5. Wirtschaftswachstum bei erneuerbaren Ressourcen

Gliederung:

Literatur:

- Bretschger, L. (1999), Growth Theory and Sustainable Development, Cheltenham: Edward Elgar
- Perman, R., Y. Ma, J. McGilvray and M. Common (2003), Natural Resource and Environmental Economics, Longman , 3d ed., Essex.

5.0 Einführung

Im Gegensatz zu nicht-erneuerbaren Ressourcen: fortdauernde Extraktion impliziert nicht notwendigerweise Ausrottung der Ressource

- Ohne Ernte: Ansteigen des Bestandes bis zu Maximalbestand (carrying capacity)
- Mit Ernte:
    - Erhalten eines konstanten Bestandes möglich, wenn Ernte nicht Regeneration übersteigt
    - Wenn Ernte Regeneration übersteigt: Reduktion des Bestandes
- Problem: Bestimmung einer optimalen Erntemenge sowie eines optimalen Preispfades
- Nachhaltigkeit:
    - *starke* Nachhaltigkeit → Erhalt des Bestandes (möglich, sofern Ernte nicht die Regeneration übersteigt)
    - *schwache* Nachhaltigkeit → Bestand darf gegen Null gehen (sofern ausreichend alternatives Kapital akkumuliert wird)

5.1 Regenerationsfunktion und biologische Gleichgewichte

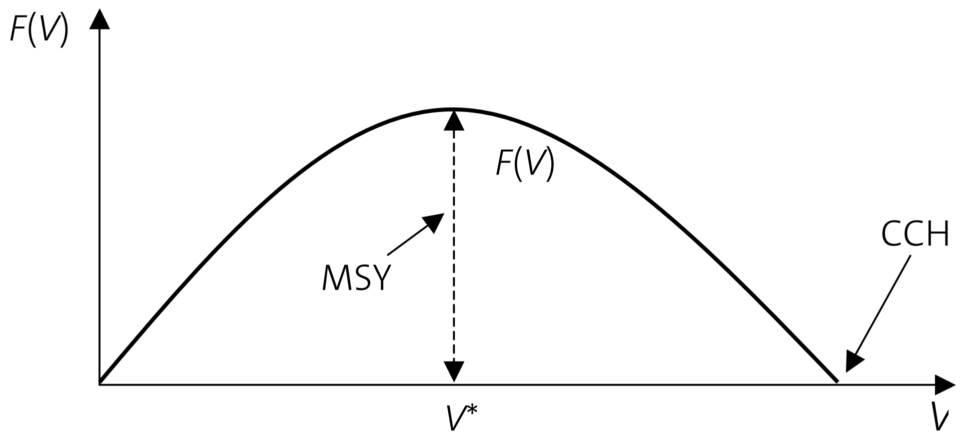
Abhängigkeit der Regeneration vom Bestand an Biomasse

→ geringer Bestand: zunehmende Regenerationsrate

→ großer Bestand: abnehmende Regenerationsrate

Einfache logistische Regenerationsfunktion

V	=	Ressourcenbestand
$F(V)$	=	Regenerationsfunktion
	=	Änderung des Bestandes im Zeitverlauf
t	=	Zeit
MSY	=	Maximum Sustainable Yield
CCH	=	Carrying Capacity of the Habitat



$$V_t = \frac{CCH}{\left(1 - \frac{CCH - V_o}{V_o} e^{-kt}\right)} \quad \Rightarrow \quad F(V_t) = \frac{dV_t}{dt} = kV_t\left(1 - \frac{V_t}{CCH}\right)$$

mit: V_o = Anfangsbestand

k = intrinsische Wachstumsrate

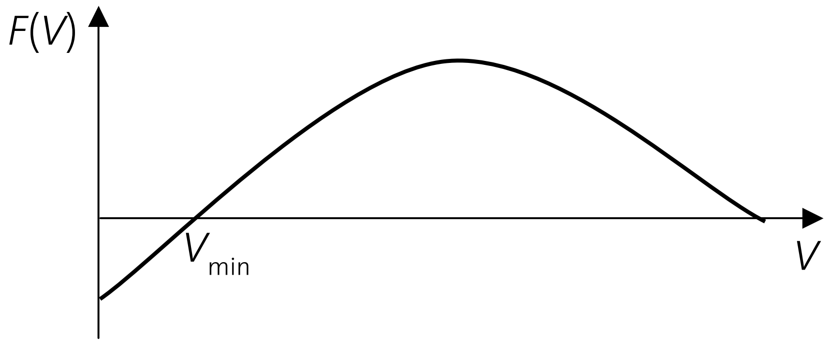
Form der Regenerationsfunktion: abhängig von betrachteter Ressource, z.B. Wald, Fische,...

