

2313 Klimat I: Introduktion och grund. fysik

Varmare sommar 2019 än 2018? Nej 2018 varmaste -
Enskilda händelser beskriver ej klimat

Vad är normalt? Globala klimatförändringar

Naturvärdsverket

Klimat - genomsnittliga väderförhållandena under en långperiod.

Långsiktig trend 1880-2018 över hela jorden - varmare norrut
Havet värms upp 1951 också förda är.

Värmemängd (Watt) $V - C \Delta T$	
fossil	havet
$1.5 \cdot 10^{22} \text{ J}$	$30 \cdot 10^{22} \text{ J}$

Intressant att jämföra med fossil energi
Förklaring: uppvärmning pga den mänskliga växthuseffekten

Havsnivåhöjning -25 cm

- Termisk expansion (störst faktor)
- Glaciärer smälter
- Användning av grundvattnen (minst faktor)

Växthusgas

- CO_2 koldioxid - fossila bränslen, avskogning, träregodset
- N_2O kväveoxid (väldigt lite) - boskarp, naturgas, risproduktion, avfall
- CH_4 metan (väldigt lite - men stor effekt)
- syntetiska (ozonförstörare), freoner, köldmedium.

CFC fasas ut till HFC-134a - ej ozon men växthus effekt

Montrealprotokollet

År 0 \Rightarrow 2005

exponentiell ökning
hur fås data?

Liten precision men kan ändå se tendenser
Borra ner i iskärnor - analysera sammansättning, djupt - är islider

Jordens rotation runt solen - mörk mark absorberar mer värme - islösningar, kedjeeffekter, mycket snabbare ökning - ej naturligt

Metan stark gas men försvinner snabbare respektive koldioxid
Koldioxidkvarnarter! Sektorer, mycket energi - jordbruk, avfall

Miljökurs

Ketjjeffekt - inget aktivt görs. Scenarier för världens utveckling.
 Klimatmodeller - Frukansvärden konsekvensen stora osäkerheter i prediktionerna
 Klimatkänsligheten. - Kan påverka mycket fram och tillbaka

havsnivåhöjning - 1-4 meter

Även om vi dvar ner, så kommer den bara fortsätta öka, tröghet. - ingen platta

Värmemängd, Antarktis, Grönland, Glaciärer osv. ...

Politiska mål

- United Nations Framework Convention on Climate Change

1992 - första diskussionen

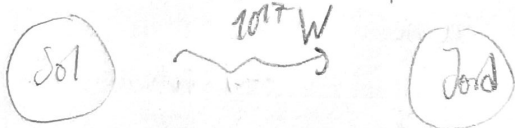
2015 - Parisavtalet, 1.5°C begränsa - svårt mål att nå

2045 - Sverige netto-noll utsläpp på nationell nivå

Negativa utsläpp krävs. 66% chans att klara t.o.m. för 2°C.

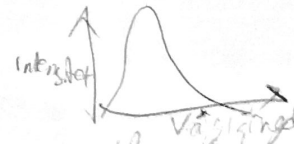
Klimatfysik: Den naturliga växthuseffekten

Joseph Fourier - jordens temperatur?



Växthus av gas - sollyjus men ej för värmeutstrålning

Naturlig växthusstrålning bra att det finns.



Över 0K - strålning, svartkropp (planeter) energi i olika våglängder

Stefan-Boltzmanns lag

$$I = \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Wiens förskjutningslag

$$\lambda_{\text{max}} = \text{konstant} / T$$

Solens ytemperatur 6000 K

Jorden strålar IR

strålningssiden sidet vid synligt ljus? ~ 300 K - överlappar knappt

Värthuseffekten

Utsänder och absorberar
bara vissa våglängder
Emissionslinjer i spektrum

$$E_{\text{emission}}(\lambda) = A_{\text{absorption}}(\lambda)$$

$$E(\lambda) = \text{abs. faktor}(\lambda), \quad \epsilon \in (0, 1)$$

$$I = \epsilon \sigma T^4$$

Vibration & rotation centralt

Svart/grå kropp, selektiv strålar

Gaserna i atmosfären infångar strålning

- Vattenånga - den viktigaste faktorn
 - CO₂
 - O₃ (ozon)
 - CH₄
 - N₂O
- O₂, N₂ interagerar ej med IR-strålning

Blå atmosfär!

- Ozonen skyddar mot W-strålningen mot cancer.

Thermal IR den viktigaste biten - olika punkter våglängder

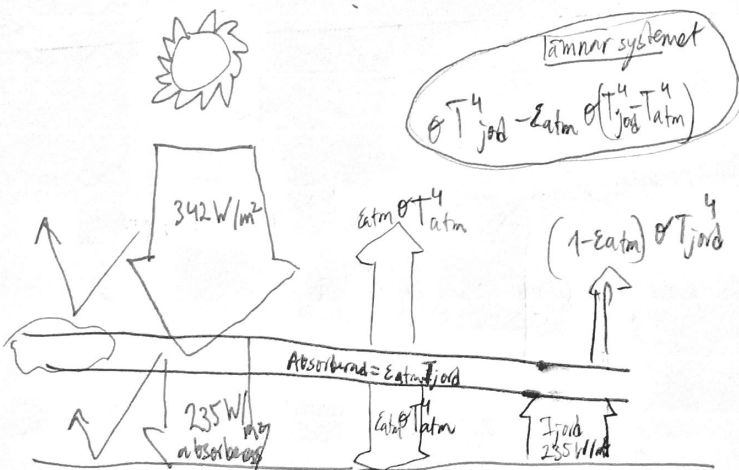
$T = -18^\circ\text{C}$ utan atmosfär $T = +15^\circ\text{C}$ med atmosfär
naturlig effekt avgörande för liv på jorden

Filmer på Canvas som bakgrund!

460°C Venus stark växthuseffekt

Problem är den förstärkande effekten!

Albedo - reflektans



Antag jämn atmosfär med T_{atm}
Inga korta våglängder emitteras
Långa våglängder = ε_{atm}

Atmosfärens temperaturprofil avgörande
90% av massan i troposfären

med ökad värmeinstrålning ⇒ Strålning minskar
Mer absorberas - ε_{atm} ökar T_{jord} ökar för jämvikt
Atmosfär kallare än markytan

Termosfär } förändring
Mesosfär } koeffas
Stratosfär } resen
Troposfär } sjunker med höjden centralt
när endast denna relevant

ΔT > 0 för växthuseffekt, det gäller!

Kolcykeln - Klimat föreläsning

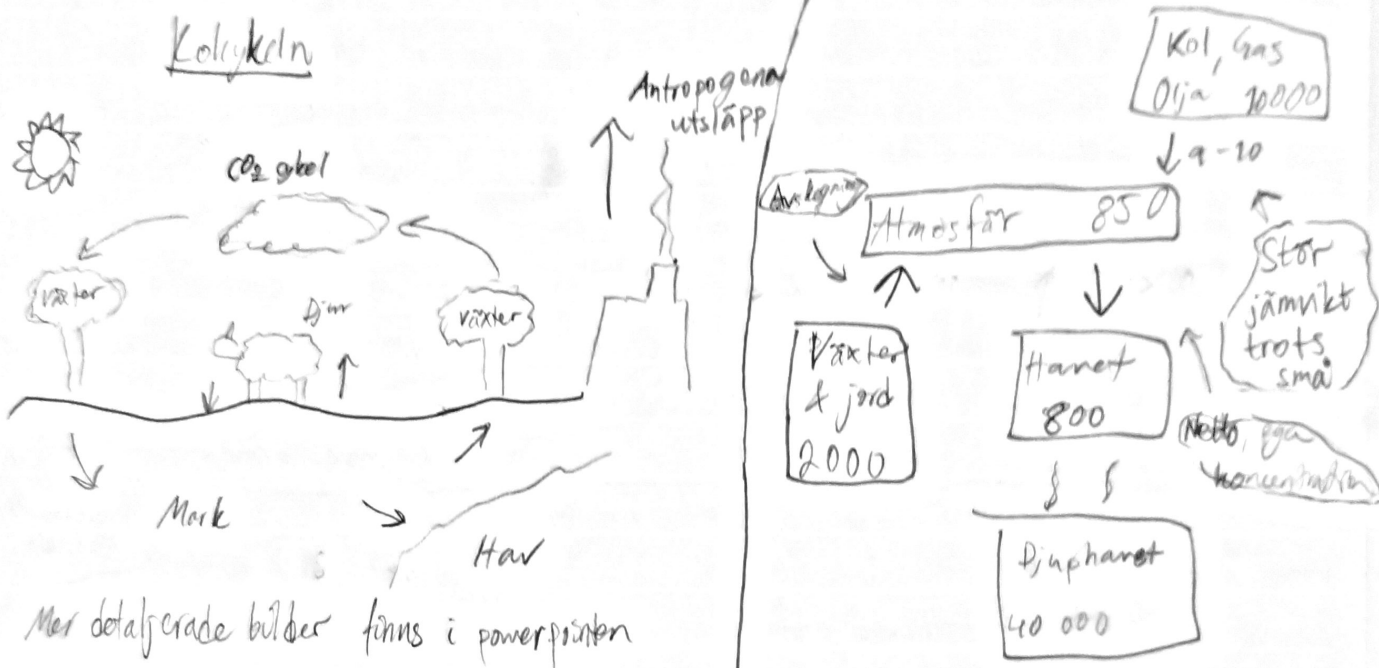
Kolcykeln

- Den naturliga + mänsklig påverkan

Klimat fysik

- Radiative forcing

40 Gt CO₂/år idag, innan 2 Gt CO₂/år, vikt av kol istället 12n, 44n, 6tC/år } => Omvandling faktor



Ätsfar

Fotosyntesen: $6CO_2 + 6H_2O + \text{energi} \rightarrow 6O_2 + C_6H_{12}O_6$; förbränning omvänt

Nettoprimärproduktionen (NPP) 60 GtC/år (Brutto - respiration)

Störst i regnskogsområden. Ökad koldioxidhalt => CO₂ fertilisering, global basis
 De använder vatten effektivare, läcker ut vatten - förlorar mindre vatten.
 Ofta antas ett logaritmiskt flöde

Exercising 2

Kolcykeln

Mark reservoarer och flödeskolor

Vad för fluktuerar CO₂ koncentration över året?

