

Generell Systemteori

Av Harald Yndestad



*Den overspesialiserte vitenskap
uten sammenheng med fagene,
Er en virksomhet,
hvor der er mening i de minste ting
men ikke i de største*

-- Piet Hein

Forord

I 1990-årene arbeidet jeg med en analyse av IT som integrasjonsverktøy i integrert produksjon. Jeg så da at integrasjon av IT i organisasjoner hadde mange av de samme strukturelle problemene som de kompliserte datasystemene jeg var med på å utvikle i 1970-årene. Dette førte til at jeg begynte å studere Generell systemteori. Det viste seg at litteraturen om generell systemteori var preget av en uoversiktlig samling av konsepter og ideer. For en ingeniør var det derfor vanskelig å trenge inn i hvordan systemteori kan brukes som grunnlag for modellering.

Etter å ha arbeidet med dette temaet noen år, har jeg etter hvert forsøkt å sammenfatte filosofi, prinsipper, begreper, notasjonsspråk, metoder og matematikk som grunnlag for modellering av organisasjoner. Denne innfalsvinkelen på systemteori er influert av arbeidene til Aristoteles, Ludvig von Bertalanffy, Norbert Wiener, Jay D Forrester, R Kalman, Douglas T Ross, Hyligen og andre. Resultatet har så vært anvendt i undervisning og forskning. I undervisning er teorien benyttet i en årrekke som grunnlag for modellering i fag som Kvalitetssikring, Kybernetikk og Intelligente systemer. Innen forskning er teorien benyttet som grunnlag for modellering av klimamodeller, biologiske modeller og biomasse forvaltningsmodeller.

Harald Yndestad

INNHold

1 Innledning.....	5
1.1 Historikk.....	5
1.4 Notasjon og symboler.....	9
1.5 Begreper	10
2 Generell systemteori.....	10
2.1 System filosofi.....	10
2.2 System representasjon	10
2.3 System egenskaper	12
2.4 System perspektiver	15
System Ontologi	15
System Arkitektur	15
System Binding	16
System Dynamikk	19
System Epistemologi.....	20
System Etikk	20
System Læring.....	21
3 System identifikasjon	22
4 System modellering.....	23
4.1 Jorden som system	23
4.2 Levende systemer.....	24
4.3 Industrielle systemer	27
4.4 Teknologiske systemer	30
5 Øving.....	36
Litteratur.....	38

1 Innledning

1.1 Historikk

Aristoteles teleologi



Figur 1 Aristoteles

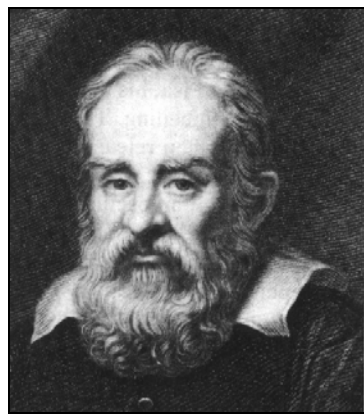
Årsakene gjenta seg i naturen. Derved oppstod doktrinen om teleologi, teorien om at framtidens endelige mål var forutbestemt.

Aristoteles (350 BC) mente at motivet for vitenskapen var å forstå hvordan naturen utvikler seg i tid. Ved å forstå hvordan naturen utviklet seg, kunne en kjenne framtiden. Den som kjente framtiden, kunne forberede seg bedre på framtiden. Han tenkte seg at der var 4 årsaker til endringer i naturen. Det var:

1. Materialets starttilstand før form
2. Materialets egenskaper
3. Materialets form under bevegelse
4. Tingenes forutbestemte skjebne

Aristoteles tenkte seg videre at årsaken til en starttilstand var et resultat av en tidligere starttilstand. Om en så fulgte alle årsaker bakover i tid vill en til slutt nå den første årsak. Den første årsak mente han ble styret av bevegelsen til månen, solen og planetene. Siden månen, solen og planetene hadde sirkulære baner, vil

Galileo Galilei



Figur 2. Galileo Galilei

*Philosophy is written in the grand book the universe,
Which stands continually open to our gaze,
But the book cannot be understood,
unless one first learns the alphabet in which it is composed.
It is written in the language of mathematics,
without which it is humanly impossible to understand a single
word of it.
Without mathematics, one wanders about in a dark labyrinth.*

--Galileo Galilei (1564-1642).

Galileo Galilei (1564-1642) var en av dem som kom på å kombinere resultatene fra empiriske vitenskapelige eksperimenter med oppførselen til matematiske modeller. På den måten kunne han beskrive forløpet av en pendelbevegelse og en kulebane. Galileo sitt pionerarbeid var hans empiriske måletekniske forsøk og hans beskrivelser av resultatene i matematiske modeller. Derved fikk vi doktrinen om avbildning. Teorien om at egenskaper ved naturen kan avbildes med en matematisk modell.

Descartes funksjonalisme

Rene Descartes (1596-1650) var en grunnlegger av moderne filosofi. Han var samtidig en sentral matematiker og publiserte også verker om astronomi og optikk. Under renessansen innførte Descartes doktrinen om de to årsaker. Disse var



Figur 3 Rene Descartes

1. Pådrag til objektet S
2. Objektets indre egenskaper som naturlov

Derved forkastet Descartes doktrinen om teleologi og innførte doktrinen om funksjonalisme. En fikk nå fram en tankegang basert på at tingenes dynamiske utvikling var ikke lenger bestemt av en forut bestemt skjebne.

Resultatet av dette var at virkeligheten ble betraktet på en ny og forenklet måte. Bevegelsen i naturen kunne nå forklares med bare to årsaker. Rekkevidden av dette var å betrakte naturen som en slags maskin. Virkemåten til maskinen kunne så studeres i samsvar med en modell. Fant en modellen i form av en naturlov, fikk en kunnskaper om maskinens indre egenskaper. Resultatet av dette var at en fikk et nytt syn på virkeligheten. En fikk nå fram en tankegang basert på at tingenes dynamiske utvikling var ikke lenger bestemt av en forut bestemt skjebne. Derved kunne en danne et nytt vitenskapelig syn på naturen.

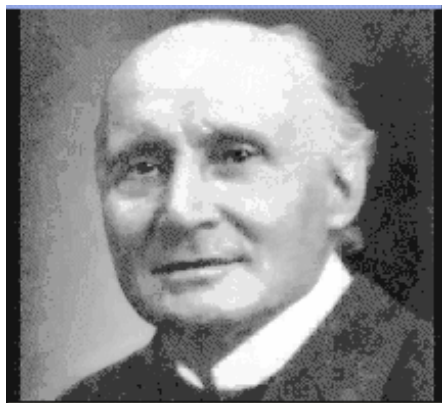
I liket med Pythagoras og Galilei mente Descartes at modeller av naturen kunne beskrives med tall. I vedlegget «Drøftelse av metoden» legger han ved det matematiske grunnlaget for analytisk geometri. Her framstiller han grafisk forholdet mellom pådrag og respons i det som senere er kalt det kartetiske tegnesystem. Denne matematikken ble utviklet som en konsekvens av hans syn på naturen som en maskin. Etter dette synet kunne han sette opp naturlovene som en regel og ved å sende spørsmål til regelen kunne han få svar på de spørsmål han stilte. Denne regelen for naturen ble utgangspunktet for metoden om analyse og syntese. I "Drøftelser av metoden" setter han opp sine fire regler for analyse.

1. Objektivitet: Ikke godta noe som sant som en ikke klart innser er sant.
2. Analyse: Inndele et hvert problem eller hver vanskelighet i så små deler som mulig.
3. Syntese: Begynne med refleksjoner ved de gjenstander som er lettest å forstå og derfra heve seg oppover til kunnskaper om det mer kompliserte.
4. Helhet: Gjøre fortegninger så fullstendig, oversiktlig og generelle at en kan være sikker på at en ikke har utelatt noe.

Disse metodene er fremdeles et grunnlag for planlegging og vitenskapelig arbeide. Denne filosofien fikk etter hvert et så stort gjennomslag, at den har preget den senere vitenskapelig tankemåte fram til i dag. Framgangen til naturvitenskapen kom til å prege andre fagområder som økonomi, biologi og sosiologi. Et karakteristisk trekk ved dette paradigmet, er at en får et momentant svar på de spørsmål som stilles. Dette er svært ofte en fundamental begrensning når matematikken skal modellere noe fra virkeligheten. Senere løste Newton dette problemet ved å introdusere begrepet dynamikk.

Whiteheads filosofi

Generell systemteori benyttes til å forstå sammenhengen mellom årsak og virkning i komplekse organisasjoner. Teorien kom i sin tid som en reaksjon på samtidens mekanistiske vitenskapsteori og kom etter hvert til å knytte sammen filosofi vitenskapsteori og metode i et samlet konsept. I dag benyttes generell systemteori som en meta-vitenskap der den representerer en overbygning for moderne metoder innen teknologi, naturvitenskap og samfunnsvitenskap.



Figur 4 Alfred Whitehead

På begynnelsen av 1900-tallet kom filosofene Whitehead og Russell med "Principia of mathematics". Whitehead begynte nå å utvikle en ny vitenskapsfilosofi basert på en prosessorientert tankegang. I 1925 publiserte Whitehead "Science and the Modern World". Her trekkes fram perspektivet på en mer helhetlig forståelse av vitenskapen. Han tenkte seg at virkeligheten var sammensatt av en sum av prosesser med ulik binding til hverandre. Denne filosofien brøt med det deterministiske synet fra

teleologien og det mekanistiske synet til funksjonalismen, samtidig som han beholdt teleologien sin helhetsfilosofi i forståelsen av sammenhenger i naturen.

Ludvig von Bertalanffy



Figur 5 Ludvig von Bertalanffy

På 1920-tallet var biologen Ludvig von Bertalanffy en av de som reagerte på at funksjonalismen førte til et syn på mennesker og natur som om det var mekaniske roboter. Dette førte til at han begynte å lete etter en ny metode som grunnlag for et vitenskapelig arbeide. Bertalanffy hadde sin bakgrunn i den neopositivismen. Før andre verdenskrig var han medlem av Wienerkretsen med noen av datidens mest berømte vitenskapsmenn. Disse utviklet vitenskapsfilosofien om den logiske positivisme som var et angrep på metafisikken. Etter hvert kom han også med i Berlinergruppen "Society for Empirical Philosophy" som på den tiden hadde

en rekke sentral tyske vitenskapsmenn. Bertalanffy ble influert av Whiteheds filosofi og sammen med flere andre biologer begynte han å trekke i tvil funksjonalismen som et grunnlag for vitenskapelig analyse. Biologene reagerte også mot det mekaniske synet til "behaviorismen" som var utbredt på den tiden. De trakk i tvil refleksjonsteorien som grunnlag for å utvikle modeller. Han mente at en ikke kunne betrakte verken mennesker eller biologiske systemer som en maskin der all oppførsel er bestemt av stimuli og respons. Bertalanffy mente videre at tidens vitenskapsfilosofi var preget av en ideologisk forankring som hadde sammenheng med industrialisering av produksjon. I 1932 lanserte han begrepet *systemteori* ut fra en organisk forståelse av naturen.

Budskapet til Bertalanffy var at reduksjonismen førte til en spesialisering og fragmentering av kunnskaper. Hans systemteori la vekt på elementenes binding i forhold til omgivelsene. Resultatet av dette var en vektlegging på begrepet holisme som tidligere var utviklet av Aristoteles. En sentral doktrine i Bertalanffy's systemteori var at systemer dannet delsystemer som opererte uavhengig av hverandre. Lansering av systemteori representerte et nytt paradigme som vitenskapsteori der han forsøkte å forene flere vitenskapelige tradisjoner til et felles konsept.

Generell systemteori ble utviklet som en vitenskapsteori der en betrakter helhet og sammenheng mellom organisasjoner. Dette kalles gjerne "system thinking" eller en måte å tenke på. I faglitteraturen er Generell systemteori mer en filosofi og en samling av konsepter enn en konsistent teori slik en finner i f.eks kybernetikken. I dette dokumentet er det gjort et forsøk på å sammenfatte egenskaper fra Generell systemteori til en felles notasjon og et felles begrepsapparat som kan benyttes til det første trinn i modellering av organisasjoner.

1.2 Anvendelse av systemteori

Generell systemteori er en overbygning over en rekke sentrale fagområder som har utviklet seg siden midten av 1900-tallet. En forståelse av prinsippene i generell systemteori er derfor grunnlaget for å forstå de ideer og konsepter som disse nye fagområdene bygger på. Her er bare noen eksempler.

