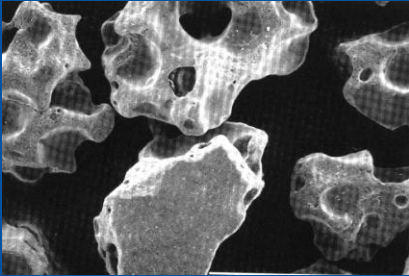
Introductie: Tissue-engineering

Stamcellen op
weg helpen
door ze eerst
heel veel te
laten delen

Beperkte
differentiatie



Scaffolds (steigers), geven tijdelijke steun en sturen ontwikkeling



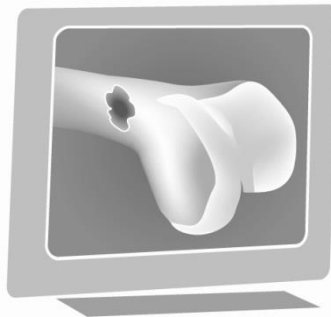
<http://www.citagenix.com/pdf/MBCPvsBovine.pdf>

http://www.integralife.com/products%2Fpdfs%2Fossatura%20brochure_457.pdf

Sintering, electrospinning, 3D-printing, (release of growth factors)

Tissue printing

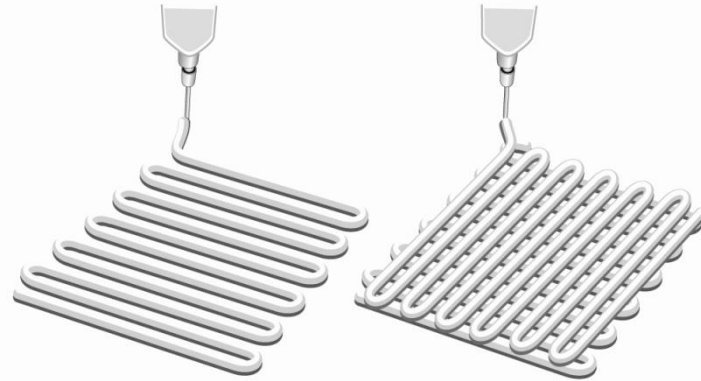
<http://www.youtube.com/watch?v=zuB3LWwXdWM>



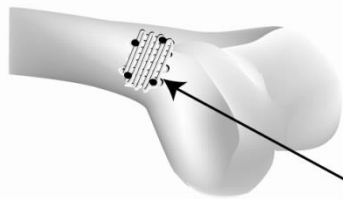
computer-aided
design of a graft



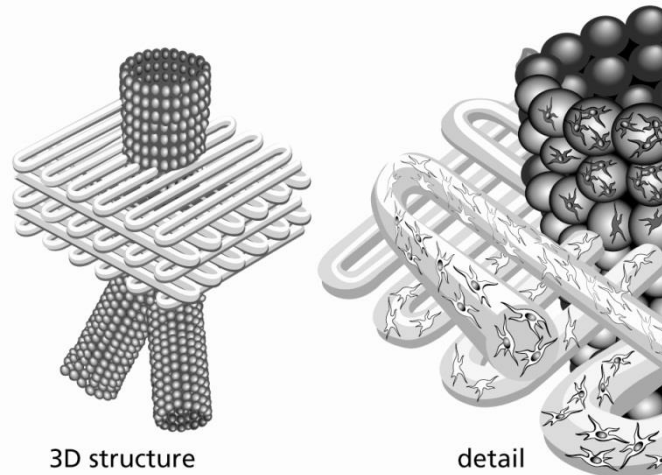
cells in cartridges



cell-deposition



application of graft



3D structure

detail

Organoids

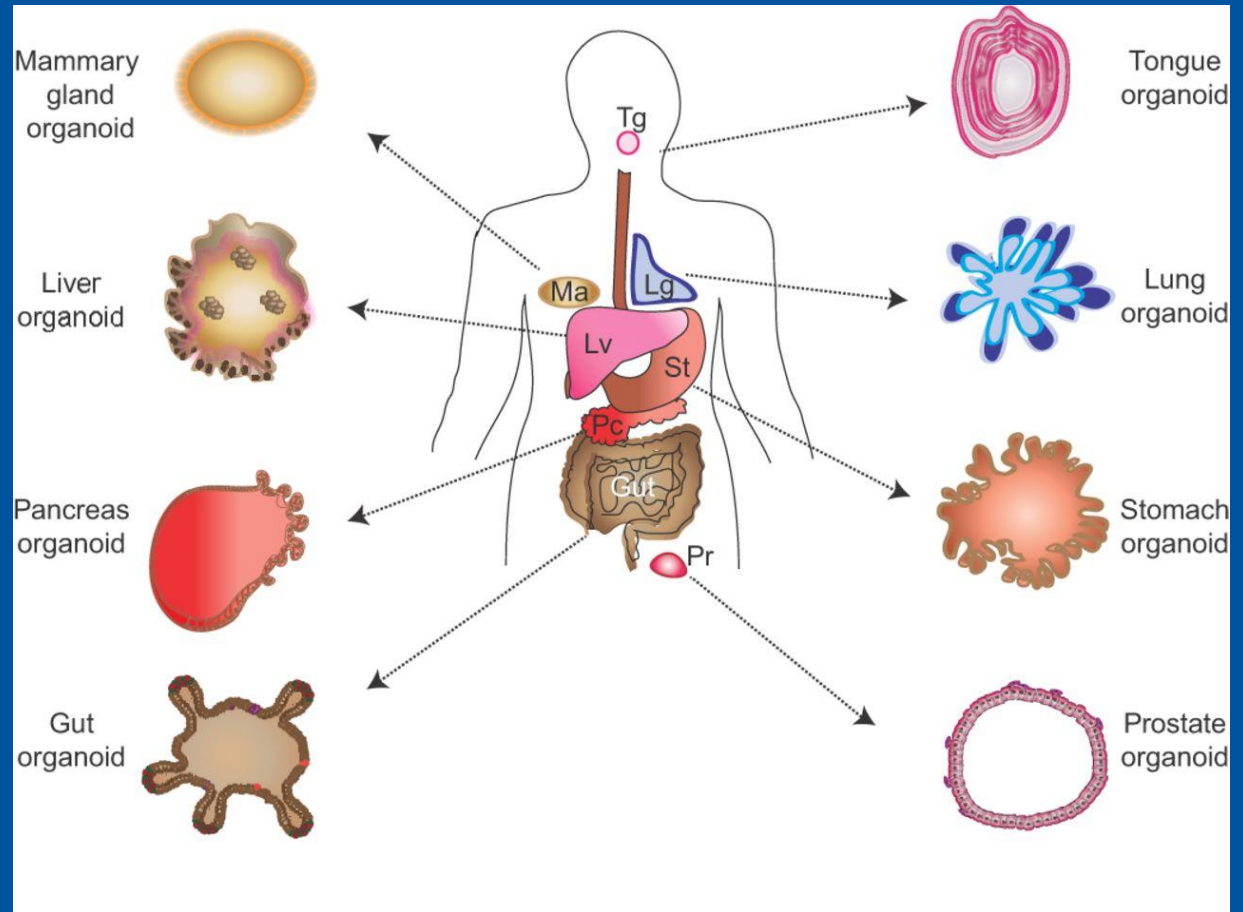
Growing new tissues outside the body

(Stam)cellen uit het lichaam van een patients worden in het lab (via iPS) gestimuleerd en opgekweekt tot mini-orgaantjes

=> Volledige differentiatie

Die kunnen dan worden gebruikt voor onderzoek, en therapie

=> Individuele geneeskunde

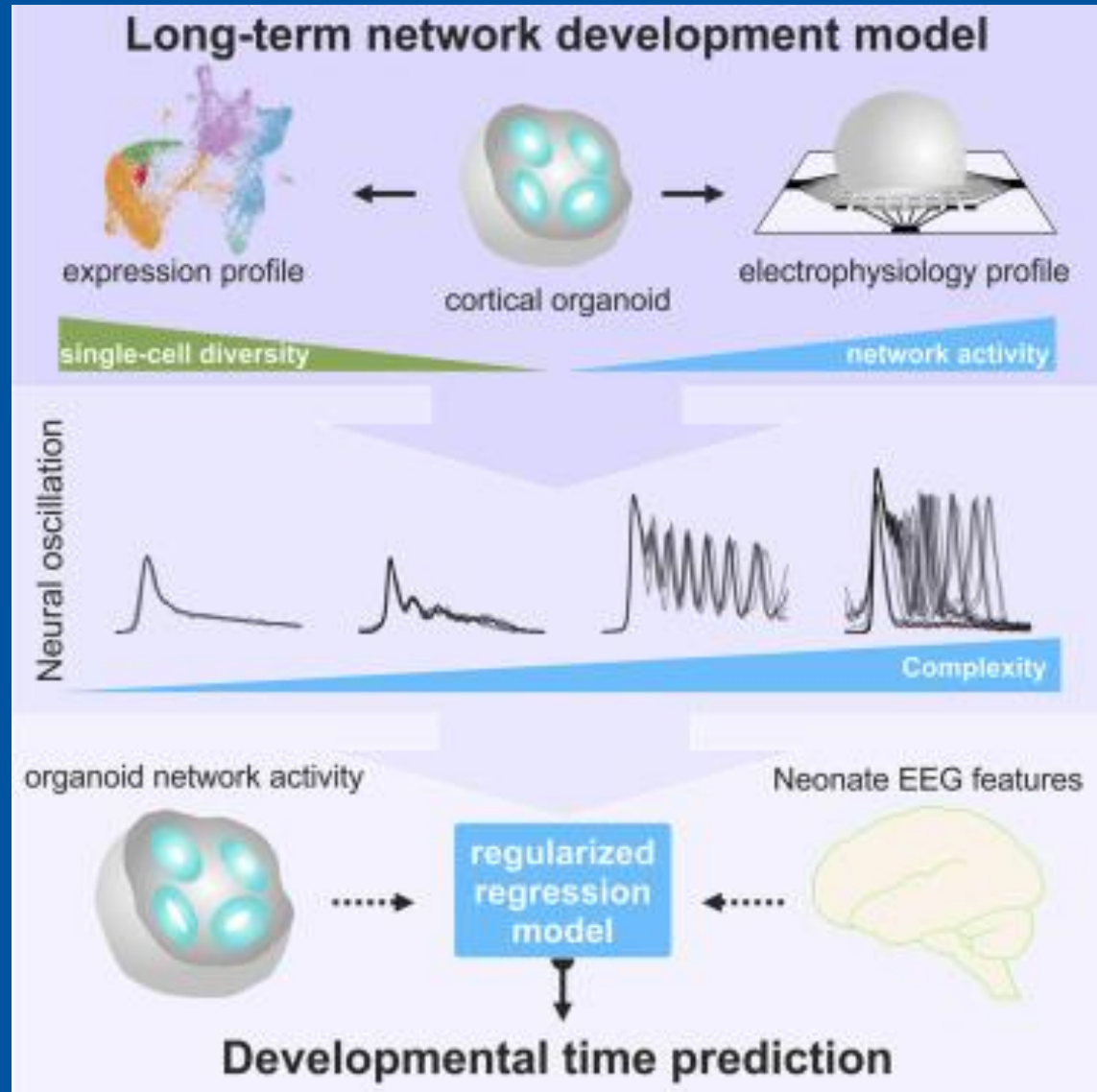


NB iPS cellen zijn in principe volledig gedifferentieerd, maar er hoeft maar 1 cel van een organoid zich niet aan de spelregels te houden => kanker. Veiligheid is dus nog een issue.

Complex Oscillatory Waves Emerging from Cortical Organoids Model Early Human Brain Network Development (2019.08)

Toekomst:
Medicijnen
(bijv. antidepressiva)
testen op organoids
van individuele patient.

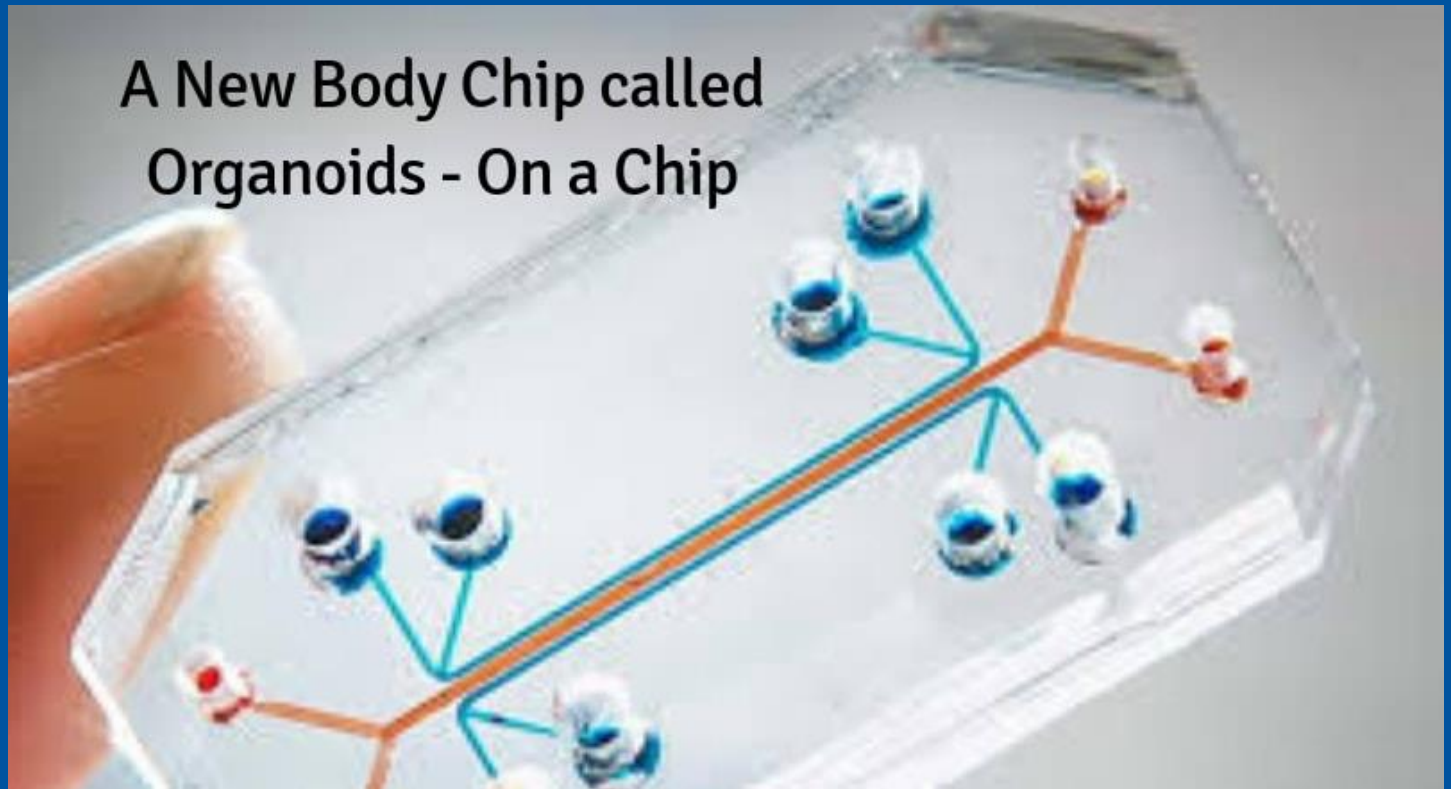
NB Eenvoudiger inzicht
in de werking van
organen (niet uit een
lichaam hoeven halen,
of in een lichaam
bekijken



Homo Chippiens

Verschillende organoids die samen een heel lichaam vormen, in miniatuur.