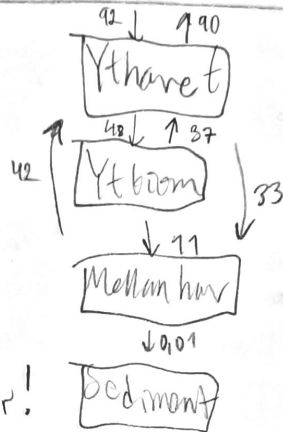
Kolt respiration	10 år
Jord	100 år
Humus	1000 år

NPP respektive nedbrytning - Årstider

Vi bortser från årtidsvariationer, inte heller markvariationer eller biokemiska processer. Euler framåt har använts!

Havens roll

Land - organiskt kol, biologi
Hav - inorganiskt kol, kemi



Nettoppdrag i havet - så småningom sluta men nu pga koncentration jämnat

Henry's lag

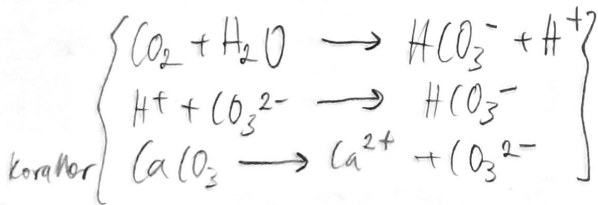
Jimvekslation Kolsyrade drycker pyser!

Kolflödet från luft ⇒ vatten är α mot skillnaden i partialtryck av koldioxid.

Nettoppdrag

- HCO₃⁻ - bicarbonat, 87,7%
- CO₃²⁻ - karbonat, 11,8%
- CO₂ - koldioxid 0,46%

Summan av dissolved inorganic carbon (DIC). Koncentration pga partialtryck



CO₃²⁻ begränsad i mängd. Ökad CO₂ koncentration ⇒ ökad H⁺ samt HCO₃⁻

$\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$

pH sjunker eftersom fria vätejoner ökar ⇒ leder till problem med koraller, försurar organismer

Impuls & respons

Klimatfysik

Fällning - slutligt stabil koncentration, stegsvar

Klimatförändringarna är irreversibla

Sammanfattning

Kolatomer flödar mellan reservoarer

Biosfär: MPP & fotosyntes, biologisk nedbrytning

Havet: Henrys lag, blandning i havet

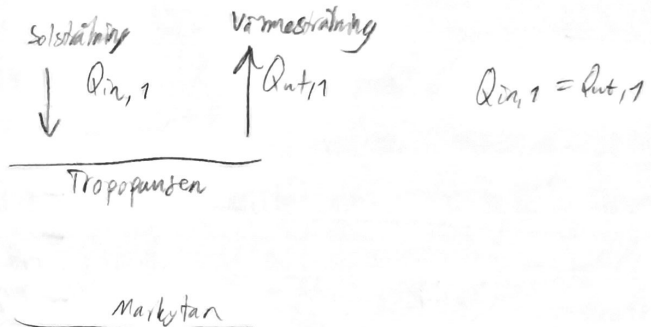
- Jämviktsnivå av CO₂ ökar => försurning: hav
- Biosfär blir sämre på att ta upp CO₂ -ej lösligt, logantiskt

Klimatfysik

Atmosfär - selektivt gila kropp olika uppvärmande effekt

Radiative forcing (strålningsdanning)

1. Förindustriell jämvikt - referensnivå



2. Momentan sänkning av Q_{out} pga ökad mängd växthusgaser

$$RF = Q_{in} - Q_{out} = 1 \text{ W/m}^2$$

3. Sedan => Ny jämvikt $Q_{out} = Q_{in} \Rightarrow T + \Delta T$, höjd temperatur

RF = obalans i strålning

Strålningsbalansmodeller - över 2 W/m² totalt när alla gaser läggs ihop

Förändrad solstrålning bara lite skillnad. Lång atmosfärisk livslängd
Kylande aerosoler kort livslängd.

Lab 2: $RF_{CO_2} = 5.35 \ln\left(\frac{C}{C_0}\right)$

Klimatkänsligheten, energibalans och icke CO₂ växthusgaser

Sol \Rightarrow Jord $340 \text{ W/m}^2 \Rightarrow$ reflekteras 30% $\Rightarrow 240 \text{ W/m}^2$ når markytan

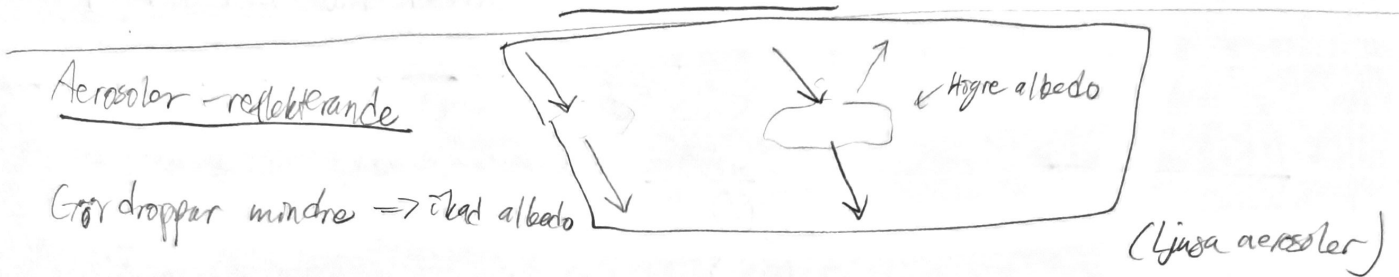
Värmande effekt (radiativ forcing): 2 W/m^2
 Andra växthusgaser: 1 W/m^2 Aerosoler: -1 W/m^2

Solskärning 0.1 W/m^2 starkare sedan 1750

Marken kan avge värme latent (värmekapacitet, vattenånga, kondenseras)
 - thermal (konvektion, vind, varm luft stiger)

Fån rymd:

$240 \text{ W/m}^2 \Rightarrow$ Stefan Boltzmann 255 K (kallt)
 från mark $318.2 \text{ W/m}^2 \Rightarrow T_{\text{markyta}} = 298 \text{ K}$ (15°C)



Maskerar den antropogena växthuseffekten Påverkar även molnbildning

Bildas från SO₂, NO_x förbränning av fossila bränslen, kort livslängd
 \Rightarrow Spik efter utsläpp slutar då de slutar hyla

Mörka aerosoler (sot) värmer istället upp! - påverkar hur mycket sol som kan tas upp.

Vulkaner

Ljusa aerosoler - längre livslängd (hög i atmosfären - stratosfären)

Ej hållbar lösning med konstant vulkanutbrott

Klimatfysik

Radiative forcing intressant pga temperaturförändran

Osvårigheter i klimatförändran och temperaturförändring => klimatkänsligheten

$$\lambda = \frac{\Delta T}{RF}$$

(Klimatkänslighetsparametern)

$$\lambda_0 = \frac{\Delta T}{\Delta Q} = \frac{1}{4\sigma T^3} \approx \frac{1}{3,75} \text{ K/Wm}^2$$

(grundläggande antaganden)

Stefan Boltzmanns lag

Vilka ytterligare processer kan avgöra temperaturförändringen?
av ökad koncentration växthusgas (viss RF)

Aterkopplingar

Stefan Boltzmann respons

Långsamma (ej inkluderat)

- Vegetation
- Biogeochemiska cykler
- Permafrost (frigör metan)
- Glaciärer och isstücken

Snabbt (Klimatkänslighet)

- (+) Vattenånga
- (+/-) Moln
- (+) Snö och havsis
- (-) Atmosfärens skikt

Förstärka eller försvaga initialresponsen

Albedo (is & snö)

Snö/is reflekterar, mark/hav mörkare => mer absorberas

Vattenånga (Clausius-Clapeyron)

Värme => Högre specifik fuktighet => växthusgas => absorption av värme

Förstärkande effekt!

Klimatkänslighet

Moln
 Moln på olika nivåer {moln sätter kvar värme (IR-strålning) över vatten)
 {moln reflekterar också solstrålning - kallare än klar dag)
 Sådå effekter finns {Höga moln värmer
 {Låga moln kylor

Störst osäkerhet!

Mängden kommer ändras → helhet: positiv återkoppling

Stark eller svag återkoppling påverkar ⇒ svårt att veta

Värmeväxlingskonstanten	radiativ forcing	parameter klimatkänslighet	klimatkänslighet
ΔC_{GHG}	$\Rightarrow \Delta R_{tropopause}$	$\cdot \lambda$	$= \Delta T_s$

Svårt att veta	1979	$30^\circ \pm 1.5^\circ C$
Viktigt att förstå	2017	$30^\circ \pm 1.5^\circ C$

Repetition

- Naturlig växthuseffekt, antropogen ny effekt
 - Världens fysik
 - RE - effekt till preindustriell tid
 - Obalans upprättas av GHG ⇒ Balans höjd temperatur
 - Osäkerheten är stor, mest positiva återkopplingar
- $\lambda \in [0.4, 1.2]^\circ C/W/m^2$

Klimatförändringars tidskänslighet

Var tar absorberad energi vägen?
Vatten har väldigt hög värmekapacitet

Yttre, djuphav, is, land, atmosfär
Jordens energi ansamling

Klimatförändringarnas tröghet

Atmosfär låg massa & värmekapacitet därför lätt att värma

Energi ackumulering: $270 \cdot 10^{21} \text{ J} / 40 \text{ år} \Rightarrow 214 \text{ TW} \Rightarrow 0,42 \text{ W/m}^2$

$$RF = \frac{\Delta T}{\lambda} + \theta \quad \text{havens värmeupptag}$$

Energi balans ska rädda!