Kybernetikk

Generell systemteori (Bertalanffy, 1956) og kybernetikk (Norbert Wiener, 1948) har mange likhetspunkter. Forskjellen er at systemteori representerer en sammenheng mellom filosofi og metode mens kybernetikken har mer fokus på tilbakekoblinger i organisasjoner og samtidig anvender et samlet matematisk konsept.

Intelligente systemer

Intelligente systemer er en videreføring av tradisjonell kybernetikken basert differensiallikninger. En tar her i bruk et sett nye metoder som kunstig intelligens, fuzzy logikk, neurale nettverk og genetiske metoder.

Systemering

Utviklingen av datafaget i 1960-årene krevde en systemteori for organisering av kompleks programvare. Ideene bak systemteori ble så lagt til grunn for utvikling av faget systemering. Dette faget utviklet aktivitetsmodeller og datamodeller som var basert på prinsipper fra systemteori (Ross 1960; Yourdan, 1960).

Systemteknikk

Systemteknikken ble utviklet under den 2.verdenskrig ved planleggingen av invasjonen i Normandie. Etter hvert ble systemteknikken også utviklet videre ved planlegging av komplekse industrielle teknologiske systemer, krigsindustrien, romfartsindustrien og oljeindustrien. Systemteknikk ble her utviklet som en ingeniørorientert metode for analyse og utvikling av komplekse tekniske systemer. Grunnlaget for systemteknikken var tankegangen til generell systemteori.

Total kvalitetssikring

Total kvalitetssikring ble utviklet i Japan og i USA i 1960-årene. I Japan ble dette faget utviklet fra Østens tenkemåte. I USA ble Total kvalitetsledelse utviklet ut fra en systemteknisk tankegang (Feigenbaum, 1960).

Organisasjonsteori

Organisasjonsteorien har på mange måter vært preget av tenkemåten bak tidlig industrialisering med Taylorismens organisasjonsteori. En så etter hvert at denne teorien var for lite fleksibel og generell systemteori fikk innflytelse på hvordan vi oppfatter organisasjoner Checkland (1975). Generell systemteori fikk innflytelse i bl.a helsesektoren, næringslivet og hvordan en leder organisasjoner. Noen eksempler på den nye systemorienterte modell er Porters med ideen om industrielle klynger og Senge (1990) med den 5. disiplin.

Earth systems science

Systemteori fikk også innflytelse på hvordan vi oppfatter samspillet i naturen. På 1960-tallet benyttet russiske forskere generell systemteori for å sammenfatte resultater fra en rekke naturvitenskapelige disipliner (Izevskii, 1960). I 1970-årene kom Lowsoft med doktrinen om Gaiteorien og systemteorien ble etter hvert mye av grunnlaget for tenkemåten inn miljøbevegelsen. I dag er dette utviklet som en egen vitenskap som går under begrepet Earth systems science.

1.4 Notasjon og symboler

A(t)	System Arkitektur
B(t)	System Ekstern binding
E(t)	System Etikk
F(t)	System Formål
I(t)	System Identifikasjon
K(t)	System Kontroll
L(t)	System Læring
N	Lengden på en tidsserie
n	Sample nummer
O(t)	Systems Ontologi
P(t)	System Potensial
Q(t)	System Kunnskap
S(t)	Generelt System
T	Samplingsintervall
t	Tid
v(t)	Forstyrrelse fra ukjent kilde
w(t)	Usikkerhet i måling
x(nT)	Diskret tilstand
x(t)	Enkelt tilstand
X(t)	System tilstand
X(t)	System tilstandsvektor
Y(t)	Tilstand måling
()	Parameter
[]	Vektor
{ }	Generelt sett

1.5 Begreper

Funksjonalisme: Betrakte organisasjoner som en maskin med inn- og utfunksjon.

Reduksjonisme: Studere organisasjoner ved å studere enkeltdeler.

2 Generell systemteori

Double thinking means the power of holding two contradictory beliefs in one's mind simultaneously, and accept both of them.

-- George Orwell, 1984

2.1 System filosofi

Systemteori er et filosofisk utgangspunkt for en abstrakt beskrivelse av organisasjoner. Beskrivelsene er basert på en enhetsteori uavhengig av substans, type, tid eller rom. Det vil si at systemteori er en enhetsteori for alle typer organisasjoner. Noen karakteristiske egenskaper ved generell systemteori er:

- Helhet: Systemteori er basert på en helhetlig tankegang for å studere årsak og virkning mellom organisasjoner.
- Målorientering: Systemer er målorientert for å oppfylle et formål.
- Dualisme: Systemer må forståes ut fra flere perspektiver.
- Nivåorientert: Systemer bygges opp etter en bunn-opp prosess til nivåer av systemer der hvert nivå opererer uavhengig av hverandre.
- Læringsprosesser: Systemer har evne til å lære i en likevekt mot omgivelsene.

System filosofi konkretiseres med noen grunnleggende prinsipper og metoder.

2.2 System representasjon

En systemmodell er en representasjon som avbilder noe fra virkeligheten. I system modellering er det vanlig å representere modellen med en sett-notasjon, nettverk diagrammer eller matriser avhengig av formålet med modellen.

Sett-notasjon

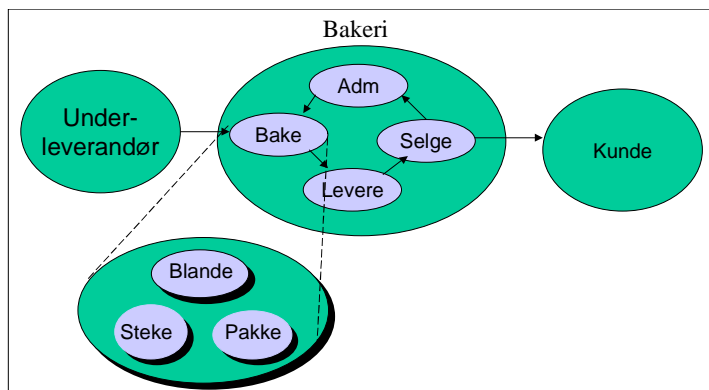
Et system $S(t)$ kan representeres med et sett

$$S(t) = \{B_1(t), S_1(t)\}$$

Formel 1

der $S_1(t)$ representerer et sub-set $S_1(t) = \{S_{11}(t), S_{12}(t), \dots, S_{1i}(t)\}$ og $B(t)$ representerer et sett $B_1(t) = \{B_{11}(t), B_{12}(t), \dots, B_{1i}(t)\}$ av bindinger mellom systemelementene i $S_1(t)$. Denne type notasjon er anvendelig ved generell beskrivelse og dokumentasjon av systemer.

Nettverksdiagrammer



Figur 6 Systemer som nettverk

Systemet $S(t)$ kan visualiseres som nettverk representasjon. I denne framstillingen er systemelementer representert med bobler og bindinger som piler. Denne type framstilling av vanlig ved konstruksjon av systemer der en visuell framstilling gir god oversikt over sammenhengen mellom organisasjoner.

Matrisemodeller

Et system $S(t)$ kan også framstilles med matrisemodeller. Dersom vi har et systemelement $S_1(t)$ kan dette ha et sett med tilstander $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t)\}$ med interne bindinger $A(t) = \{A_1(t), A_2(t), \dots, A_i(t)\}$. Endringene i systemet $S_1(t)$ kan beskrives med tilstandsmodellen

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) \quad \text{Formel 2}$$

der $X(t)$ representerer en $[1 \times m]$ tilstandsvektor og $A(t)$ representerer en $[m \times m]$ tilstandsmatrise. Systemet $S_1(t)$ kan være tilknyttet et sett kjente system $S_2(t)$ via bindingene $B(t)$ og et sett ukjent system $S_v(t)$ via bindingen $C(t)$. Systemet får da tilstandsmodellen

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)U(t) + C(t)V(t) \quad \text{Formel 3}$$

der $U(t)$ og $V(t)$ representerer en $[1 \times m]$ tilstandsvektor og $B(t)$ og $C(t)$ representerer $[m \times m]$ tilstandsmatriser. Denne type modell benyttes ved modellering av dynamikk i dynamiske systemer.

Tilfelle 1: Lineært system

Dersom bindingen er kontant $B(t) = B$ har vi et *lineært system*. I dette tilfellet har vi deterministisk system der vi kan beregne forløpet av en tilstand $x(t)$ dersom bindingen B og startverdien $x(0)$ er kjent. Slike forløp kan beregnes ved å løse differensiallikninger.

Tilfelle 2: Tidsvariant system

Dersom styrken i bindingene til $B(t)$ varierer med tiden, har vi et *tidsvariant system*. I dette tilfellet kan systemet fortsatt være deterministisk. Skal en beregne forløpet av tilstanden $X(t)$

må en samtidig kjenne det framtidige forløpet av bindingen $B(t)$ eller en beregner i mindre tidsintervaller når $B(t)$ er tilnærmet konstant.

Tilfelle 3: Strukturelt dynamisk system

Dersom antall relasjoner i bindingen $B(t)$ varierer med tiden, har vi et *strukturelt dynamisk system*. I dette tilfellet er det uklart om tilstandene i systemet er deterministisk. Dette har bl.a sammenheng med begrepet fri vilje. Det kreves en aktiv handling for å endre relasjoner i en organisasjon.

2.3 System egenskaper

Åpent system

Et *system* er et sett av sosiale, biologiske, økologiske eller teknologiske organisasjoner som er bundet av et felles formål. I et *åpent system* $S(t)$ har vi tilgang til systemelementene via bindingene $B(t)$. Dette kan formuleres som et sett av systemelementer

$$S(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 4}$$

der $S_i(t)$ er et systemelement av $S(t)$, $B(t)$ er gjensidige bindinger mellom systemelementene og w er systemets formål. Vi ser altså at systemer er bestemt av et sett av systemelementer og hvordan disse er knyttet til hverandre.

System nivåer

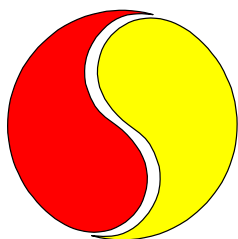
Et systemelement $S_i(t)$ kan være sammensatt av et nytt sett med systemelementer som danner et nytt formål. Dette kan formuleres som et nytt sett

$$S_i(t) = \{B_i(t), \{S_{i1}(t), S_{i2}(t), \dots, S_{im}(t)\}\} \in w_i \quad \text{Formel 5}$$

Der system elementet $S_{im}(t)$ er et subsystem og w_i er et delformål. Vi ser altså at systemer kan være sammensatt av subsystemer med delformål som opererer uavhengig av systemer på et høyere nivå. Systemer dannes i praksis av en bunn-opp prosess der subsystemer $S_{ii}(t)$ danner delsystemer av $S_i(t)$ og som igjen aggregeres til supersystemer $S(t)$.

Dualisme

Dualisme er basert på doktrinen om at organisasjoner kan beskrives ut fra to, og bare to, motsatte prinsipper.



Figur 7 Dualitet symbol

Dualisme som prinsipp benyttes for alle typer av substanser, elementer, modeller og systemer. Doktrinen om dualitet finner en også i flere religioner. Det er derfor grunn til å tro at dette er en meget gammel doktrine. Pythagoras tenkte seg at det fantes en motsvarende substans til alt stoff. Dette var et flyktig stoff som han kalte sjelen. Etter Pythagoras har doktrinen om dualitet stått sentralt i filosofien til Platon, Aristoteles, Rene Descartes, Immanuel Kant og Gottfried von Leibniz. Et karakteristisk trekk ved dualisme, er at virkeligheten kan beskrives ut fra to ulike substanser og to ulike perspektiver som også kan gi et motstridende resultat.

