

# ECON 2915 – forelesning 5

## Teknologi

Fredag 27.september

# Produktivitet avhenger både av teknologi og effektivitet

## Teknologi:

kunnskap om bruk av innsatsfaktorene i produksjonen

## Effektivitet:

selve bruken av teknologien og innsatsfaktorene i produksjonen

*I dagens forelesning er temaet 'teknologi', i neste forelesning er temaet 'effektivitet'.*

## Teknologisk fremgang i produksjonsfunksjonen

I Cobb-Douglas produksjonsfunksjonen  $y = Ak^\alpha h^{1-\alpha}$  fanges teknologisk fremgang opp ved en endring i parameteren  $A$ .

$y$  er produksjon per arbeider,  $k$  er (fysisk) kapital per arbeider, og  $h$  er humankapital per arbeider

Teknologiske forbedringer gjør at de samme innsatsfaktorene kan produsere større mengder.

Teknologisk fremgang er derfor avgjørende for **vedvarende økonomisk vekst**.

# Forskning og utvikling (FoU)

Ny teknologi krever forskning og utvikling (FoU) (*research and development (R&D)*)

Table 8.1: Researchers and research spending, 2009

Country	Number of Researchers	Researchers as a Percentage of the Labor Force	Research Spending (\$ billions)	Research Spending as a Percentage of GDP
United States	1,412,639	0.89%	398.2	2.8%
Japan	655,530	1.00%	137.9	3.4%
Germany	311,519	0.74%	82.7	2.8%
France	229,130	0.80%	48	2.2%
Korea	236,137	0.96%	43.9	3.3%
OECD Total	4,199,512	0.70%	965.6	2.4%

Source: OECD Main Science and Technology Indicators database.

## Forskning og utvikling (FoU)

Det meste av FoU gjøres av private bedrifter som vil oppnå høyere profitt.

I 2006 var 31% av all FoU i USA sponset av staten, men hovedsakelig da rettet mot militært bruk.

Staten skaper insentiver til FoU ved å gi patenter:  
lovbeskyttelse mot kopier

# Teknologiens karakteriska

Viktige forskjeller fra humankapital og (fysisk) kapital.

Teknologier er i hovedsak idéer, ikke objekter.

Teknologi er

- ikke-rivaliserende
- ofte ikke-ekskluderbar

⇒ Reduserer insentiver for utvikling av ny teknologi

# Patenter

Et patent gir innehaveren enerett til produsere, bruke og selge sin oppfinnelse for et begrenset tidsrom, vanligvis 20 år.

Patentstyret gir patent på oppfinnelser, med følgende krav:

- Oppfinnelsen må være ny
- Oppfinnelsen må ha oppfinneshøyde
- Oppfinnelsen må være av teknisk karakter og være industrielt reproduserbar

Eksempler på patenterbare oppfinnelser: blodanalyser, datamaskinteknologi og glidelåser.

# Problemer med patentsystemet

Et patent gir monopol

Mindre insentiver for annen liknende innovasjon

Patent-troll: samler patenter på oppfinnelser de ikke skal bruke



## Alternativer til patenter

Hemmelighold (eks: Coca Cola)

Frø som gir planter uten fertile frø (eks: Monsanto's  
"terminator gene")

Open source programvare (eks: Linux)

## Hvordan påvirkes økonomisk vekst av teknologien?

To modeller:

- (1) én modell for ett enkelt land
- (2) én modell med to land: kan da studere effekten av teknologioverføringer

Vi antar at **den eneste innsatsfaktoren** er arbeid,  $L$ , og ignorerer dermed humankapital og (fysisk) kapital som produksjonsfaktorer.

## Modell med ett enkelt land

$L_Y$  er antall arbeidere som er involvert i produksjon og  $L_A$  er antall arbeidere som er med på å lage nye teknologier (FoU).

$$L = L_Y + L_A$$

Definerer  $\gamma_A$  som andelen arbeidere engasjert i FoU,

$$\gamma_A = L_A/L$$

$(1 - \gamma_A)$  er da andelen arbeidere som er engasjert i produksjonen,

$$1 - \gamma_A = L_Y/L$$

## Modell med ett enkelt land

Produksjonsfunksjonen er gitt ved,

$$Y = AL_Y$$

$$Y = A(1 - \gamma_A)L \quad (\text{deler så på } L)$$

$$y = A(1 - \gamma_A) \quad (\text{intensivform})$$

Så lenge  $\gamma_A$  holdes konstant, så er produksjonsnivået per arbeider ( $y$ ) proporsjonalt med produktiviteten ( $A$ ).