$$\Delta E_{in} = \Delta E_{ut} + \Delta E_{upptag}$$

Global energibalans, skad RF \Rightarrow utgående strålning + havens värmeupptag

Energi balans vid havets yta

$$C_1 \frac{\partial \Delta T_1}{\partial t} = RF - \frac{\Delta T_1}{\lambda} - K(\Delta T_1 - \Delta T_2)$$

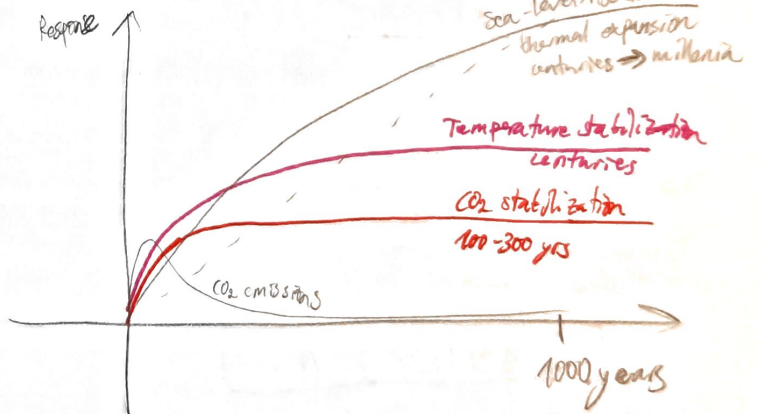
mer i tabben

Upptag av energi i djuphavet

$$C_2 \frac{\partial \Delta T_2}{\partial t} = K(\Delta T_1 - \Delta T_2)$$

Stark klimat tröghet

Allvarligt påverkar i flera tusentals år!



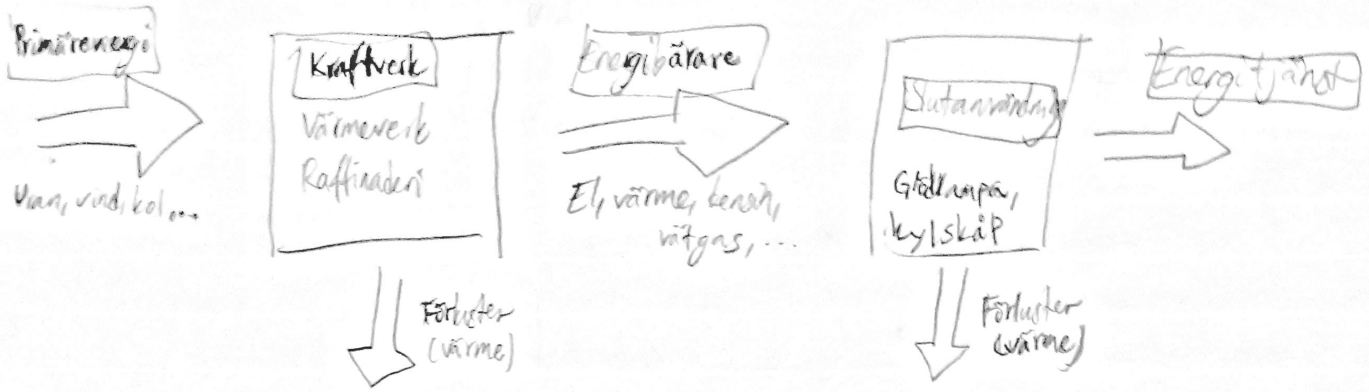
Tidsdynamik

Impulsrespons \uparrow _____
 Stegrespons \uparrow _____

Metan försvinner från atmosfär om 10 år
 CO₂ och koldioxid mycket längre livslängd
 Aerosoler bara några veckor (från vulkaner)

Stegrespons - metan når snart en lag jämvikt }
 koldioxid bara ökar, blir ingen sådan jämvikt eftersom hav & biosfär ökar
 koldioxid bara ökar, blir ingen sådan jämvikt eftersom hav & biosfär ökar

Energisystem



Effektivitet i två stegen

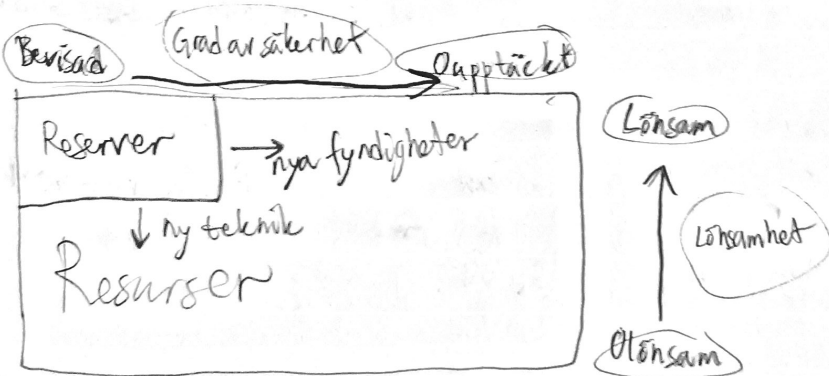
Stenkol \Rightarrow el väldigt dålig effektivitet, glödlampa med dålig verkningsgrad \Rightarrow 1% effektivitet

LED, solenergi \Rightarrow mindre förluster. Förnybar energi ointressant med effektivitet för tar ej skat!

Reserver & resurser

Resurs - all olja som finns på jordklotet, känner till och ej

Reserv - den delmängd som är ekonomiskt gynnsamt att utnyttja med dagens teknik



Reserv ej konstant övertid

Oförbrist löser inte klimatproblemet!

Överblick energisystem: Fossila bränslen & kärnkraft

- Sveriges användning - konstant energianvändning
- Fossila bränslen
- Kärnkraft

Sveriges fossila bränslen - främst transportsektorn

Bestäder - el & bränsle
Industri - mest bränsle

Transport - bränsle, el-tåg

Vilka elanvändning: kWh/år

Belysning	Tvätt & tork	Disk	Matlagning	Kyl och frys	Apparater
1000	7000	350	800	1000	850

Framtida användning av el & bränsle? Faktorer som påverkar?

- Ej resurstillgång högst påverkan

- Ofta hittas substitut
- Energifjänster - minska förluster, effektiviserat - befolkningstillväxt
- Ekonomisk tillväxt driver energianvändning
- Varor och produkter - flygresor, import

- Elektrifiera mer i framtiden

Fossila bränslen

- Särsknad i "smutsighet"
 - Kol - järn och stål industrierna
- kolkraftverk
 - Olja - olje värme
- transport
 - Naturgas - hushåll (gasspis)
- Met mer transportpunktslet

Utvinning av olja

- Speciella geologiska omständigheter
- Primärutvinning (naturligt tryck)
10-30%
- Sekundärutvinning - injektion ^{gas} i vatten
10-20%
- Tertiär utvinning - polymer, ämne ^{CO2}
10-20%

Totalt: Max 60-70%

Kanske tekniskt recykling?

Fossila bränslen

Okonventionell olja & gas

- Skifferolja (lätt-tät skiffer)
- Oljesand (tung olja i porös sand)
- Oljeskiffer (tung olja i tät skiffer)

Nästa möjlighet!

Smutsigare och mer energikrävande

Oljepriset

1973 - Ojkris - Israel anfalls, Saudi drog ner produktionen

1979 - Ojkris - revolution i Iran

2000-talet - raffineringsskapet låg, oljepris högst

Ingen fri marknad - OPEC

Vad händer när oljepriset är högt?

- Efterfrågan ↓, fördyrt
- Teknik ↑, mer långsamt att investera i dyr teknik
- Reserven uttöms till okonventionell olja
- Mer tillgänglig olja ⇒ oljepris sjunker
- Efterfrågan ↑, Teknik ↓

Peak oil

- Maximal olje utvinning - produktion går ner
- Kommer kanske aldrig nås

Naturgas

Instabilt pris mellan kontinenter
Svår transport - ej import/export

Europa beroende av rysk naturgas

Carbon capture

1 Norge - liten skala

Transporter

- Skande diesel (renare nu)
- Lite bi drivmedel
- Bensin

propan, metan, etan, butan, ...

bensin
jetbränsle

Olje raffinering

Preisifierad användning
Export/import av
bensin/diesel

diesel
smörolja
tung olja
koks, asfalt



inläsning 4

Carbon capture

- Precombustion - vätegas
- Postcombustion - kemiska lösningsmedel
- Oxy-fuel combustion - syre

Ökad kostnad för elen 30-60%
 Verkningsgrad sjunker med 10%
 Infångningsgrad 80-95%

⇒ Kostnad per ton CO₂: 25-50\$, billigare än transport
 Biobränslen - kan bli negativa bränslen

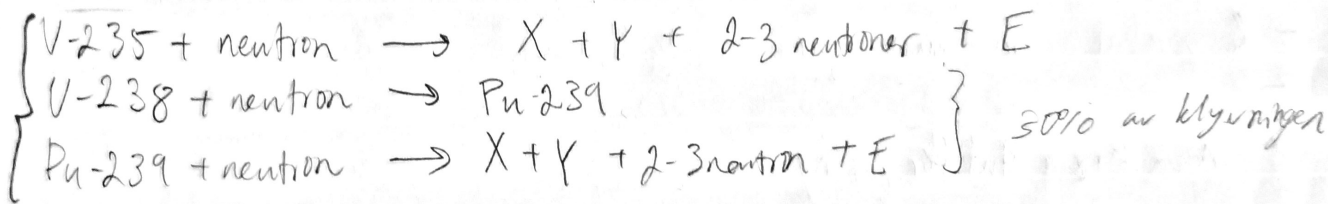
Kärnkraft

Ökat men nu minskat något (i andel)