Alternative (logistische) Regenerationsfunktionen:

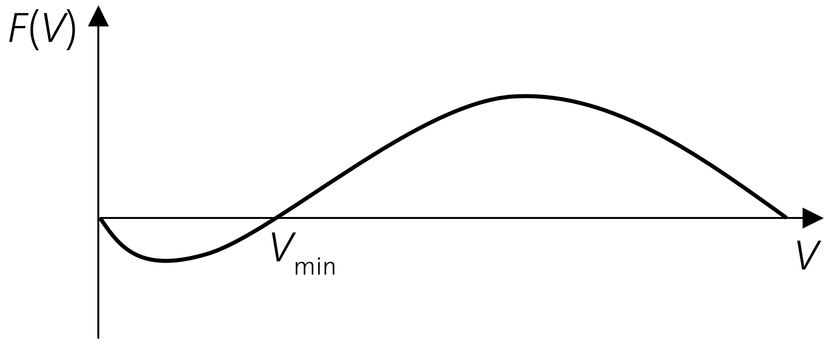
Typ 2: logistisches Wachstum mit kritischem Schwellenwert V_{min}

(Ausrottung unterhalb des Schwellenwertes)

a) $$F(V_t) = k(V_t - V_{min})\left(1 - \frac{V_t}{CCH}\right)$$

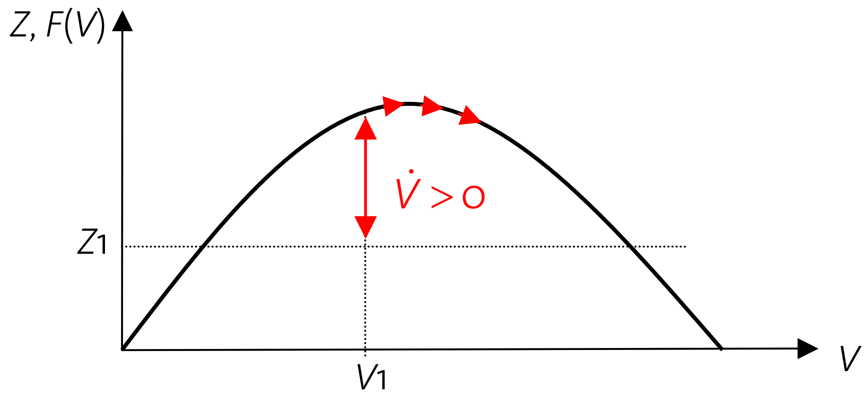


b) $$F(V_t) = k\left(\frac{V_t - V_{min}}{V_{min}}\right)\left(1 - \frac{V_t}{CCH}\right)V_t$$



Ernte der erneuerbaren Ressource (*Z* = Erntemenge)

Entwicklung des Bestandes: $\dot{V} = F(V) - Z$



Beispiel:

- Erntemenge Z_1
- Anfangsbestand V_1

→ $\dot{V} > 0$ (Bestand steigt im Zeitverlauf)

Biologisches Gleichgewicht

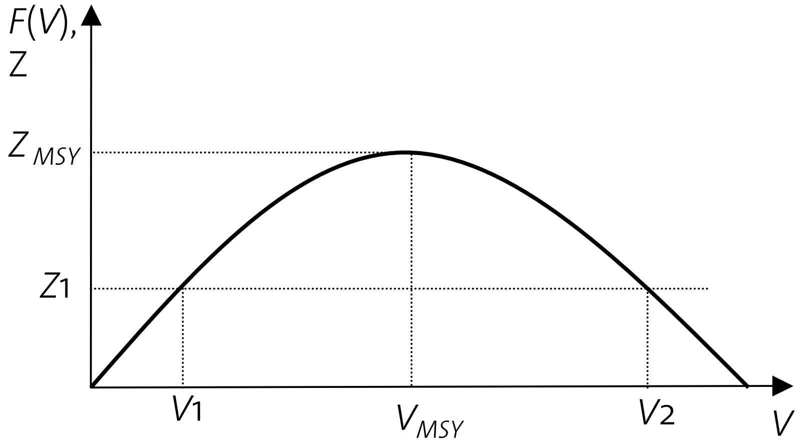
- Gleichgewicht dann erreicht, wenn keine Änderung des Bestandes im Zeitverlauf

→ Gleichgewichtsbedingung: $\dot{V} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad F(V) = Z$

(Ernte = Regeneration)

- Gleichgewicht entspricht der Bedingung für starke Nachhaltigkeit (→ "nachhaltige Ernte")

Für jeden Bestand gleichgewichtige Ernte möglich:



Beispiele:

- V_1 und V_2 → gleichgewichtige Ernte: Z_1
  ($Z_1 = F(V_1) = F(V_2)$)
- V_{MSY} → gleichgewichtige Ernte: Z_{MSY}
  (maximale Ernte, welche mit biologischem Gleichgewicht vereinbar)

falls Natur sich selbst überlassen, also keine Ernte ($Z = 0$)

→ mögliche Gleichgewichte bei $V = 0$ und $V = CCH$ (bei $F(V) = 0$)

Stabilität von Gleichgewichten

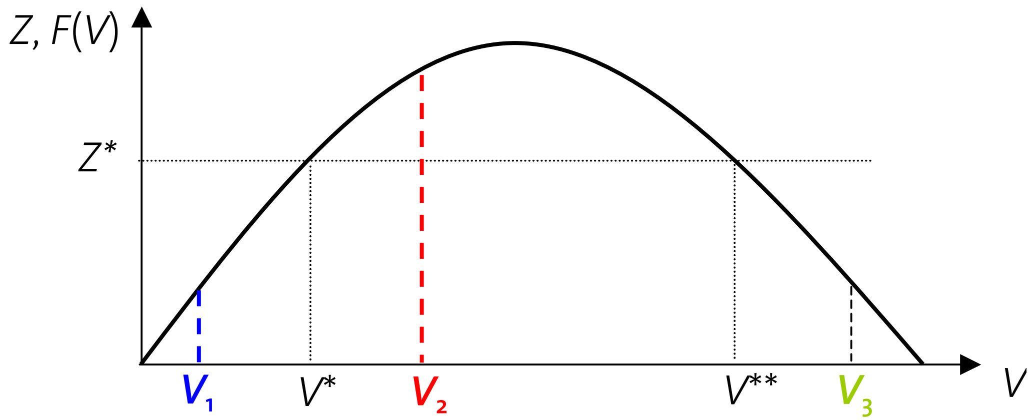
Ein Gleichgewicht ist **stabil**, wenn sich das System über die Zeit auf ein Gleichgewicht zu bewegt.