En økning i  $\gamma_A$  gir en reduksjon i produksjonen *innenfor samme periode*.

## Modell med ett enkelt land

Teknologisk fremgang (målt ved prosentvis vekst i produktivitetsnivået),

$$\hat{A} = \frac{L_A}{\mu}$$

$\mu$  viser antall FoU-arbeidere som kreves per enhet teknologisk fremgang målt i prosentpoeng ( $\mu = L_A/\hat{A}$ ), så  $\mu$  er “prisen” på ny innovasjon

Vi benytter at  $L_A = \gamma_A L$  og uttrykker teknologisk fremgang ved totalt antall arbeidere,

$$\hat{A} = \frac{\gamma_A}{\mu} L$$

## Modell med ett enkelt land

Produksjonsfunksjonen er gitt ved  $y = A(1 - \gamma_A)$

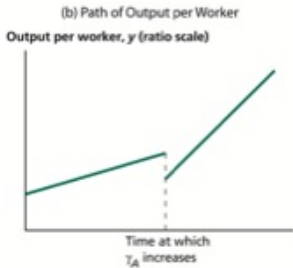
Hvis  $\gamma_A$  holdes konstant (ingen endring over tid), så har vi

$$\hat{y} = \hat{A} = \frac{\gamma_A}{\mu} L$$

Kilder til økonomisk vekst:

- Økt andel som arbeider med FoU ( $\gamma_A$ ).
- Økt effektivitet i FoU-produksjonen (lavere  $\mu$ )
- Økt arbeidsstyrke

## Figure 8.1: Effect of shifting labor into R&D



En økning i andelen av arbeidskraften involvert i FoU ( $\gamma_A$ ) gir,

(1) et fall i produksjonen (kortsiktsvirkning)

(2) økt produktivitetsvekstrate  $\implies$  økt produksjon på lang sikt

*Legg merke til at vi bruker en logaritmisk skala.*

## Permanente og midlertidige virkninger

I modellen vi nettopp har gjennomgått, gir en økning i andelen som er involvert i FoU ( $\gamma_A$ ) en permanent økning i vekstraten til produksjonen ( $\hat{y}$ ).

Økt investering i kapital (kap.3) reduserer inntekt i dag for å øke produksjonsveksten, men denne veksten er midlertidig.



## Modell med to land

Vi ser på to land, land 1 og land 2, hvor  $L_1 = L_2 = L$  (dvs arbeidsstyrkene er like store), men hvor vi tillater at  $A_1 \neq A_2$  (dvs landene kan ha ulike teknologinivå).

Teknologisk framgang kan oppnås ved *innovasjon* eller *imitasjon*

Produksjonsnivå per arbeider i de to landene er gitt ved,

$$y_1 = A_1(1 - \gamma_{A,1})$$

$$y_2 = A_2(1 - \gamma_{A,2})$$

hvor  $\gamma_{A,1}$  er andelen av arbeidsstyrken i land 1 som er involvert i FoU og  $\gamma_{A,2}$  andelen av arbeidsstyrken i land 2 som er involvert i FoU

## Modell med to land

Anta at land 1 er “teknologi-lederen” og at land 2 er “teknologi-følgeren”:  $A_1 > A_2$  og  $\gamma_{A,1} > \gamma_{A,2}$ .