Europa + nordamerika

Sverige stängt reaktorer - Frankrike högst med 75%

Naturligt uran 0,7% U-235, 99,3% U-238

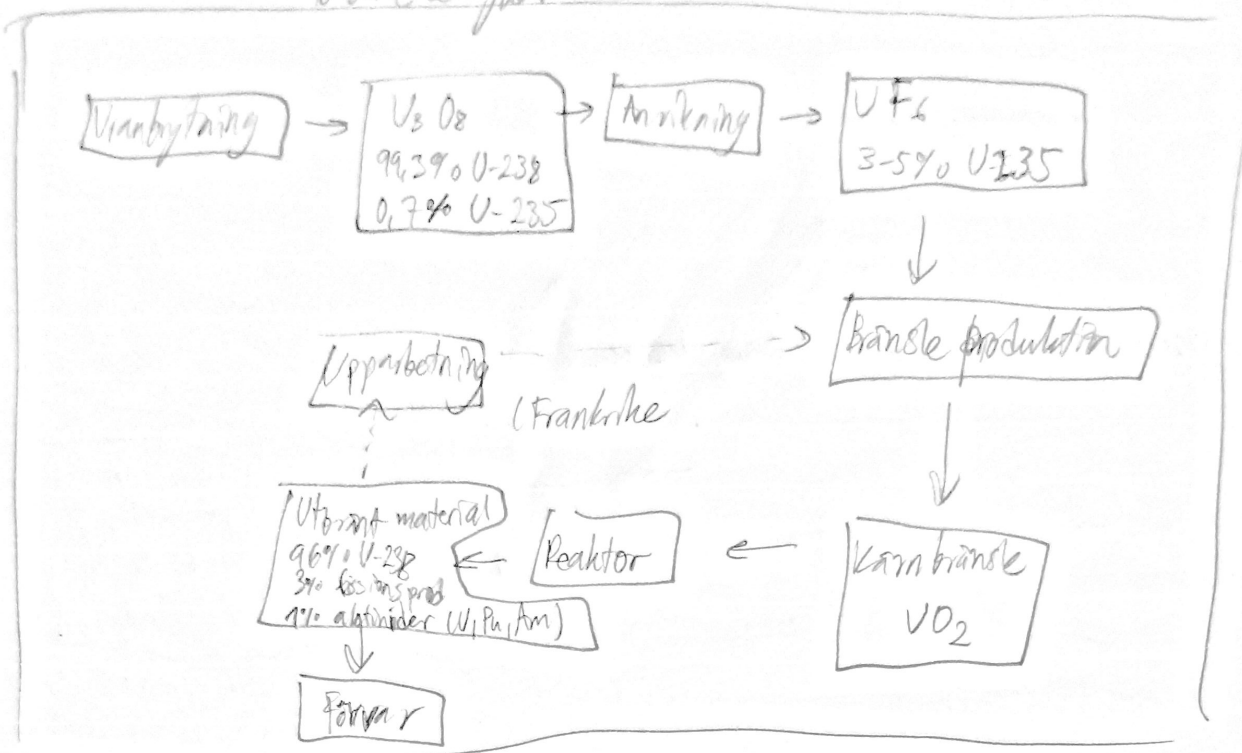


{ Turbin driver generator som ger el
 { Sumrörkar med kylvatten

Risken för att kylflödet ska avstanna
 Hårdsmälta!

33% verkningsgrad

Bränslecykel



Koldioxidneutral?

Kärnkraft mindre än vind och sol

1/100 av kolkraftverk

Värdigt låga utsläpp

Vad från kommer utsläppen?

- Kärnkraftverk - betong i materialproduktion
- Vindkraftverk - polymerer & betong
- Anrikningsprocess - drivs (bland av kolkraftverk)

Utsläppen kommer från omgivande systemet är fossilbaserat

Avfallshandling

- Kopparskal, vakuum, järn inre skal, gas
- Bra material värdigt
- Ingen färdig slut förvaring

Dödsfall pga olyckor och föroreningar (GWyr)

- Kärnkraft lågt pga så hög elproduktion
- Fossila bränslen har högst pga grundtrygning
- Luftföroreningar dödar
- Vattenkraft lite - montering av sol & vind

} Dödat först

Kärnkraft

Mindre farligt?

{ Experter: kärnvarfall - risk liten (enstaka dödsfall)
 Är dödsfall rimligt mått? Strålskada - ekosystem, strålkraftcancer, luftföroreningar
 Hur värdera - ett visst område väldigt länge. Kol - mer globalt?

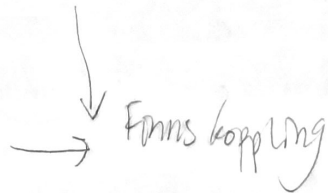
Kostnad att bygga kärnkraft - blir dyrare

- Säkerhetskrav
 - Kunskap tappas - få anläggningar
 - Specifika - ej massproduktion
 - Finland & Frankrike högt
 - Lägre som i Asien
- } stora enskilda projekt

Kärnkraft - kärnvapen ?

- Annalenina \Rightarrow 90% U-235 \Rightarrow kärnvapen, konflikt i Iran
- Separera plutonium vid bearbetning
- Ökad teknisk kompetens - dölja vapenprogram

- Vissa har bomber utan kärnkraft
- Politiska frågor



Energisystem 2

Energiöversyn - övergång till förnybara källor?

Begränsningar: yta - vind, sol, biomassa vatten: vattenkraft
Kärnkraft: politiskt/geografiskt
Vågkraft, geotermiskt? Fusion?

Sol & vind: intermittent traditionell/kommersiell biomassa
(trä-U-länder) (etanol, industriellt)

Potentialer

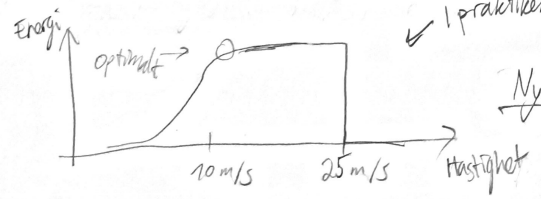
- Teoretisk potential - principiellt möjligt
- Teknisk potential - möjligt med dagens teknik 10-15% för sol
- Ekonomisk potential - lönsamt med dagens priser och teknik
- Implementationspotential - möjligt givet politiken

Sol hög teoretisk potential - framtidens energikälla

Markbehov

Vind - 6-8 Wp/m² - men marken kan delas med jordbruk
Sol - 40-50 Wp/m² - men döda ytor kan användas

Energi i vind: $P_{kin} = \frac{1}{2} \rho A V^3$



Ny teknik: Gör större!
(Besvärlig transport)

Vind till havs: Starkare vind & mer regelbunden men svårare underhåll

Förnybara källor

Lärning 3

Miljöpåverkan

Buller & skuggor

Fågeldöd - beroende på plats

Marint liv - men kan bli artificiella rev!

Sol - Mer nära ekvatorn

Vind och solenergi vuxit väldigt kraftigt \Rightarrow sjunkande kostnader

I kärnkraft tvärtom

Sol kan konkurrera med fossila bränslen!

Problem med förutsägbarhet

Kan vi ha en förnybar framtid?

Intermittent-lagring

Export nödvändig

Värma vatten på dagen

Lager & transmission

Anpassa energianvändning

Energilager - finns förluster, dyrt för liten skala, dag-natt funkar

Geografisk spridning - större effekt för stora områden

Transmission - höga kostnader, låga förluster politiskt svårt

DSM - billigt, beteendeförändringar / smarta system, begränsad potential

Bilar

Elbilar - "green growth"

Norge väldigt starka subventioner. längre räckvidd - snabbladning

Elbilar och material

Kobolt, litium, Mangan, nickel

- geografiskt begränsade, giftigt

Bioenergi

- Plantering
- Restflöden - ej global lösning nog
- Matglödor

mycket mindre effektivitet än solceller
kräver väldigt stora ytor

Fördel är bränsle som kan användas
Avskogning - kolskuld

Bioenergi i Sverige?

Teoretisk hög - skogytan i Sverige, mark, vatten

Ekonomisk potential - konsumens (livsmedel, byggnad), subventionering

Koldioxidskatt eller ej? Betald inbindning - praktiskt svar

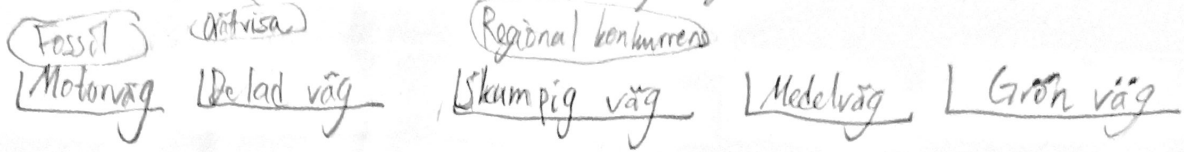
Indirekt markanvändning

Mat, bete, skog \Rightarrow skogen skövlas



Systeminnovationer & backcasting

Möjliga socioekonomiska utvecklingsvägar



Karta eller väg? Roadmap

Teknisk Matte

Kompetenser: Stokastiska algoritmer, Spelteori, Adaptiv programmering, self similarity, Kaosteori, Statistiska metoder, Bayesian statistik

Systemomställning behövs! Hur prioritera begränsade resurser?
Evolution & revolution?

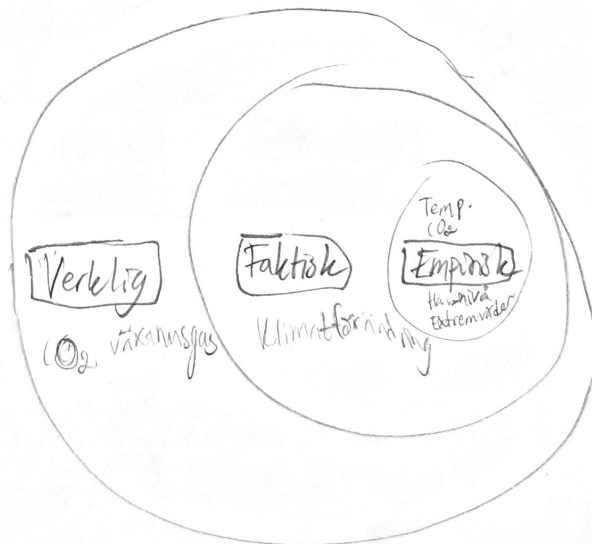
Limits to Growth: births, deaths, population, pollution, resources, food/capita, services/capita
Samhällskollaps!

