

Teorbio 51, 2025



Homöostaas – Püha Graal ja dialoogid tehisintellektiga

Andres Soosaar

TÜ bio- ja siirdemeditiini instituudi füsioloogia osakond

Homöostaas teoreetilise bioloogia kevadkoolis

- Schola Biotheoretica XXX 2004 “Tasakaalu teooria”

Kalevi Kull peab seal ettekande bioloogilisest tasakaalust (kogumikus lk 15–18) :

Biosüsteemide tasakaalu kirjeldamisel on olnud olulisteks mõisteteks organismiliste süsteemide puhul *homeostaas*,⁶ *ekvifinaalsus*,⁷ *homeorees*,⁸ ökoloogiliste süsteemide puhul *kliimaks*.⁹

Homöostaas – füsioloogide Püha Graal

- Mõnede arvates ainuke füsioloogia enda suur idee, teised mõjukamad arusaamad on tuletatud teiste loodusteaduste arusaamadest ja võimalustest.
- Homöostaas (< kr *homoios* samasugune, sarnane + *stasis* seismine) paistab olema nii elutegevuse vahend, põhjus kui eesmärk (nii millegi tagajärg kui omakorda millegi põhjus), samuti ka märgis (iseäranis meditsiinis).
- Organismi homöostaas põhineb tema struktuursete komponentide kooperatsioonil.
- Homöostaasi olemasolu on tervise eeltingimus ning raskemate tervisehäirete taastamine eeldab homöostaasi taastamist.
- Homöostaasi mõiste levis füsioloogiast küberneetikasse ja sealt edasi teistesegi valdkondadesse.

Claude Bernard -- *milieu intérieur* (1854-1878)

The fixity of the milieu supposes a perfection of the organism such that the external variations are at each instant compensated for and equilibrated....

All of the **vital mechanisms**, however varied they may be, have always **one goal**, to maintain the **uniformity of the conditions** of life in the internal environment....

The stability of the internal environment is the **condition for the free and independent life**.



[Claude Bernard and pupils](#) Wellcome L0019301 - Claude Bernard - Wikipedia

Homöostaasi termini süünd

Walter Cannon (1929) – The coordinated physiological reactions which maintain most of the steady states in the body are so complex, and are so peculiar to the living organism, that it has been suggested that a specific designation for these states be employed – *homeostasis*.