Dualisme er også utgangspunktet for det begrepsapparatet vi bruker i f. eks filosofi, matematikk, språk, elektronikk, systemmodellering og i beskrivelse av datatekniske systemer. Noen eksempler innen filosofi er: Plato: {Være, Bli}, Aristoteles: {Form, Stoff}, Descartes: {Ånd, Materie}, Kant: {Noumenena, Phenomenena}, Kinesisk filosofi: {Yin, Yan}. I språk har en: {Verb, Substantiv} og i kristendom: {Gud, Djevel}. Noen eksempler på duale systemer innen naturvitenskap er: Matematikk: {Operand, Operator}, Datateknikk: {Data, Program}, Elektronikk: {Spenning, Strøm}, Systemteori: {Partner, Binding}. Dualitet er altså å være grunnleggende prinsipp i all kvalitativ modellering. Vi ser videre at dualisme er nær knyttet til språket og hvordan vi oppfatter virkeligheten. I systemteori benyttes dualisme basert på prinsippet

$$B(t) = \neg S(t) \in w$$

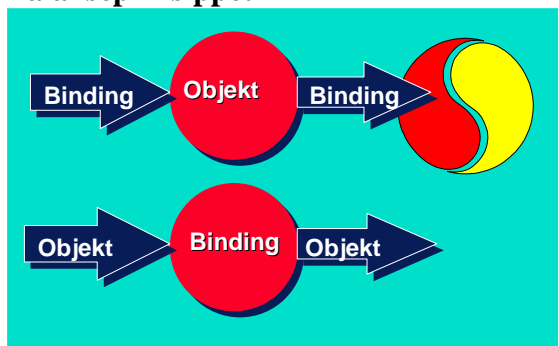
Formel 6

der:

$S(t)$ er et system element med et lukket formål

$B(t)$ er en åpen forbindelse mellom to eller flere systemer $S(t)$

Balanseprinsippet



Figur 8 Balanseprinsippet

Balanseprinsippet sier at *organisasjoner beskrives ut fra motsatte duale substanser, modeller eller systemer.*

Dette kan formuleres som

$$S(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}\} \in w$$

Formel 7

$$B(t) = \{S(t), \{B_1(t), B_2(t), \dots, B_j(t)\}\} \in w$$

Det vil si at systemet $S(t)$ er en funksjon av bindingene $B(t)$ og bindingene $B(t)$ er en funksjon av systemet $S(t)$. Når en beskriver organisasjoner ut fra de motsatte elementer $\{B(t), S(t)\}$, gir disse svar på ulike aspekter av virkeligheten. Balanseprinsippet sier at en fullstendig beskrivelse av virkeligheten krever altså en beskrivelse fra begge duale perspektiv, da hvert perspektiv ikke kan gi en komplett beskrivelse av en organisasjon. Dette er et grunnleggende prinsipp i system modellering og analyse. En typisk arbeidsmetode er f.eks å analysere data for å identifisere en modell av aktiviteten som produserer dataene. Deretter benyttes modellen av aktiviteten til å produsere prognoser eller nye data.

Observerbarhet

System $S(t)$ kan være sammensatt av system elementer der ikke alle elementene er observerbare via bindingen $B(t)$. Det betyr at et system $S(t)$ kan ha et sett systemelementer $S_v(t)$ som påvirker systemet fra en ukjent kilde. Dette kan formuleres som

$$S(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), S_v(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 8}$$

der $S_v(t)$ representerer de ukjente systemelementene i systemet $S(t)$. Det ukjente systemelementet $S_v(t)$ fører til at systemet blir forstyrret fra en ukjent kilde. Dette usikkerheten blir av observatøren oppfattet som en statistisk usikkerhet. Det betyr at systemer kan være deterministiske selv om der er beheftet med usikkerhet eller det vi oppfatter som støy.

Styrbarhet

System $S(t)$ kan være sammensatt av et sett systemelementer $S_s(t)$ der ikke alle elementene lar seg påvirke av bindingen $B(t)$. Vi sier da at systemelement $S_s(t)$ ikke er styrbart.

Likevekt

Systemer er bundet av termodynamikkens 1. lov og 2. lov. Den 1. lov sier at energi i et system $S(t)$ kan ikke forsvinne, men går over i en annen form. Tar vi utgangspunkt i et generelt system

$$S(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}\} \in w$$

vil energi veksle i en likevekt mellom systemelementene $S_i(t)$ via den gjensidige bindingen $B(t)$ innenfor et lukket system. Denne loven har et flytorientert perspektiv på organisasjoner.

Termodynamikkens 2. lov sier at energien i et system $S(t)$ vil danne en likevekt mellom et minimum energi potensial og maksimum entropi eller uorden. Denne uorden er representert med endringer i bindingen $B(t)$ og antall elementer i systemet. Loven om økt entropi representerer det duale perspektivet og representerer et strukturperspektiv på organisasjoner.

Agenter

Systemelementer kan opptre som agenter. Det vil si at et systemelement $S_i(t)$ kan være et medlem at systemet

$$S_A(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}\} \in w$$

der medlemmet har en spesiell rolle. Det samme medlemmet $S_i(t)$ kan så gå inn i systemet

$$S_B(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_i(t)\}\} \in w$$

og ha en annen rolle. Det vil si at systemers rolle og oppførsel er knyttet til systemets omgivelser.

2.4 System perspektiver

Systemer kan, ut fra prinsippet om dualisme og balanseprinsippet, modelleres fra et eksistensperspektiv og et kunnskapsperspektiv. Begge perspektivene kan sammenfattes som

$$\text{System} = \{\text{System Ontologi, System Epistemologi}\} \in w \quad \text{Formel 9}$$

der *System Ontologi* er teorien om tingenes eksistens, *System Epistemologi* er teorien om tingenes innebygde kunnskaper og $\in w$ setter rammen for et felles formål. I systemteori betrakter en naturen og organisasjoner skapt av mennesker som en sum av deler og kunnskaper som virker inn på hverandre. Dette kan formuleres med notasjonen

$$S(t) = \{O(t), Q(t)\} \quad \text{Formel 10}$$

der $O(t)$ representerer systemets ontologi og $Q(t)$ representerer systemets innebygde kunnskaper. $O(t)$ og $Q(t)$ representerer duale perspektiver på systemet $S(t)$. System ontologi $O(t)$ representerer det eksternt perspektiv på systemet $S(t)$ og $Q(t)$ representerer det interne perspektivet på systemet $S(t)$.

System Ontologi

System Ontologi er teorien om organisasjoners eksistens. Med utgangspunkt i prinsippet om dualisme kan en et systems ontologi beskrives ut fra

$$\text{System ontologi} = \{\text{System Arkitektur, System Dynamikk}\} \quad \text{Formel 11}$$

der *System Arkitektur* er teorien om hvordan organisasjoner er sammensatt, *System Dynamikk* er teorien om hvordan organisasjoner utvikler seg i tid. Dette kan formuleres med notasjonen

$$O(t) = \{A(t), D(t)\} \quad \text{Formel 12}$$

der System Arkitektur $A(t)$ representerer et sett av partnere sammensatt i systemet $S(t)$. System dynamikken $D(t)$ representerer hvordan tilstandene i partnersettet utvikler seg i tid. Studiet av system arkitekturen $A(t)$ gir oss informasjon om hvordan tilstandene $D(t)$ utvikler seg i tid. På samme måte kan vi identifisere system arkitekturen $A(t)$ ved å studere den dynamiske tilstand $D(t)$. Etter balanseprinsippet får vi en komplett analyse ved å studere begge perspektivene.

System Arkitektur

System Arkitektur er læren om hvordan organisasjoner er sammensatt. Med utgangspunkt i prinsippet om dualisme kan en et systems ontologi beskrives ut fra

$$\text{System Arkitektur} = \{\text{System Binding, System Partnere}\} \quad \text{Formel 13}$$

der *System Partnere* er et sett med partnere

$$A(t) = \{B(t), \{A_1(t), A_2(t), \dots, A_n(t)\}\} \quad \text{Formel 14}$$

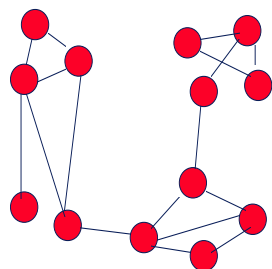
der $A_i(t)$ representerer en delarkitektur til arkitekturen $A(t)$ og $B(t)$ representerer den gjensidige binding mellom partner elementene.

System Binding

System Binding er læren om relasjoner mellom system elementer. System Binding kan deles inn i de duale perspektivene:

$$\text{System Binding} = \{\text{System Kobling, System Kohesjon}\} \quad \text{Formel 15}$$

der *System Kopligng* representere styrken ("strikkeffekt") i forbindelsene $B(t)$ mellom delsystemer $A(t)$. System Kobling kan være av typen trangt eller bred, direkte eller indirekte, nær eller fjern, fleksibel eller rigid, dynamisk eller stabil. System Kohesjon gir uttrykk for strukturen i relasjonene $B(t)$ mellom delsystemer $A(t)$. Denne kan være av typen, tilfeldig eller logisk, midlertidig eller stasjonær, funksjonsorientert eller sammensatt tilbakekoplet.



Figur 9: Binding av systemelementer

Begrepet *binding* er en generalisering av begrepet *form* fra filosofien og representerer alt som påvirker systemelementer. Fra naturvitenskapen representerer binding krefter, materialflyt, energiflyt og kommunikasjon. Binding omfatter også en abstrakt representasjon vi data som vi benytter i f.eks i datatekniske modeller. I relasjoner mellom elementer skiller en mellom begrepene binding, forbindelse, kobling og kohesjon. Begrepet *binding* sier noe om hvor tett elementer er avhengig av hverandre eller påvirker hverandre. *Forbindelse* er et begrep som sier noe om hvilke type relasjoner en har mellom elementer. Begrepet *kohesjon* sier noe om den gjensidige avhengighet mellom elementer.

Aristoteles mente at det var sjelen som var bindingene mellom organer og som var opphavet til liv. Feigenbaum kalte relasjonene i en organisasjon som organisasjonen sjel. I systemets tilstandsdynamikk er binding representert med en $A(t)$ -matrise. System binding representerer det duale aspekt av System arkitektur. Vi ser altså at det er relasjonene i en organisasjon som bestemmer organisasjonens egendynamikk.

System kobling

System kobling er et begrep som sier noe om styrken i forbindelsen mellom elementer eller delsystemer. Generelt har en at:

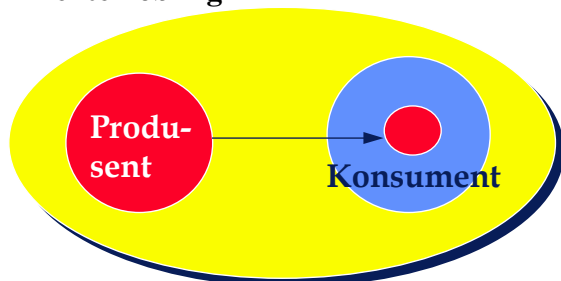
$$\text{Kobling} = \{\text{Elementbestemt kobling, Forbindelsebestemt kobling}\}$$

der elementbestemt kobling og forbindelsebestemt kobling er duale begreper.

Elementbestemt kobling

Elementbestemt kobling er bestemt av elementenes egenskaper i forhold til begrepet innkapsling. Vi skiller gjerne mellom Direkte kobling, Global kobling og Normal kobling. Som gir sterkere binding i stigende rekkefølge.

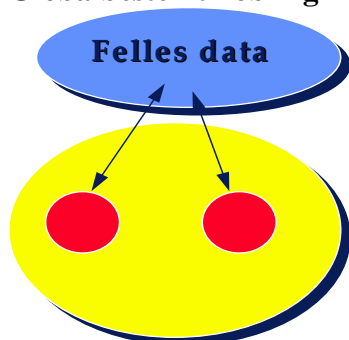
Direkte kobling



Figur 10 Direkte kobling

Direkte kobling vil si at et produsentelement har direkte tilgang til interne data i et konsumentelement.

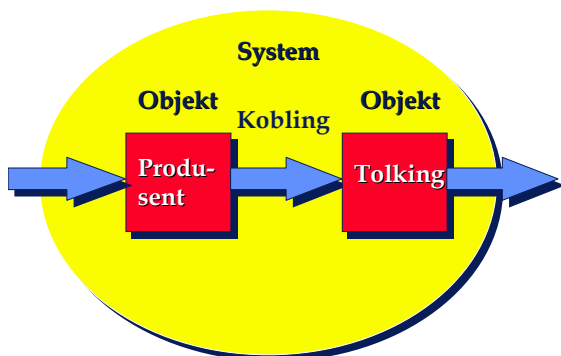
Globalbestemt kobling



Figur 11 Global kobling

Global kobling vil si at flere elementer har direkte tilgang til felles data.

Normal kobling



Figur 12 Normal kobling

Normal kobling vil si at det er konsumenten som tolker fritt den informasjon som ligger i koblingen fra produsentelementet.

Forbindelsebestemt kobling

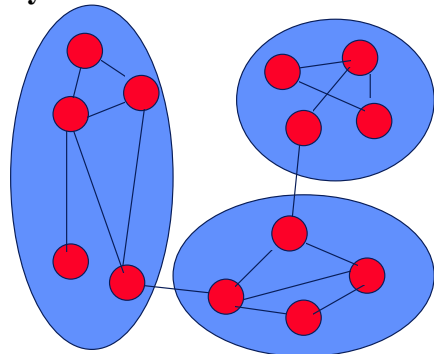
Forbindelsebestemt kobling kan inndeles i Dataforbindelse, Parameterforbindelse og Kontrollforbindelse som gir sterkere binding i stigende rekkefølge. Disse gir en økende grad av kobling i stigende rekkefølge.