Hur utvärdera framtidsmodell? rimlighetskontroll - känslighetstest, testa på existerande data
Bayesian

Invjuda för koll - transparent med andaganden, medvetenhet

Syftet - förutse effekter? Förebygg kollaps

Klimatförnekare
Ser ej helheten,
kopplar ej ihop



Systeminnovationer & backcasting 17 globala mål - integrerade modeller

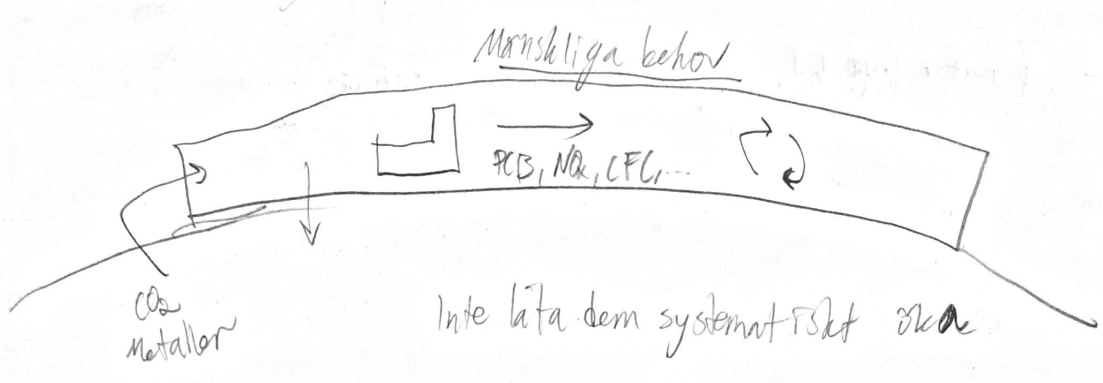
Hållbarhet inte bara miljö - mänskliga behov och/eller djur/naturs behov

- Makro - Kapitalism
- Meso - Transportsystem
- Mikro - Återvinning

- Ställa om etablerade system
- Finns ingen baseline
- Sociotekniska system - blir en del av systemet framtidsförutsägelse

Stam och grenar -mekanism

Kvistar och bladverk - detaljer



Det Naturliga Steget

Electrolux - freoner-kylskåp - först med hållbart kylskåp
 Ligga på lagstiftare - konkurrens fördel

Scandic Hotel - kastar handduk

Tjänstebaserad affärsmodell istället för utnyttjande av resurser
 Max & IKEA & Nike (ej mikroplast)
 (ej kött)

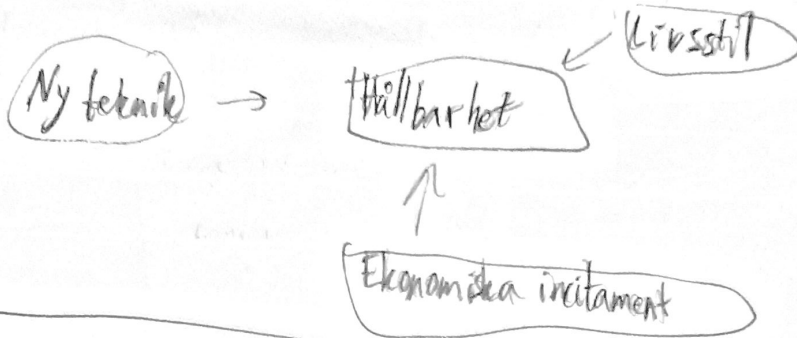
Systeminnovationer & backcasting

Fröreläsning 9

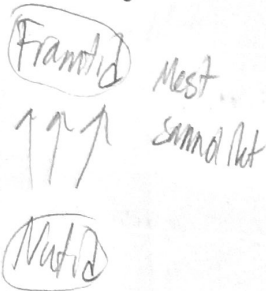
Social
 Horisontella relationer
 Vertikala relationer
 Rättrissa

Ekonomi
 Naturkapital
 Tekniskt kapital
 Historiskt kapital

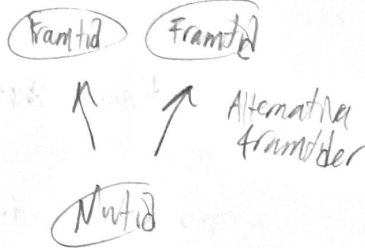
hållbarhet



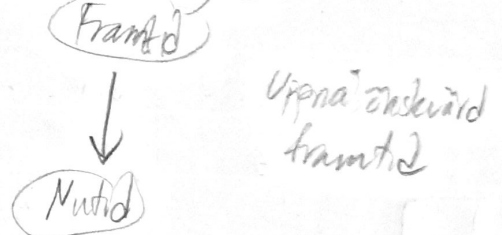
Forecasting



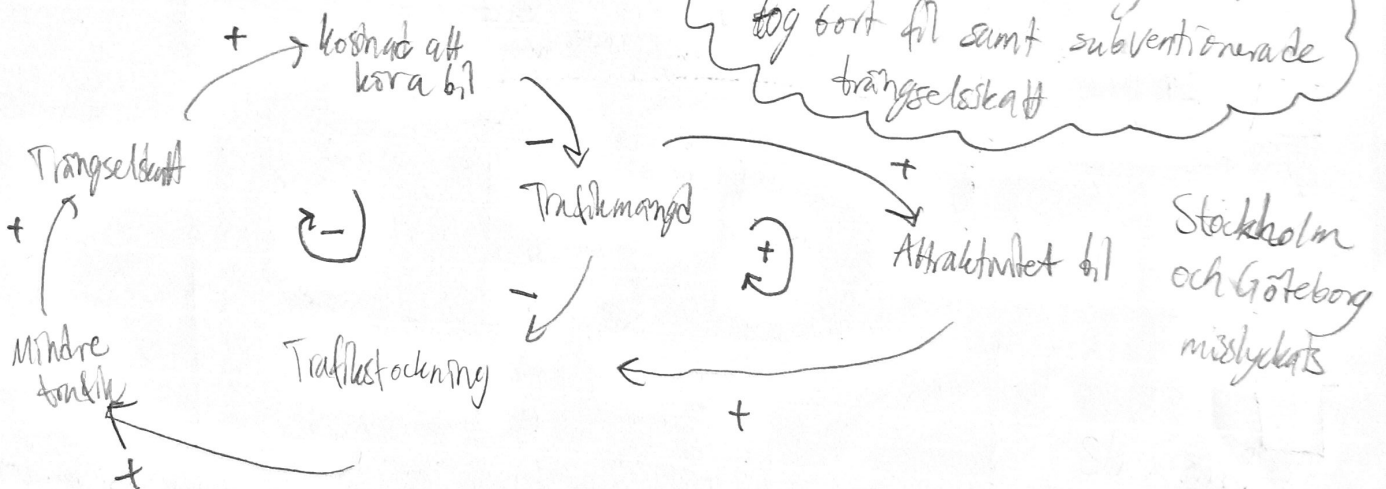
Scenarier



Backcasting



Trängselavgift inte så effektiv



Föreläsning Ekosystem

Föreläsning 7

Populationsmodell

andel fids - andel döda
Födelseakt och dödsakt proportionell mot befolkning, emigration, immigration
Begränsning eller konkurrens, oändligt med resurser, fix mängd avkomor

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x$$
$$x(t) = A e^{\alpha t}$$

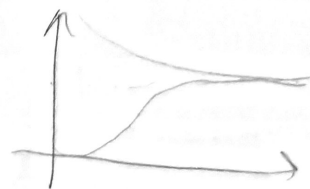
Stokastisk modell - förgreningsprocess - mer komplicerat
Medelvärde för en process - t.ex. Poissonprocess

Exponentiell tillväxt - Populationen kan dö ut

Rämlig modell - stabiliserar
Logistiska ekvationen

$$x'(t) = \alpha x \left(1 - \frac{x}{M}\right)$$

Begränsning, dödsrate eller livslängd



Avklingande födelseakt

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha x}{t}$$

Varför minskar reproduktionstakten?

Fixpunkter $x=0$ & $x=k$



Potenslag

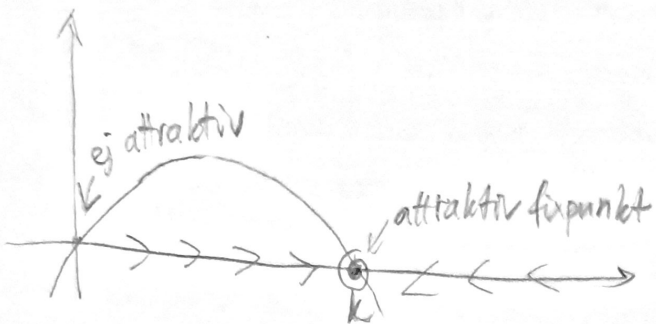
$$x = c t^{\alpha}$$

Forelesning

Populationsdynamik

F: relasjon 7

Latt att se stabilitet: 1D



Kvadratisk term - populationens interaktion med sig själv

Maximum sustainable yield?