PHYSIOLOGICAL REVIEWS

VOL. IX

JULY, 1929

No. 3

ORGANIZATION FOR PHYSIOLOGICAL HOMEOSTASIS

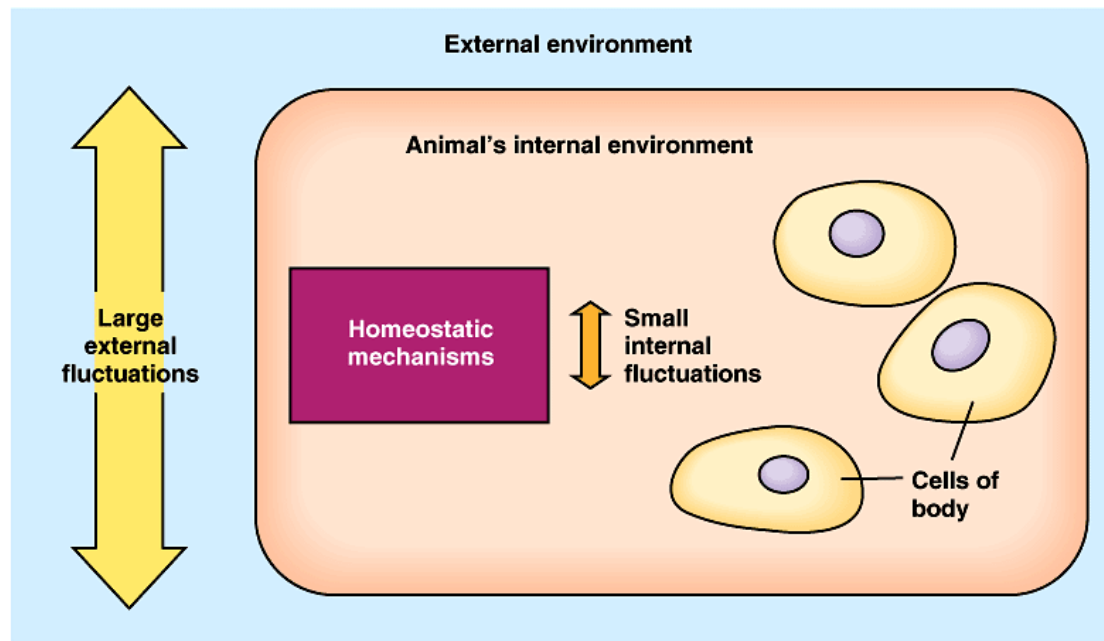
WALTER B. CANNON

The Laboratories of Physiology in the Harvard Medical School

Biologists have long been impressed by the ability of living beings to maintain their own stability. The idea that disease is cured by natural powers, by a *vis medicatrix naturae*, an idea which was held by Hippocrates, implies the existence of agencies ready to operate correctively when the normal state of the organism is upset. More precise modern references to self-regulatory arrangements are found in the writings of prominent physiologists. Pflüger (1877) recognized the natural adjustments leading toward the maintenance of a steady state of organisms when he laid down the dictum, "The cause of every need of a living being is also the cause of the satisfaction of the need." Similarly Fredericq (1885) declared, "The living being is an agency of such sort that each disturbing influence induces by itself the calling forth of compensatory activity to neutralize or repair the disturbance. The higher in the scale of living beings, the more numerous, the more perfect and the more complicated do these regulatory agencies become. They tend to free the organism completely from the unfavorable influences and changes occurring in the environment." Further, Richet (1900) emphasized the general phenomenon,—"The living being is stable. It must be in order not to be destroyed, dissolved or disintegrated by the colossal forces, often adverse, which surround it. By an apparent contradiction it maintains its stability only if it is excitable and capable of modifying itself according to external stimuli and adjusting its response to the stimulation. In a sense it is stable because it is modifiable—the slight instability is the necessary condition for the true stability of the organism."

To Claude Bernard (1878) belongs the credit of first giving to these general ideas a more precise analysis. He pointed out that in animals with complex organization the living parts exist in the fluids which bathe them, i.e., in the blood and lymph, which constitute the "milieu interne"

Homöostaasi „loogika“



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

- Elavat organismi iseloomustab stabiilsuse ja muutumise samaaegne esinemine
- Teatud diapasoonis väliskeskkonna muutused ei mõjuta oluliselt sisekeskkonna teatud kardinaalseid omadusi ja rakud saavad vereringe toetusel talitleda pidevalt üsna stabiilsetes tingimustes.

W. Cannoni homöostaatiliste parameetrite klassifikatsioon (1929)

A. Rakkudele vajalikud ained:

1. Glükoos, proteiinid, lipiidid
2. Vesi
3. Naatrium, kaltsium ja teised anorgaanilised ained
4. Hapnik
5. Jt.

B. Rakke ümbritseva keskkonna omadused:

1. Osmootne rõhk
2. Temperatuur
3. Vesinikioonide kontsentratsioon (happesus)

Füsioloogias kasutatakse homöostaasi terminit 2 tähenduses

- Homöostaas kui kogu organismi hõlmava terviknähtusega seonduv, Bernardi-Cannoni tõlgenduses selgesti kohastumusliku rolliga
- Homöostaas kui ekstratsellulaarse vedeliku üksiku komponendi stabiilsuse hoidmisega seonduv, n.t Ca^{2+} või Na^+ või glükoosi homöostaas. Siin domineerib mõiste regulatoorne roll.

Sellise lähenemise korral ilmneb *kontseptuaalne reduktsionism*, seda kasutatakse palju empiirilises uurimistöös

Homöostaas teorbios 1 – Maturana ja Varela tõlgendus

- HR Maturana ja FJ Varela „Autopoiesis. The Organization of the Living“ (1973, p. 79):

An autopoietic machine is an homeostatic (or rather a relations-static) system which has its own organization (defining network of relations) as the fundamental variable which it maintains constant.