Van 1 patient:
Personalized medicine
Testen welke therapie voor die patient werkt



Individuele Geneeskunde: Milasen

Scientists Designed a Drug for Just One Patient.

Her Name Is Mila.

An achievement in ultra-personalized medicine also raises questions about fairness and regulation.

Julia Vitarello with her daughter, Mila, 8, who has a rare neurological disorder. Scientists were able to create a drug to treat only the form of the illness she has.

=> Personalized Medicine



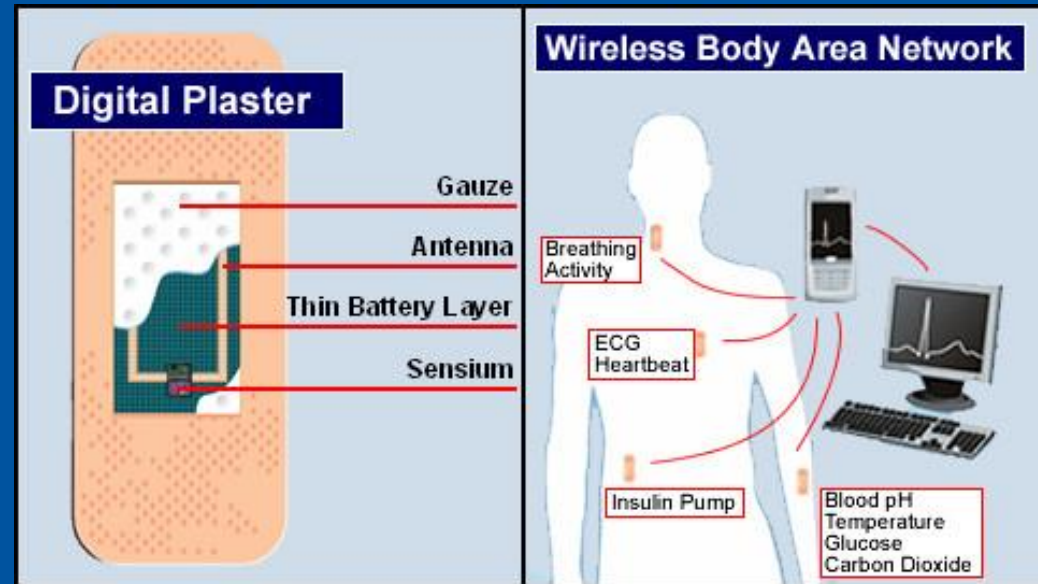
How big data could be used to predict a patient's future.

Healthcare was once about trying to heal the sick patient. But organisations around the world now have an opportunity to shift this focus to one of keeping the public healthy and anticipating health issues before they become a problem.

Big data can be collected to predict accurately when a health-issue will become a problem.

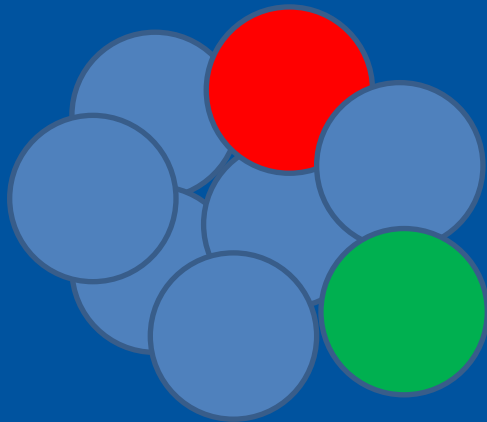
=> hospital for check-up

=> Predictive intelligence
(already used for jet engines)

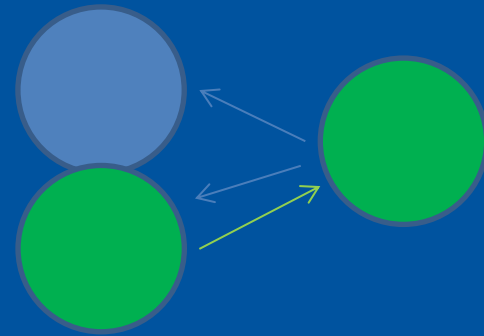


Leven is een fluide verzameling

Atomen / Cellen / Organismen

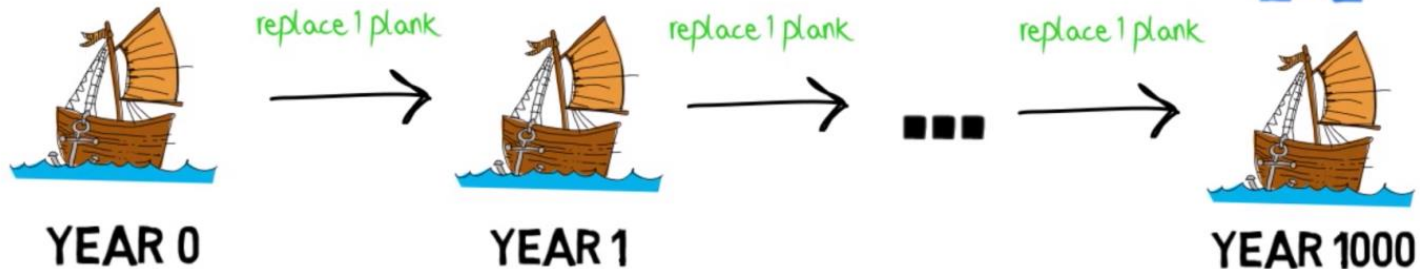


Dode cel
stamcel



Scenario 1

Ship of Theseus



S



<https://youtu.be/dYAoiLhOuao>

Een structuur (boot / mens) is meer dan de som der delen (emergentie)
Om onderdelen op de juiste manier samen te laten komen vereist informatie

Somos aqua

Opstelling in Wetenschapsmuseum Valencia



Zijn wij
water?

=> Wordt
dagelijks
vervangen!

Wordt alles vervangen?

- Hersencellen worden beperkt vervangen, maar onderdelen wel.
- Ongeveer 98 procent van alle atomen wordt elk jaar vervangen
- Onderdelen van DNA worden ook vervangen (DNA-reparatie, celdeling).

⇒ Een mens is een fluide verzameling materie

⇒ Informatie is wel blijvend (DNA-volgorde, hersenarchitectuur)

⇒ Toch wordt niet alles vervangen, of niet op een goede manier => veroudering.

⇒ Vergelijk met Theseus: Noodreparatie van schip! => je kunt door, maar niet op 100%

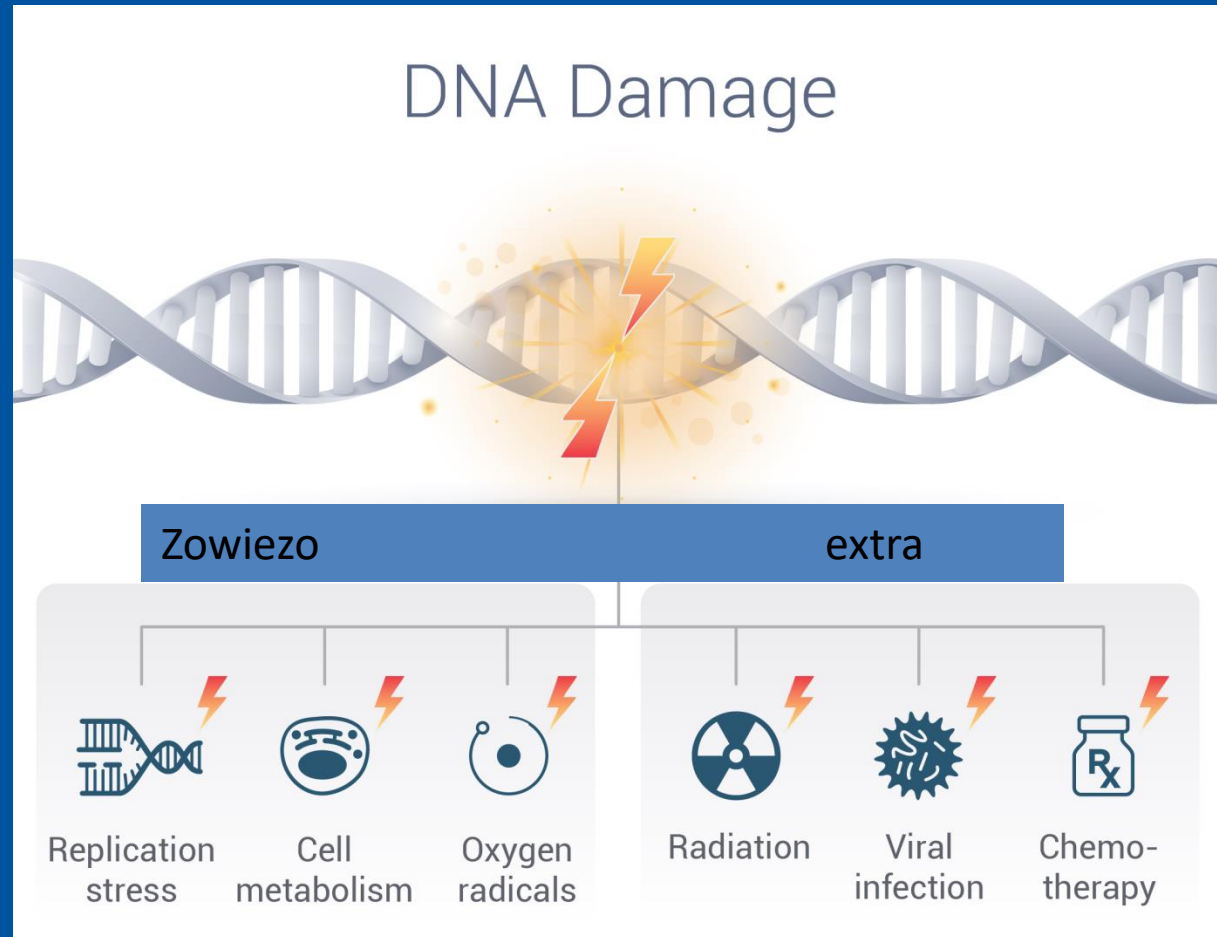
Nobelprijs Scheikunde 2015 gaat naar DNA-reparatie

> 99% wordt goed
gerepareerd, maar
< 1% wordt een mutatie

Er lijkt geen programma
te zijn, alleen evolutionair
toeval

Maar eea komt het
systeem wel goed uit.

Reparatie verbeteren =>
minder veroudering



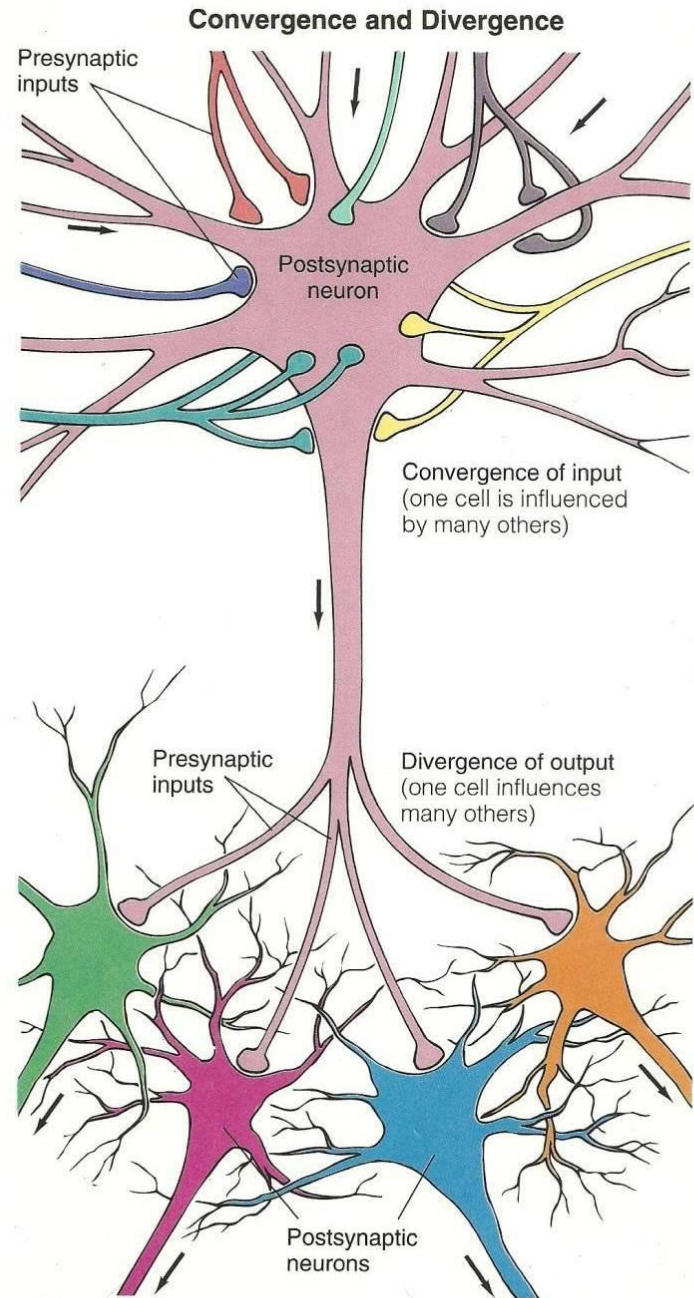
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/lists/year/

Neuronen en netwerken

- Er zijn ~86 miljard neuronen
- Een gemiddeld neuron heeft ~1000 verbindingen
- ⇒ ~86 x 10¹² verbindingen