For land 1 gjelder,

$$\hat{A}_1 = \frac{\gamma_{A,1}}{\mu_i} L_1$$

hvor  $\mu_i$  står for innovasjonskostnaden ( $i$  for innovasjon)

For land 2 gjelder,

$$\hat{A}_2 = \frac{\gamma_{A,2}}{\mu_c} L_2$$

hvor  $\mu_c$  står for kopikostnaden ( $c$  for copying)

## Modell med to land

$\mu_c$  er kostnaden av å tilegne seg ny teknologi ved kopiering,

$$\mu_c = c \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \quad \text{hvor } A_1 > A_2$$

Antagelser om kostnadsfunksjonen,

- (1) det er billigere å kopiere enn å utvikle ny teknologi  
( $\mu_c \leq \mu_i$ )
- (2) kopi-kostnaden synker når teknologigapet øker ( $c' < 0$ )
- (3)  $\mu_c \rightarrow 0$  når  $A_1/A_2 \rightarrow \infty$
- (4)  $\mu_c \rightarrow \mu_i$  når  $A_1/A_2 \rightarrow 1$

## Figure 8.2: Cost of copying for the follower country

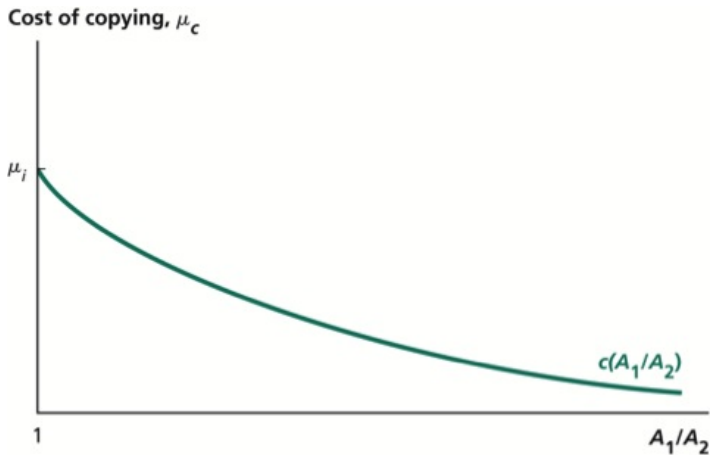
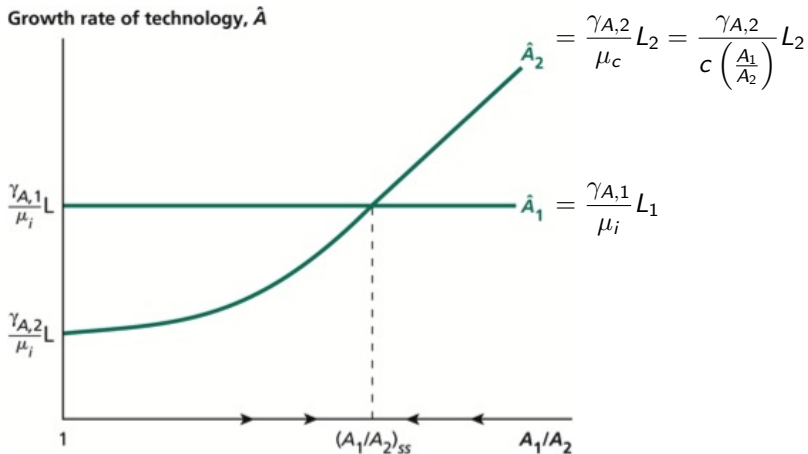


Figure 8.3: Steady state in the  
two-country model

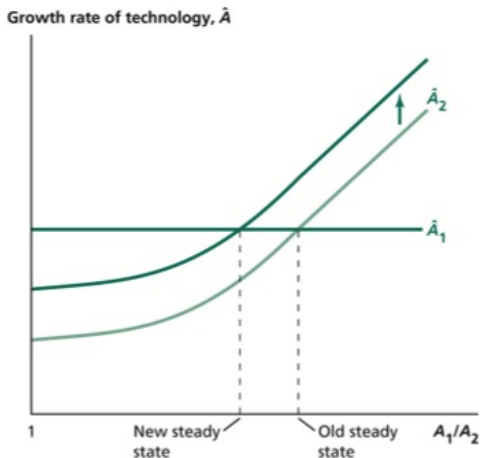
## Modell med to land

I stasjonært tilstanden er vekstraten lik i de to landene:

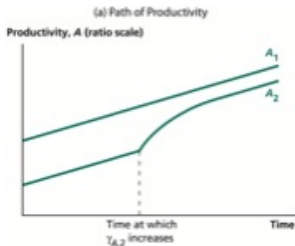
$$\hat{A}_1 = \frac{\gamma_{A,1}}{\mu_i} L_1 = \frac{\gamma_{A,2}}{\mu_c} L_2 = \hat{A}_2 \quad (\text{husk at } L_1 = L_2)$$
$$\Leftrightarrow \mu_c^{ss} = \frac{\gamma_{A,2}}{\gamma_{A,1}} \mu_i$$

$$\Leftrightarrow \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^{ss} = c^{-1}(\mu_c^{ss})$$