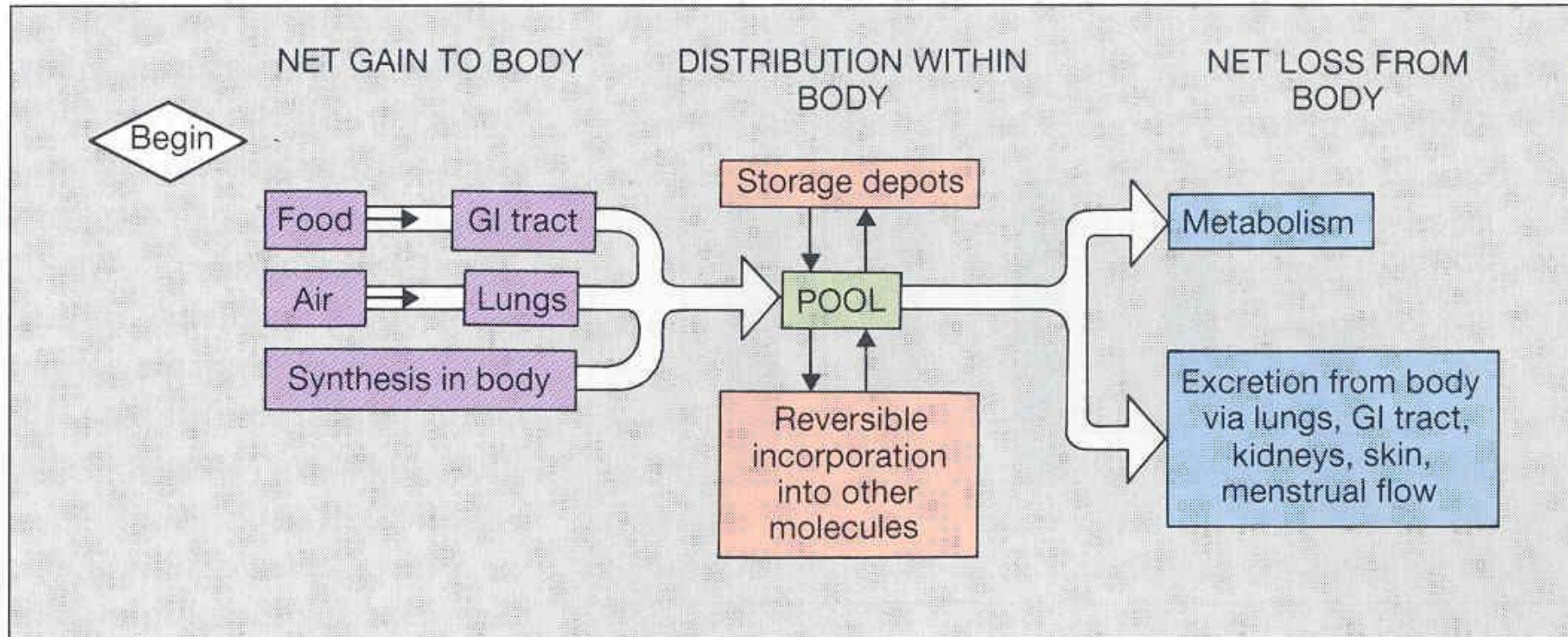
- Laiem kui füsioloogide lai tõlgendus, mõiste eeskätt generatiivse rolliga

Homöostaas teorbios 2 – termini alternatiivid

Nähtuse komplekssuse ning algse termini mõlema poole (< kr *homoios* 'samasugune, sarnane' ja *stasis* 'seiskumine') stabiilsuse-muutumise dünaamika ebapiisava kirjelduse tõttu on aegade jooksul nii terminit kui mõistet tublisti analüüsitud/kritiseeritud ning pakutud erinevaid alternatiive, näiteks