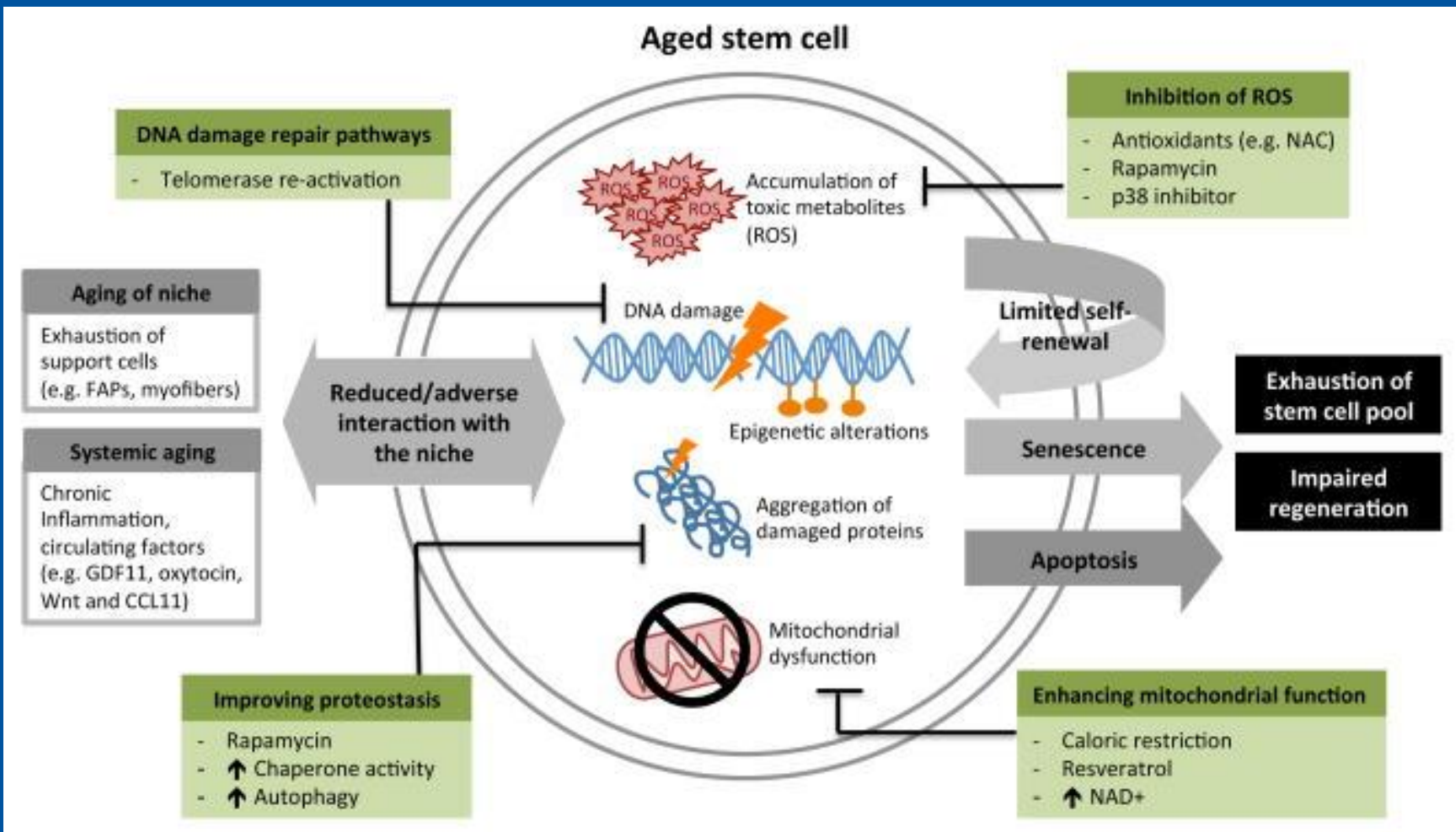
NB Internet heeft nu 10⁹ verbindingen (en stijgt hard..)

- Plasticiteit: Afbraak en Opbouw van onderdelen
- ⇒ Structuur moet blijven
- Maar ook hier is reparatie niet volledig
- Komt mede door DNA schade



Arrows indicate direction in which information is being conveyed.

Stamcellen verouderen ook En verdwijnen..



Waarom lukt het maar niet om kraakbeen te laten herstellen?

- Niet elk weefsel kan makkelijk herstellen
 - Kraakbeen is eigenlijk “dood”, er zitten geen cellen (meer) in.
 - Alleen helemaal opnieuw (embryonaal) opbouwen heeft zin
- => generatiewisseling

<https://www.trouw.nl/wetenschap/waarom-lukt-het-artsen-maar-niet-om-kraakbeen-te-laten-herstellen~b530f795/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>



Wat is leven: Voorplanting is noodzakelijk

- Meercellig / zuurstof gebruikend organisme moet wel verouderen; niet alles kan goed herstellen
 - Nieuwe generatie kan opnieuw (van de grond af) beginnen
 - Leven is vooral informatie
 - Generatiewisseling is informatie overdracht
- ⇒ Loophole; Zo blijft leven al 4,5 miljard jaar bestaan.
- ⇒ Was nooit gelukt met 1 enkel organisme

Mutaties zorgen voor variatie => selectie => evolutie

- => Natuurlijke selectie (omgeving)
- => Sexuele selectie (partnerkeuze)
- => Culturele selectie (gewenste eigenschappen)

Mutatie stoppen = evolutie beperken

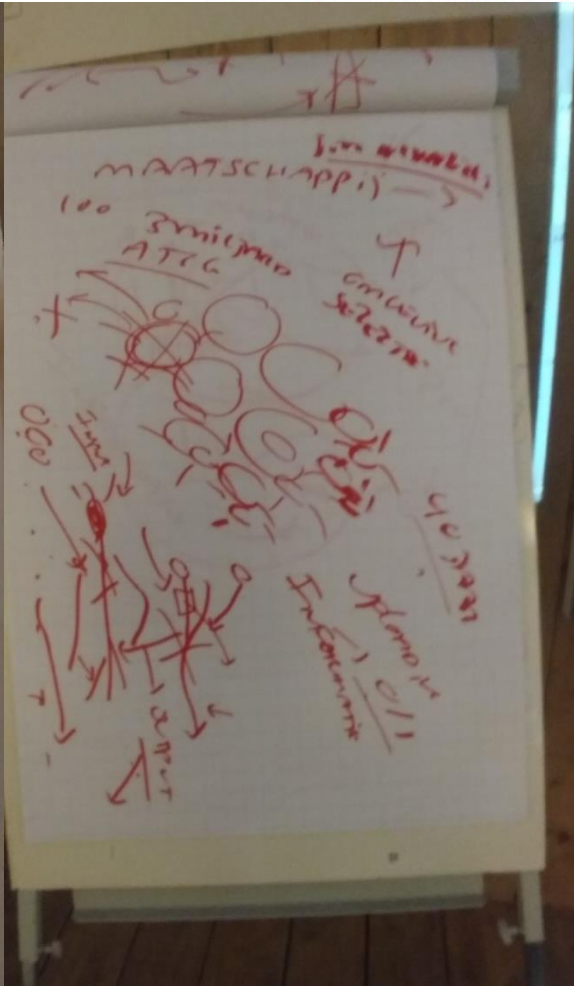
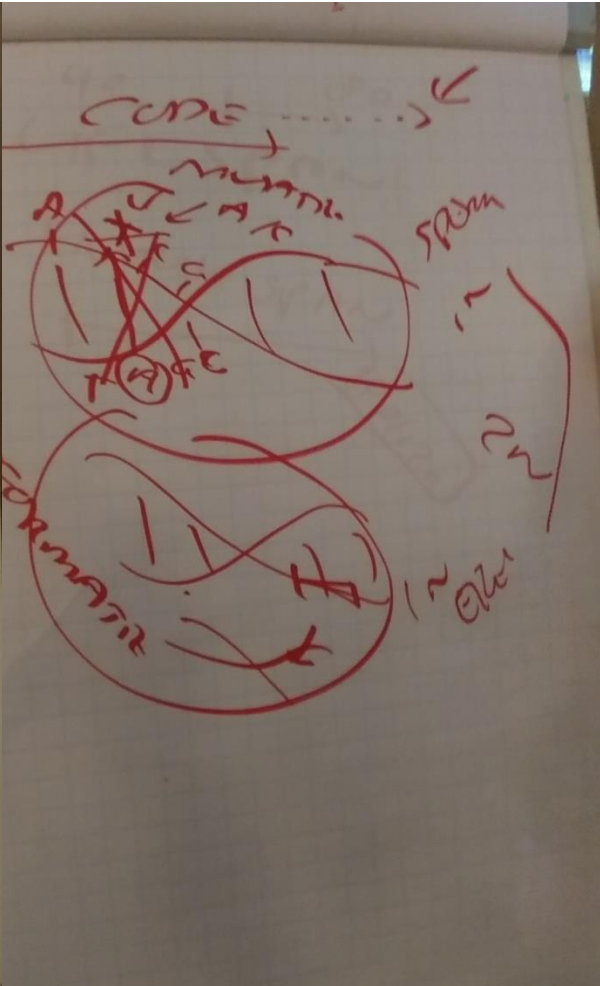
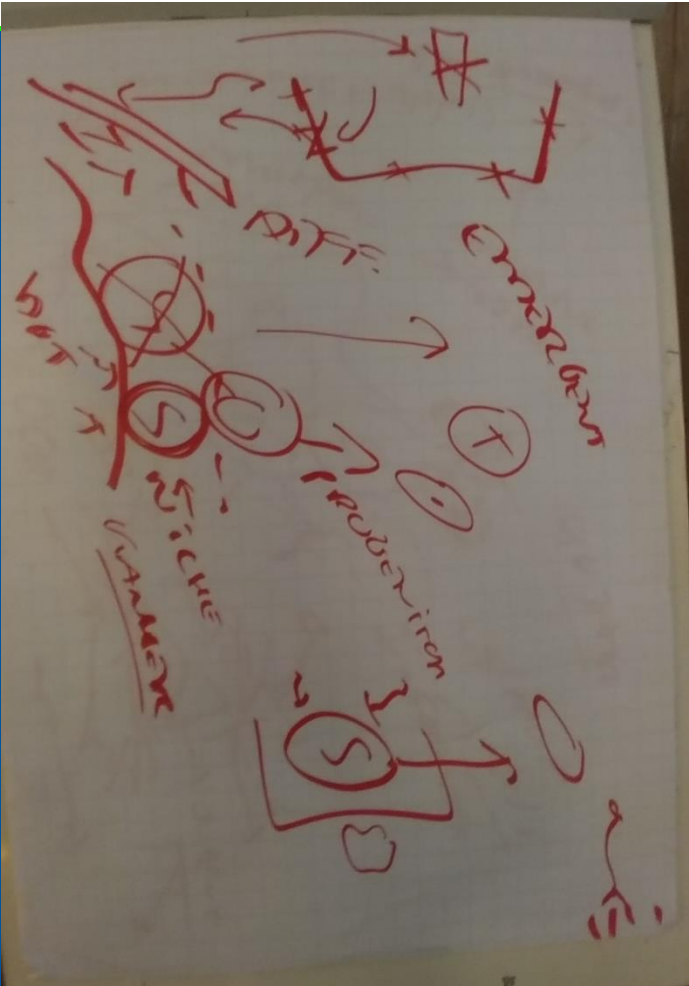
NB Sexuele voortplanting zorgt voor recombinitie (nieuwe combinaties van bestaande eigenschappen)

NB Epigenetische veranderingen moduleren bestaande eigenschappen

<https://www.youtube.com/watch?v=hOfRN0KihOU>

<https://www.youtube.com/watch?v=-mPCqYxB4d4>

aantekeningen



Hieronder de dia's waar ik niet aan ben toegekomen
Misschien een volgende keer!



Entropie (S) neemt altijd toe in de tijd
(Clausius, 2^e hoofdwet thermodynamica)
Hoe kan leven dan toch bestaan?



Life's characteristics:

Order

Sensitivity

Reproduction

Regulation

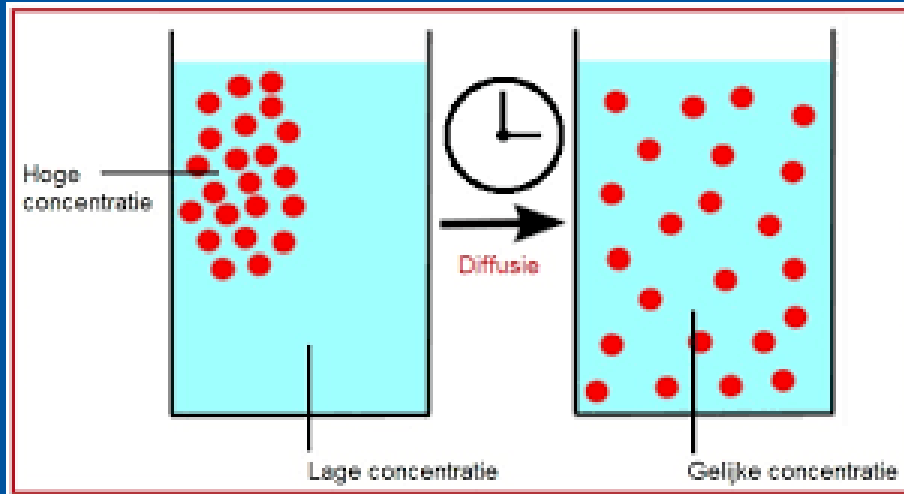
Homeostasis

⇒ Temporary Complexity

⇒ Energy and information

⇒ S = entropy, t = time

Entropie als diffusie



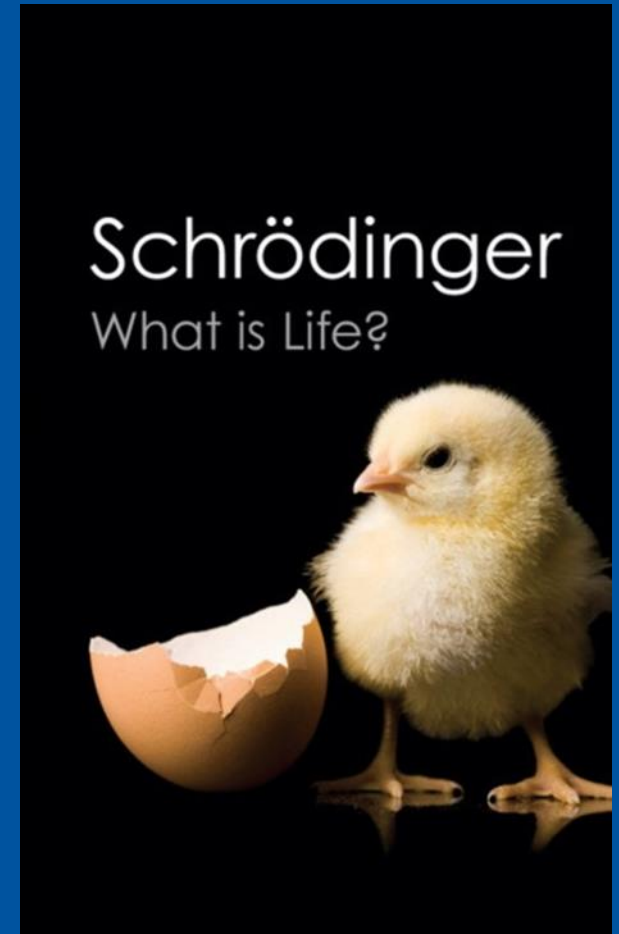
De kans om georganiseerd in een hoekje te zijn, is kleiner dan verspreid over het hele volume
Als de deeltjes botsen, botsen ze vaker de leegte in dan de drukte

Wij zijn informatie!
=> Zorgt voor ordening

In his 1944 book *What is Life?*, the physicist Erwin Schrödinger expressed this by saying that living organisms feed on “negative entropy.”