Beispiel:

Erntemenge Z^*

→ gleichgewichtige Bestände: V^*, V^{**}

→ Gleichgewichte stabil?



$V = V^*$: wenn $V < V^*$ (z.B. V_1) → $V\downarrow$ (Entwicklung weg von V^*) → instabiles Gleichgewicht

$V > V^*$ (z.B. V_2) → $V\uparrow$ (Entwicklung weg von V^*)

$V = V^{**}$: wenn $V < V^{**}$ (z.B. V_2) → $V\downarrow$ (Entwicklung hin zu V^{**}) → stabiles Gleichgewicht

$V > V^{**}$ (z.B. V_3) → $V\uparrow$ (Entwicklung hin zu V^{**})

5.2 Optimale gleichgewichtige Ernte

- Bisher: keine Erklärung, warum bestimmte Menge geerntet wird

- Jetzt:
  - Berücksichtigung von Erntekosten
  - Unternehmen treffen Ernteentscheidung so, dass Gewinn maximal (→ optimale Ernte)

- **Statische Analyse** (5.2.1):

  Unternehmen beziehen Rückwirkungen ihrer Ernte auf Ressourcenbestand (und somit Regeneration und zukünftige Erntemöglichkeiten) nicht in Entscheidung über heutige Ernte ein

- **Dynamische Analyse** (5.2.2):

  Unternehmen beziehen Rückwirkungen in der Zukunft in heutige Entscheidung ein

5.2.1 Statisches Optimum

bisher: nur eine Gleichgewichtsbedingung (für biologisches Gleichgewicht: $F(V) = Z$)

jetzt: Ableitung einer zusätzlichen Bedingung für ökonomisches Gleichgewicht

Ableitung der ökonomischen Gleichgewichtsbedingung (statisches Optimum):

Annahme: Unternehmen maximieren Gewinn

- Gewinn: $\Pi = R(Z) - C(Z,V)$

mit $R(Z)$ = Ernteerlös (in Abh. von Erntehöhe)

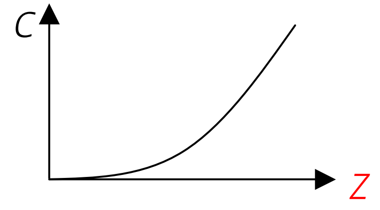
$C(Z,V)$ = Erntekosten (in Abh. von Erntehöhe und Bestand)

- Ernteerlös:

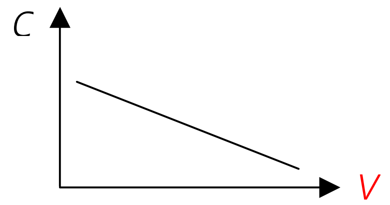
  $R(Z) = p \cdot Z$ (Preis x Menge)

- Erntekosten:

  Kostenverlauf: $C_Z > 0, C_{ZZ} > 0$ $\rightarrow$ Kosten steigen bei Erhöhung der Ernte überproportional:



  $C_V < 0$ $\rightarrow$ Kosten niedriger bei höherem Bestand:



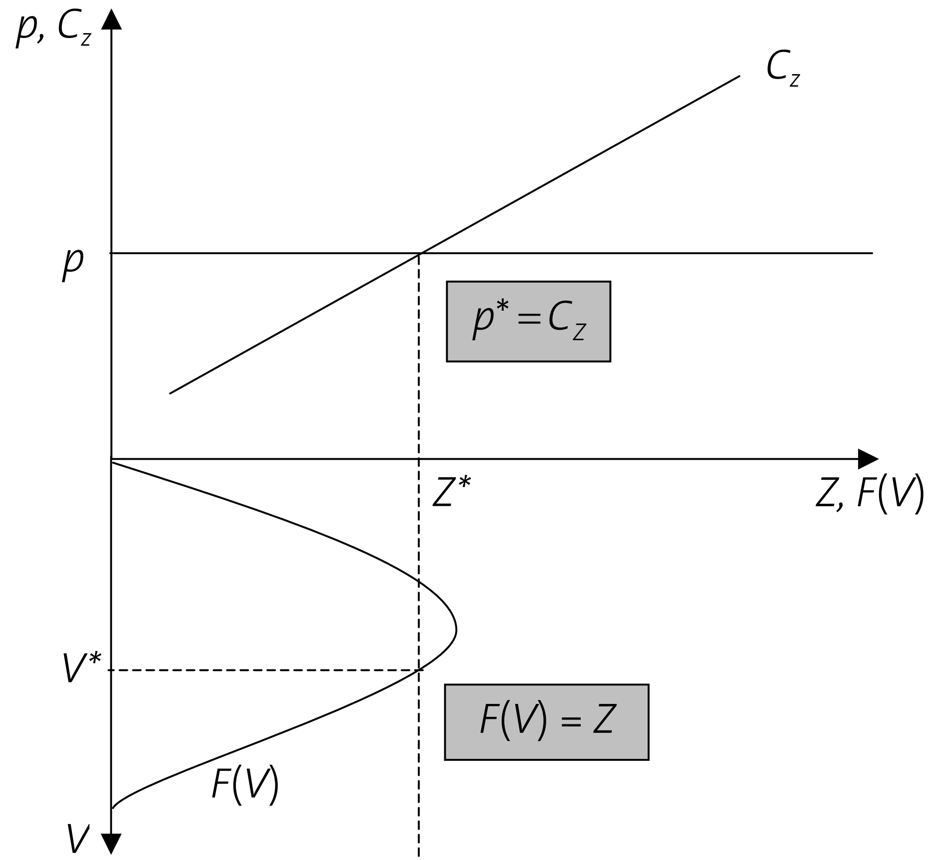
- Bedingung für Gewinnmaximum: $\Pi_Z = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{p = C_Z}$ (Preis = Grenzkosten)