- Homöodünaamika
- Heterostaas
- Allostaas
- Reostaas

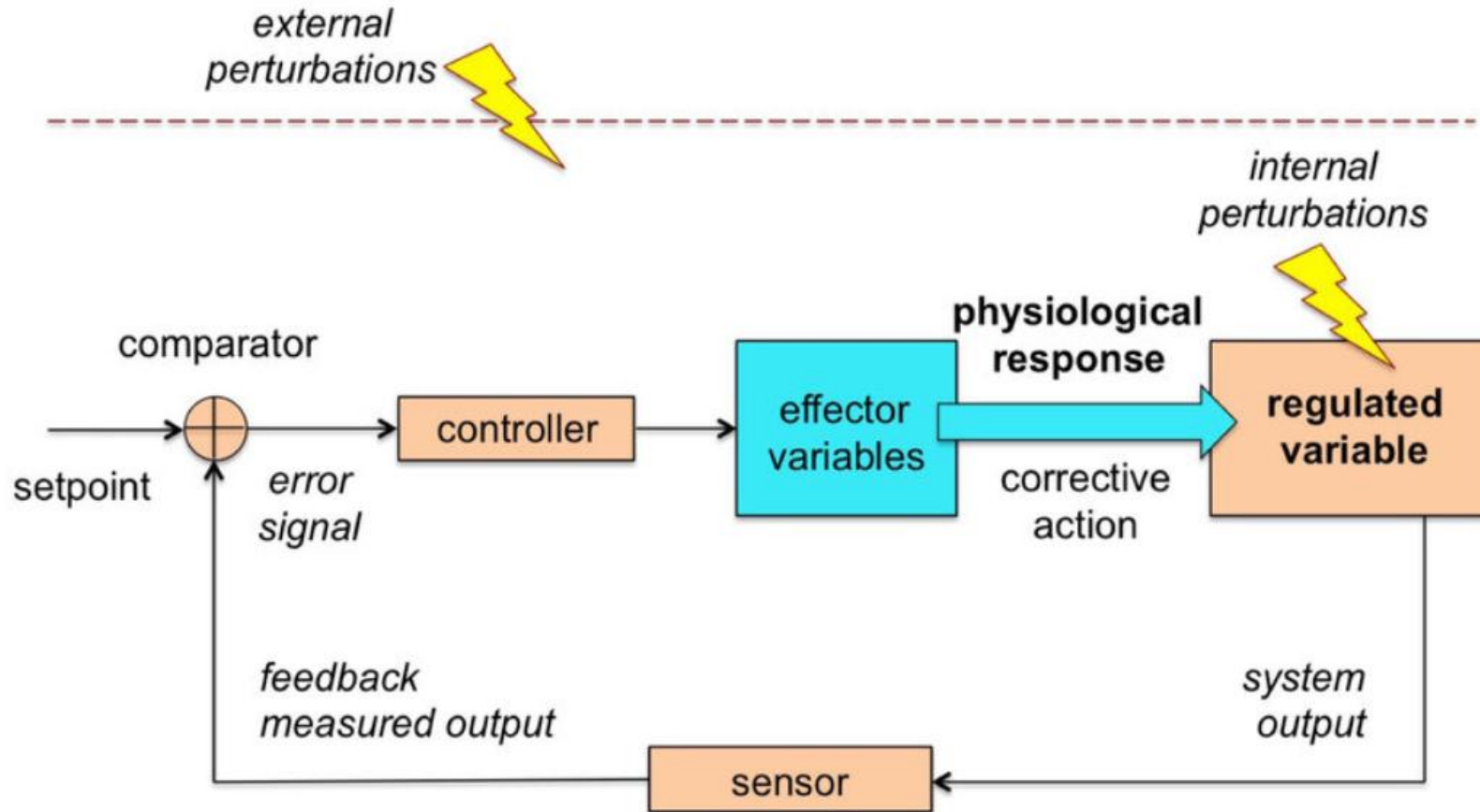
Aine püsiva koguse saavutamise organismis – tasakaalustatud bilanss



Negatiivne tagasiside – tehnikast ja küberneetikast tulnud peamine homöostaasi tagamise mehhanism

- N. Wieneri “Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine” (1948) 4. ptk tegeleb palju negatiivse tagasisidega bioloogilistes süsteemides.
- 20. sajandi keskpaigas muutub negatiivse tagasiside mehhanism füsioloogias domineerivaks, oluliseks mõisteteks saavad ka seadepunkt (*set point*) ja erinevad homöostaadid
- Peatselt tuli tunnistada ka positiivse tagasiside ja ennetava side sobivust füsioloogiliste protsesside tõlgendamisel

Seadepunktiga suunatav tagasiside homöostaasi genereerijana



General criteria for something to be considered a **whole** (by OpenAI)

1. Unity & Coherence

- The item must function as a single, integrated entity rather than just a collection of parts.
- Example: A car is a whole because its components (engine, wheels, chassis) work together as a unit.