Kohesjon

Kohesjon er det duale aspekt av begrepet kobling. Begrepet kohesjon sier noe om antall relasjoner og den gjensidige kontroll mellom elementer innefor et system og er et mål for struktur eller kompleksiteten i forbindelsene mellom elementer ("gravitasjonseffekt"). Generelt gjelder prinsippet at en binding gir sterk overføring av kontroll mellom en gruppe elementer. Videre er det slik at en sterk binding mellom en gruppe elementet på ett systemnivå, gir svak binding mellom metasystemer.

Kohesjon er et begrep som er hentet fra fysikken. Det er senere også benyttet av sosiologer for å beskrive slektskap i grupper. I 1960-årene begynte Larry Constantine å bruke begrepet ved strukturering av programvaremoduler. Organisering av moduler (elementer) og binding er etter hvert utviklet seg til faget systemering.

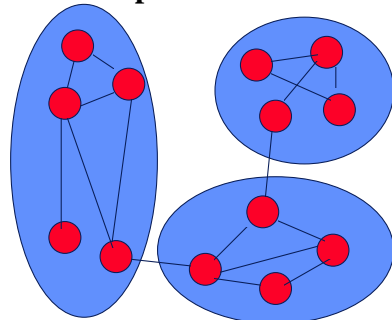
Systemets formål



Figur 13 Systemgrenser

Systemgrensen rundt et sett elementer bestemmer to ting. Den bestemmer den eksterne binding mellom systemer og den bestemmer hvilke elementer som skal være partnere innenfor et felles system. Partnere innenfor en felles systemgrense er bundet av et felles formål. Formålens art har da betydning for systemets kohesjon. Arten av et formål kan igjen klassifiseres som en abstraksjon eller en formålstype. Eksempler på kohesjon via systemformål er Kunnskaper, Organisasjon, Familie, Ansvar, Økonomi og Eierskap. Disse gir ulik grad av kohesjon.

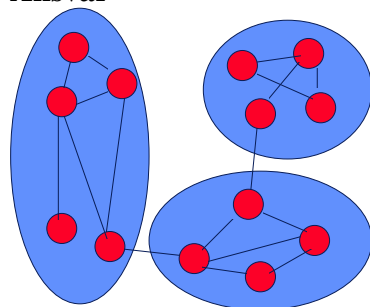
Kunnskap



Figur 14 Definerings av kunnskap.

Kunnskap er et mål systemets for evne til å kunne påvirke sin egen dynamiske utvikling. En systemgrense kan da deles etter kunnskapsområder og områder med del kunnskap. I programvare er et kunnskapsområde definert av den direkte tilgang til tjenester og metoder i elementene. Systemgrensen setter derfor et klart definert kunnskapsområde. I praktiske systemer vil tilgang til å produsere tjenester være noe som endres over tid etter hvert som programvaren endres over tid. Kunnskap vil derfor være en variabel systemgrense uten en fast binding. Det er verd å legge merke til at når kunnskapsområdet øker, så svekkes bindingene mellom kunnskapsområdene. Det betyr at i systemperspektiv medfører øket kunnskap en svekket ekstern binding.

Ansvar



Figur 15 Delegering av ansvar

Systemgrenser kan fastsettes etter ansvar og delansvar. Ansvar er der definert som mandat til å endre data, tjenester og relasjoner mellom elementer. I praktiske systemer vil også ansvar være noe som endrer seg over tid. En vil likevel ikke ha overlappende systemgrenser. Vi regner derfor ansvar for en sterkere form for binding mellom elementer.

System Dynamikk

System Dynamikk er læren om hvordan organisasjoner utvikler seg i tid. Med utgangspunkt i prinsippet om dualisme kan et systems ontologi beskrives ut fra

$$\text{System Dynamikk} = \{\text{System Binding, System Tilstand}\} \quad \text{Formel 16}$$

der *System Tilstand* er et sett med målbare tilstander $X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ og *System Binding* er en gjensidig binding $B(t)$ av relasjoner mellom settet av partnere. Hver partner kan være sammensatt av et sett med tilstander $X(t)$ som er forbundet med en binding $B(t)$. Dette kan formuleres som

$$D(t) = \{B(t), X(t)\} \quad \text{Formel 17}$$

der

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\} \text{ og } B(t) = \{B_1(t), B_2(t), \dots, B_n(t)\}.$$

Systemets dynamikk er bestemt av bindingen $B(t)$. Bindingen $B(t)$ kan ha ulike typer av egenskaper som igjen fører til ulike typer dynamiske systemer.

System Epistemologi

Systemer kan, ut fra prinsippet om dualisme og balanseprinsippet, modelleres fra et eksistensperspektiv og et kunnskapsperspektiv. Begge perspektivene kan sammenfattes som

$$\text{System} = \{\text{System Ontologi, System Epistemologi}\} \in w \quad \text{Formel 18}$$

som kan formuleres

$$S(t) = \{O(t), Q(t)\}$$

der *System Ontologi* er teorien om tingenes eksistens, *System Epistemologi* er teorien om tingenes innebygde kunnskaper og $\in w$ setter rammen for et felles formål. I generell systemteori er alle typer organisasjoner kunnskapsbaserte. Det gjelder for eksempel biologiske systemer, sosiale organisasjoner, økonomiske systemer, eierskap og instrumentering. Kunnskap er noe disse organisasjonene anvender for å overleve i tid og rom. Samtidig er det slik at kunnskaper er ikke noe entydig som er plassert ett sted. Kunnskaper er noe som fordeles i nivåer og i delsystemer.

Med utgangspunkt i prinsippet om dualisme kan et systems epistemologi beskrives med

$$\text{System Epistemologi} = \{\text{System Etikk, System Læring}\} \quad \text{Formel 19}$$

der *System Etikk* er de motiv og verdigrunnlag som legges til grunn for systemets overordnede mål. *System Læring* er den strategi som systemet velger for å nå de overordnede mål. Dette kan formuleres med notasjonen

$$Q(t) = \{E(t), L(t)\} \quad \text{Formel 20}$$

der $E(t)$ representerer systemets etikk og $L(t)$ representerer systemets evne til læring.

System Etikk

System Etikk er det verdigrunnlag som legges til grunn for systemets overordnede mål og er gjerne forbundet med biologiske systemer og sosiale systemer. Disse er karakterisert ved en biologisk forståelse av virkeligheten der

$$\text{System Etikk} = \{\text{System Formål, System Potensiale}\} \quad \text{Formel 21}$$

Dette kan formuleres med notasjonen

$$E(t) = \{F(t), P(t)\} \quad \text{Formel 22}$$

der $F(t)$ representerer Systemets Formål og $P(t)$ representerer systemets Potensiale. Systemets Formål $F(t)$ er knyttet til systemets motiv og det langsiktige mål som systemet skal realisere. Systemets Potensial $P(t)$ er de ressurser og begrensninger som er knyttet til systemet $S(t)$. Dette innebærer at begrepet System Etikk har to duale aspekter. Det skal realisere et motiv og det skal utnytte systemets ressurser og egenskaper. Systemets etikk $E(t)$ er en tidsfunksjon.

Det vil si at Systemets Etikk kan endre seg over tid. I Aristoteles etikklære er formål og potensial to sider av samme sak. Det er et overordnet mål å utnytte potensialet i en hver organisasjon. Samtidig er det å utnytte potensialet et overordnet mål.

System Læring

System Læring er læren om hvordan systemet kan realisere systemets overordnede mål. Med utgangspunkt i prinsippet om dualisme kan en et systems læring beskrives ut fra

$$\text{System Læring} = \{\text{System Identifikasjon, System Kontroll}\} \quad \text{Formel 23}$$

der *System Identifikasjon* er en identifikasjon av tilstanden til eksterne partnere og *System tilpassing* er tilpassing til å nå systemets etikk. Dette kan formuleres med notasjonen

$$L(t) = \{I(t), K(t)\} \quad \text{Formel 24}$$

der $I(t)$ representerer identifikasjonen av en ekstern partner og $K(t)$ representerer kontroll. System Identifikasjon $I(t)$ er knyttet til systemets evne til å identifisere eksterne utviklingsprosesser. System Kontroll $K(t)$ er de kontrolltiltak systemet iverksetter for å realisere Systemets Etikk $E(t)$. Begrepet System Læring har altså to duale aspekter. Det ene er å identifisere eksterne utviklingsprosesser. Det andre er å realisere egne mål.

Generell kunnskapsmodell



Figur 16 Generell kunnskapsmodell

Systemers etikk $E(t)$ og systemers læring $L(t)$ kan sammenfattes som en generell kunnskapsmodell som vist på figuren. Denne figuren viser de samme elementene som en har i f.eks kybernetikk, kontrollteori og kvalitetssikring. I denne figuren danner $E(t)$ etikk mål og læring $L(t)$ og disse sier noe om hvordan en kan tilpasse seg til omgivelsene. Samtidig er det slik at System etikk $E(t)$ er noe som varierer med tiden. Det betyr at i generell systemteori er det slik at også System etikk $E(t)$ er noe som må tilpasses omgivelsene.

3 System identifikasjon

System identifikasjon er læren om hvordan egenskaper i et system $S_i(t)$ kan representeres med en modell

$$M_i(t) = S_i(t) + e(t)$$

Formel 25

Der $e(t)$ representerer avviket mellom systemet og modellen av systemet. Tar vi utgangspunkt i et generelt system

$$S(t) = \{B(t), \{S_1(t), S_2(t), S_i(t)\}\} \in w$$

vil energi veksle i en likevekt mellom systemelementene $S_i(t)$ via den gjensidige bindingen $B(t)$ innenfor et lukket system. Dersom system elementet $S_i(t)$ er deterministisk kan systemet $S_i(t)$ representeres med en modell $M_i(t)$ som gir svar på noen egenskaper ved systemet $S_i(t)$.

Modellen $M_i(t)$ er representert med en tilstandsvektor $X(t)$ for tilstandene i systemet $S_i(t)$ og en matrise $A(t)$ som representerer de interne relasjonene mellom tilstandene $X(t)$. Identifikasjon av systemet $S_i(t)$ tar utgangspunkt i balanseprinsippet og søker å identifisere egenskaper som påvirker systemets egendynamikk.

- Tilstandidentifikasjon: Kunnskaper om relasjonene $A(t)$ identifiserer tilstandene $X(t)$.
- Modellidentifikasjon: Kunnskaper om tilstandene $X(t)$ identifiserer relasjonene $A(t)$.
- Etikkidentifikasjon: Kunnskaper om utviklingen av tilstanden $X(t)$ identifiserer systemets etikk $E(t)$.

Tilstandidentifikasjon

Tilstandsidentifikasjon er basert på at tilstandene i systemet $S_i(t)$ kan måles med en tilstandsvektor $Y(t)$. Dersom de interne relasjonene $A(t)$ i $S_i(t)$ er kjent, kan en identifisere et estimat av tilstandene $X(t)$ med læring ved å benytte prinsippet om læring via avviksbehandling etter metoden:

Systemets tilstand: $X(t) = S_i(t)U(t)$

Formel 26

Tilstands måling: $Y(t) = X(t) + W(t)$

Identifisert avvik: $E(t) = Y(t) - Y_e(t)$

Avviksbehandling: $U_e(t) = K E(t)$

Ny identifikasjon: $Y_e(t) = A(t)(U(t) - K E(t))$

Der $W(t)$ representerer en forstyrrelse i måling fra en ukjent kilde, K er læringsrate for avviksbehandling og $Y_e(t)$ er estimert identifikasjon av tilstanden $X(t)$.

Modellidentifikasjon

Modellidentifikasjon er basert på at tilstandene i systemet $S_i(t)$ kan måles med en tilstandsvektor $Y(t)$. Dersom tilstandene $X(t)$ i $S_i(t)$ er kjent, kan en identifisere et estimat av

relasjonene $A(t)$ med læring ved å benytte prinsippet om læring via avviksbehandling etter metoden:

Systemets tilstand:	$X(t) = S_i(t)U(t)$	Formel 27
Tilstands måling:	$Y(t) = X(t)+W(t)$	
Avvik i tilstand:	$E(t) = Y(t)-Y_e(t)$	
Endring i relasjoner:	$dA(t) = K E(t)$	
Avviksbehandling:	$A(t) = A(t)-dA(t)$	
Nytt estimat:	$Y_e(t) = A(t)(U(t)-E(t))$	

Der $W(t)$ representerer en forstyrrelse i måling fra en ukjent kilde, K er læringsrate for avviksbehandling og $Y_e(t)$ er estimert identifikasjon av tilstanden $X(t)$.