  $\uparrow$

  Bedingung für (statisches) ökonomisches Gleichgewicht

Simultanes ökonomisches und biologisches Gleichgewicht:

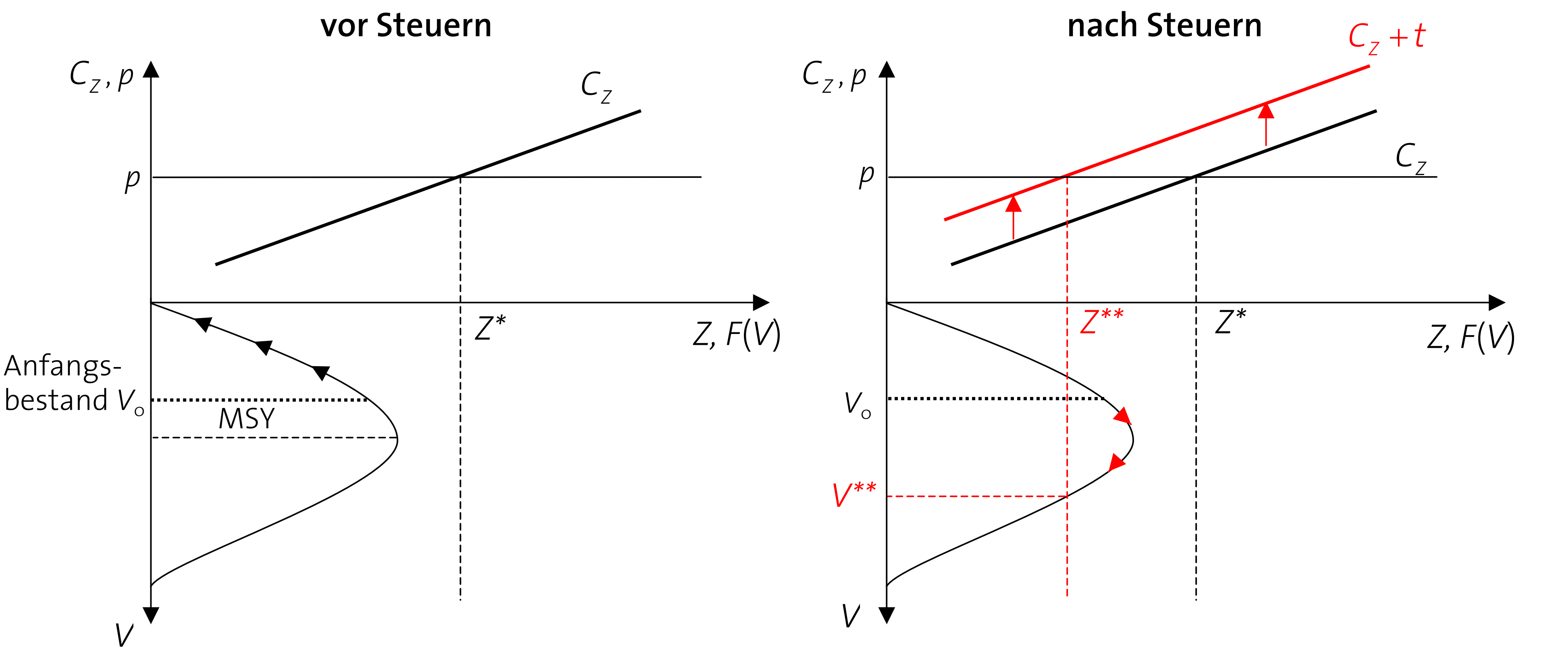
→ beide Gleichgewichtsbedingungen müssen gleichzeitig erfüllt sein: $\boldsymbol{Z = F(V)}$ und $\boldsymbol{p = C_z}$



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Problem: Was passiert, wenn bei $p = C_z$ die ökonomisch optimale Erntemenge Z^* den MSY übersteigt?