2. Boundaries & Identity

- It must have clear boundaries that distinguish it from other objects.
- Example: A human body is a whole because it has clear physical limits.

3. Completeness

- All essential parts must be present for it to be considered whole.
- Example: A puzzle with missing pieces is not whole.

4. Functionality & Purpose

- The object should serve a function or purpose as a whole entity.
- Example: A chair is whole because it serves its purpose of seating.

5. Self-Sufficiency

- It should be able to exist or operate independently to some degree.
- Example: A tree is whole because it can sustain itself through biological processes.

OpenAI : In **biology**, wholeness refers to an organism or biological system functioning as a complete, integrated unit. Several criteria define wholeness in this context

1. Structural Integrity

- The organism must have all its essential parts, including organs, tissues, and cells, arranged in a way that allows it to function properly.

2. Functional Integration

- All internal systems (nervous, circulatory, digestive, etc.) must work together to maintain life.

3. Homeostasis (Self-Regulation)

- *The ability to maintain a stable internal environment despite external changes is crucial for wholeness.*

4. Metabolism & Energy Processing

- The organism must be able to obtain, convert, and use energy to sustain life processes.

Criteria of biological wholeness 2

5. Growth & Development

- A whole organism must be capable of growing, developing, and maintaining itself.

6. Reproduction & Continuity

- The ability to reproduce (sexually or asexually) ensures the persistence of the organism's lineage.

7. Adaptability & Interaction with Environment

- A whole organism must sense and respond to its surroundings to survive.

8. Genetic Integrity & Information Flow

- The organism must have a complete and functional genome to regulate its biological processes.

9. Autonomy & Self-Sufficiency

- The organism must function independently or as a part of a colony (in cases like bees or ants).

Core criteria to assess physiological wholeness (by OpenAI)

In physiology, the concept of wholeness refers to the integration and harmonious functioning of all parts of the organism, ensuring health, homeostasis, and adaptability.

CRITERIA: homeostasis; integration of systems; adaptability ja
resilience; communication; selfregulation & feedback loops; energy
efficiency & metabolic balance;

Hulkraakse homöostaas vajab rohkem keskkondi

- Rakkude ja nende kogumite aktiivsuse tase on üpris varieeruv, kuid siiski teatud piiridega
- Rakud suudavad tsütosooli teatud näitajaid hästi juhtida ning see ei ole tingitud üksnes rakke ümbritseva keskkonna stabiilsusest
- Väliskeskkonna mõned organismidele suure mõjuga parameetrid on samuti üpris stabiilsed (n.t. O_2 ja CO_2 sisaldus ning gravitatsioon), teised jälle rütmiliselt ja rütmita muutuvad
- Kõik kokku kipubki tekkima mõte, et ekstratsellulaarse vedeliku homöostaas on vaid üks komponent suuremast kolme keskkonna vastasmõjust.