They achieve it, Schrödinger said, by capturing and storing information. Some of that information is encoded in their genes and passed on from one generation to the next: a set of instructions for reaping negative entropy.

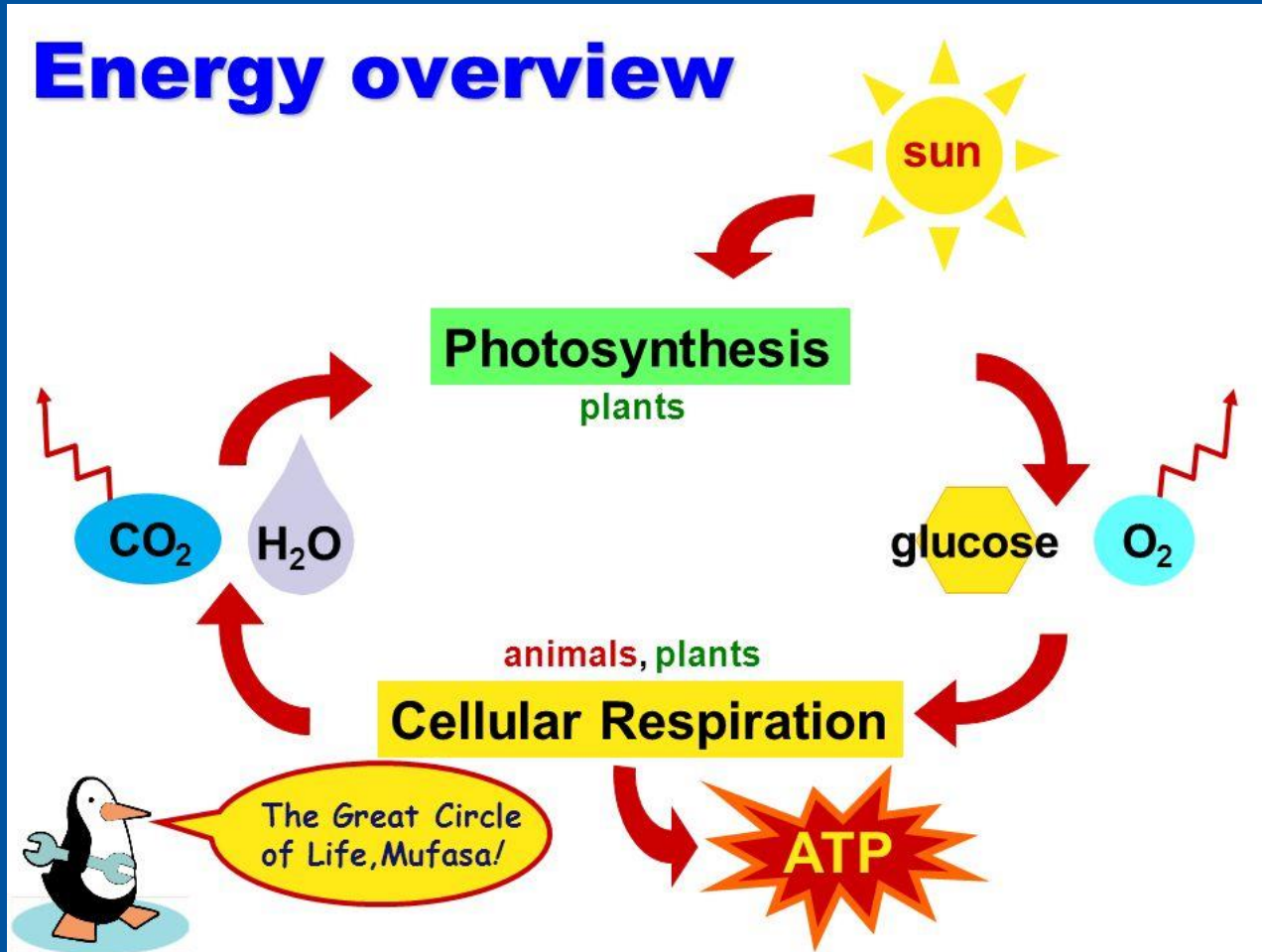
Schrödinger didn't know where the information is kept or how it is encoded, but his intuition that it is written into what he called an “aperiodic crystal” inspired Francis Crick, himself trained as a physicist, and James Watson when in 1953 they figured out how genetic information can be encoded in the molecular structure of the DNA molecule.



Is energie voor nodig!

The circle of life

Zon levert vrije energie



Het leven is een bijzonder systeem

- Kan juist bestaan door 2^e wet van thermodynamica
- Tijdelijke toename ordening, die kan blijven bestaan door vrije energie (aarde en zon).
- Aarde en zon zijn ook tijdelijke vermindering van entropie (door zwaartekracht en restenergie van vorming zonnestelsel)
- Informatie (DNA), want generatiewisseling is essentieel.
- Generatiewisseling is ontsnappingsclausule voor de 2^e wet
- Order and disorder: <http://www.youtube.com/watch?v=FpaRn-eG3AI>

DNA/RNA, een informatiesysteem

DNA

Erfelijke eigenschappen

Toepassingen:

- Gentherapie
- Synthetische biologie

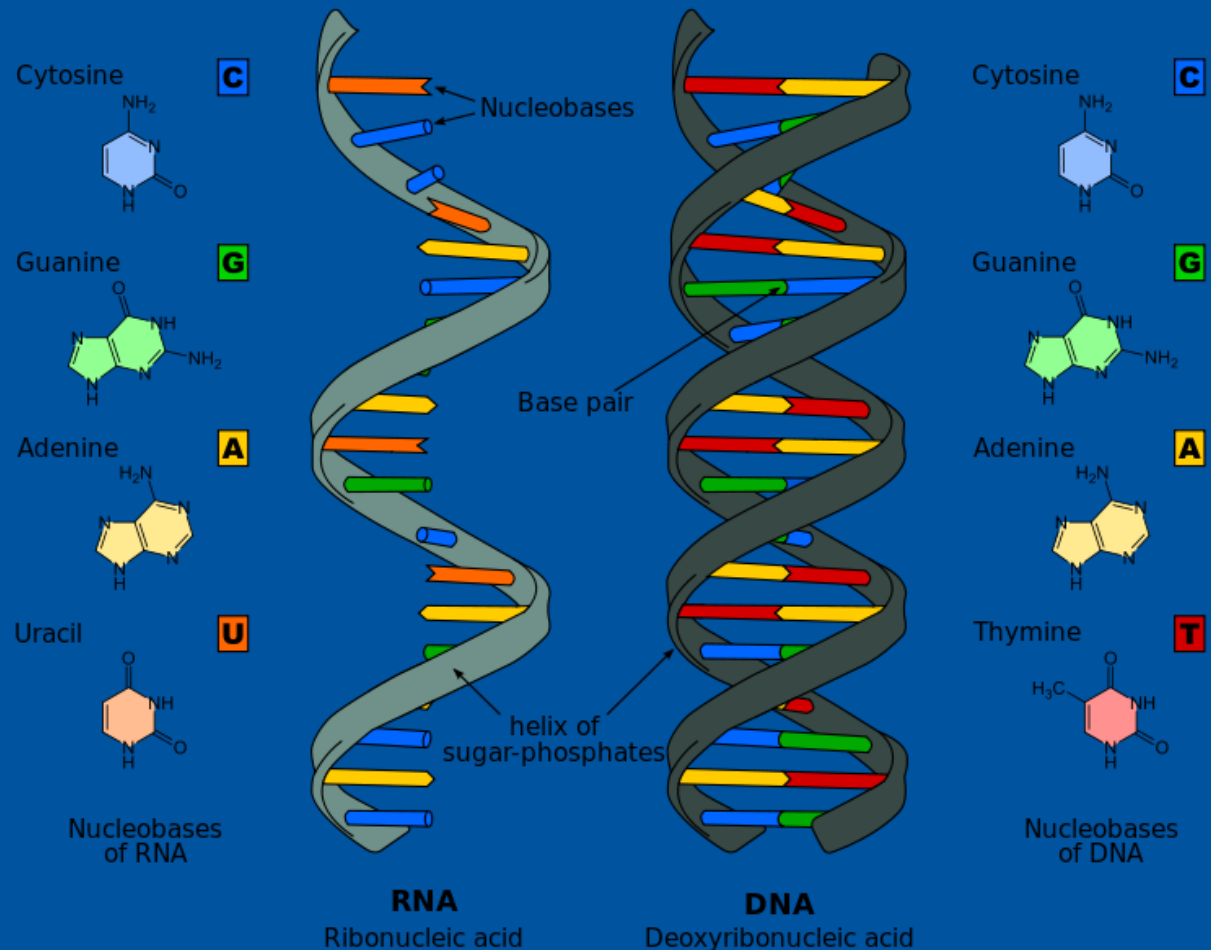
RNA

Belangrijk regelsysteem

Epigenetica

Toepassingen:

- RNAi
- Stamcellen (iPS)



Werken met de taal van het leven

Informatie technologie

Lezen =	Sequencing
Knippen =	Restrictie-enzymen (klonen van GFP gen)
Schrijven =	Synthese
Plakken =	Insertie => vaak nog virus voor nodig (tegenwoordig ook CRISPR)

⇒ Moleculaire Biologie

⇒ DNA is een taal, en moleculaire biologie = taalkunde

Synthia: Informatie transplantatie

- DNA (4 letters) => digitaal (2 letters)
- Informatie is hetzelfde, alleen andere drager
- Bacterie, nog lang geen mens. Maar "proof of principle".
- Via transplantatie van genoom, want celwand, kanalen ed zijn nog niet te maken)
- It is estimated that the synthetic genome cost US\$40 million to make and took 20 people more than a decade of work. Despite the controversy, Venter has attracted over \$110 million in investments so far for Synthetic Genomics, with a future deal with Exxon Mobil of \$300 million in research to design algae for diesel fuel (synthetische biologie).

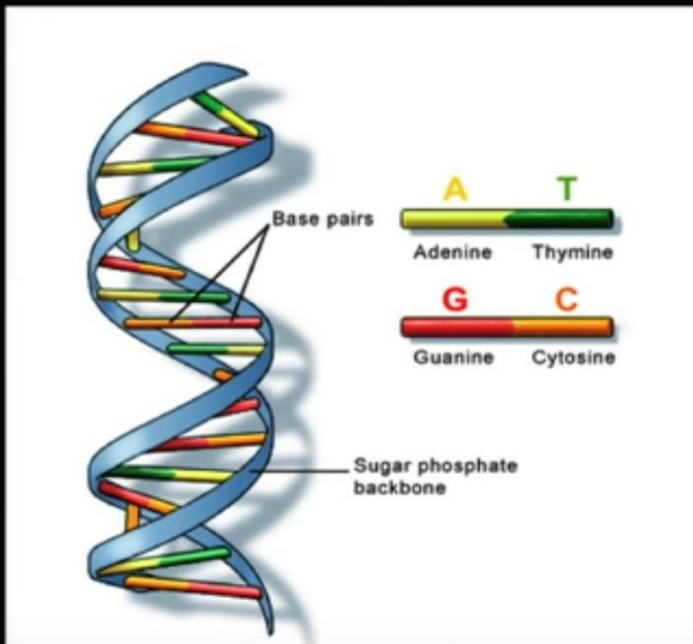
<http://www.kennislink.nl/publicaties/kunstmatige-cellen>

<http://www.jcvi.org/cms/home/>

Biologie wordt informatietechnologie ! => Coding, net als software

TEDxCaltech - J. Craig Venter - Future Biology

CONVERTING THE ANALOG GENETIC CODE INTO DIGITAL CODE



GENETIC CODE

ATGAATTCGACTTACCGTAGG

COMPUTER BINARY CODE

```
01000001 01010100 01000111  
01000001 01000001 01010100  
01010100 01000011 01000111  
01000001 01000011 01010100  
01010100 01000001 01000011  
01000011 01000111 01010100  
01000001 01000111 01000111
```

U.S. National Library of Medicine

▶ ▶▶ 🔊 0:58 / 16:15

• = independently organized TED event

TEDxCaltech



Leven: Informatie, orde en energie.

- Leven is informatie (cel en atoom turn-over).
Drager kan mens of computer zijn.
- Energie is nodig voor ordening

Informatie heeft wel een drager nodig, maar kan elke soort drager zijn.