- bei $Z^* >$ MSY → langfristig Ausrottung des Bestandes
- Erhöhung von C_z über wirtschaftspolitische Maßnahmen (z.B. Besteuerung: Steuersatz t)



5.2.2 Intertemporales Optimum (Hotelling-Regel für erneuerbare Ressourcen)

Unternehmen berücksichtigen intertemporale Aspekte in ökonomischer Entscheidung

- Entscheidung:
  - entweder: Ressource heute abbauen und Erträge auf Kapitalmarkt anlegen
  - oder: Ressource nicht heute, sondern zu späterem Zeitpunkt abbauen

Kosten/Nutzen aus Verschiebung des Abbaus einer (marginalen) Einheit der Ressource:

1. Verzicht auf Zinsertrag: Unternehmer könnte heutigen Netto-Verkaufserlös p^n (= Preis p – Grenzkosten der Ernte C_z) für eine Periode auf Kapitalmarkt anlegen
   → entgangener Zinsertrag: $\boxed{r \cdot p^n}$

2. Kosten/Nutzen bei Änderung von p^n:

   falls z.B. Anstieg des Preises → höherer Nettoerlös aus Verkauf in nächster Periode $\boxed{\dot{p}^n = \frac{dp^n}{dt} > 0}$

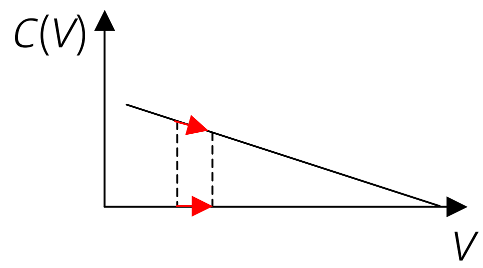
   (Beachte: falls Preis fällt → $\dot{p}^n < 0$ → Erlös geringer)

3. durch Verzicht auf Ernte → Anstieg des Bestandes, so dass...

3.a. Rückwirkung auf bestandsabhängige Kosten (bei höherem Bestand geringer):

→ eingesparte Kosten: $\boxed{-C_V = -\frac{dC(V)}{dV} > 0}$

(zur Erinnerung: $C_V < 0$)



3.b. Rückwirkung auf Regenerationsrate: $F_V = \frac{dF(V)}{dV}$

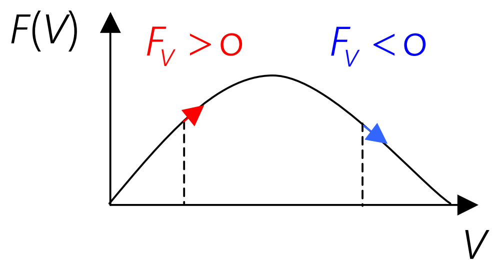
wenn $F_V > 0$: Anstieg der Regenerationsrate

→ gleichgewichtige Ernte in nächster Periode höher

→ zusätzlicher Verkaufserlös: $\boxed{p^n F_V > 0}$

wenn $F_V < 0$: Rückgang der Regenerationsrate

→ geringerer Verkaufserlös: $\boxed{p^n F_V < 0}$



Unternehmer verzichtet auf Ernte, wenn die zusätzlichen Erträge aus der Verschiebung der Ernte höher sind als die zusätzlichen Kosten, d.h. wenn

$$r \cdot p^n_R < \dot{p}^n - C_V + p^n F_V$$

dementsprechend: Unternehmer **erhöht** Ernte, wenn $$r \cdot p^n > \dot{p}^n - C_V + p^n F_V$$

→ im **Gleichgewicht** muss gelten: $$r \cdot p^n = \dot{p}^n - C_V + p^n F_V$$

Bedingung für optimales intertemporales ökonomisches Gleichgewicht

(Hotelling-Regel für erneuerbare Ressourcen)

Unterschied zur Hotelling-Regel für nicht-erneuerbare Ressourcen aufgrund Erneuerbarkeit des Bestandes.

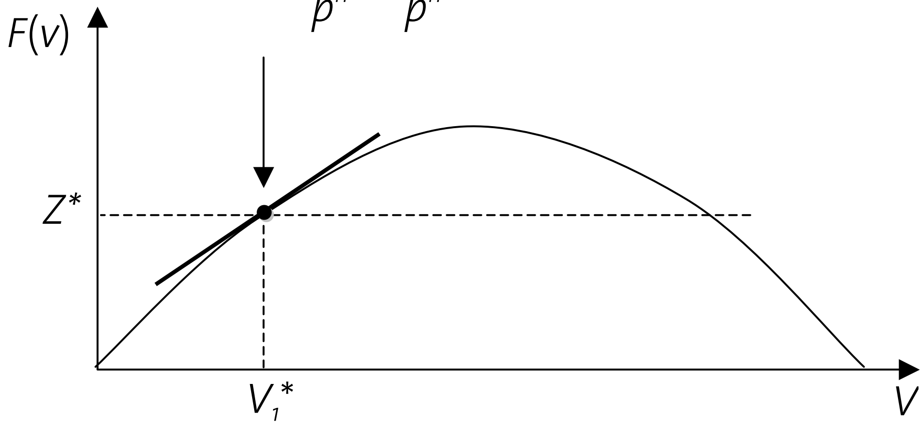
→ Bedingungen für optimales intertemporales bio-ökonomisches Gleichgewicht:

1. $F_V = r - \frac{\dot{p}^n}{p^n} + \frac{C_V}{p^n}$ (intertemp. ökon. GG) **2.** $F(V) = Z$ (biologisches GG)

(zur Erinnerung: F_V = Steigung der Regenerationsfunktion)