## Figure 8.4: Effect of an increase in R&D in the follower country on the steady state

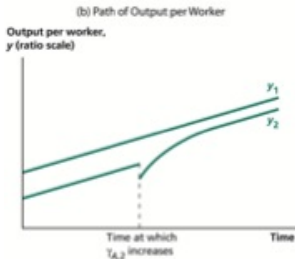


## Figure 8.6: Effect of an increase in $\gamma_{A,2}$ on productivity and output



En økning i  $\gamma_{A,2}$  (hvor  $\gamma_{A,1} > \gamma_{A,2}$  fortsatt gjelder) gir,

(1) fall i produksjonen på kort sikt i land 2



(2) *midlertidig* økt produktivitetsvekstrate i land 2



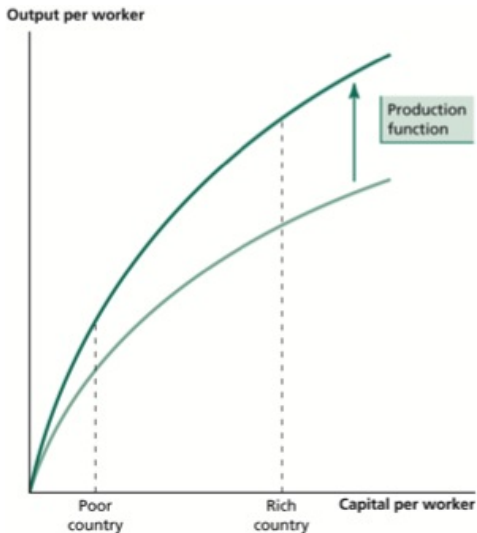
# Teknologi-overføringer mellom land

Prediksjonene fra to-lands modellen er optimistiske.

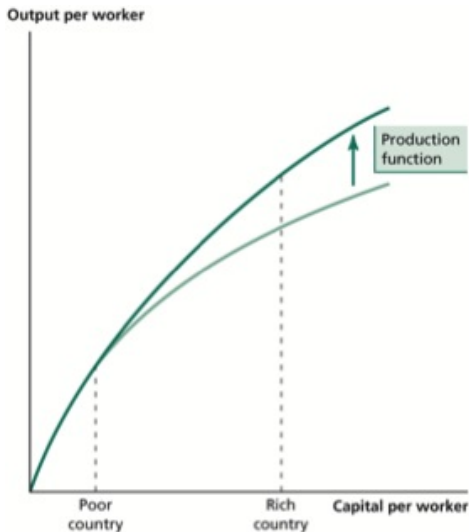
I realiteten har mange teknologiske fremskritt liten innflytelse på fattige land, pga ulik faktorsammensetning og/eller mangelfull detaljkunnskap om bruken av teknologien.

- 1) Skjev teknologisk utvikling (capital/skill biased technological change)
- 2) Taus kunnskap (tacit knowledge)

## Figure 8.6: Neutral technological change



## Figure 8.6: Capital-biased technological change



# Taus kunnskap

Patentbeskrivelse ikke tilstrekkelig

Taus kunnskap basert på erfaring

Michael Polanyi (1958): lyspærefabrikk i Ungarn vs. Tyskland

## KAPITTEL 9: “Cutting edge” teknologi

Teknologifronten endrer seg stadig. Revolusjonære oppfinnelser blir med tiden utdaterte eller hverdagslige.

Det har vært en rask teknologisk fremgang de siste 250 årene i de avanserte økonomiene.

På lang sikt er teknologisk fremgang hovedkilden til økonomisk vekst.

Hva bestemmer utviklingen på teknologifronten?