De Informatie bevat de essentie van het systeem

In bits (0/1, A/T/C/G) => informatie technologie

=> Je kunt maken wat je wilt: Synthetic Biology



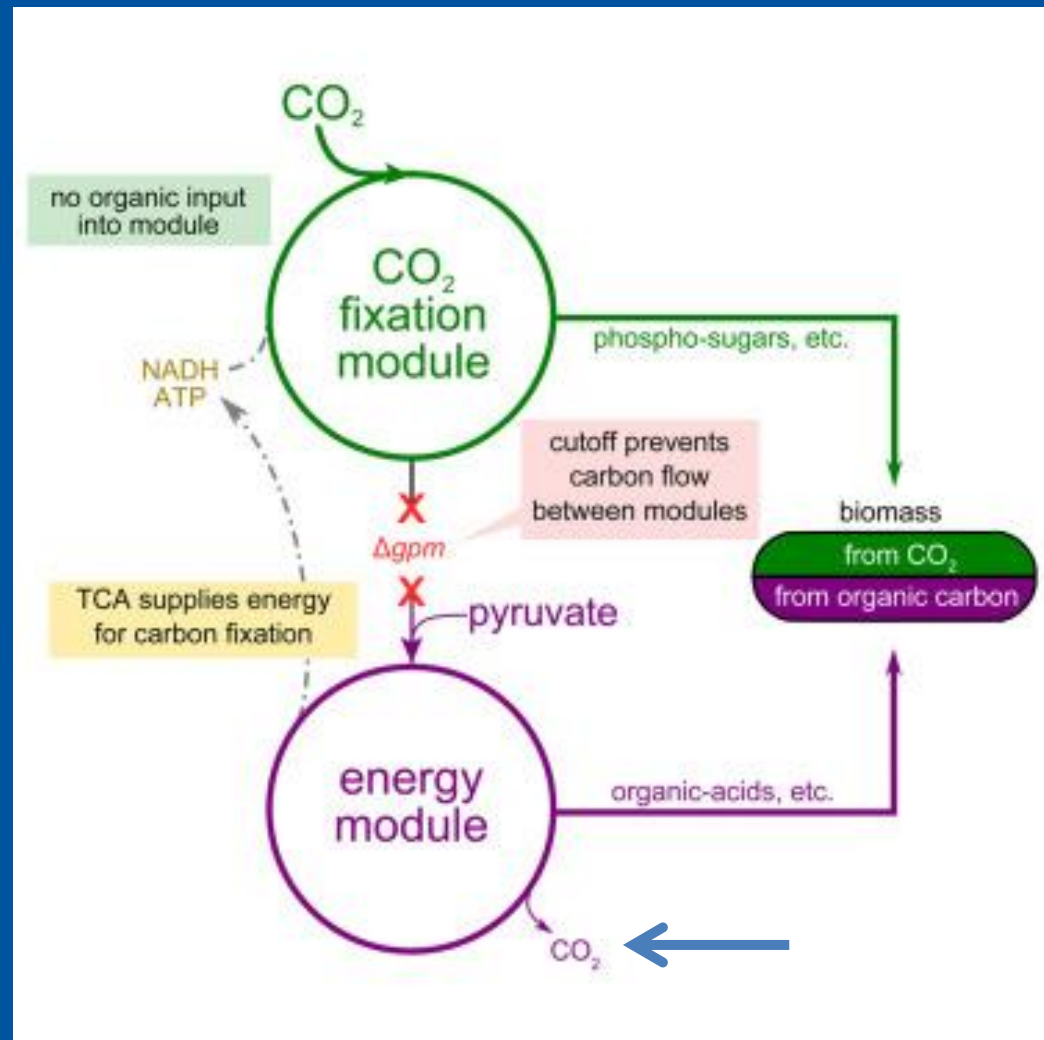
Sugar Synthesis from CO₂ in *Escherichia coli*

[https://www.cell.com/fulltext/S0092-8674\(16\)30668-7](https://www.cell.com/fulltext/S0092-8674(16)30668-7)

Nov. 2019

Can a heterotrophic organism be evolved to synthesize biomass from CO₂ directly? Here, we demonstrate how a combination of rational metabolic rewiring, recombinant expression, and laboratory evolution has led to the biosynthesis of sugars and other major biomass constituents in *E. coli*.

- ⇒ Nieuwe levensvorm !
- ⇒ Nog verder ontwikkelen, maar dan misschien in te zetten voor CO₂ opname (en als levensvorm geschikt voor Mars)



SYNTHETIC YEAST GENOME SPECIAL ISSUE

<http://science.sciencemag.org/content/355/6329/1038>



Yeast can live with human genes

- Yeast and humans have been evolving along separate paths for 1 billion years, but there's still a strong family resemblance, a new study demonstrates. After inserting more than 400 human genes into yeast cells one at a time, researchers found that almost 50% of the genes functioned and enabled the fungi to survive.
- "It's quite amazing," says evolutionary biologist Matthew Hahn of Indiana University, Bloomington, who wasn't connected to the study. "It means that the same genes can carry out the same functions after 1 billion years of divergence."

- <http://news.sciencemag.org>

- What is life?
- All life is one!

- ⇒ Same principles apply
- ⇒ Only limit is imagination



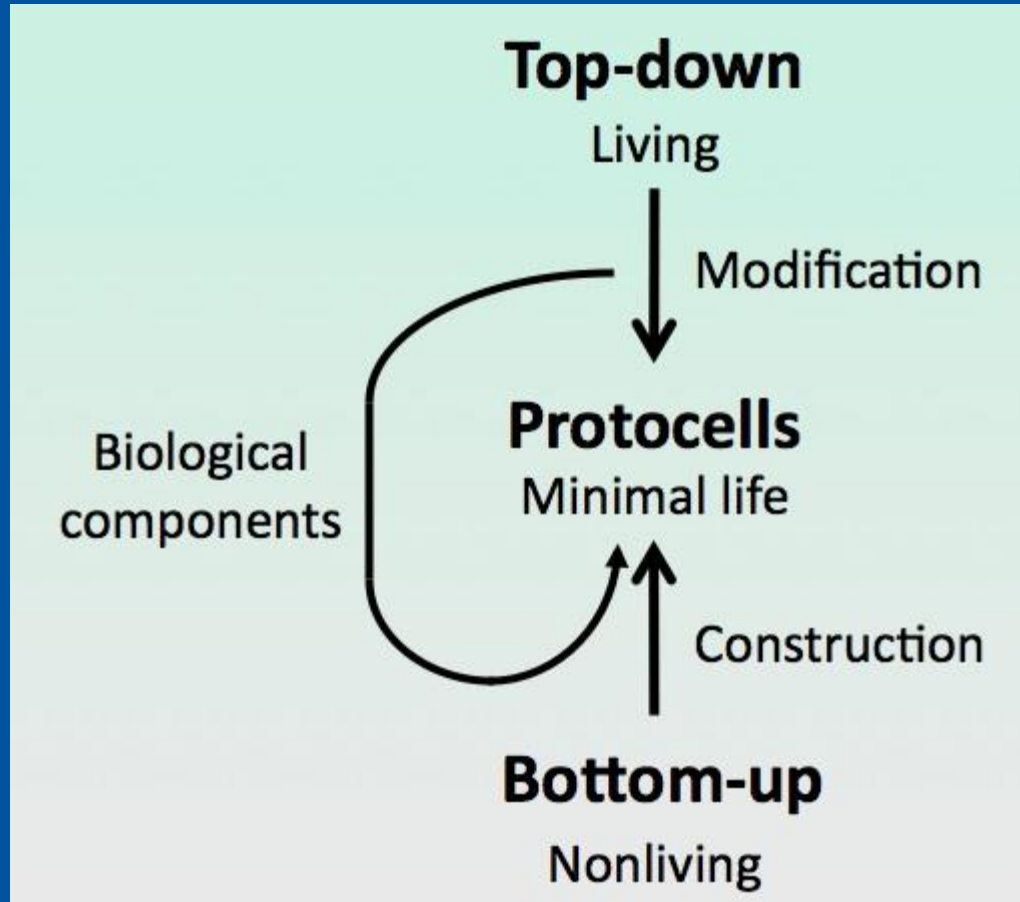
Synthetic biology

The search for life

What is life?

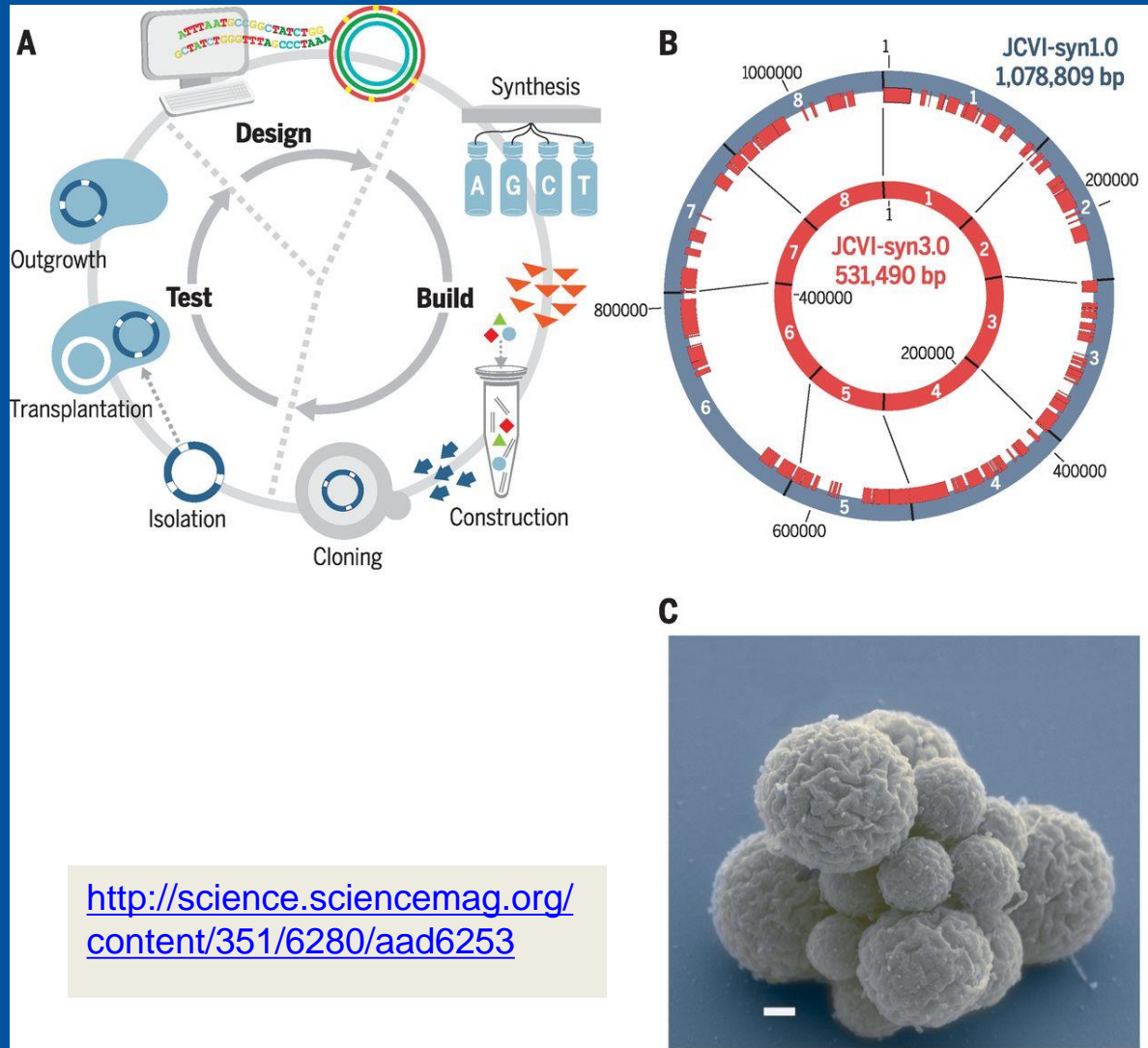
=> plugging in
various sets of
genes

Mycoplasma
“laboratorium”



- <http://flint.sdu.dk/index.php?page=overall-protocell-design>
- <http://www.synbioproject.org/topics/synbio101/definition/>

Design and synthesis of a minimal bacterial genome

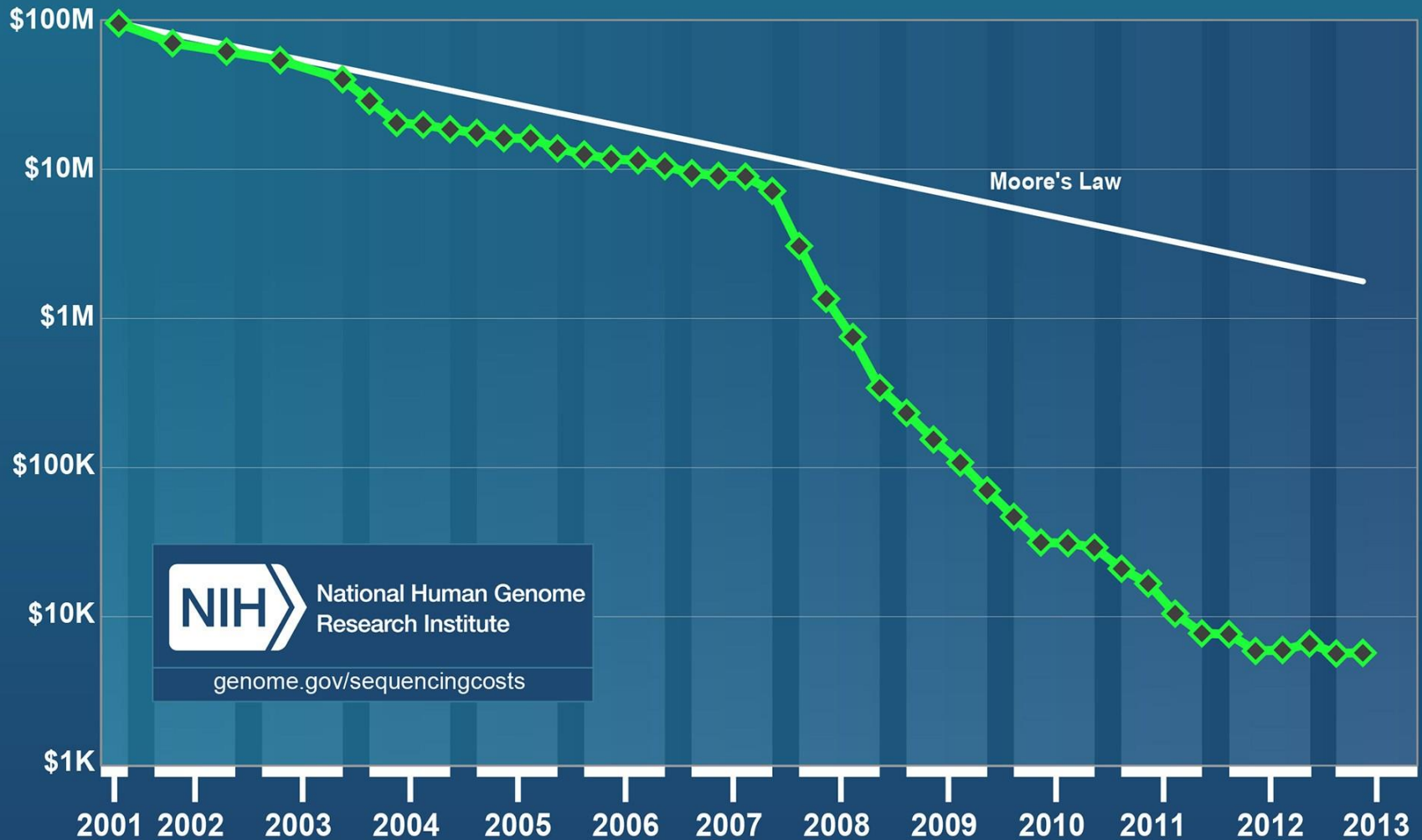


A conserved core of about 250 essential genes, +149 genes with unknown biological functions, suggesting the presence of undiscovered functions that are essential for life.

The minimal cell concept appears simple at first glance but becomes more complex upon close inspection. In addition to essential and nonessential genes, there are many quasi-essential genes, which are not absolutely critical for viability but are nevertheless required for robust growth.

The thousand dollar genome

Cost per Genome



Now google wants your genome too

For \$25 a year, they will keep a copy of any genome in the cloud.