Fiskande konstant minskning - en viss mängd vage är av populationen

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x \left(1 - \frac{x}{k}\right) - q \cdot x$$

$$Y = q \cdot x$$

$$\max_q Y$$

Hitta optimum:

$$\frac{dx}{dt} = x \left(\alpha - q - \frac{\alpha x}{k} \right), \quad \text{Fixpunkter: } \left\{ x=0, x = \frac{(\alpha - q) \cdot k}{\alpha} \right\}$$

$$Y(q) = q \left(\frac{(\alpha - q) k}{\alpha} \right)$$

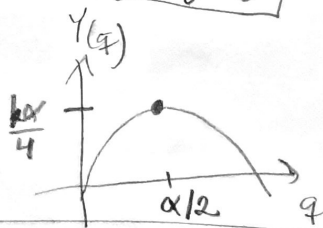
Max Y
q

$$Y'(q) = 0 \Rightarrow$$

$$k - \frac{2qk}{\alpha} = 0$$

$$\Rightarrow q = \frac{\alpha}{2}$$

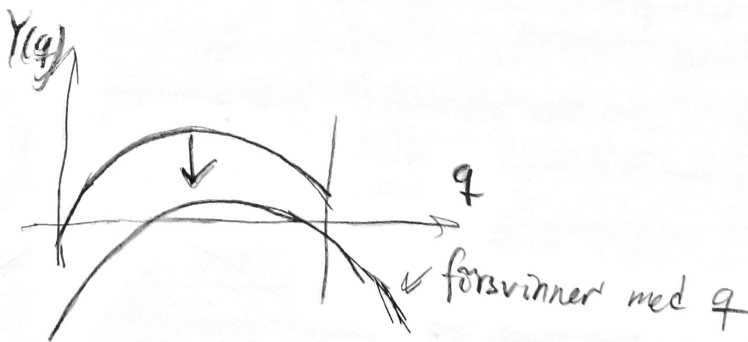
$$\Rightarrow Y_{\max} = \frac{k\alpha}{4}$$



Med q istället för qx blir situationen annorlunda

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x \left(1 - \frac{x}{k}\right) - q$$

qx mer stabil än q



Föreläsning Populationsystem

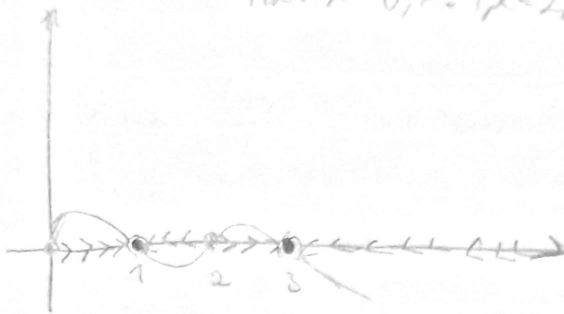
$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)(2-x)(3-x), \quad t \rightarrow \infty$$

Fix: $x=0, x=1, x=2, x=3$

$0 < x < 2 \Rightarrow 1$

$x > 2 \Rightarrow 3$

4 personer kategorier

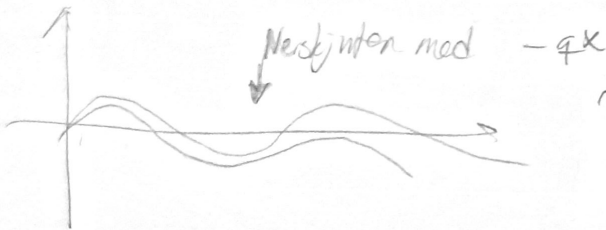


$$Y = q \cdot x$$

$$\text{Max } Y = q$$

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)(2-x)(3-x) - q$$

Stort nog q fixpunkt 3 försvinner - drastisk förändring



Fiskebeståndet kollapsar plötsligt
Yield icke-kontinuerlig funktion
Problem med derivering

{ Hur förhindra kollaps?
{ Var närmar sig andraderivatans 0?

Linjärisering - stabilitetsanalys

Mångdimensionellt system

$x = x_0 + \delta x$

Stabilitet, hårdare krav, negativ defonin

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$$

$\dot{x} = f(x)$

Linearisering

$f(x_0) = 0$

$\delta \dot{x} = J \delta x$

Jacobianen

$\delta x(t) = C e^{st}$ egenvärdena

$$\delta x(t) = \sum_i p_i v_i e^{\lambda_i t}$$

↑ real/del
negativ

Impuls-respons

2. oktober 8

Position - återkoppling

Linjära system

$$y = A x$$

↑ matris
↑ vektor

Vi känner inte A
 x - insignal (välja?)
 y utsignal (mät!)

Vi vill rekonstruera A^{-1}

$$A^{-1} y = x$$

Optimering?

Välja $x = [0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0]$ upprepa \Rightarrow rad, kolonn för y
 välj från identitetsmatrisen - basvektorerna för rummet

$$Y = A \cdot I, \text{ alltså för vi A vakt av } Y, \text{ bara att läsa av}$$

Hur många signaler behövs - lika många som dimensionerna av A, så länge linjärt oberoende

$$Y = AX \Rightarrow A = YX^{-1}$$

$$A = \sum_i \sigma_i V_i^T U_i$$

Under bestämt $\left\{ \begin{array}{l} \text{Om vi ej har nog många } X \text{ - gissa invers, lägre rank gissning av } A \\ \text{genom singularvärden} \end{array} \right.$

Över bestämt $\left\{ \begin{array}{l} \text{I stället har vi för många } X \text{ - linjärt beroende, brus finns i mappningen,} \\ \text{minsta-kvadrat-metod, pseudo invers} \end{array} \right.$

Impuls-respons

$$x_1 = [1, 0, 0, \dots] \text{ är en impuls!}$$

$$x_2 = [0, 1, 0, \dots] \text{ tidsförskjuten impuls}$$

Linearitet "y = Ax" (tid) Translationsinvarians

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

\rightarrow

$$\begin{pmatrix} A_{11} \\ A_{21} \\ A_{31} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

\rightarrow

$$\begin{pmatrix} A_{12} \\ A_{22} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

Förskjuten!

Impuls-respons

förklarning 3

Resultatet av matrisen blir, speciell struktur

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 & 0 & \dots \\ A_{21} & A_{22} & 0 & \dots \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & \dots \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

$$A_{ij} = \begin{cases} K(i-j), & i \geq j \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$$

$$y_i = \sum_j A_{ij} x_j = \sum_j K(i-j) x_j$$

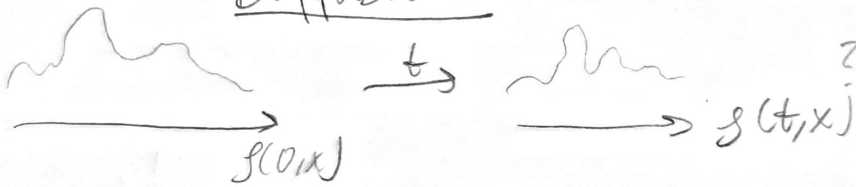
Faltning

$$y(t) = \int_0^t K(t-t') x(t') dt'$$

Kommer från tidstranslationsinvariansen

Nummet ser det annorlunda ut?

Diffusion



$$g(t,x) = A f(0,x)$$

Hur får vi fram A?

Diskretiserat - matris
Annars - integral

$$\frac{\partial g}{\partial t} = D \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \quad f(0,x) = g(x)$$

Från Fourier analys:

$$g = \underbrace{h(x)}_{n \times n} \underbrace{f(t)}_{n \times 1}$$

$$g = \sum_i \theta_i h_i(x) f_i(t)$$

Linjärkombination

Summa av yttre produkter

SVD (Singularvärdesuppdelning)

Impuls respons

Diffusion

Normalfordelat - Brownian motion

Centrala gränsvärdesatsen

$$p(t, x) \sim e^{-ct/x^2}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(t, x) dx = 1 \rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ct/x^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{ct}}$$

$$\text{Alltså } p(t, x) = \sqrt{\frac{ct}{\pi}} e^{-ct/x^2}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$$

Mean square dispersion

Andra
(Momentet)

$$\langle x_{t+1}^2 \rangle = \langle \frac{1}{2}(x_t - 1)^2 + \frac{1}{2}(x_t + 1)^2 \rangle = \langle x_t^2 + 1 \rangle = \langle x_t^2 \rangle + 1$$

$$\Rightarrow \langle x_t^2 \rangle \sim \sqrt{t}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(t, x) dx \sim t$$

$$p(t, x) = \frac{1}{\sqrt{4t}} e^{-x^2/4t}, \quad c(t) = \frac{1}{t}$$

Fundamentallösning (ej generell lösning)

$$p(t, x) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{4t}} e^{-\frac{(x-x')^2}{4t}} p(0, x') dx'$$

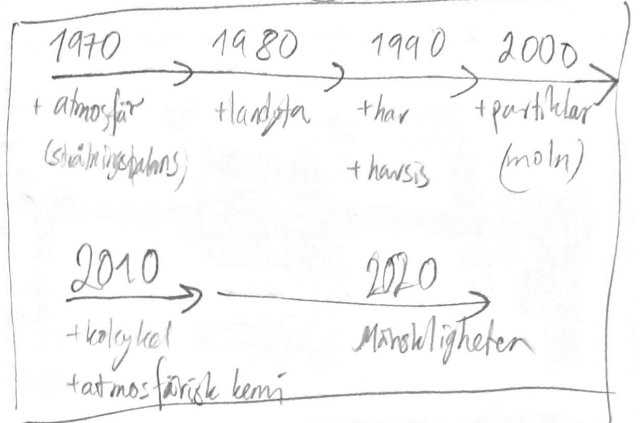
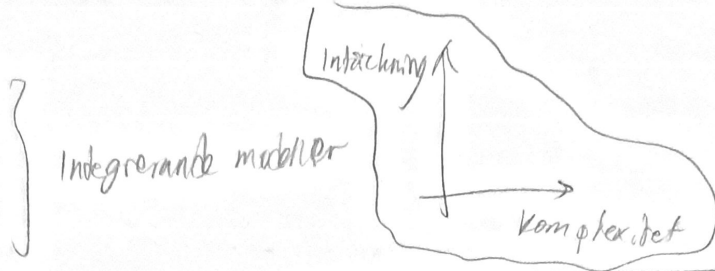
Normalfördelning med $\mu = x'$, $\sigma = t$

Ej $h(x) f(t)$ men en oändlig summa av detta

Modeller, förenklingar och beslutsunderlag inom klimat

Klimatmodeller

- Energi balans
- Biom
- Hav-is
- Kolcykel
- RF
- Jord, vegetation, atmosfär transmission
- Diffusion
- Atmosfär cirkulation
- Atmosfär-hav cirkulation



Statisk & låg upplösning → Dynamiskt & högre upplösning

1 sekund → 1 månad på supermodell (Jorden) - Grid system 3D
 5 mil * 5 mil
 Atmosfär & hav 40 lager

Ofta ej direkt använda i klimat politik

Metriker

- Koldioxidbudget
- Utsläppsmetriker för att jämföra olika växthusgaser
- Pris på utsläpp av CO₂

Tidsberäkning: (Problem)

{ Sker av säkerhet
 66%
 Inget kommer hända efter 2100

Koldioxidbudget

Impulsrespons → 100 år bort, atmosfärans fräghet
 Stor osäkerhet finns
 Koldioxidinföring !!!