4 System modellering

System modellering representerer en avbildning av noe fra virkeligheten. Hensikten med en slik avbildning er å studere sammenhengen mellom årsak og virkning i organisasjoner. Generell systemteori sier noe om komplekse sammenhenger mellom organisasjoner. Etter denne teorien henger "alt sammen med alt". System modeller vil derfor alltid representere et utsnitt av virkeligheten og vi får introdusert en usikkerhet fra andre kilder. Videre er det slik at valg av systemmodell er avhengig av hensikten med modellen. Det finnes derfor ikke en standard modell som beskriver alle typer systemer. Vi skal her studere noen typiske modeller der vi tar utgangspunkt i Teknologiske systemer, Industrielle systemer, Sosiale systemer, Levende systemer og Jorden som system.

4.1 Jorden som system

Jorden kan modelleres som et sett av systemer og subsystemer på mange nivå. Nivåene deles ikke ned til substanser som i en atomteori. Det er snarere slik at systemer griper inn i hverandre på flere nivå.

Solsystemet

Jordens metasystem er solsystemet $S_{solSys}(t)$. Dette kan representeres med modellen

$$S_{solSys}(t) = \{B_{solSys}(t), \{S_{pla}(t), S_{jord}(t), S_{sol}(t), S_v(t)\}\} \in w$$

der systemelement $S_{pla}(t)$ representerer et sett av planeter, $S_{sol}(t)$ representerer solen som system og $S_v(t)$ representerer en eksternt ukjent forstyrrelse. Solsystemets arkitektur er bestemt av massen til systemelementene og avstanden mellom elementene via bindingene $B_{solSys}(t)$.

Solsystemets dynamikk er påvirket av stråling fra solen og kraftbalansen i gravitasjon mellom elementene. Balanseloven for de gjensidige gravitasjonskreftene i bindingene $B_{solSys}(t)$ mellom systemelementene regulerer elementenes bane og hastighet. Endringer i avstanden mellom systemelementene fører til sykliske endringer i elementene hastighet og bane. Disse

sykliske endringene i elementenes bane fører til sykliske endringer i innstrøm av energiflukt fra solen til jordsystemet.

Jordsystemet

Jordsystemet $S_{jord}(t)$ kan representeres med systemet

$$S_{jord}(t) = \{B_{jord}(t), \{S_{mat}(t), S_{ose}(t), S_{lev}(t), S_{atm}(t), S_v(t)\}\} \in w$$

der systemelement $S_{mat}(t)$ representerer de fysiske materialer som jorden består av, $S_{ose}(t)$ representerer havsystemene, $S_{lev}(t)$ representerer levende systemer og $S_{atm}(t)$ representerer atmosfæresystemet jorden. Systemets arkitektur er sammensatt og griper mer eller mindre direkte inn i hverandre gjennom den gjensidige binding $B_{jord}(t)$.

Jordsystemets egendynamikk er bestemt av systemets energibalanse med mottak av energi, distribusjon av egen energi og frigjøring av energi til andre systemer. Sykliske endringer i planetenes bane fører til en syklisk tilførsel av energiflukt fra solen til jorden. Denne sykliske energiflukt fører til at jorden har dag og natt, årstider, endringer i tidevann og klima. Dette påvirker igjen de levende systemene på jorden.

4.2 Levende systemer

Levende systemer er systemer som er basert på organisk materiale. Disse systemene og har evne til å reprodusere seg selv og organisere seg i metasystemer.

Levende metasystemer

Levende systemer kan organisere seg selv på mange nivå. En typisk inndeling av levende metasystemer er celle, organer, individ organismer, grupper, organisasjoner og samfunn. Celler er organismer som framstår som komplette levende systemer med fri vilje. En celle er et samlet system av spesialisert organisk materiale. Dette kan representeres med

$$S_{celle}(t) = \{B_{celle}(t), \{S_{cMat1}(t), \dots, S_{cMat-n}(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 28}$$

der $S_{cMat}(t)$ representerer et system av organiske cellematerialer. Celler har evne til selvorganisering til organer. Organer bli da et system som består av et sett med celler. Dette kan representeres med

$$S_{cOrg}(t) = \{B_{cOrg}(t), \{S_{celle1}(t), \dots, S_{celle-n}(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 29}$$

der $S_{celle}(t)$ representerer et system av spesialiserte celler. Et organs system $S_{cOrg}(t)$ kan spesialiseres etter egenskapene til cellesystemet $S_{celle}(t)$. Et sett av organer kan da sammensettes til en levende individ organisme. Dette kan representeres med systemet

$$S_{ind}(t) = \{B_{ind}(t), \{S_{cOrg1}(t), \dots, S_{cOrg-n}(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 30}$$

der $S_{cOrg}(t)$ representerer et spesialisert organsystem i det samlede individsystemet. Individsystemer $S_{ind}(t)$ har en tendens til å spesialisere sitt formål i grupper. Dette kan f.eks

være populasjonsgrupper, familiegrupper eller arbeidsgrupper. En slik gruppe kan klassifiseres som et gruppesystem

$$S_{gru}(t) = \{B_{gru}(t), \{S_{ind1}(t), \dots, S_{ind-n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 31}$$

Slike grupper er det høyeste systemnivå hos planter og dyr. Mennesker kan organisere grupper til sosiale systemer. Dette kan representeres med

$$S_{sos}(t) = \{B_{sos}(t), \{S_{gru-1}(t), \dots, S_{gru-n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 32}$$

der gruppene $S_{gru}(t)$ gjerne har en løs organisasjon innefor den samlede organisasjonen. Organisasjonen opererer gjerne uavhengig av enkeltindivider og grupper. Samtidig kan individer være medlemmer av flere organisasjoner.

Et samfunn system $S_{samf}(t)$ er et sosialt system som er selvforsynt med produksjon av egne tjenester for å opprettholde det levende systemet. Samfunnet kan representeres med et sett av organisasjoner

$$S_{samf}(t) = \{B_{samf}(t), \{S_{sos1}(t), \dots, S_{sos-n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 33}$$

der organisasjoner $S_{sos}(t)$ utøver et formål og summen av organisasjonene utøver samfunnets samlede formål. Et typisk trekk ved organisasjonene er at de organiserer seg selv, har løse gjensidige bindinger og er konkurrenter innenfor det samlede samfunnssystemet.

System Dynamikk i energiflyt

Termodynamikkens 1.lov betrakter flyt av energi i systemer og metasystemer. I levende systemer er det slik at organisk materiale omdannes til energi via metamorfose. Systemenes dynamikk kan betraktes ut fra flere perspektiver.

Materialflyt på samme systemnivå:

En kan ta utgangspunkt i en balansemodell og modellere systemets materialflyt på samme systemnivå. Dynamikken i systemenes tilstand kan så modelleres med et sett av differensiallikninger.

Materialflyt mellom systemnivå:

En kan betrakte levende systemer som en næringskjede der fysisk materiale omdannes til organisk materiale i celle og videre til individer. Massen til materialet kan så modelleres til grupper, organisasjoner og samfunn. Dynamikken i akkumulert materiale kan modelleres med et sett av differensiallikninger.

Systemenes livssyklus:

Systemenes livssyklus gir uttrykk for hvordan antall individer i en gruppe utvikler seg tid. Dette kan modelleres med en et sett av differensiallikninger som modellerer utviklingen i antall og vekt.

System Dynamikk i energitilstand

Levende systemer er påvirket av termodynamikkens 2. lov. Generelt gjelder prinsippet om at levende systemer i naturen har evne til å trekke ut energi fra solen og akkumulere energi i organisk materiale. Samtidig er det slik at når en utnytter naturressurser, reduseres energipotensialet i naturen og det skapes en uorden eller høyere entropi. Systemets dynamikk er da en balanse mellom hvor mye energi en trekker ut av naturen og hvor mye naturen selv kan bygge opp igjen via energi fra solen.

Generelt er det slik at arbeide fra sosiale og industrielle systemer trekker energi ut av naturen. Det blir da en balanse mellom hvor mye energi naturen trekke ut fra solen og hvor mye den kan levere til sosiale og industrielle systemer. Den energien en kan trekke ut fra solen er syklisk i forhold til endringer i klima. De sykliske endringene bli derfor videreført til de sosiale og industrielle systemene.

System Etikk

Levende systemer har en etikk som er målorientert for å oppfylle formål. Dette formålet er knyttet til eget system og til meta-systemet. Et typisk trekk ved etikken til levende systemer er at de prøver å opprettholde sin egen organisasjon på alle nivå. Organisasjonene opprettholdes ved å optimalisere egne ressurser og skifte ut systemer på et lavere nivå.

System Læring

Utviklingen av individsystemer er basert på en læring som realiseres systemets etikk. Læringen i alle levende systemer er gjerne basert prinsippet om avviksbehandling. Dette prinsippet er basert på at systemet har et sett med mekanismer for læring. En typisk mekanisme er en referanse for systemets etikk, er en form som sensor mot omgivelsene, en form for hukommelse, et system for å motta og lagre energi og et system for å endre sin egen tilstand. Individ lærer ved å endre vektleggingen av sine relasjoner til omgivelsene. Grupper lærer ved variasjon i genene til ny rekruttering.

Eksempel 1 Familie til student

En person $S_{per}(t)$ er et sammensatt biologisk system. I et sosialt system er personen en agent som er påvirket av relasjonene til omgivelsene i et metasystem $S(t)$. En person $S_{per}(t)$ kan f.eks være en del av et familiesystem

$$S_{fam}(t) = \{B_{fam}(t), \{S_{per}(t), S_{med}(t)\}\} \quad \text{Formel 34}$$

der $S_{med}(t)$ representerer de andre familiemedlemmene og $B_{fam}(t)$ representerer bindingene mellom alle familiemedlemmene for å oppfylle et felles formål. Vi ser her familiens egenskaper er noe mer enn summen av egenskapene til medlemmene. Egenskapene er også bestemt av relasjonene $B_{fam}(t)$ mellom familiemedlemmene. Samtidig er egenskapene til personen $S_{per}(t)$ influert av egenskapene til de andre familiemedlemmene $S_{med}(t)$. Når personen $S_{per}(t)$ går inn i rollen som student $S_{stud}(t)$, går han samtidig inn i et system for utdanning

$$S_{utd}(t) = \{B_{utd}(t), \{S_{stud}(t), S_{org}(t), \dots, S_{hs}(t)\}\} \quad \text{Formel 35}$$

der $S_{org}(t)$ er student organisasjoner, $S_{hs}(t)$ er høgskolen og $B_{utd}(t)$ er relasjonene mellom studentene, student organisasjonene og de faglige instituttene. Vi ser her at studenten $S_{stu}(t)$ er influert av et nytt sett av relasjoner som er bestemt av egenskapene og relasjonene til høgskolen og studentorganisasjonene. Det betyr at høgskolesystemet $S_{utd}(t)$ og studenten $S_{stud}(t)$ er påvirket av både delsystemene og relasjonene mellom delsystemene. Vi får da en gjensidig kobling mellom alle systemene slik at endring i ett system påvirker alle andre. Høgskolesystemet $S_{hs}(t)$ er samtidig et enkelt system i en større industriell klynge

$$S_{kly}(t) = \{B_{kly}(t), \{S_{hs}(t), \dots, S_{mar}(t), S_{mart}(t)\}\} \quad \text{Formel 36}$$

der $S_{mar}(t)$ representerer det marine industrielle systemet, $S_{mart}(t)$ representerer det maritime systemet og $B_{kly}(t)$ er relasjonene mellom alle systemene. Vi ser her at de maritime og de marine systemene vil påvirke høgskolesystemet som igjen vil på virke den enkelte student. Det marine systemet $S_{mar}(t)$ er sammensatt av et sett med delsystemer

$$S_{mar}(t) = \{B_{mar}(t), \{S_{red}(t), \dots, S_{bio}(t), S_{mark}(t)\}\} \quad \text{Formel 37}$$

der $S_{red}(t)$ representerer rederi, $S_{bio}(t)$ biomasse systemer, $S_{mark}(t)$ representerer marked systemet og $B_{marin}(t)$ er relasjonene mellom alle systemene. Det marine systemet er igjen påvirket av biomassesystemet og markedssystemet. Vi ser at i samsvar med generell systemteori så vil endringer i f.eks biomasse systemet $S_{bio}(t)$ påvirke det marine systemet $S_{mar}(t)$, utdanning systemet $S_{utd}(t)$ og til den enkelte student $S_{stud}(t)$.

4.3 Industrielle systemer

Industrielle systemer er en spesialisering av organisasjoner innenfor levende systemer. De industrielle systemene er gjerne produsenter av tjenester eller produkter som er nødvendig for å opprettholde sosiale systemer og samfunn innenfor levende systemer. Systemene og har samme evne til å reprodusere seg selv og organisere seg i metasystemer på mange nivå. En typisk inndeling av industrielle metasystemer er produksjonscelle, avdelinger, bedrifter og industrielle klynger.