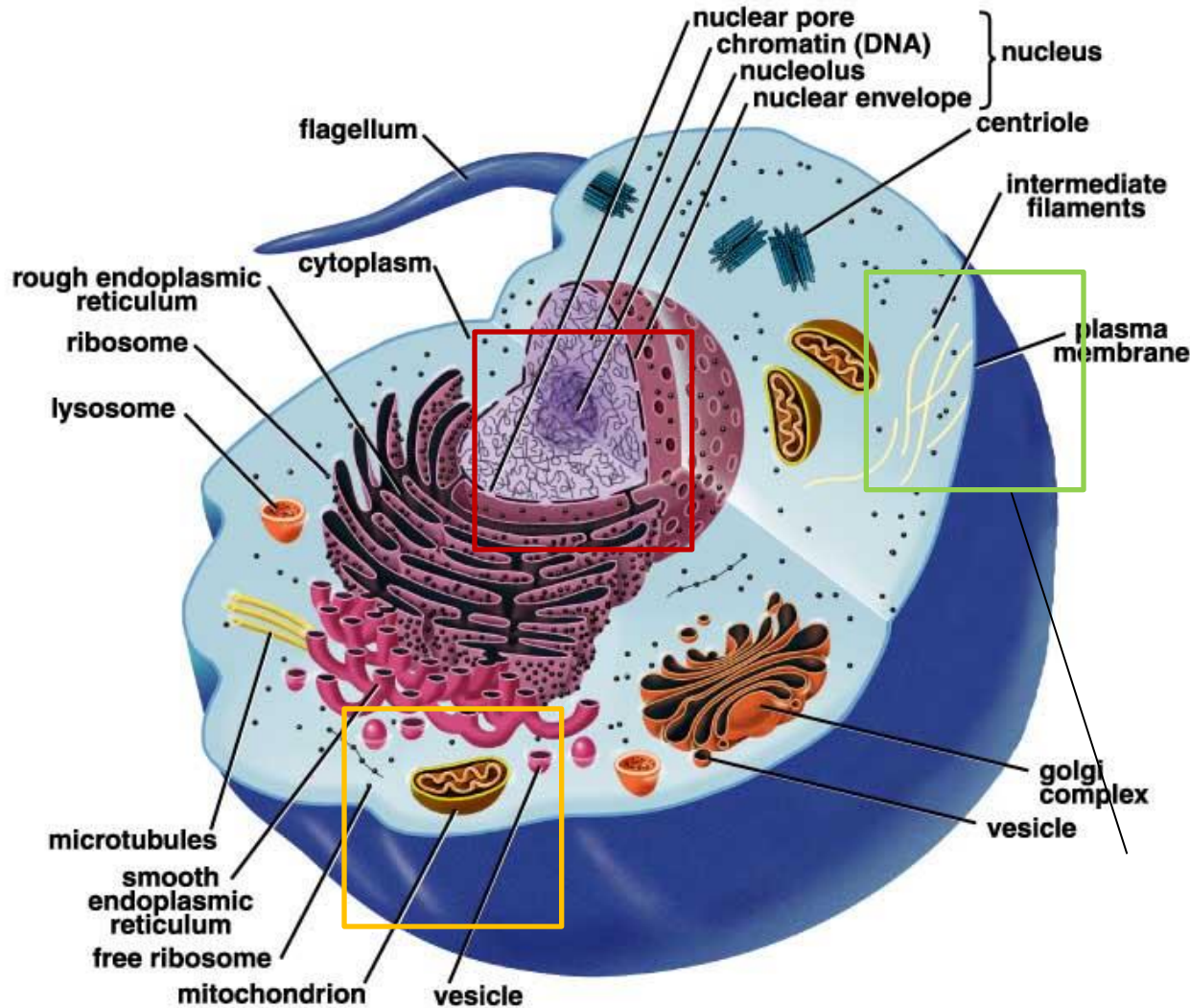
<http://mittechnologyreviewdesign.tumblr.com/post/101947592484/now-google-wants-your-genome-too-for-25-a-year>






Digitalisering van leven

- Leven is vooral informatietechnologie (DNA / bits) => uitwisselbaar!
- Technologie voor aanpassing/nabootsing op basis van informatietechnologie (=> Genomics, life logging ed)
- Leven is ook elektrisch, net als menselijke technologie => nog makkelijkere synthese.

Celbio 3 membranen

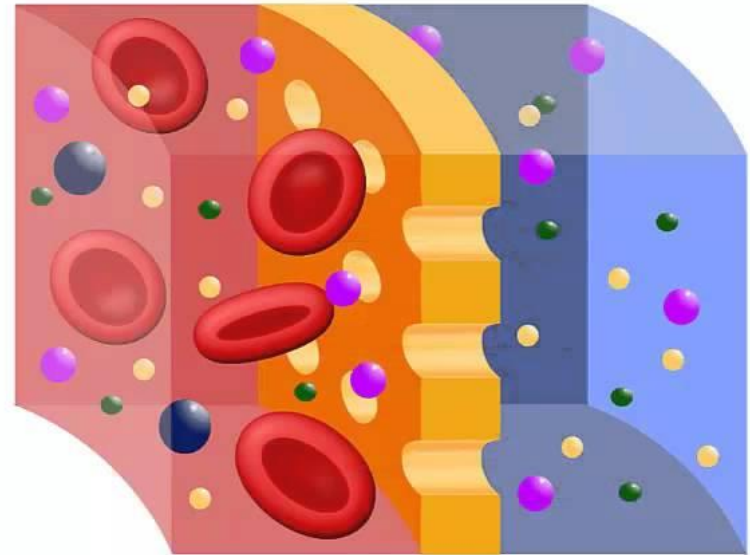


-  Celbio 1
-  Celbio 2
-  Celbio 3

Ionen, glucose, eiwitten gaan niet vanzelf door membranen

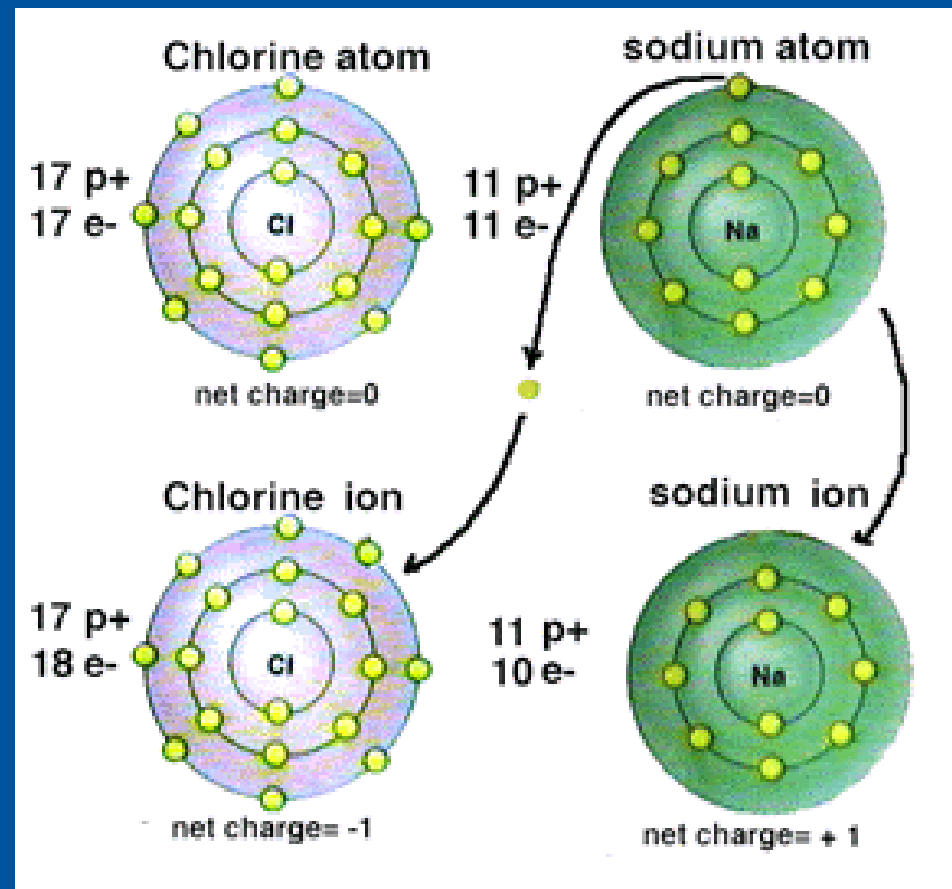
Semi-permeabel membraan

- Halfdoorlatend
- Sommige moleculen / deeltjes wel en andere niet
- Water moleculen en kleine deeltjes meestal wel
- Grote deeltjes of geladen deeltjes niet



Ionen

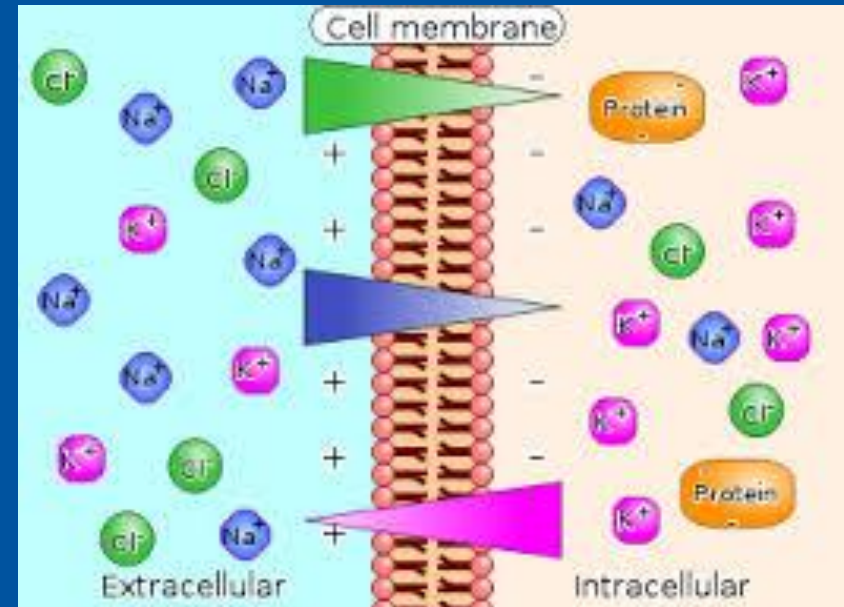
- Chloor heeft 1 elektron te weinig en Natrium 1 elektron teveel, in de buitenste schil
- Komen het liefst voor als Cl⁻ en Na⁺ => ion => netto lading
- En bij elkaar is alles OK => (keuken)zout
- Er zijn ook 2- en 3- voudige ionen



Celmembraan en ionen => leven is elektrisch

- All cells are polarized, which means the concentrations of charged atoms, called ions, of the fluid inside them is different from the fluid outside them. It is this difference in ion concentrations that creates a difference in charge (or voltage) across membrane. This difference – called a *membrane potential* – allows work to be performed.

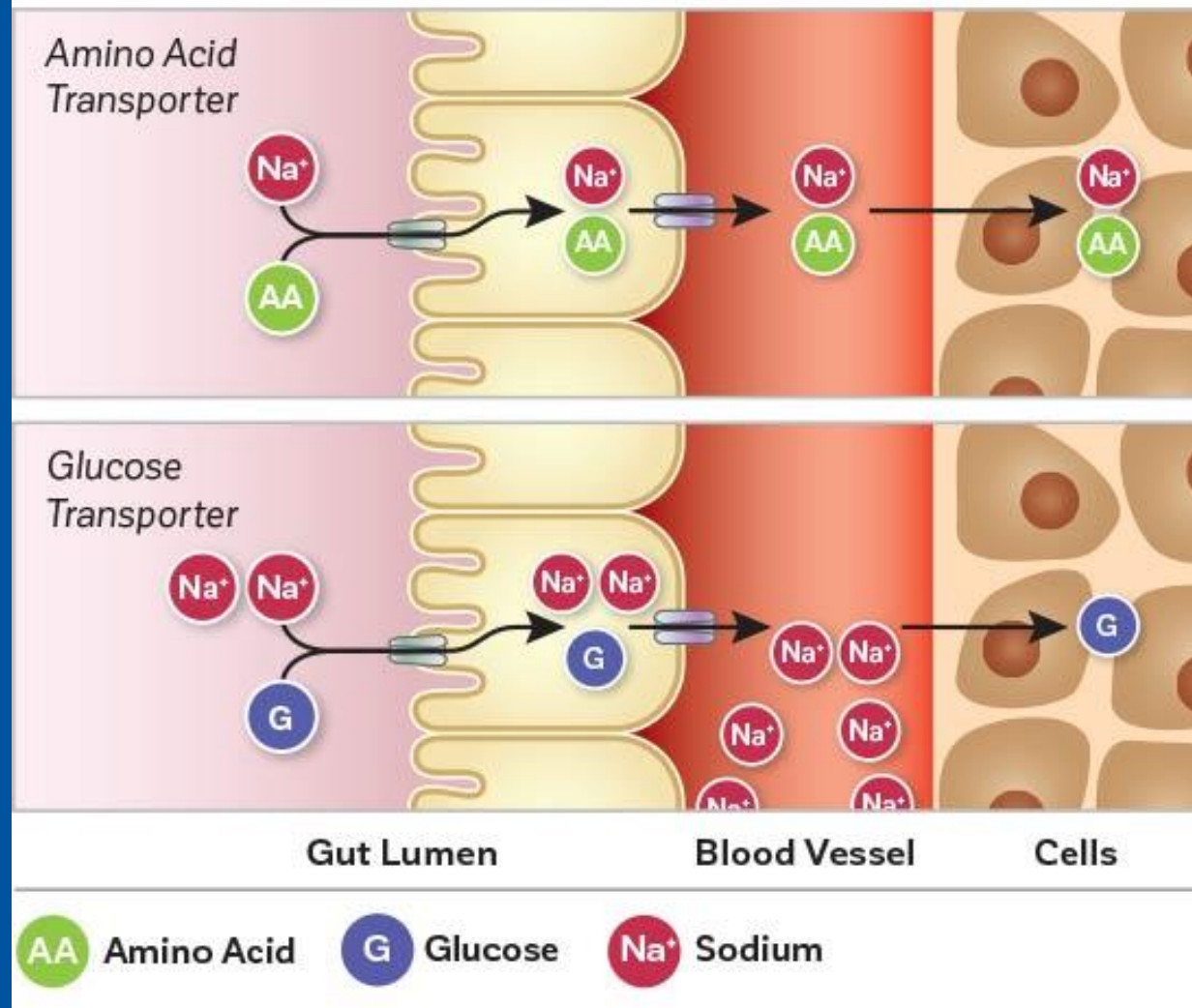
- http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=2YZJt_Bw3eo



The largest contributions usually come from sodium (Na⁺) and chloride (Cl⁻) ions which have high concentrations in the extracellular region, and potassium (K⁺) ions, which have high concentrations in the intracellular region.