## Vekstregnskap

I kapittel 7 i Weil-boka brukte vi vekstregnskap-metoden:

$$\begin{aligned}y &= Ak^\alpha h^{1-\alpha} \\ \Leftrightarrow \hat{y} &= \hat{A} + \alpha \hat{k} + (1-\alpha)\hat{h} \\ \Leftrightarrow \hat{y} &= \hat{A} + \alpha \hat{k} + (1-\alpha)\hat{h} \\ \Leftrightarrow \hat{A} &= \hat{y} - \alpha \hat{k} - (1-\alpha)\hat{h}\end{aligned}$$

Med data for et lands vekstrate ( $\hat{y}$ ), kapitalens vekstrate ( $\hat{k}$ ) og humankapitalens vekstrate ( $\hat{h}$ ) og  $\alpha$  kan vi altså måle landets produktivitetsvekst.

Vi skal nå anvende vekstregnskap på perioden 500-1500 og perioden 1500-1700 med data fra Europa. Vi ser så på produktivitetsvekst under og etter den industrielle revolusjonen.

## Teknologisk fremgang før 1700-tallet

Fokuserer på Europa, var ledende innenfor teknologi.

Ny (Cobb-Douglas) produksjonsfunksjon,

$$Y = AX^\beta L^{1-\beta}$$

hvor  $Y$  måler produksjonen,  $A$  måler produktiviteten,  $X$  er jordbruksland,  $L$  er arbeidskraft og  $\beta$  er andelen av nasjonalinntekten som betales til landeierne.

## Produksjon per arbeider

$$\frac{Y}{L} = \frac{AX^\beta L^{1-\beta}}{L}$$

$$y = AX^\beta L^{1-\beta-1} = AX^\beta L^{-\beta}$$

$$y = A\left(\frac{X}{L}\right)^\beta$$

$$\hat{y} = \hat{A} + \beta(\hat{X} - \hat{L}) \quad (\text{sett } \hat{X} = 0 \text{ og l s for } \hat{A})$$

$$\hat{A} = \hat{y} + \beta\hat{L}$$



## Vekstregnskap før 1700-tallet

Vi skal bruke følgende uttrykk (vekstregnskap),

$$\hat{A} = \hat{y} + \beta \hat{L}$$

Som tidligere antar vi at *arbeidsstyrken* og *befolkningen* er lik og har samme vekstrate.

Vekstregnskap  
før 1700-tallet

$$\hat{A} = \hat{y} + \beta \hat{L}$$

Vi antar at  $\beta = 1/3$ , basert på tall fra førindustrielle økonomier.

Table 9.1: Growth accounting for Europe, A.D. 500-1700

Period	Annual Growth Rate of come per Capita, $\hat{Y}$	Annual Growth Rate of Population, $\hat{L}$	Annual Growth Rate of Productivity, $\hat{A}$
500–1500	0.0%	0.1%	0.033%
1500–1700	0.1%	0.2%	0.166%

## Vekstregnskap før 1700-tallet

Hvis årlig vekst er 0.033%, så er økningen over 1000 år (fra år 500 til år 1500),

$$1.00033^{1000} \approx 1.39$$

dvs at  $A$  har vokst med en faktor på 1.39 i løpet av 1000 år

Hvis årlig vekst er 0.166%, så er økningen over 200 år (fra år 1500 til år 1700),

$$1.00166^{200} \approx 1.39$$

dvs at  $A$  har vokst med en faktor på 1.39 i løpet av 200 år

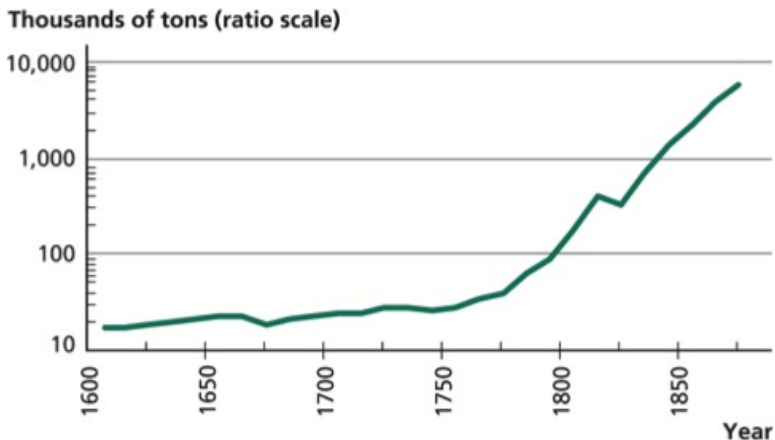
## Den industrielle revolusjonen

Den industrielle revolusjonen dateres til 1760–1830 i Storbritannia og noe senere i kontinentale Europa og Nord-Amerika.