En produksjonscelle er et samlet system av spesialisert organisk materiale. Dette kan representeres med

$$S_{pCelle}(t) = \{B_{pCelle}(t), \{S_{tekn}(t), S_{gru}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 38}$$

der $S_{tekn}(t)$ representerer et sett av teknologiske systemer og $S_{gru}(t)$ representerer en gruppe som organiske produksjonscelle. Produksjonsceller er en spesialisert tjeneste som kan bearbeide materialer, bearbeide informasjon eller levere tjenester til andre produksjonsceller. Celler utfører en ferdig tjeneste og har evne til å overvåke sin egen yteevne.

En sum av produksjonsceller kan samles til metasystemet avdeling

$$S_{pAvd}(t) = \{B_{pAvd}(t), \{S_{pCelle1}(t), \dots, S_{pCelle-n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 39}$$

der $B_{pAvd}(t)$ representerer bindingen mellom cellene. Det industrielle produksjonssystemet $S_{cAvd}(t)$ leverer en tjeneste som er summen av tjenestene produksjonscellene.

Industrielle avdeling systemer kan igjen danne en samlet bedrift.

$$S_{bedr}(t) = \{B_{bedr}(t), \{S_{pAvd1}(t), \dots, S_{aAvd-n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 40}$$

der $B_{\text{bedr}}(t)$ representerer bindingen mellom avdelingene. Den industrielle bedriften $S_{\text{bedr}}(t)$ representerer en komplett selvforsynt økonomisk enhet. Slike økonomiske enheter har en tendens til å spesialisere seg innenfor en samlet industriell klynge.

$$S_{\text{kly}}(t) = \{B_{\text{kly}}(t), \{S_{\text{bedr}1}(t), \dots, S_{\text{bedr}n}(t)\}\} \in W \quad \text{Formel 41}$$

der $B_{\text{kly}}(t)$ representerer bindingen mellom bedriftene.

System Dynamikk i energiflyt

Termodynamikkens 1.lov betrakter flyten av energi og materialer i systemet og metasystemet. Flyten i systemet modelleres med

1. Balansemodeller for flyt av materialer i systemet og metasystemet.
2. Balansemodeller for flyt av energi i systemet og metasystemet.
3. Balansemodeller for flyt av verdier og kostnader i systemet og metasystemet.
4. Informasjonsflyt i systemet og metasystemet.

Systemenes tilstandsdynamikk modelleres så med differensiallikninger som beskriver tilstanden i balansemodellene. Den 2. lov betrakter hvordan energiforbruket påvirker metasystemets struktur. Generelt er det slik at arbeide fra sosiale og industrielle systemer trekker energi ut av naturen. Det blir da en balanse mellom hvor mye energi naturen trekke ut fra solen og hvor mye den kan levere til sosiale og industrielle systemer. Den energien en kan trette ut fra solen er syklisk i forhold til endringer i klima. De sykliske endringene bli derfor videreført til de sosiale og industrielle systemene.

System Etikk

Industrielle systemer har et dualistisk perspektiver på systemets etikk. På den ene side skal det ivareta systemets eget formål. Industrielle systemer har derfor et etikk perspektiv overfor alle andre partnere i meta-systemet. Et typisk trekk ved etikken til industrielle systemer er at de prøver å opprettholde sin egen organisasjon på alle nivå eller overta andre. Organisasjonene opprettholdes ved å optimalisere egne ressurser og skifte ut systemer på et lavere nivå.

System Læring

Industrielle systemer lærer å realisere systemet etikk. Læringen er gjerne basert prinsippet om avviksbehandling. Dette prinsippet er basert på systemet har et sett med mekanismer for læring. En typisk mekanisme er en referanse for systemets etikk, er en form som sensor mot omgivelsene, en form for hukommelse, et system for å motta og lagre energi eller verdier og et system for å endre sin egen tilstand. Individuer lærer ved å endre vektleggingen av sine relasjoner til omgivelsene. Grupper lærer ved variasjon i genene til ny rekruttering.

Eksempel 2 Ole Brum i 1000-meter skogen

Tilfelle 1: Ole Brum og 1000-meter skogen

Vi tenker oss at Ole Brum har den egenskap at han kan identifisere honning i 1000-meter skogen. Vi kan så lage en enkel system modell for forholdet mellom Ole Brum og 1000-meter skogen. Ole Brum er et system element i metasystemet 1000-meter skogen.

$$S_{\text{skog}}(t) = \{B_{\text{skog}}(t), \{S_{\text{ole}}(t), S_{\text{blom}}(t), S_{\text{hon}}(t), \dots, S_v(t)\}\}$$

der $S_{\text{ole}}(t)$ er Ole Blum systemet, $S_{\text{blom}}(t)$ er blomstersystemet, $S_{\text{hon}}(t)$ er honningsystemet og $S_v(t)$ er ande ukjente systemer. Ole Brum har system modellen

$$S_{\text{ole}}(t) = \{O_{\text{ole}}(t), Q_{\text{ole}}(t)\} = \{\{A_{\text{ole}}(t), D_{\text{ole}}(t)\}, \{E_{\text{ole}}(t), L_{\text{ole}}(t)\}\}$$

der $A_{ole}(t)$ representerer hvordan han er sammen satt, $D_{ole}(t)$ hvordan han beveger seg i 1000-meter skogen, $E_{ole}(t)$ hans etikk og $L_{ole}(t)$ representerer hans evne til egen læring. Vi kan da tenke oss at han har følgende system egenskaper.

Ontologi:	$O_{ole}(t) = \{ \text{Skapt for å leve av honning} \}$.
Kunnskap:	$Q_{ole}(t) = \{ \text{Kunnskaper for å identifisere honning} \}$.
Etikk:	$E_{ole}(t) = \{ \text{Konsumere mest mulig honning} \}$.
Identifikasjon:	$L_{ole}(t) = \{ \text{Finne de beste honningkubene} \}$.
Arkitektur:	$A_{ole}(t) = \{ \text{Hode, mage, ben og armer for å ta honning} \}$.
Dynamikk:	$D_{ole}(t) = \{ \text{Posisjon } p(t) = (x(t), y(t), z(t)) \text{ i 1000-meter skogen} \}$.
Formål:	$F_{ole}(t) = \{ \text{Lyst på honning, vandring etter honning, spise honning} \}$.
Potensiale:	$P_{ole}(t) = \{ \text{Spisekapasitet, luktesans} \}$.
Identifikasjon:	$I_{ole}(t) = \{ \text{Metthetsfølelse, avstand til neste bikube} \}$.
Kontroll:	$K_{ole}(t) = \{ \text{Lete kontroll, metthetskontroll} \}$.

Ole Brum sin overordnede etikk $E_{ole}(t)$ er bestemt av om han har lyst på honning $F_{ole}(t)$ og om han har mer spisekapasitet $P_{ole}(t)$. Dette er igjen bestemt av om Ole er i stand til å identifisere og kontrollere metthetsfølelsen. Dersom honningkrukken er tom og han har lyst på honning, vandrer han videre på ny leting.

Tilfelle 2: Kristoffer Robin og honning industri

En dag får Kristoffer Robin den ideen om å lage en honningfabrikk. Han går da i banken og låner penger til å bygge opp en moderne honningfabrikk. Kristoffer har da regnet ut at dette er lønnsomt om han kan produsere X_0 antall honningbokser pr år og mener at det da er fortsatt honning igjen til Ole Brum. Han etablerer så et moderne bedriftssystem

$$S_{bed}(t) = \{ B_{bed}(t), \{ S_{adm}(t), S_{prod}(t), S_{salg}(t), \dots, S_v(t) \} \}$$

der $S_{adm}(t)$ er administrasjon med Kristoffer som daglig leder, $S_{prod}(t)$ er et moderne produksjonssystem, $S_{salg}(t)$ er et system for salg og eksport av honning og $S_v(t)$ er andre systemer. I dette tilfellet har 1000-meter skogen fått et nytt system element slik at.

$$S_{skog}(t) = \{ B_{skog}(t), \{ S_{ole}(t), S_{blom}(t), S_{hon}(t), S_{bed}(t), \dots, S_v(t) \} \}$$

der $S_{bed}(t)$ representerer bedriften som et nytt element i skogen. Kristoffer har nå fått en moderne utdanning der han har lært å tilpasse produktet til markedets behov. Dette kan formuleres som

$$S_{mark}(t) = \{ B_{mak}(t), \{ S_{kun}(t), S_{hon}(t), \dots, S_v(t) \} \}$$

der $S_{kun}(t)$ representerer kundene i markedet. Bedriften får system egenskapene

Ontologi:	$O_{bed}(t) = \{ \text{En organisasjon for å produsere honning} \}$.
Kunnskap:	$Q_{bed}(t) = \{ \text{Kunnskaper om effektiv honningproduksjon etter markedskrav} \}$.
Etikk:	$E_{bed}(t) = \{ \text{Mål om best inntjening} \}$.
Læring:	$L_{bed}(t) = \{ \text{Hvordan skape best kundetilfredshet} \}$.

Etableringen av bedriften har ført til at det er blitt nye bindinger mellom marked, bedrift, honning, bier og blomster. I tillegg har vi fått en ny binding mellom bedriftens lånekapital, bedrift, honning, bier og blomster. Dette fører til overproduksjon av honning, et økologiproblem i 1000-meter skogen og en konflikt med Ole Brum, som vil ha honningen for seg selv. I denne situasjonen må Kristoffer Robin foreta en læring $L_{bed}(t)$ eller han må justere bedriftens etikk $E_{bed}(t)$. Siden han er Ole Brum sin beste

venn, velger han å endre bedriftens etikk $E_{\text{bed}}(t)$ ved å redusere produksjonen til et bærekraftig nivå i 1000-meter skogen.

Tilfelle 3: Klimaendringer

Det viser seg over tid at Kristoffer Robin har ikke tenkt langt nok. 1000-meter skogen er en del av naturen som blir utsatt for klimaendringer på jorden. Disse klimaendringene har sammenheng med at jorden er en del av et enda større planetsystem. Klimaet endres så fordi planetenes baner er i endring. Vi får da systemet

$$S_{\text{jord}}(t) = \{B_{\text{jord}}(t), \{S_{\text{skog}}(t), S_{\text{klima}}(t), \dots, S_v(t)\}\}$$

der $S_{\text{klima}}(t)$ representerer dynamiske endringer i klima. Der er altså en binding mellom honningproduksjon, blomsterproduksjon og klimaendringer. Når klimaet systemet $S_{\text{klima}}(t)$ er i forandring, vil dette påvirke hele næringskjeden og produksjon av honning i 1000-meter skogen. Kristoffer Robin har da fått et nytt problem, og han begynner å forstå, at alt henger sammen med alt. Han må da gjøre et nytt etisk valg mellom markedet og naturen. Ole Brum og Kristoffer Robin kan ikke si ja-takk til begge deler. Av frykt for at Ole Brum en dag skal miste sin honning, velger da å la salget følge naturens bærekraft etter klimaendringene.

4.4 Teknologiske systemer

Teknologiske systemer er mekaniske, elektriske, eller kjemiske innretninger til produkter eller industriell produksjon. Spesifikasjon av teknologiske systemer må settes inn i en organisatorisk ramme som til sammen danner et metasystem.

Metasystem

Et teknologisk system kan beskrives innenfor et metasystem

$$S_{\text{mTek}}(t) = \{B_{\text{mTek}}(t), \{S_{\text{sos}}(t), S_{\text{tek}}(t), S_{\text{ind}}(t), S_{\text{mat}}(t), S_{\text{eng}}(t), S_{\text{øko}}(t)\}\} \in w$$

der $S_{\text{tek}}(t)$ representerer det teknologiske system. $S_{\text{sos}}(t)$ representerer et sosialt system som bruker av det teknologiske systemet. $S_{\text{ind}}(t)$ representerer det industrielle systemet som har produsert det av det teknologiske systemet. $S_{\text{mat}}(t)$ representerer systemet som framskaffer materialer til det teknologiske systemet. $S_{\text{eng}}(t)$ representerer energisystemet som produserer energi til det tekniske systemet. $S_{\text{øko}}(t)$ representerer økologisystemet som er knyttet til det tekniske systemet. $B_{\text{mTek}}(t)$ representerer relasjonene mellom alle elementene i metasystemet $S_{\text{mTek}}(t)$. I denne modellen er det teknologiske systemet $S_{\text{tek}}(t)$ et produkt av alle andre systemene i metasystemet, samtidig som det vil påvirke alle andre systemene i metasystemet $S_{\text{mTek}}(t)$.