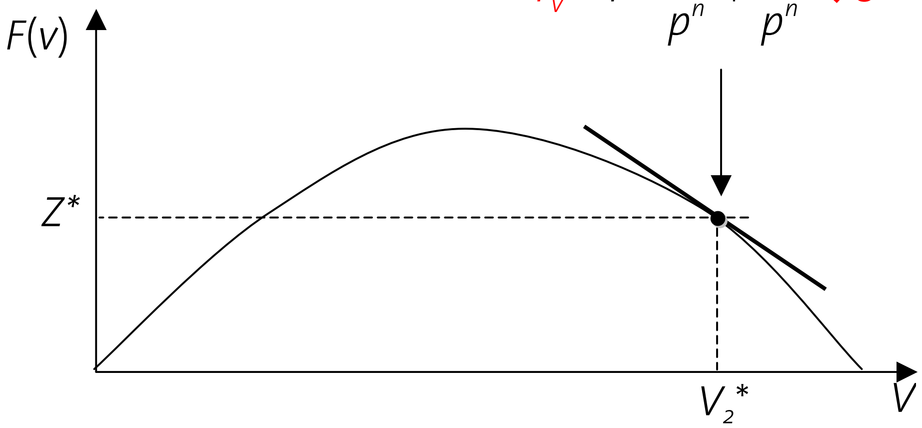
Fall1:

$F_V = r - \frac{\dot{p}^n}{p^n} + \frac{C_V}{p^n}$ **> 0**



Fall 2:

$F_V = r - \frac{\dot{p}^n}{p^n} + \frac{C_V}{p^n}$ **< 0**



5.3 Exkurs: Open-Access

- Bisher: Annahme, dass Ressource in Privatbesitz

- Jetzt: Annahme, dass keine (durchsetzbaren) Eigentumsrechte an der natürlichen Ressource
  → keiner kann von Ernte ausgeschlossen werden

- Konsequenz: Rückwirkung der Ernte auf den Bestand der Ressource nicht berücksichtigt
  - Marktzutritt, solange Gewinn positiv, bzw.
  - jeder Fischer dehnt Fang aus, solange der Fang die Kosten deckt

- **im Gleichgewicht**: Gewinn jedes Anbieters ist gerade gleich Null, d.h.

Erntekosten = Erntеerlös: $\boxed{C(Z,V) = p \cdot Z}$

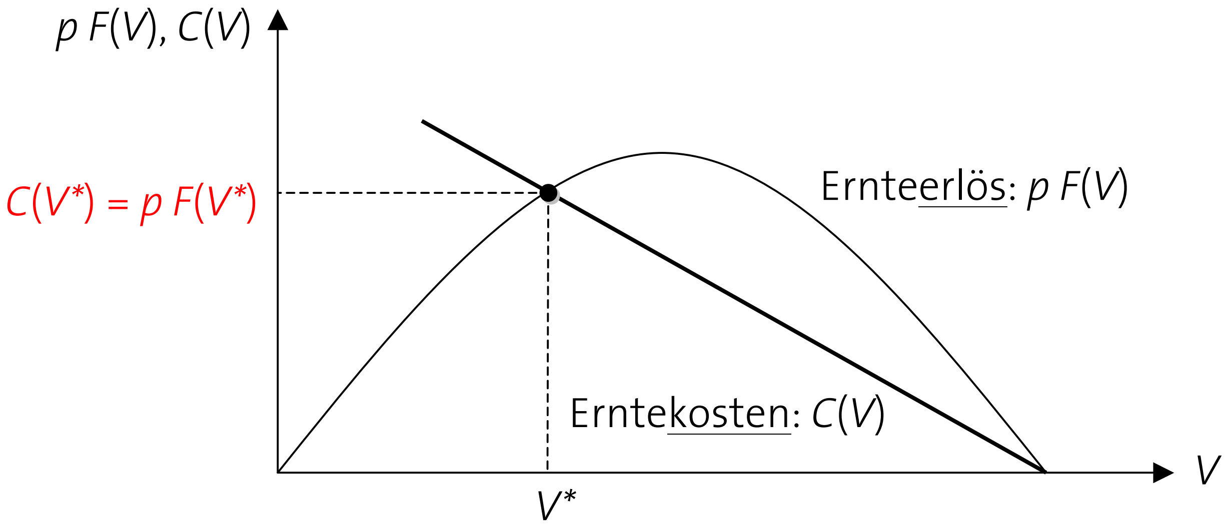
Open Access-Gleichgewicht

1. Biologisches Gleichgewicht: $F(V) = Z$

2. Ökonomisches Gleichgewicht: $C(V) = p \cdot Z$

→ **Simultanes Gleichgewicht:** $\boxed{C(V) = p \cdot F(V)}$

(vereinfachende Annahme: $C(Z,V) = C(V)$, d.h. keine ernteabhängigen Kosten)