En periode med rask teknologisk innovasjon i en rekke industrier.

Særlig viktig var effektiviseringen av tekstilproduksjonen, reduserte kostnader i jernproduksjonen og at dampmaskinen ble oppfunnet.

## Figure 9.1: British iron production

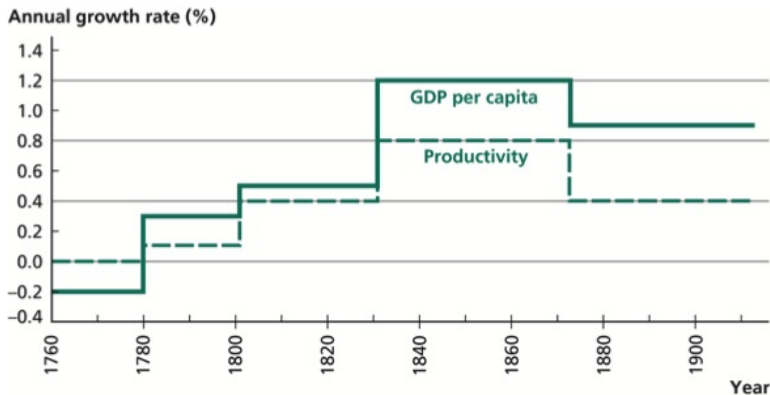


## Fra jordbruk til industri, fra land til by

Grunnstrukturen til den britiske økonomien var i endring,

- (1) den britiske arbeidsstyrken: andelen som var ansatt i jordbruk, skog og fiske falt fra 48% til 25%, mens andelen som var ansatt i industri steg fra 22% til 44% i perioden 1760–1831
- (2) den britiske befolkningen: andelen av befolkningen bosatt i byer steg fra 17% til 50% i perioden 1700–1850
- (3) transport i Storbritannia: 4000 kilometer med nye kanaler

# Figure 9.2: British output and productivity growth



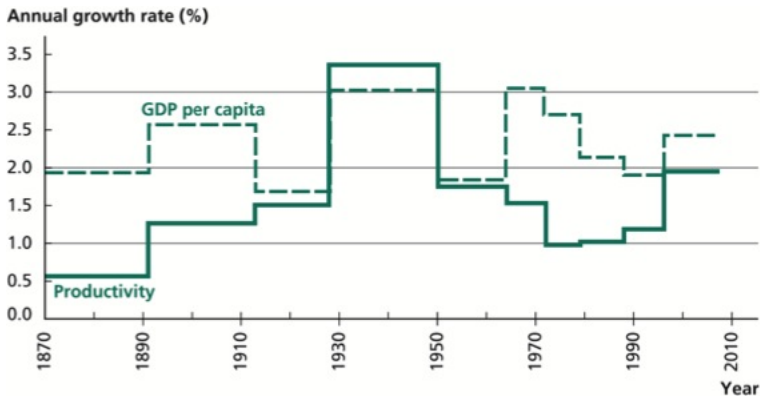
# Produksjonsvekst og vekst i produktiviteten i Storbritannia

Hva var så revolusjonært med perioden 1760–1830 i Storbritannia?

- (1) teknologiene som ble introdusert
- (2) dette var begynnelsen



Figure 9.3: U.S. output and  
productivity growth, 1870-2007



## Teknologi-produksjonsfunksjonen

“Genius is one percent inspiration and ninety-nine percent perspiration”

(Thomas Edison)

Fra kapittel 8 i Weil-boka har vi følgende teknologi-produksjonsfunksjon,

$$\hat{A} = \frac{L_A}{\mu} \quad (9.4)$$

hvor  $\hat{A}$  er vekstraten til teknologien,  $L_A$  er antall arbeidere i forskning og utvikling (FoU) og  $\mu$  er ‘prisen’ på en ny oppfinnelse målt i arbeidsenheter.