System Arkitektur

Det teknologiske systemet $S_{\text{tek}}(t)$ er sammensatt av et sett med subsystemer

$$S_{\text{tek}}(t) = \{B_{\text{tek}}(t), \{S_{\text{tek1}}(t), S_{\text{tek2}}(t), \dots, S_{\text{tekn}}(t)\}\} \in w$$

der $B_{\text{tek}}(t)$ representerer bindingene mellom systemelementene. Hvert systemelement $S_{\text{tekn}}(t)$ har et sett med tilstander $X(t)$ og system arkitekturen $A(t)$ som beskriver formen på systemelementene.

System Dynamikk

Systemet dynamikk kan forstås ut fra termodynamikkens 1. og 2. lov. Termodynamikkens 1.lov betrakter flyten av energi i systemet og metasystemet. Der går en flyt av energi sirkulasjon fra f.eks naturen $S_{mat}(t)$, til energisystemet $S_{eng}(t)$, til det teknologiske systemet $S_{tek}(t)$, videre til bruker organisasjonen $S_{sos}(t)$ og videre til naturen $S_{mat}(t)$. I denne sirkulasjonen kan energien veksle mellom forskjellig energiformer der hvert systemelement har en energibalanse. Denne flyten av energi kan modelleres med differensiallikninger. Tilstanden i differensiallikningene vil da gi et uttrykk for systemet dynamikk.

Den 2. lov betrakter hvordan energiforbruket påvirker metasystemets struktur. Arbeide for å utvikle og anvende et teknologisk system reduserer energipotensialet i systemene $S_{mat}(t)$, $S_{øko}(t)$ og $S_{eng}(t)$ og øker systemenes entropi. Denne økningen i entropi er en form for uorden som er irreversibel.

System Etikk

Tekniske systemer er målorientert i samsvar med systemets formål innenfor metasystemet. Det tekniske systemet $S_{tek}(t)$ har et eget mål som skal oppfylles. Samtidig skal det ivareta et formål i forhold til et felles formål i metasystemet $S_{mTek}(t)$. Det vil si at er systemets etikk er ikke bare knyttet til eget system $S_{tek}(t)$, men også alle andre systemelementer i metasystemet.

System Læring

System læring er evne til å realisere systemets etikk. Tekniske systemer kan ha evne til å lære på flere nivå. De kan overvåke sin egen yteevne, at egne tilstander når egne mål og de kan optimalisere egne ressurser.

Eksempel 3 Oppvarming av hus

Vi tenker oss at det skal modelleres et teknologisk system for styring av temperaturen i et hus.

Metasystem

Det første trinn i modellering prosessen er å beskrive systemets metasystem. Dette kan f.eks være

$$S_{mTmp}(t) = \{B_{mTmp}(t), \{S_{sos}(t), S_{tek}(t), S_{økn}(t), S_{earth}(t), S_{eng}(t)\}\} \} \in w$$

der $S_{mTmp}(t)$ er meatsystemet og $S_{tek}(t)$ representerer det teknologisk system for temperatur regulering. I dette tilfellet er det teknologiske systemet knyttet til et sett av partnere der $S_{sos}(t)$ representerer et sosialt system som bruker av temperatur reguleringssystemet systemet. $S_{ind}(t)$ representerer det industrielle systemet som har produsert temperaturregulering systemet. $S_{earth}(t)$ representerer naturen som system. $S_{eng}(t)$ representerer energisystemet som produserer energi til det tekniske systemet for oppvarming. $S_{øko}(t)$ representerer det økonomiske systemet for finansiering av oppvarming. $B_{mTek}(t)$ representerer relasjonene mellom alle elementene i metasystemet $S_{mTek}(t)$. I denne modellen er det teknologigiske systemet $S_{tek}(t)$ et produkt av alle andre systemene i metasystemet, samtidig som det vil påvirke alle andre systemene i metasystemet $S_{mTek}(t)$.

System Arkitektur

Det teknologiske systemet for oppvarming $S_{tek}(t)$ er sammensatt av subsystemene

$$S_{tmp}(t) = \{B_{tmp}(t), \{S_{sen}(t), S_{reg}(t), S_{ener}(t)\}\} \} \in w$$

der $S_{\text{sen}}(t)$ representerer sensorsystemet, $S_{\text{reg}}(t)$ representerer regulatorsystemet og $S_{\text{ener}}(t)$ representerer systemet for energiomforming til varme. $B_{\text{tmp}}(t)$ representerer bindingene mellom systemelementene.

System Dynamikk

Etter termodynamikkens 1.lov kan en betrakte flyten av energi mellom elementene i metasystemet og mellom elementene i det tekniske systemet. I dette tilfellet går der en flyt av energi f.eks naturen $S_{\text{earth}}(t)$, til energisystemet $S_{\text{eng}}(t)$, til det teknologiske systemet $S_{\text{tmp}}(t)$, til hussystemet organisasjonen $S_{\text{hus}}(t)$ og videre tilbake til naturen $S_{\text{earth}}(t)$. I tillegg går der en energiflyt mellom systemelementene i det tekniske systemet $S_{\text{tek}}(t)$. Systemets dynamikk kan modelleres med differensiallikninger. Den 2. lov betrakter hvordan energiforbruket reduserer energipotensialet i natursystemet $S_{\text{earth}}(t)$.

System Etikk

Systemets etikk sier noen om systemets overordnede langsiktige mål. Dette vil kunne være mål på flere nivå. Noen eksempler på slike nivå er:

$$E_{\text{tmp}}(t) = \{E_{\text{til}}(t), E_{\text{økon}}(t), E_{\text{milj}}(t)\} \quad \text{Formel 42}$$

der $E_{\text{til}}(t)$ målet for ønsket tilstand for temperatur. $E_{\text{økon}}(t)$ representerer måler for ønsket økonomi og $E_{\text{milj}}(t)$ representerer målet for ønsket miljøpåvirkning. Samtidig har systemets etikk et formål og et potensial slik at $E_{\text{tmp}}(t) = \{F_{\text{tmp}}(t), P_{\text{tmp}}(t)\}$. Et samlet sett med spesifikasjoner kan f.eks formuleres som

$$\begin{aligned} F_{\text{til}}(t) &= \{\text{Holde temperature tilstan } x(t) \text{ mellom A til B}\}. \\ P_{\text{til}}(t) &= \{\text{Kapasitet på energiomformer}\}. \\ F_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Minimum kostnader}\}. \\ P_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Tider for bruk av huset}\}. \\ F_{\text{miljø}}(t) &= \{\text{Minimum miljøforstyrrelser}\}. \\ P_{\text{miljø}}(t) &= \{\text{Teknisk infrastruktur}\}. \end{aligned}$$

System Læring

System læring er evne til å realisere systemets etikk. Læring benytter prinsippet om avviksbehandling mellom mål og tilstand. I dette tilfellet har systemets etikk har flere motstridende mål. Det tekniske systemet må da foreta en vektning av målene og optimalisere et samlede avvik.

Eksempel 4 Modellering av en robot

En robot representerer i dag er forholdsvis komplisert teknologisk system. Dette komplekse tekniske systemet er utviket for at det skal la seg lett tilpasse til ulike omgivelser i et samlet metasystem.

Metasystem

Robotens metasystem setter begrensningen for hvordan en anvender robotens arkitektur, dynamikk, etikk og læring. En robot $S_{\text{rob}}(t)$ kan f.eks anvendes til sortering av deler en produksjonscelle. Dette kan formuleres med metasystemet

$$S_{mRob}(t) = \{B_{mRob}(t), \{S_{rob}(t), S_{cell}(t), S_{\emptyset kn}(t), S_{earth}(t), S_{eng}(t)\}\} \in w \quad \text{Formel 43}$$

der $S_{cell}(t)$ representerer produksjonscellen som skal ha sorterte deler.

System Arkitektur

En robot har en fysisk arkitektur med et sett av deler $A_{rob}(t)$ som er forbundet med bindingen $B_{rob}(t)$. Dette kan være

$$A_{rob}(t) = \{B_{rob}(t), \{A_{kropp}(t)_1, A_{arm}(t)_2, \dots, A_{syn}(t)_n\}\} \quad \text{Formel 44}$$

der f.eks $A_{arm}(t)$ kan være sammensatt av et sett med nye deler. Bindingen $B_{arm}(t)$ representerer hvordan robot elementene er sammensatt.

System Dynamikk

Hver del i arkitekturen har et sett med dynamiske tilstander $D(t)$ som posisjon, hastighet, akselerasjon, temperatur og liknende. Disse dynamiske tilstandene kan settes opp som en vektor.

$$D_{rob}(t) = \{B_{rob}(t), \{D_{kropp}(t)_1, D_{arm}(t)_2, \dots, D_{syn}(t)_n\}\} \quad \text{Formel 45}$$

der f.eks $D_{arm}(t) = \{B_{rob}(t), \{X_{pos}(t), X_{hast}(t), X_{aksel}(t)\}\}$ og tilstanden til robotens syn kan være $D_{syn}(t) = \{B_{rob}(t), \{X_{bildepunkt}(t), X_{farger}(t)\}\}$.

System Etikk

Systemets etikk er en spesifisering av robotens overordnede mål. Etikk $E_{rob}(t)$ som kan beskrives på flere nivå og i forhold til delsystemer. Et eksempel på flere nivåer er

$$E_{rob}(t) = \{E_{motiv}(t), E_{oppf\u00f8rsel}(t), E_{tilstand}(t)\} \quad \text{Formel 46}$$

der $E_{motiv}(t)$ representerer etikken i robotens motiv, $E_{oppf\u00f8rsel}(t)$ representerer etikken i robotens oppf\u00f8rsel og $E_{tilstand}(t)$ representerer etikken i robotens tilstand. Samtidig har systemets etikk et form\u00e5l og et potensial slik at $E_{rob}(t) = \{F_{rob}(t), P_{rob}(t)\}$. Et samlet sett med spesifikasjoner kan f.eks formuleres som

$$\begin{aligned} F_{motiv}(t) &= \{\text{Sortere gjenstander type } x_i \text{ fra A til B}\}. \\ P_{motiv}(t) &= \{\text{Identifisere gjenstanden } x_i \text{ av mangden X}\}. \\ F_{oppf\u00f8rsel}(t) &= \{\text{Flytte gjenstander av type } x_i \text{ fra A til B}\}. \\ P_{oppf\u00f8rsel}(t) &= \{N \text{ mulige forl\u00f8p for \u00e5 flytte } x_i \text{ fra A til B}\}. \\ F_{tilstand}(t) &= \{\text{Flytte gjenstand med hastighet V}\}. \\ P_{tilstand}(t) &= \{N \text{ mulige hastigheter}\}. \end{aligned}$$

Robotens m\u00e5l kan formuleres ut fra robotens delsystemer. En kan f.eks sette:

$$E_{\text{rob}}(t) = \{E_{\text{tale}}(t), E_{\text{syn}}(t), E_{\text{energi}}(t), E_{\text{øko}}(t)\} \quad \text{Formel 47}$$

der $E_{\text{tale}}(t)$ robotens etikk om tale, $E_{\text{syn}}(t)$ representere kunstig syn, $E_{\text{energi}}(t)$ om robotens eget energiforbruk og $E_{\text{øko}}(t)$ om robotens egen økonomi. Delsystemets etikk kan igjen spesifiseres som formål og potensial. Dette kan f.eks være:

$$\begin{aligned} F_{\text{syn}}(t) &= \{\text{Hva roboten skal kunne se etter}\}. \\ P_{\text{syn}}(t) &= \{\text{Begrensingen i robotens syn}\}. \\ F_{\text{tale}}(t) &= \{\text{Hva roboten skal kunne si}\}. \\ P_{\text{tale}}(t) &= \{\text{Begrensingen i robotens ordforråd}\}. \\ F_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Mål for økonomisk drift}\}. \\ P_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Begrensingen i robotens økonomiske drift}\}. \end{aligned}$$

Vi ser her at hver systemdel som krever en kunnskap, har en etikk med et eget formål med egne begrensninger.

System Læring.