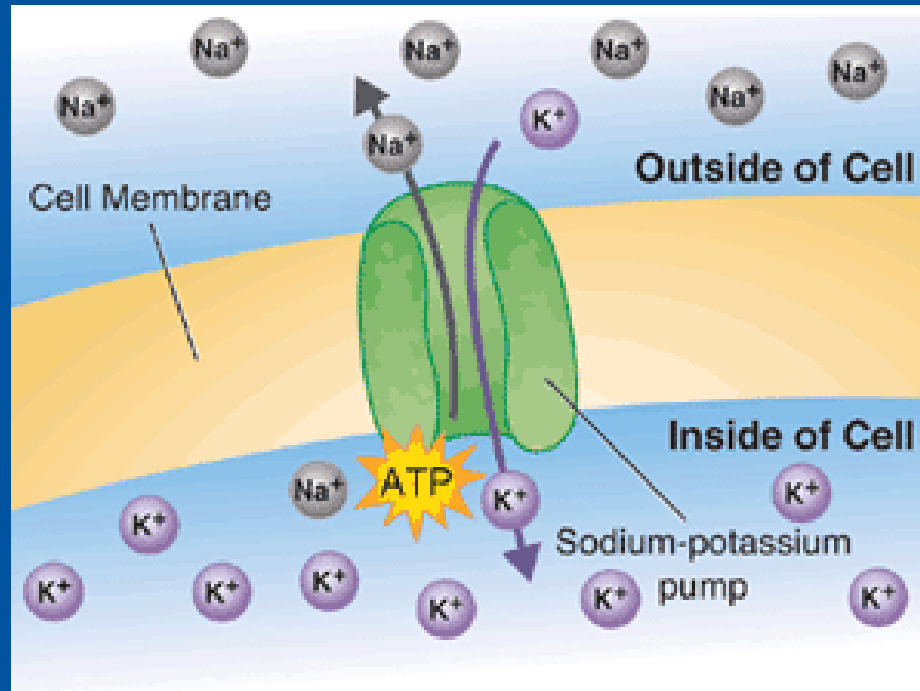
Co-transport => actief transport van materiaal

Active Transport Mechanism: Amino Acid vs. Glucose



Na-K Pomp, gebruikt ATP

Een moleculaire (nano-)machine



~50% van de dagelijkse energiebehoefte gaat (via ATP) naar het aanleggen van ion concentraties

- <https://www.youtube.com/watch?v=xweYA-IJTqs>
- https://www.youtube.com/watch?v=_bPFKDdWICg

100W, elke dag,
> 80 jaar lang



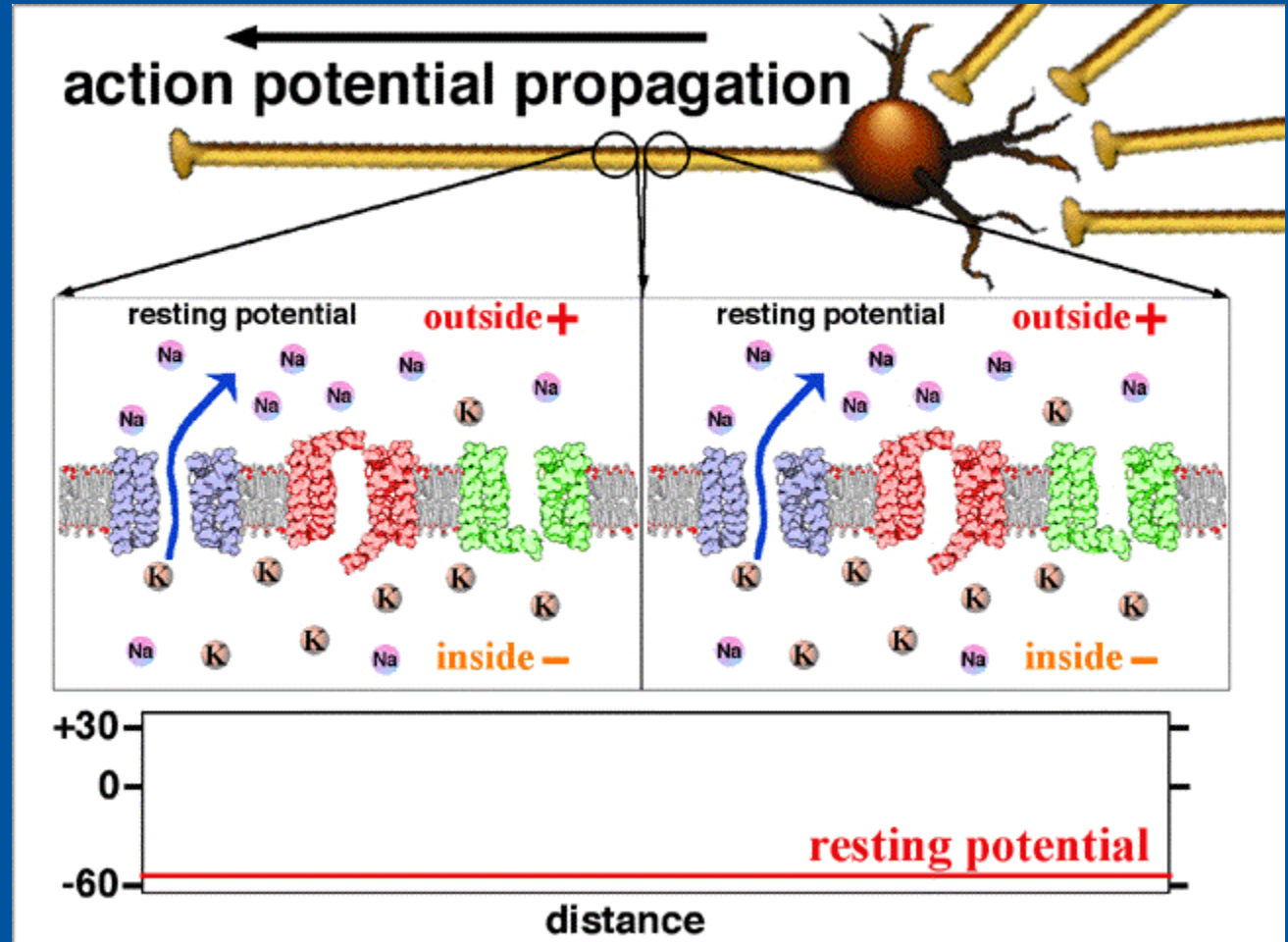
- https://en.wikipedia.org/wiki/Basal_metabolic_rate
- <http://sustainability.blogs.brynmawr.edu/2012/07/31/understanding-energy-part-1/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=pDK2p1QbPKQ&feature=related>
- https://www.youtube.com/watch?v=Soa_XZwq20
- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Calorie>

Celbiologie: Elektrische signalen

Alle cellen hebben ladingsverdeling (ionen) over de membraan. Zodra deze stroomt (door opening kanalen) kan hier werk mee worden verricht, of een signalen mee worden verstuurd.

Neuronen zijn extreem elektrisch

Stromen van lading => Elektriciteit



Precision electronics in the brain

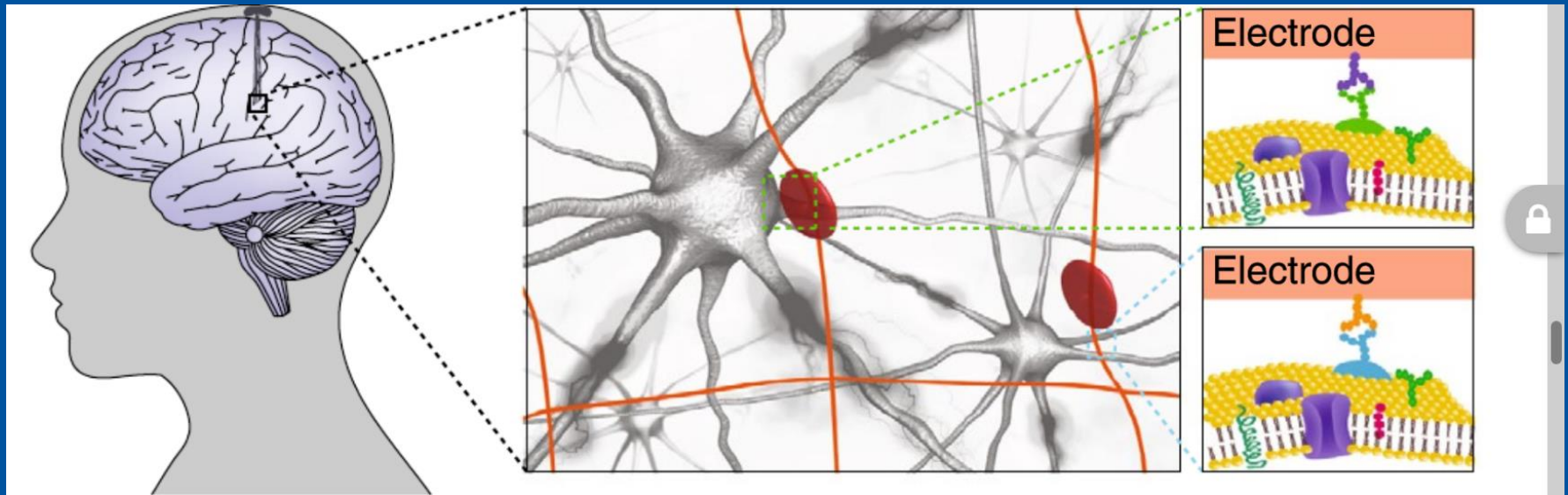
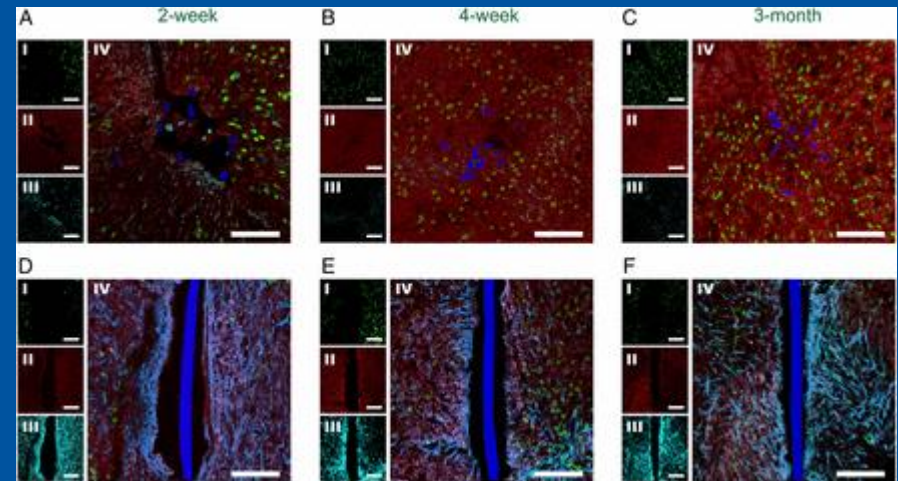
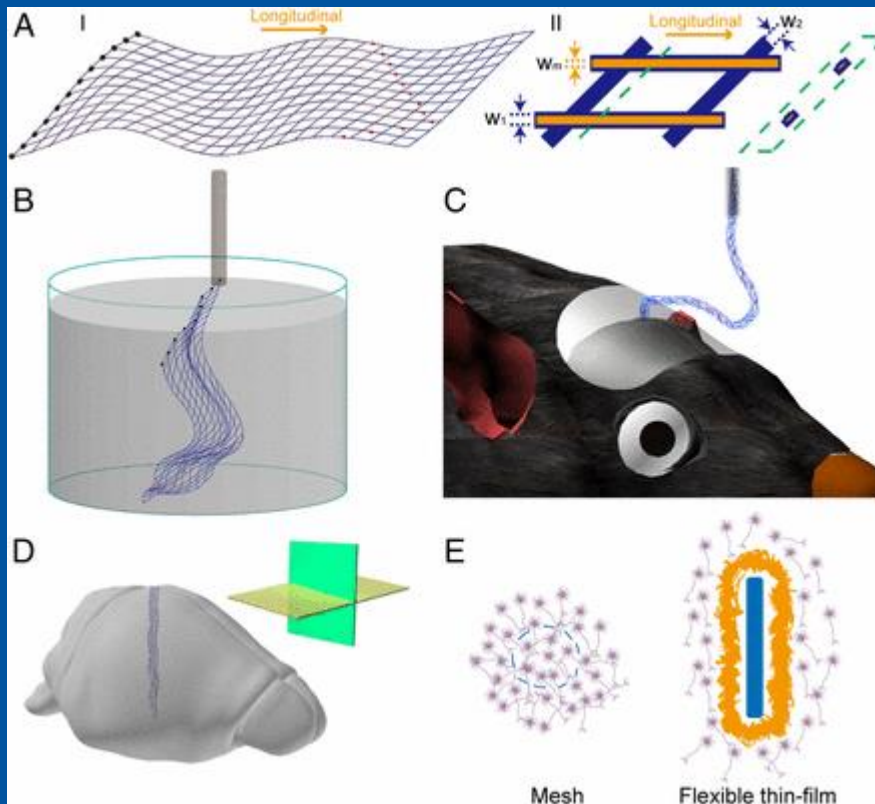


Fig. 3 | Schematic representation of syringe-injectable mesh electronic implant in a human brain. Mesh electronics directly address the structural, mechanical and topological mismatch between probe and host tissue.

https://www.nature.com/articles/s41587-019-0234-8.epdf?shared_access_token=O4wg43Qf-CKDxiOlbfclttRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Oc-BvwT2vpPTFOtEegfmCqSt7uxNEvjgbuVOSlymot2JfKAU_7WxMQX9MGq_PtmF9caNO4UUzP-RxER13eEimNrcrsNrWQoBjCYSDQU7Vg4Q%3D%3D

Syringe-injectable mesh electronics integrate seamlessly in the brain with minimal immune response