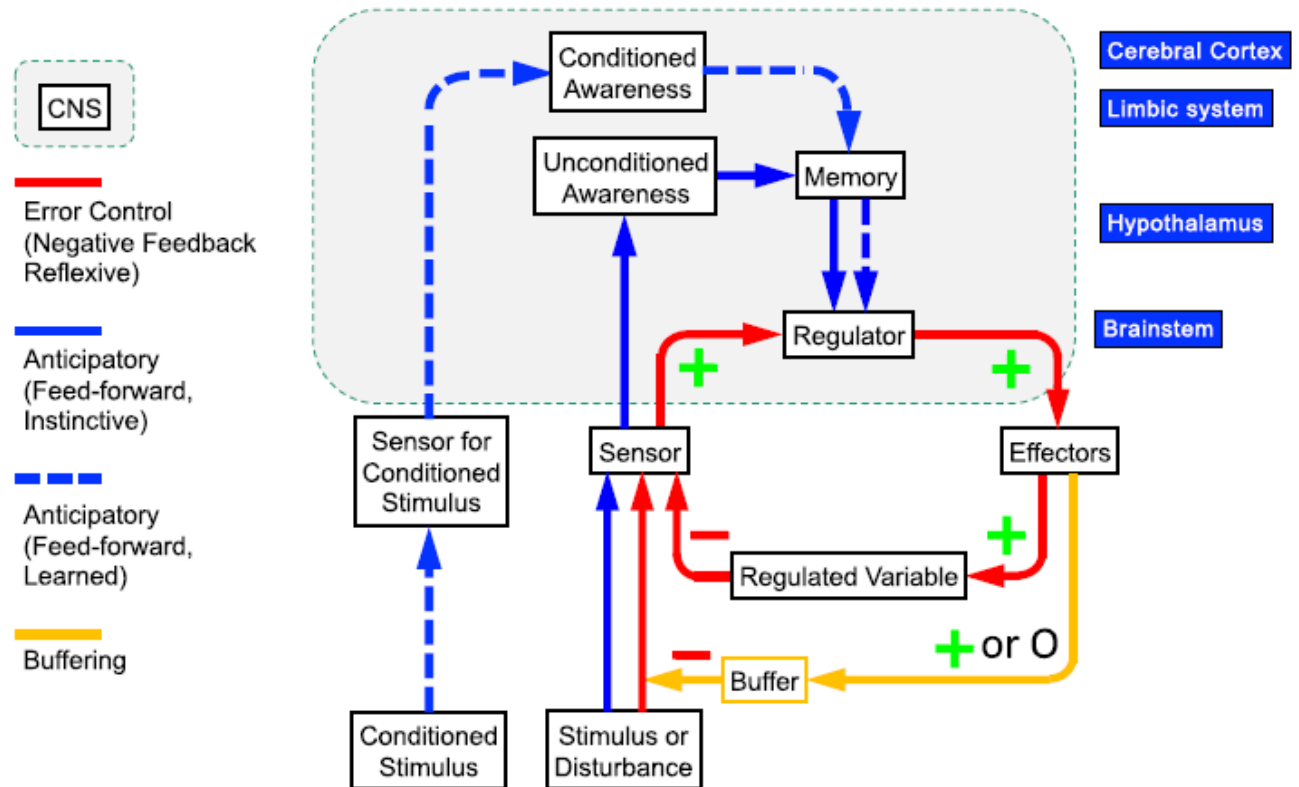
Ehitus, protsessid ja bioloogilised stsenaariumid

- Füsioloogias ollakse väga protsesside usku – enamus funktsioone ja nende regulatsioone põhinevad mingitel protsessidel
- Looduses on vähemasti mesotasemel protsessidel deterministlik loomus, s.t ontoloogilist ja käitumuslikku keerukust saavutatakse pigem protsesside arvu kasvatamisega
- Ei paista võimalik olevat siduda homöostaasi mingi organismi enda elementaarse struktuuri, selle omaduse või omadusest lähtuva protsessiga, pigem toodetakse homöostaasi pidevalt paljude protsesside resultandina.

IJ Kopini ja DS Goldbergi homöostaasi mehhanism (2019)

Kolme protsessi koostöö:

- Negatiivne tagasiside
- Ennetav side
- Puhverdamine

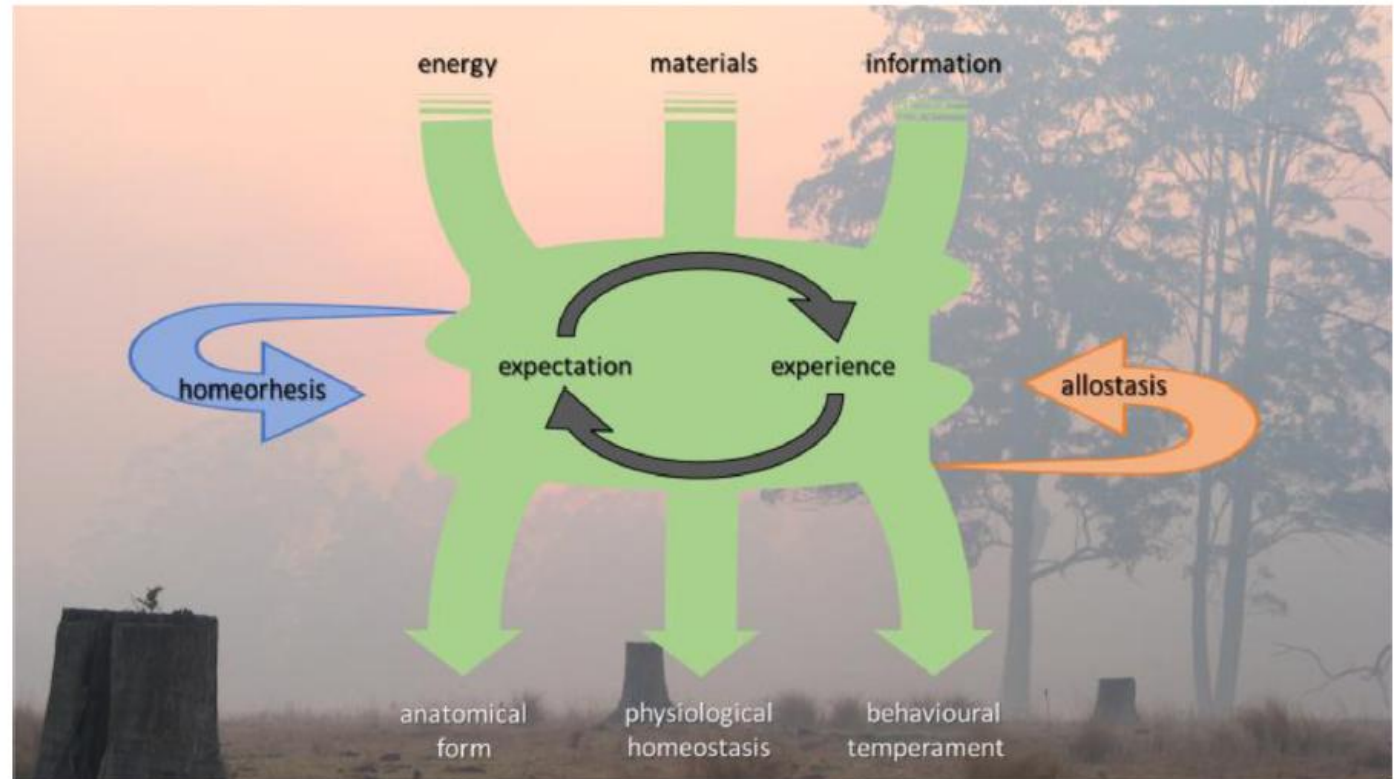


Enaktivism

- Lähtekohaks olla Varela, Thompsoni ja Roschi 1991. a raamat „The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience“
- Tunnetus ei ole representatsioon, vaid saavutatakse organismi pideva keskkonnaga interakteeruva tegevuse kaudu
- 4 E approach: Cognition is embodied, embedded, enacted, and extended
- Osa nendest põhimõtetest on kasutatavad homöostaasi (avaras tähenduses) mõtestamiseks

Enaktivism ja homöostaas

- Homöostaasi regulatsioonid vajavad infot nii organismist kui väljastpoolt, sest organism sõltub kriitilisel määral nii mõnedest keskkonna omadustest kui seal olevatest ainetest.
- Tsütosooli juhitud stabiilsus on kriitilise tähtsusega organismis toimuva reguleerimiseks
- Käitumuslikud mehhanismid vajavad tihedat interaktsiooni keskkonnaga ja võimaldavad homöostaasi hoida märksa rohkem varieeruvamates keskkonnatingimustes.
- IG Golditz (2020) kirjutab ja joonistab, et homöostaas toimib koos homöoreesi ja allostaasiga



Kokkuvõte

- Sisekeskkonna püsivuse ja homöostaasi ideed on füsioloogiat viimase sajandiga tublisti suunanud ja nende (iseäranis kitsamas üksikute komponentide tähenduses) elujõud ei näita nõrkemise märke.
- Sümpaatne on mingit sorti enaktivism homöostaasi mõistmisel – homöostaas tekib organismi struktuuride ning nii seesmiste keskkondade (rakkude tsütosoolid ja ekstratsellulaarne vedelik) kui väliskeskkondade pideva informatsioonilise vastasmõju tulemusena.
- Homöostaas on kolme erineva keskkonna (tsütosool, ekstratsellulaarne vedelik ja väliskeskkond) koostoime ja koospüsimine, seega organismi holismist märksa avarama päritoluga.