Læring er noe som er nødvendig for å realisere mål på flere nivå. Noen eksempler på læringsnivå er:

$$L_{\text{rob}}(t) = \{L_{\text{motiv}}(t), L_{\text{oppførsel}}(t), L_{\text{tilstand}}(t)\} \quad \text{Formel 48}$$

der $L_{\text{rob}}(t)$ representerer sett av læringsnivå, $L_{\text{oppførsel}}(t)$ er læring av oppførsel og $L_{\text{tilstand}}(t)$ representerer læring om tilstander. System læring har et identifikasjonsperspektiv og et kontrollperspektiv som kan formuleres $L_{\text{rob}}(t) = \{I_{\text{rob}}(t), K_{\text{rob}}(t)\}$. Vi kan f.eks sette et samlet sett med spesifikasjoner.

$$\begin{aligned} I_{\text{motiv}}(t) &= \{\text{Identifisere et element av typen } x_i \text{ i mengden } X\}. \\ K_{\text{motiv}}(t) &= \{\text{Skille } x_i \text{ fra mangden } X\}. \\ I_{\text{oppførsel}}(t) &= \{\text{Registrere forløp av bevegelse}\}. \\ K_{\text{oppførsel}}(t) &= \{\text{Optimalisere bevegelsens forløp}\}. \\ I_{\text{tilstand}}(t) &= \{\text{Registrere gripe nøyaktighet}\}. \\ K_{\text{tilstand}}(t) &= \{\text{Optimalisere gripenøyaktighet}\}. \end{aligned}$$

Robotens evne til læring kan også fordeles på robotens delsystemer.

$$L_{\text{rob}}(t) = \{L_{\text{bev}}(t), L_{\text{tale}}(t), L_{\text{syn}}(t), L_{\text{tale}}(t), L_{\text{energi}}(t), L_{\text{økonomi}}(t)\} \quad \text{Formel 49}$$

der $L_{\text{bev}}(t)$ representerer læring av bevegelse, $L_{\text{tale}}(t)$ læring av robotens tale, $L_{\text{syn}}(t)$ læring av kunstig syn, $L_{\text{obj}}(t)$ læring av hvordan elementer som skal kunne identifiseres, $L_{\text{energi}}(t)$ kontroll av eget energiforbruk og $L_{\text{øko}}(t)$ kontroll av egen økonomi. Delsystem spesifiseres via identifikasjon og kontroll. Vi kan f.eks sette:

$$\begin{aligned} I_{\text{syn}}(t) &= \{\text{Måling av form og farge for et element } x_n\}. \\ K_{\text{syn}}(t) &= \{\text{Kontroll av registrert } x_n \text{ mot referanseliste } X\}. \\ I_{\text{tale}}(t) &= \{\text{Tilførsel av informasjon som skal ut som tale}\}. \\ K_{\text{tale}}(t) &= \{\text{Kontroll av at talen blir utført}\}. \\ I_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Tilførsel av informasjon om egne kostnader}\}. \\ K_{\text{økon}}(t) &= \{\text{Optimalisering av eget kostnadsforbruk}\}. \end{aligned}$$

Vi ser igjen her at hver systemdel som krever en identifikasjon av en tilført informasjon og en kontroll av at responsen blir utført i samsvar med systemets etikk. Læring er en prosess som er beheftet med usikkerhet. Læring av eget syn $L_{\text{syn}}(t) = \{I_{\text{syn}}(t), K_{\text{syn}}(t)\}$ inneholder egenskapene identifikasjon og kontroll. Dette er egenskaper som er knyttet til evne til å endre en klassifikasjon av omgivelsene. Begrepet identifikasjon $I_{\text{syn}}(t)$ er gjerne rettet mot et eksternt element. En slik identifikasjon har en usikkerhet i måling. Den har da en utvidet egenskap.

$$I_{\text{ind}}(t) = X_{\text{ind}}(t) + V_{\text{ind}}(t)$$

Der $X_{\text{ind}}(t)$ representerer identifikasjonen av en tilstand eller et element og $V_{\text{ind}}(t)$ representerer en usikkerhet. Roboten må da gjøre estimat av tilstanden $X_{\text{ind}}(t)$. Dersom det er et feil estimat kreves det en læringsprosess $L_{\text{syn}}(t)$ via en kontroll $K_{\text{syn}}(t)$. En slik kontroll krever at roboten i sin egen hukommelse har en referanse $X_{\text{syn}}(t)_{\text{ref}}$ til det elementet som skal identifiseres.

5 Øving

Oppgave 1: Fagets historikk

1. Hva er forskjellen på Aristoteles teleologi og Descartes funksjonalisme?
2. Hva var Whiteheads filosofi?
3. Hvem lanserte begrepet systemteori?
4. Hvorfor ble systemteori utviklet som modelleringsmetode?
5. Nevn noen store fagområder som er basert på systemteori
6. Hvorfor kan systemteori benyttes til utvikling av kybernetiske systemer?

Oppgave 2: Begreper

Ta utgangspunkt i den informasjon du finner i litteraturlisten og besvar følgende spørsmål:

1. Hva er definisjonen på et system?
2. Hva er karakteristiske trekk ved system filosofi?
3. Hvordan kan systemer representeres i modellering?
4. Hva menes med styrbarhet?
5. Hva menes med observerbarhet?
6. Hva menes med likevekt?
7. Hva menes med agenter?
8. Hva er definisjonen på system ontologi
9. Hva er definisjonen på system dynamikk?
10. Hva er definisjonen på system etikk?
11. Hva er definisjonen på system læring?
12. Hva menes med begrepet binding?
13. Hva er forskjellen på Generell systemteori og Kybernetikk?
14. Hva sier termodynamikkens 1. lov?
15. Hva sier termodynamikkens 2. lov?

Rapportering: Vær presis og bruk formuleringene på definisjoner.

Oppgave 3: Modellering av nettbank

Det skal utvikles en systemmodell for en nettbank. I denne modellen skal vi studere flyten av materialer, energi, informasjon og verdier.

Systemets metamodell setter nettbanken i en større sammenheng.

- a) Metamodell: Sett opp en typiske metamodell for nettbanken som bobler og piler. Husk navn på alle bobler og piler. Noter formålet med systemelementene og type binding på pilene. Sett opp en sett-basert modell for metasystemet.
- b) Arkitektur: Sett opp en modell av systemets arkitektur som en grafisk modell med bobler og piler. Noter formålet med systemelementene og type binding på pilene. Sett deretter opp en sett-basert modell for systemet.
- c) Dynamikk: Ta utgangspunkt i termodynamikkens 1. lov og sett opp tilstandsmodeller for materialflyt, energiflyt og verdiflyt.
- d) Kunnskaper: Hvilke type kunnskaper må en ha for å drive minibanken?
- e) Etikk: Sett opp et forslag til systemets etikk.
- f) Læring: Sett opp noen regler for læring i forhold til materialflyt, energiflyt og verdiflyt.

Oppgave 4: Modelling av skipsverft

Det skal utvikles et industrielt system. I dette tilfelle en bedrift for bygging av skip. I denne modellen skal studere vi flyten av materialer, energi, informasjon og verdier.

Systemets metamodell setter bedriften i en større sammenheng.

1. Metamodell: Sett opp en typiske metamodell for bedriften som bobler og piler. Husk navn på alle bobler og piler. Noter formålet med systemelementene og type binding på pilene. Sett opp en sett-basert modell for metasystemet.
2. Arkitektur: Sett opp en modell av bedriftens systemarkitektur som en grafisk modell med bobler og piler. Sett deretter opp en sett-basert modell for systemet.
3. Dynamikk: Ta utgangspunkt i termodynamikkens 1. lov og sett opp tilstandsmodeller for materialflyt, energiflyt og verdiflyt.
4. Kunnskaper: Hvilke type kunnskaper må en ha for å drive bedriften?
5. Etikk: Sett opp et forslag til bedriftens etikk.
6. Læring: Sett opp noen regler for læring i forhold til materialflyt, energiflyt og verdiflyt.

Oppgave 5: Modelling av fiskeoppdrett

Det skal utvikles et industrielt system. I dette tilfelle et system for oppdrett av fisk. I denne modellen skal vi studere flyten av materialer, energi, informasjon og verdier.

Systemets metamodell setter bedriften i en større sammenheng.

1. Metamodell: Sett opp en typiske metamodell for bedriften som bobler og piler. Husk navn på alle bobler og piler. Noter formålet med systemelementene og type binding på pilene. Sett opp en sett-basert modell for metasystemet.
2. Arkitektur: Sett opp en modell av bedriftens systemarkitektur som en grafisk modell med bobler og piler. Sett deretter opp en sett-basert modell for systemet.
3. Dynamikk: Ta utgangspunkt i termodynamikkens 1. lov og sett opp tilstandsmodeller for materialflyt, energiflyt og verdiflyt.
4. Kunnskaper: Hvilke type kunnskaper må en ha for å drive bedriften?
5. Etikk: Sett opp et forslag til bedriftens etikk.
6. Læring: Sett opp noen regler for læring i forhold til materialflyt, energiflyt og verdiflyt.

Oppgave 6: Modelling av rederi

Det skal utvikles en bedriftsmodell. I dette tilfelle et rederisystem innenfor den industrielle klynge på Nordvestlandet. I denne modellen skal vi studere flyten av materialer, energi, informasjon og verdier.

Systemets metamodell setter bedriften i en større sammenheng.

1. Metamodell: Sett opp en typiske metamodell for bedriften som bobler og piler. Husk navn på alle bobler og bilder. Noter formålet med systemelementene og type binding på pilene. Sett opp en sett-basert modell for metasystemet.
2. Arkitektur: Sett opp en modell av bedriftens systemarkitektur som en grafisk modell med bobler og piler. Sett deretter opp en sett-basert modell for systemet.
3. Dynamikk: Ta utgangspunkt i termodynamikkens 1. lov og sett opp tilstandsmodeller for materialflyt, energiflyt og verdiflyt.
4. Kunnskaper: Hvilke type kunnskaper må en ha for å drive bedriften?
5. Etikk: Sett opp et forslag til bedriftens etikk.
6. Læring: Sett opp noen regler for læring i forhold til materialflyt, energiflyt og verdiflyt.

Litteratur

Albert-Laszlo Barabasi: *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means*. Paperback: 304 pages. Publisher: Plume; Reissue edition (April 29, 2003). Language: English. ISBN: 0452284392

Forrester Jay W: *Industrial Dynamics*. Productivity System dynamics series. 1967

Fritjof Capra: *The Web of Life : A New Scientific Understanding of Living Systems*. Paperback: 368 pages. Publisher: Anchor (September 15, 1997). Language: English. ISBN: 0385476760.

Fritjof Capra: *The Hidden Connections: Integrating The Biological, Cognitive, And Social Dimensions Of Life Into A Science Of Sustainability* (Hardcover). by " Hardcover: 320 pages Publisher: Doubleday (August 20, 2002). Language: English. ISBN: 0385494718

Gerald M. Weinberg: *An Introduction to General Systems Thinking* (Wiley Series on Systems Engineering & Analysis). Hardcover: 302 pages Publisher: John Wiley & Sons Inc (January, 1975) Language: English ISBN: 0471925632

Georgescu-Roegen, Nicholas: *The Entropy Law and the Economic Process*

Heylighen F. (1986): "Towards a General Framework for Modelling Representation Changes", in: Proc. 11th Int. Congress on Cybernetics.

Heylighen F. (1991): "An Evolutionary System about Evolutionary Systems: Introducing the Principia Cybernetica Project", in: Workbook of the 1st Principia Cybernetica Workshop

Jamshid Gharajedaghi: *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity : A Platform for Designing Business Architecture*. Paperback: 240 pages Publisher: Butterworth-Heinemann (May 10, 1999), Language: English. ISBN: 0750671637

Joseph O'Connor, Ian McDermott: *The Art of Systems Thinking: Essential Skills for Creativity and Problem Solving*. Paperback: 288 pages. Publisher: Thorsons Publishers (April, 1997). Language: English. ISBN: 0722534426

Lars Skyttner: *General Systems Theory*. Paperback: 459 pages Publisher: World Scientific Publishing Company (November 15, 2001) Language: English. ISBN: 9810241763

Lunze Jan: *Feedback Control of Large-Scale Systems*. Prentice Hall 1992.

Peter Checkland: *Systems Thinking, Systems Practice: Includes a 30-Year Retrospective*. Paperback: 418 pages. Publisher: John Wiley & Sons (September 16, 1999) Language: English ISBN: 0471986054

Randers Jørgen m.fl.: Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press. MIT. 1980

Senge Peter M: The Fift Discipline. Productivity Press. 1990

Stephen G. Haines: The Manager's Pocket Guide to Systems Thinking and Learning. Paperback: 23 pages Publisher: HRD Press; Pocket edition (February, 1999) Language: English ISBN: 0874254531

Sterman D: Modelling for Learning organisations. Productivity press. 1994

Von Bertalanffy Ludvig: General systems theory. General Systems, Vol. 1, 1956

Virginia Anderson, Lauren Johnson: Systems Thinking Basics: From Concepts to Causal Loops. Paperback: 132 pages. Publisher: Pegasus Communications; Bk&CD-Rom edition (March 1, 1997). Language: English. ISBN: 1883823129

Wiener N: Cybernetic. 1964. MIT Press.

Yndestad Harald: Generell Systemteori. HiÅ. 1995

Zeeman, E C: Catastrophe Theory. Selected Papers 1972-77. Addison-Wesley. 1977