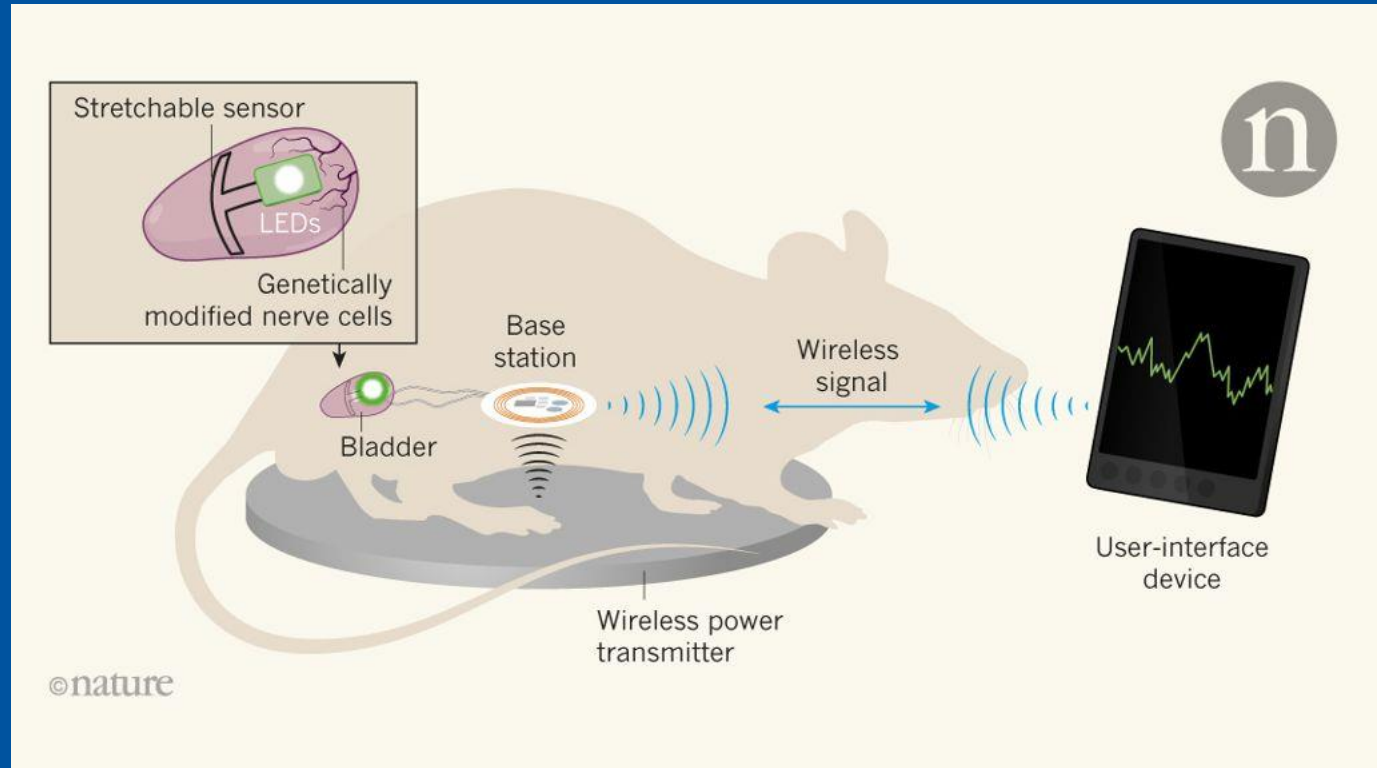
- could enable a wide range of opportunities for in vivo chronic recording and modulation of brain activity in the future.
- <https://www.pnas.org/content/114/23/5894>

Implanted device enables responsive bladder control

Werkt al in ratten.

Binnenkort in mensen..

Vgl met pacemaker



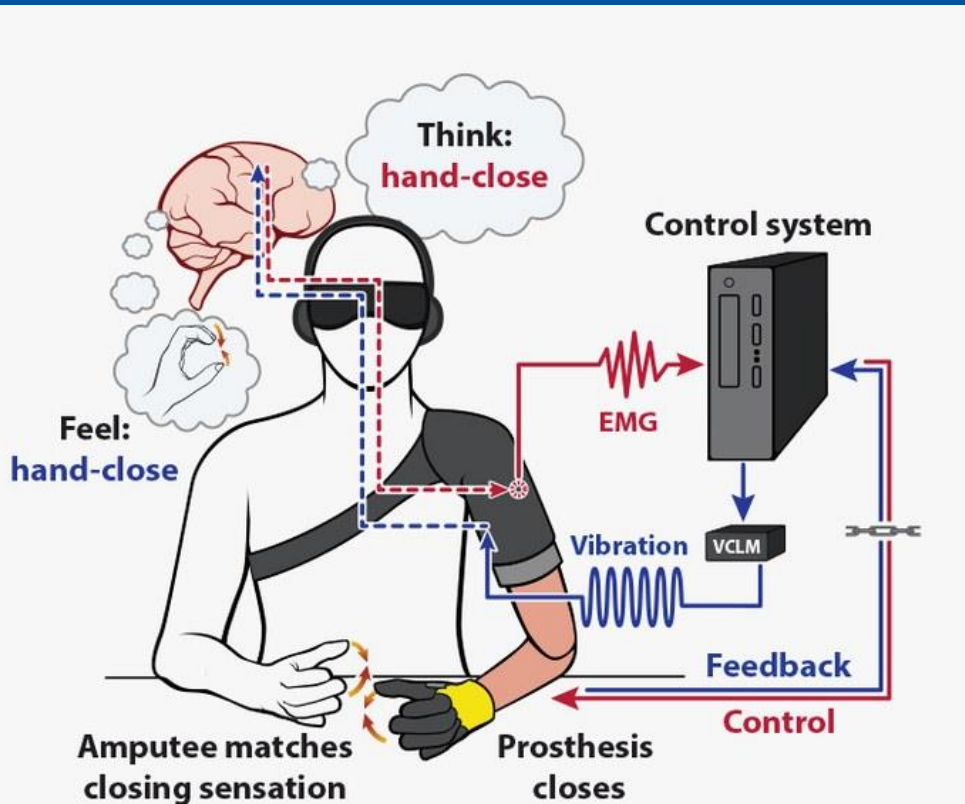
- Levens technologie (DNA, stamcellen, bio-nanotech)
- Computer technologie (Telefoon, Kunstmatige Intelligentie, nano-tech)

⇒ Aanvulling leven en computer technologie !

Leven en computer beiden op basis van informatie !

Leven en computer beiden op basis van elektriciteit !

ELUSIVE SIXTH SENSE TO LOST LIMBS



- Neural interface that mimics kinesthetic feedback via a prosthesis, restoring the sense in test subjects with upper limb amputations
- The method hinges on an extraordinary phenomenon that neurophysiologists call vibration-induced kinesthetic illusions: Vibrating a tendon at a frequency between 70 and 115 Hz makes you feel like its associated joint is moving.
- These illusions, they're incredibly powerful," Marasco says. "They can override your sense of what's real."

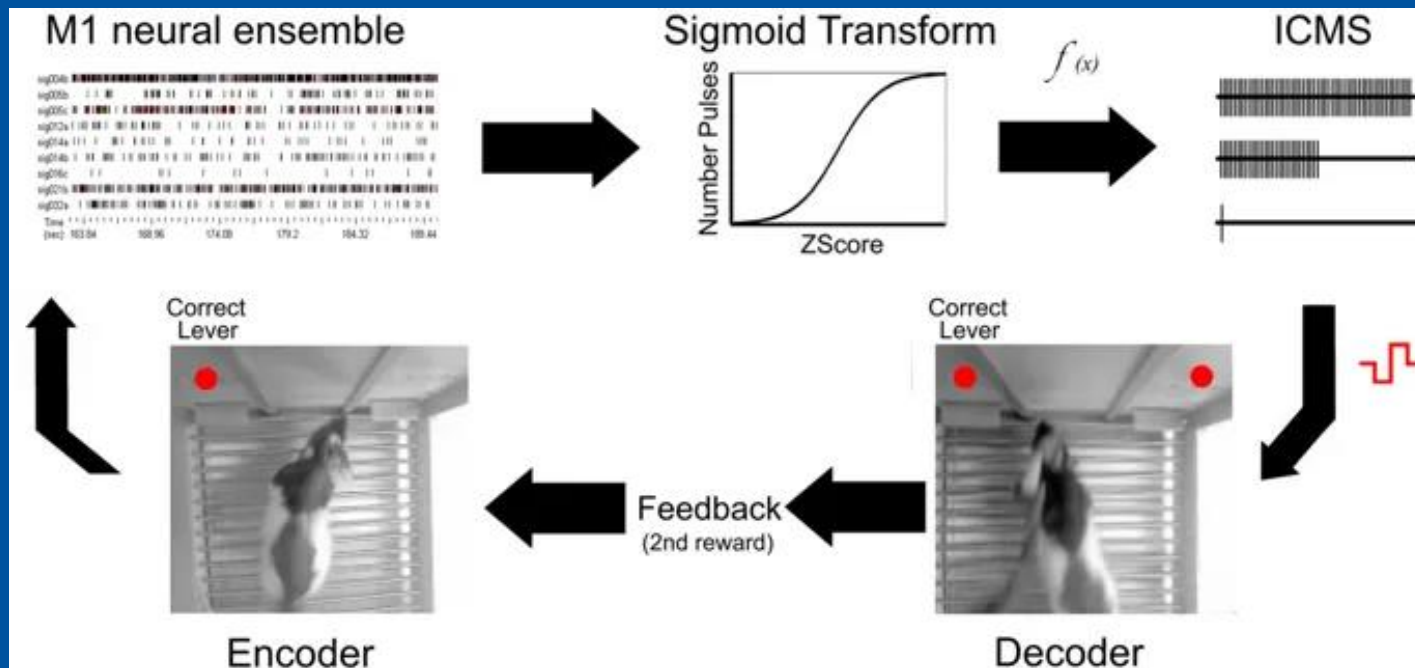
<https://www.wired.com/story/researchers-restore-feeling-to-lost-limbskinda/>

Using thought to control artificial limbs

- <https://www.youtube.com/watch?v=76llQtE8oDY>
 - Technologie in lichaam: pacemaker (hart), telefoon
 - Het is makkelijker om de hersenen te laten leren dan een machine..
- => Natuurlijke feedback(verwachting) gebruiken

Gedachte transplantatie

- Ook hogere hersenfuncties zijn informatie
- A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information, *Scientific Reports* **3**, Article number: 1319 (2013)



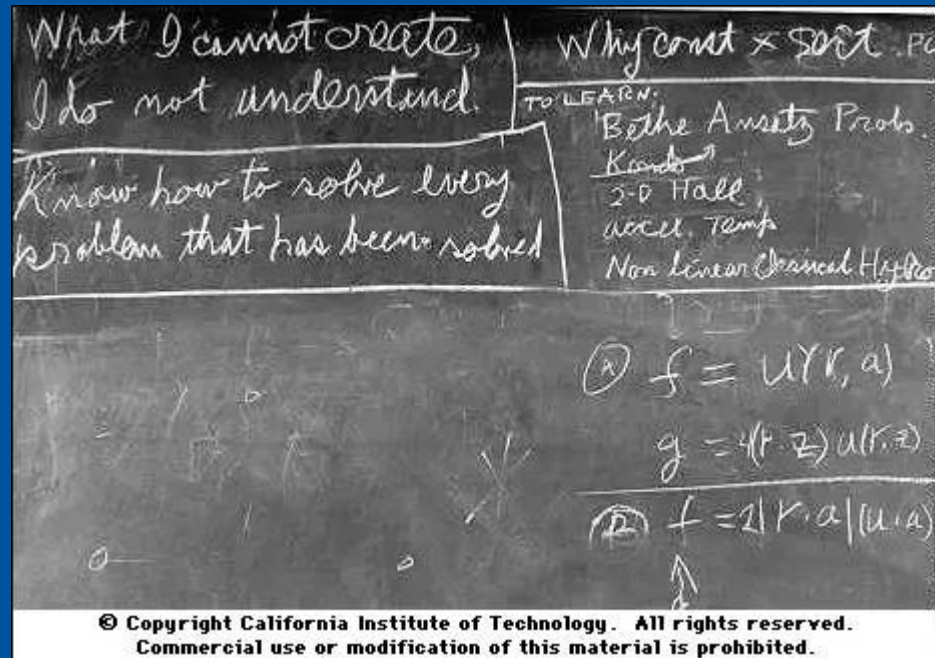
<http://www.nature.com/articles/srep01319>
<https://youtu.be/nNuntbrwXsM>

HOW TO BUILD A SELF-CONSCIOUS MACHINE

- <https://www.wired.com/story/how-to-build-a-self-conscious-ai-machine/>
- <http://www.nature.com/nature/journal/v550/n7676/full/nature24270.html>

Leven en bewustzijn zijn niet
alleen meer filosofisch
⇒ Spannende tijden

What I cannot create,
I do not understand.
(Richard Feynman)



Het onderscheid tussen een biologisch brein en een synthetisch brein zal verdwijnen

- <https://www.nrc.nl/nieuws/2017/10/13/de-menselijke-geest-uniek-dat-had-u-gedacht-13484136-a1577190>

door succesvolle artificiële intelligentie zullen we uiteindelijk inzien dat ons idee van de menselijke geest als ‘uniek van aard’, een illusie is – en altijd al was. Een wezenlijk nieuw wereldbeeld, misschien nog wel ingrijpender dan eerdere omwentelingen, is het onvermijdelijke gevolg.

RL

Waarom willen we zo graag uniek zijn?



1 The accelerating pace of change ...



2 ... and exponential growth in computing power ...

Computer technology, shown here climbing dramatically by powers of 10, is now progressing more each hour than it did in its entire first 90 years

COMPUTER RANKINGS

By calculations per second per \$1,000



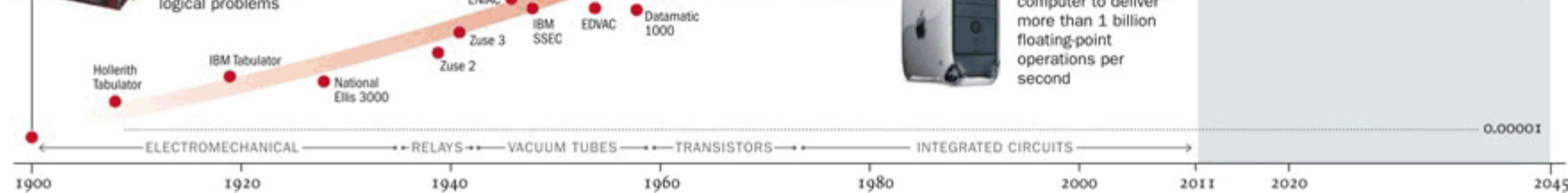
Colossus
The electronic computer, with 1,500 vacuum tubes, helped the British crack German codes during WW II



UNIVAC I
The first commercially marketed computer, used to tabulate the U.S. Census, occupied 943 cu. ft.



Analytical engine
Never fully built, Charles Babbage's invention was designed to solve computational and logical problems



3 ... will lead to the Singularity



Apple II
At a price of \$1,298, the compact machine was one of the first massively popular personal computers



Power Mac G4
The first personal computer to deliver more than 1 billion floating-point operations per second

2045
Surpasses brainpower equivalent to that of all human brains combined

Surpasses brainpower of human in 2023

Surpasses brainpower of mouse in 2015



R. Licht

HOVO cursussen:



Cellbiologie (introductie cursus)

Biotechnologie

Afweersysteem

Ontwikkelingen in de bèta-
wetenschappen (nieuw!)

⇒ Leergang