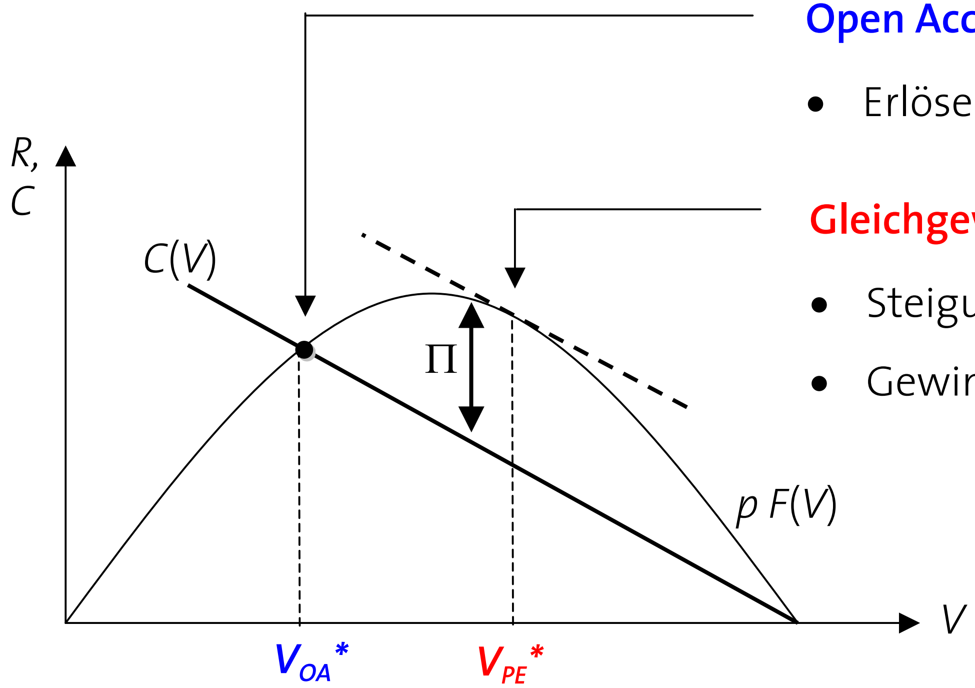


→ V^* (stabiles) Marktgleichgewicht: keine zusätzlichen Markteintritte, keine -austritte

Vergleich mit Gleichgewicht bei privatem Eigentum an Ressource:

Privateigentum (Rückwirkungen der Ernte auf Bestand berücksichtigt):

- Maximierung des Gewinns ($\Pi = p \cdot Z - C(V) = p \cdot F(V) - C(V)$) ergibt: $\boxed{p \cdot F_V = C_V < 0}$



Open Access Gleichgewicht ($pF(V) = C(V)$)

- Erlöse = Kosten

Gleichgewicht bei Privateigentum ($p \cdot F_V = C_V$)

- Steigung Erlösfunktion = Steigung Kostenfunktion
- Gewinn (= Erlös – Kosten) maximal

Gleichgewichtiger Bestand bei Privateigentum (V_{PE}*) höher als bei Open-Access (V_{OA}*)

Beispiel:

- Erneuerbare Ressource: Fischbestand in einem Teich, aus dem
  - bei Open Access jeder fischen darf
  - bei Privateigentum nur der Eigentümer fischen darf
- Einzige **Kosten**, die bei Fischfang und –verkauf anfallen: bestandsabhängige Kosten $C(V)$
- Erzielbarer **Erlös** pro Fisch: 100 CHF

Anzahl Fische im Teich V	nachhaltige Ernte $F(V) = Z$	Verkaufserlös $p\,Z$	Fangkosten $C(V)$	Gewinn Π	
10	2	200	900	-700	
20	5	500	800	-300	
30	7	700	700	0	Open Access Gleichgewicht
40	8.5	850	600	250	
50	9	900	500	400	
60	8.5	850	400	450	Gleichgewicht bei Privateigentum
70	7	700	300	400	
80	5	500	200	300	
90	2	200	100	100	
100	0	0	0	0	

Privateigentum:

- Eigentümer berücksichtigt Wirkung, die Fanghöhe auf Bestand und damit auf $F(V)$ und $C(V)$ hat
- kann Gewinn realisieren, da kein anderer im Teich fischen darf

Open Access:

- Fischer ignorieren Rückwirkungen → Im Gleichgewicht: Gewinn jedes Fischers gleich Null
- Im Gleichgewicht: Bestand geringer als bei Privateigentum

Intertemporales Open-Access Gleichgewicht:

entspricht statischem Gleichgewicht, da bei Open Access Rückwirkungen auf zukünftige Perioden nicht von den Agenten berücksichtigt werden

5.4 Hartwick-Regel für erneuerbare Ressourcen

- Frage:
  - Ist Nachhaltigkeit (im Sinne eines mindestens konstanten Bestandes) mit nachhaltigem (also mindestens konstantem) Konsum vereinbar?
  - Wieviel muss gespart werden, damit Konsum langfristig konstant ist?
- Voraussetzung:
  - Substitutionselastizität zwischen Ressource und anderen Kapitalarten mindestens Eins ($\sigma \geq 1$).
  - Wiederum: betrachtetes Beispiel mit $\sigma = 1$

Einfaches **Modell vom Solow-Typ** (vgl. Ableitung Hartwick-Regel für nicht-erneuerbare Ressourcen)

- Produktionsfunktion: $Y = F(K, Z) = K^{\alpha} Z^{1-\alpha}$ mit $0 \le \alpha \le 1$

  → Wachstumsrate des Outputs: **(1)** $g_Y = \alpha g_K + (1-\alpha) g_Z$

  wobei $g_Y = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\frac{dY}{dt}}{Y}$ = Wachstumsrate von Y (entsprechend für andere Variablen)

- Entwicklung des Kapitalstocks: **(2)** $g_K = \frac{\dot{K}}{K} = s\frac{Y}{K}$

- aus Gewinnmaximierung der Unternehmen:

(3) $g_p = \alpha(g_K - g_Z)$

(4) $r = \alpha \frac{Y}{K}$

- **Entwicklung des Ressourcenbestandes über die Zeit:** $\dot{V} = F(V) - Z$

nachhaltige Ernte: $\dot{V} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad g_Z = 0 \quad \Leftrightarrow \quad F(V) = Z$

→ über die Zeit konstanter Ressourceneinsatz ($g_Z = 0$) möglich, solange Ernte = Regeneration