# Modifiseringer av teknologi-produksjonsfunksjonen

Modifiseringer av teknologi-produksjonsfunksjonen:

- (1) når teknologinivået øker, blir nye oppdagelser stadig vanskeligere ('fishing out effect')
- (2) avtagende skalautbytte: en z-dobling av FoU innsats z-dobler ikke mengden ny teknologi

## Modellering av 'the fishing out effect'

Første modifisering av teknologi-produksjonsfunksjonen:

$$\hat{A} = \frac{L_A}{\mu} A^{-\phi} \quad 0 < \phi < 1$$

Hvis vi holder  $L_A$  og  $\mu$  konstant, så er veksten i teknologien lavere jo høyere nåværende teknologinivå er.

## Modellering av avtagende skalautbytte

Andre modifisering av teknologi-produksjonsfunksjonen:

$$\hat{A} = \frac{L_A^\lambda}{\mu} A^{-\phi} \quad 0 < \phi < 1 \quad 0 < \lambda < 1$$

Økt innsats i FoU (en økning i  $L_A$ ) vil, alt annet likt, øke vekstraten til teknologien ( $\hat{A}$ ) mindre enn proporsjonalt.

## En modifisert teknologi-produksjonsfunksjonen

Den modifiserte teknologi-produksjonsfunksjon,

$$\hat{A} = \frac{L_A^\lambda}{\mu} A^{-\phi} = \left(\frac{1}{\mu}\right) L_A^\lambda A^{-\phi}$$

Definer  $x = L_A^\lambda A^{-\phi}$ . Hvis vekstraten til teknologien er konstant ( $\hat{A}$  er konstant), så må også  $x = L_A^\lambda A^{-\phi}$  holdes konstant:

$$\begin{aligned}\hat{x} &= \lambda \hat{L}_A - \phi \hat{A} = 0 \\ \Leftrightarrow \hat{A} &= \frac{\lambda}{\phi} \hat{L}_A\end{aligned}$$

Konstant produktivitetsvekst er avhengig av fortsatt vekst i antall engasjert i FoU.

## Er det uunngåelig at teknologisk vekst slakker farten?

Kun en liten andel av arbeidsstyrken i de avanserte økonomiene er per i dag engasjert i FoU

Table 8.1: Researchers and research spending, 2009

Country	Number of Researchers	Researchers as a Percentage of the Labor Force	Research Spending (\$ billions)	Research Spending as a Percentage of GDP
United States	1,412,639	0.89%	398.2	2.8%
Japan	655,530	1.00%	137.9	3.4%
Germany	311,519	0.74%	82.7	2.8%
France	229,130	0.80%	48	2.2%
Korea	236,137	0.96%	43.9	3.3%
OECD Total	4,199,512	0.70%	965.6	2.4%

Source: OECD Main Science and Technology Indicators database.

## Nykommere på teknologifronten

Table 9.2: U.S. Patents and patents per million residents, 2010

Country	Patents	Patents per Million Residents
Taiwan	9,635	418.5
Japan	46,978	368.2
Israel	1,917	260.7
Finland	1,232	234.4
Switzerland	1,889	247.8
Sweden	1,594	175.7
South Korea	12,508	257.2
Germany	13,633	167.0
Canada	5,513	163.3
Hong Kong	716	101.0
Singapore	633	123.2
Luxembourg	44	88.4
Denmark	766	138.9
Netherlands	1,919	115.8
Iceland	25	80.9
Austria	905	110.2
Australia	2,079	96.6
Belgium	896	86.0
France	5,038	77.8
Norway	448	95.8
United Kingdom	5,038	80.8
Ireland	275	59.5
New Zealand	232	54.6
Italy	2,254	37.1

Source: U.S. Patent and Trademark Office, [http://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/cst\\_all.htm](http://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/cst_all.htm)



## Variasjoner mellom sektorne

Teknologiens vekstrate varierer mellom sektorer. Teknologisk fremgang er viktigst når den skjer i en stor sektor.

Det har vært sterkest teknologisk fremgang i varesektoren (f.eks. biler) fremfor i tjenestesektoren (f.eks. utdanning)..

..mens økonomisk aktivitet har skiftet stadig mer over fra varesektoren til tjenestesektoren i de avanserte økonomiene.

Utvikling innenfor informasjonsteknologi kan være med på å skape sterkere teknologisk fremgang i tjenestesektoren i fremtiden.