BECCS (bioenergi CCS)

Odlare og = skatt problematiska
 DACS, filter absorbera koldioxid

Klimatmodeller

Utsläppsmetrikar

- Sätta utsläpp av olika gaser på gemensam skala
- Koldioxidekvivalenter - subjektiva val
- Metan starkare men kortlivad, koldioxid svagare men långlivad

Global Warming Potential (GWP) 100 år

↙ Vad är M? ej trivialt

$$E_{CO_2 \text{ ekvivalenter}} = E_X \cdot M_{X,T}$$

↑ Utsläpp av gas X ↑ Metrisk gas X med T som horisont

Integrerar RF och tar kvoten

$$GWP = \frac{AGWP_{CH_4}}{AGWP_{CO_2}}$$

20 år (100 år) 500 år Summa att detta blev standard

$GWP_{20} = 89$ ($GWP_{100} = 20$) Stor skillnad! GTP temperaturrespons
 ↘ om än mer påverkan av kort

Lustgas N_2O är mer!

Pris på utsläpp av CO_2

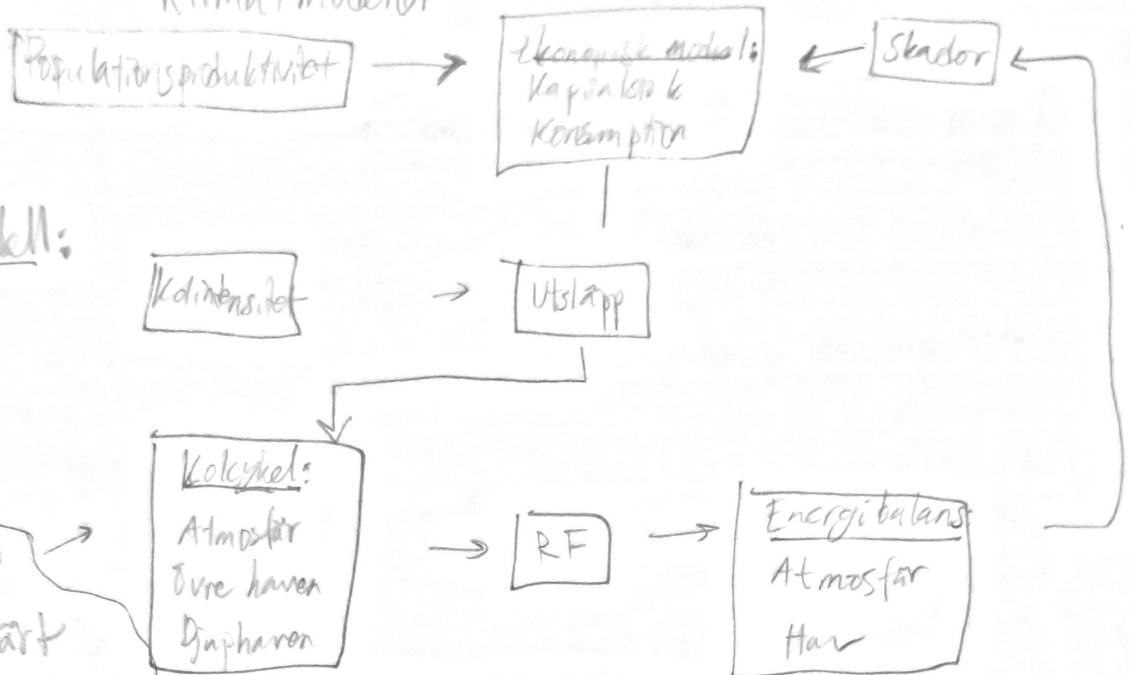
Externa effekter - konsekvenser av aktiviteter som påverkar naturen utanför marknadssystemet

- blir felaktig
- leder till för höga utsläpp

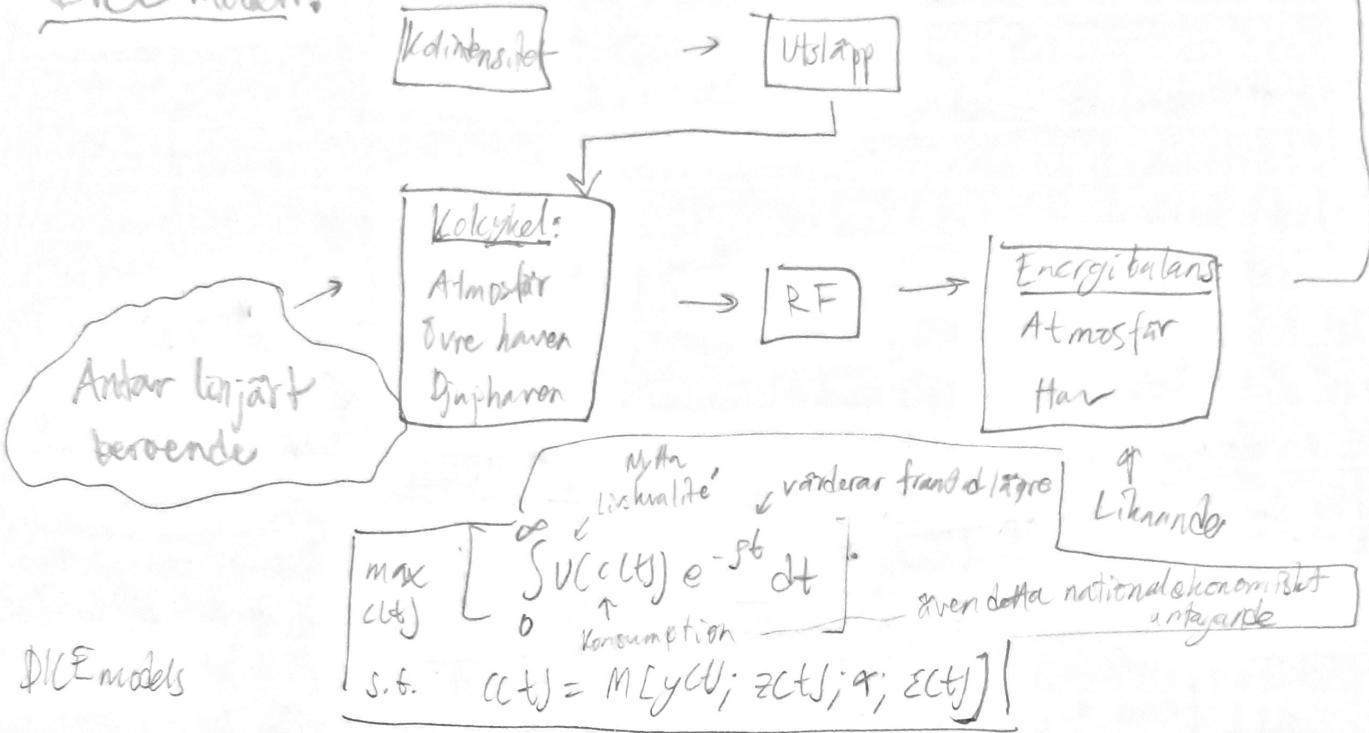
Externa effekter behöver korrigeras - pris på koldioxid

Integrerad beräkningsmodell - fysik, kemi, ekonomi
 Optimalt pris Kostnadsnyttoanalys - optimeringsmodeller

Klimatmodeller



DICE modell:



DICE models

M beror på årlig produktion, investering/sparande, skade funktioner

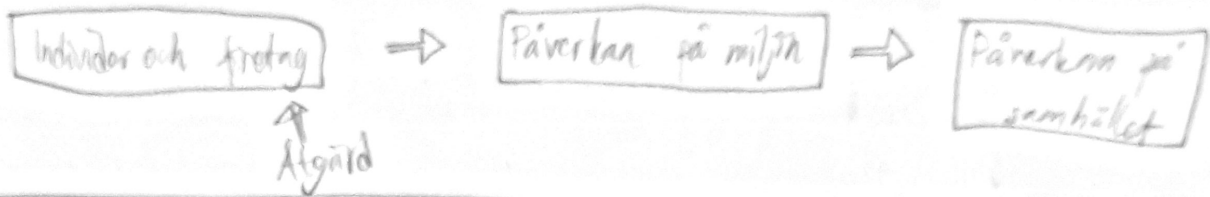
Parisavtalet 1.5°C Ekonomiskt optimum är attika - skapat konflikt

Modellen uppdateras - hur blir då optimum? Världigt annorlunda resultat
Det kan vara kostnadseffektivt med Parisavtalet!

Våra arbeten är i nivå med forskningen!

- Tvärvetenskap svårt
 - Vetenskap & politik svårt
 - Enkla modeller användbara
 - Svårt att förstå för de flesta
- metoddiskussioner

Klimatpolitik



Åtgärder för minskade växthusgasutsläpp

- Fornybar energi
- Elektrifiering
- Omställning av dieter
- Omställning av industrin
- Biobaserade material (undvika cement & plast)
- CCS - infångning & lagring (negativa utsläpp)

Marknadsmisslyckande

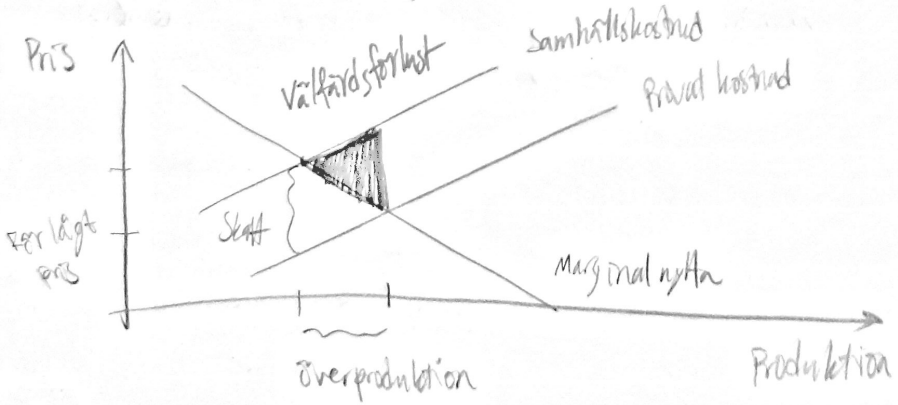
Externa effekter

Kollektiva varor

Informations misslyckande

Externalitet

- Effekt för tredje part av ekonomisk transaktion
- Positiv / negativ
- Negativ externalitet - företags utsläpp
- Positiv externalitet - individ & flakommunitet, biddling & fruktträdgård
- Extern kostnad - uppstår hos 3:e part



Med skatt kan överproduktion förhindras.