(zur Erinnerung: bei nicht-erneuerbaren Ressourcen, abnehmender Ressourceneinsatz, da keine Regeneration möglich)

- **Hotelling-Regel für erneuerbare Ressourcen: (5)** $r = g_p + F_V$

(Vereinfachende Annahme: $C(Z,V) = 0$)

5. Wirtschaftswachstum bei erneuerbaren Ressourcen

- durch einsetzen von **(2), (3), (4)** und $g_Z = 0$ in **(5)** ergibt sich: **(6)** $F_V = \alpha(1-s)\dfrac{Y}{K}$

- sowie nach einsetzen von **(2)** und $g_Z = 0$ in **(1)**: $g_Y = \alpha s \dfrac{Y}{K}$

→ Produktion (und damit Konsum) im Zeitverlauf konstant ($g_Y = 0$), wenn Sparquote von Null ($s = 0$)

→ dann auch Kapitalstock konstant: $g_K = s\dfrac{Y}{K} = 0$

Intuition: Wenn der Ressourceneinsatz über die Zeit konstant ist, dann ist eine konstante Produktion möglich, sofern der Kapitalstock ebenfalls über die Zeit konstant ist

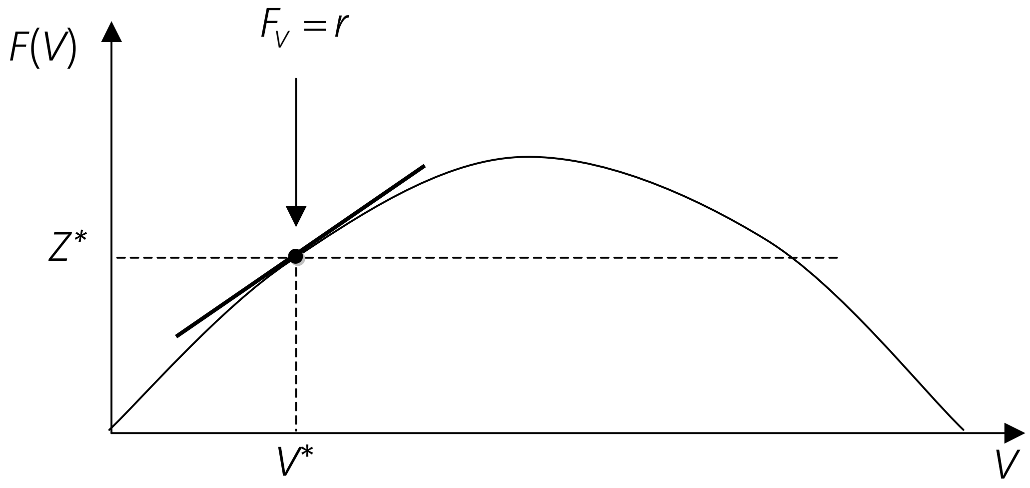
→ keine Investition/Ersparnis notwendig

→ wenn positive Ersparnis, dann auch steigende Produktion möglich

(dagegen bei nicht-erneuerbaren Ressourcen: Aufbau des Kapitalstocks – und damit Ersparnis – notwendig, um abnehmenden Ressourceneinsatz zu kompensieren)

- Regenerationsrate bei $s = 0$ (vgl. **(6)**): $F_V = \alpha \frac{Y}{K} = r$

  → Ressourcenpreis konstant (vgl. **(5)**): $g_p = r - F_V = 0$



Berücksichtigung von Abschreibungen:

→ Entwicklung des Kapitalstocks: **(2')** $g_K = s\frac{Y}{K} - \delta$

- aus Hotelling-Regel, (5), folgt [mit (2'), (3), (4) und $g_Z = 0$]: $F_V = (1-s)\alpha\frac{Y}{K} + \alpha\delta$

- konstanter Output erfordert bei $g_Z = 0$ und (2'): $g_Y = \alpha(s\frac{Y}{K} - \delta) = 0$ → $\boxed{s = \frac{K}{Y}\delta}$

Intuition: positive Ersparnis, um Abschreibungen zu kompensieren und Kapitalstock konstant zu halten → <u>Im nachhaltigen Gleichgewicht</u>: Ersparnis ($s \cdot Y$) = Abschreibungen ($\delta \cdot K$)

- Regenerationsrate bei $s = \frac{K}{Y}\delta$: $F_V = (1-\frac{K}{Y}\delta)\alpha\frac{Y}{K} - \alpha\delta$ ⇒ $\boxed{F_V = \alpha\frac{Y}{K} = r}$

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

5.4 Konsumentwicklung bei zinsabhängigem Sparen

- Frage: Langfristig konstanter Konsum möglich, wenn HH zukünftigen Nutzen diskontieren?
- Unternehmen: gleiche Produktionstechnologie wie in vorherigem Abschnitt (keine Abschreibungen)

- Haushalte: maximieren intertemporalen Nutzen

→ Keynes-Ramsey-Regel: $g_C = \frac{1}{\gamma}(r - \rho)$

→ Konsum konstant, wenn $r = \rho$

- bei konstantem Ressourcen- und Kapitaleinsatz konstante Produktion möglich

  → wegen (3) konstanter Zinssatz: $r = \alpha \frac{Y}{K} = \rho$

  → wegen (3) Ressourcenpreis konstant ($g_P = 0$) und wegen Hotelling-Regel (5): $F_V = r$

  → im Gleichgewicht muss daher gelten: $F_V = \rho$