Klimat politik

Gemensamma resurser

- Icke-exkluderbarhet (andras luft)
- Icke-rivalitet (påverkar ej andra)
- Lågt privat värde & högt samhällsligt värde
- Allmänningar - Tragedy of the Commons (utsläpp, utsläpp)

Informationsmisslyckande

- Ofullständig information - alla aktörer okunniga (försäkring)
- Asymmetrisk information - (boda bilfel), olika för aktörer
- Kunskap- och innovationsrelaterade marknadsmisslyckande - ej incitament (ny teknik)

Hur långt ska samhället gå?

- Försiktighetsprincipen (riskatt sabba ekonomi)
- Nyttomaximeringsprincipen - kostnad-nyttan analys (svårt att uppskatta)

Statens roll och styrmedel



- Morot - Pris
- Riska - Lagar
- Fördäsa - Information

- Ekonomiska styrmedel
 - Skatter och subventioner
- Administrativa styrmedel
 - Lagar, regler, normer (livscykel)
- Information
 - Kampanjer och märkning
- Forskning
 - Utveckling och demonstration

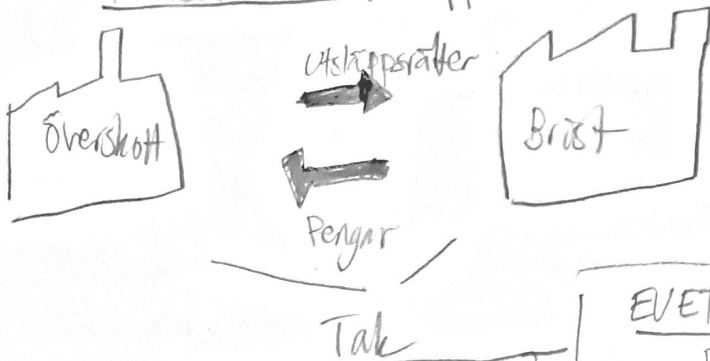


men det sträcker sig över nationsgränser!

Koldioxidskatt 120 öre/kg CO₂, höjts mycket för Sverige

Klimatpolitik

Handel med utsläppsrätter



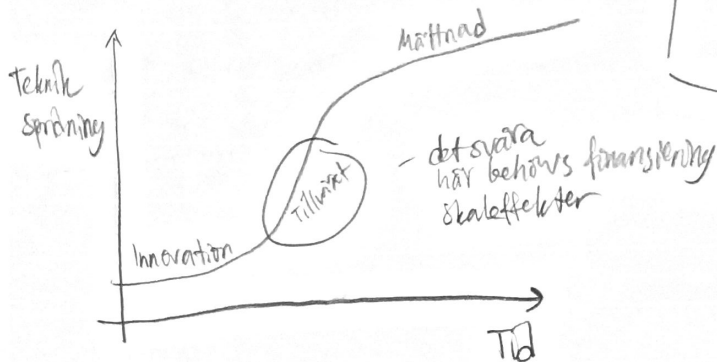
EU-ETS

- Kostnadseffektivt
- Behöver ej förhandla
- Men kan missbrukas

EU-ETS ineffektivt system

- Priserna minskade 2008/2009 i kr
- Behövs en minimigrän
- Tog inte bort utsläppsrätter som var borta
- Nu har det reformerats

Tekniksubventioner



förnybar, effektivisering

Gröna/vita certifikat

- vis andel vattenkraft, biobränsle, solenergi, geotermisk, vägenergi
- annars köps certifikat in
- lite som utsläppsrätt

Feed-in tariffs

- fast pris garanteras
- för småskaliga producenter
- köptsamt för staten
- drog ner pris på solceller i Tyskland

Riktade subventioner

- Solceller
- Elbilar i Norge

Teknikupphandling (stor aktör)

- Staten köper in ny teknik

Demonstrationsprojekt

- Subvention av mindre anläggning

SSAB, Vattenfall & LKAB - stål med vätgas

Regleringar

- Förbud, gränsvärden, designkrav
- Förutsättningar för regleringar:
 - oflexibla, kostnadsineffektiva
 - utsläpp svår mätbara
 - överlägsen teknik (ej fossil)
 - Producenter, konsumenter pris-oberoende (köra bil med olja)

Klimatpolitik

- Freoner i kylskåp - ozonhålet, alternativ finns
- Glödlampor - LED lampor
- Ekodesign - standarder, energieffektivitet, återbruk
- Luftföroreningar, nivåer, ej vanligt med koldioxid
- Samhällsplanering, spelregler

Information

- Acceptans
- Medvetenhet & engagemang
- Etablera nya normer (källsortering)

Markering av utvald
Bäst god försäljning

F&U (R&D) Forskning & Utveckling

- Finansiering av forskning
- Ny teknik eller kunskap

Styrmedel	Incentiv för tekniskifte	Incentiv för minskad konsumtion
Skatt	+	+
Utsläppshandel	+	+
Subventioner	+	-
Regleringar	+	

Politik pris
marknad utsläppsmängd
politisk utsläppsmängd
marknad pris
var skänker
skifte

Exempel på åtgärder och styrmedel

Sverige tog viktiga beslut på 60-talet - kärnkraft & vattenkraft

Infrastrukturinvesteringar

Vi har bra utgångspunkt

27% minskat sen 1990, främst uppvärmning och avfall

Transport, industri & jordbruk konstant

Vi har utbyggda fjärrvärmät, biobränslen

Klimatpolitik

Föreläsning 10

Industri
El & fjärrvärme

EU ETS

Inrikes transporter
Jordbruk
Avfallshandtering
Uppvärmning

Nationellt

Klimatpolitiskt ramverk

EU ETS behöver anpassa sig, för låga priser
Lägga on överlapp med skatt, reformer

Miljöbalken behöver utökas

Samhällsplanering - pendla kollektivt

Klimatpolitik

Föreläsning 11

Historik internationell klimatförhandling - globalt problem

Framst rika länder orsaken → Framst fattiga och utsatta länder drabbas

- Wienkonventionen (1985), Montrealprotokollet (1987)
- 1992 - UNFCCC
 - 1994 - ratificerat av 197 länder
 - Principer, juridiskt ramverk, övergripande mål
- 1997 - Kyotoprotokollet
 - 2005 - ratificerat av 192 länder (svårt att komma överens)
 - Utsläppsmål 2008-2020, men bara rika länder
- 2015 - Parisavtalet
 - 2016 - ratificerat av 189 länder
 - Specifika temperaturmål

Ozonlagret

- Montrealprotokollet - tydliga mål för varje land
- Ozonet börjar komma tillbaka
- HFC s är klimatpåverkande istället

Klimat politik

Ozonskikt & klimat: skillnad

Mer reversibelt

Olika förutsättningar - tydligt alternativ, ekonomin påverkas ej, begränsat samhället

Klimat frågans komplexitet

- Gera for life => stora risker, 2 respektive 1.5 grader
- Koraller utrotas, skogsbränder, kustöverväxning, odlings produktivitet - stora konsekvenser
- Klimat anpassning behövs!

Orsak

- Antropogena utsläpp
- Förändrad koncentration av växthusgaser i atmosfären
- Förändringar i jordens strålningsbalans
- Känslighet - temperatur, havstemperatur, koldioxidfertilisering, osv...
- Effekter (havsnivåhöjning, livsmedel försörjning)

Samhällsenergi i pander

- Alla sektorer - jmf ozon

Ökad globalisering

- Kina utsläpp, exportas - konsumtion USA & Europa
- Vem bär skulden? Hur finansieras?

Inter-generationsellt problem

- Effekter syns ej tydligt

Snabb- och omfattande samhällsomställning

- Limited / high overshoot
- Aerosoler
- Aldrig tidigare förekommit - IPCC

Kostnader - delade meningar

- Destroy global economy
- Kostnad-nytta analys
- DICE-modellen
- Azar & Schneider

Annex I & II, Annex I, Non-Annex

Landgrupperingar och positioner

Bewara biologisk mångfald, livsmedelproduktion och andra mil inte äventyras
 Grundval av rättvisa i gemensamma men olikartade ansvar och
 respektive förmåga, bör ta ledningen

Klimatpolitik

Ujämlika utsläpp i världen om datan räknas per capita

USA fossila tillgångar

Sveriges skördar skulle påverkas positivt av klimatförändringarna
Önationer - helt försvinner från kartan.
Indien & Kina - befolkningsökning

Norra halvklotet

- Ekonomisk tillväxt och makt
- Stora historiska utsläpp av växthusgaser
- Hög andel klimatrelaterad forskning

Södra halvklotet

- Utvecklingsländer
- Hög känslighet för klimatförändring
- Anpassning

Fel fokus på klimatforskning

- EU-land - EU, import av fossila, starka gröna partier, intern splittring ↑ emot
- USA - Australien, försöka att ej ha restriktioner - Paraplygruppen
- Kina - fokus på utveckling, rättvisa, resursöverföring, lokala problem
- Saudiarabien - oljeproducenter, ekonomisk kompensation, tjänt pengar
- Önationer, afrikanska länder - sårbara, driver på hård AOSIS, LDC

Kyotoprotokollet - Top-down, bindande, funkar ej

Parisavtalet - Bottom-up, Problem att folk inte följer så bra
Översynsfunktion 189 klimatplaner, långsiktigt mål, starkt ambition,
transparens, anpassning, bistånd.

NDC - Nationally Determined Contribution