Quelle: Backhaus, Jürgen / Helmedag, Fritz (Hrsg.), Holzwege, Forstpolitische Optionen auf dem Prüfstand, Marburg (Metropolis) 2002, S. 11-42.

Die optimale Rotationsperiode erneuerbarer Ressourcen

Fritz Helmedag

Zu fällen einen schönen Baum,
braucht's eine halbe Stunde kaum –
zu wachsen, bis man ihn bewundert,
braucht er, bedenkt es, ein Jahrhundert!

EUGEN ROTH

1. Wirtschaften entlang der Zeitachse

Die Produktion eines jeden Gutes ist ein länger oder kürzer dauernder Vorgang. Allerdings lässt sich bei einem großen Teil der Erzeugnisse die Fabrikation durch Menschenhand prinzipiell so straffen oder dehnen, dass etwa Stunde für Stunde Neues begonnen und Angefangenes vollendet werden kann. Es gibt freilich andere Branchen, in denen die *Ausreifung* der einzelnen Hervorbringung über einen gewissen Zeitraum hinweg unerlässlich ist. Der Unterschied tritt schlagend zu Tage, wenn man exemplarisch die Gestaltungsmöglichkeiten des Fertigungsablaufs in einem Automobilwerk mit jenen in einer Forstwirtschaft kontrastiert.

In der Industrie ist die betrachtete Periode offen, für die interessierende Größen wie Erlöse oder Kosten unter die Lupe genommen werden; das Mengengerüst bezieht sich auf das jeweils gewählte Intervall, konkret mag es sich um einen Tag, eine Woche, einen Monat oder ein Jahr handeln. Zwar wird in einem Holzbetrieb der Anbau in der Regel ebenfalls als „Plenterwald" mit gemischtem Altersbestand organisiert sein, in dem pro Zeiteinheit eine bestimmte Zahl von Bäumen Schlagreife erlangt. Aber die Anlage einer solchen synchronisierten Kultur bedarf des Wissens, wann die Ernte am lukrativsten ist. Eine entsprechende Staffelung der Bestockung setzt also Klarheit darüber voraus, wie alt ein einzelner Baum werden sollte. Diese Ausschau nach der optimalen Rotationsperiode ist bei allen erneuerbaren Ressourcen geboten, nicht nur in der Pflanzenproduktion, sondern auch in der Tierzucht, zum Beispiel der Schweinemast.[1]

Wer jedoch als gewinnmaximierender Landmann Hilfestellung bei der ökonomischen Theorie sucht, gerät leicht aufs Glatteis. Mit Erstaunen wird man zunächst feststellen, dass für das „einfache Problem einer optimalen Forstbewirtschaftung“[2] „bis in die heutige Zeit mehrere falsche Analysen“[3] anzutreffen sind: „Some of the greatest economists have solved the problem incorrectly.“[4] Da liegt es nahe, der Einfachheit halber auf die inzwischen allgemein akzeptierte Lösung zu vertrauen. Es wird sich gleichwohl als lohnend erweisen, die vorhandenen Alternativen zu prüfen, um zu sehen, auf welche konkreten Fragen sie jeweils eine Antwort offerieren.[5] Um die Darlegungen zu illustrieren, bewegen wir uns in einem Beispiel. Hierbei wird klar, wie sehr sich die Ermittlung der optimalen Umtriebszeit in der Forstwirtschaft als Demonstrationsobjekt eignet, verschiedene ökonomische Kalküle miteinander zu vergleichen: Ins-

---

[1] Gelegentlich spricht man von „reproduzierbaren“ Ressourcen, wenn der Regenerationszyklus weniger als ein Jahr beträgt und der Ertrag vom Arbeitseinsatz abhängt; man denke an Reis- oder Getreideanbau. Bei solchen Produktionsprozessen ist die Beschäftigung die zu optimierende Größe und nicht wie hier die Umtriebszeit. Vgl. zur Klassifikation Wacker, H. / Blank, J.-E., Ressourcenökonomik, Band I: Einführung in die Theorie regenerativer natürlicher Ressourcen, München / Wien 1998, S. 1 f.

[2] Vgl. ebenda, S. 105.

[3] Hampicke, U., Ökologische Ökonomie, Individuum und Natur in der Neoklassik, Natur in der ökonomischen Theorie, Teil 4, Opladen 1992, S. 76.

[4] Johansson, P.-O. / Löfgren, K.-G., The Economics of Forestry and Natural Resources, Oxford 1985, S. 74.

[5] Vgl. als Überblick mit Quellenangaben etwa Samuelson, P. A., Economics of Forestry in an Evolving Society, in: Economic Enquiry, Bd. XIV (1976), S. 466-492 und van Suntum, U., Johann Heinrich von Thünen als Kapitaltheoretiker, in: Studien zur Entwicklung der ökonomischen Theorie XIV, Johann Heinrich von Thünen als Wirtschaftstheoretiker, hrsg. v. Rieter, H., Berlin 1995, S. 87-113.

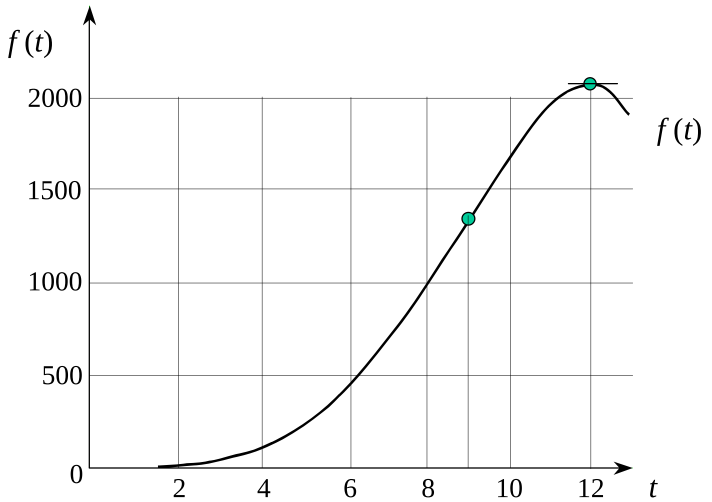
besondere Investor und Unternehmer lassen sich deutlich voneinander abgrenzen.

Auf einem Stück Boden wachse Wald. Bei der Ernte fallen annahmegemäß aus dem Erlös prozentual fixe Fäll- und Transportkosten an. Somit ist ein auf Mengeneinheiten – Gewichtsmaß oder Rauminhalt – bezogener Nettopreis bekannt. Er möge langfristig konstant sein und eigne sich daher als Numéraire. Wegen der gemachten Voraussetzungen stimmt das physische Produktionsergebnis mit dessen monetärer Bewertung überein. Der Ertrag eines Hektars mit Bäumen der Altersstufe t soll wie folgt spezifiziert sein:

$$f(t) = \frac{1}{30} t^4 (15 - t) \tag{1}$$

Wir interpretieren künftig die Zeitzahl t als Angabe von Jahren. Abbildung 1 zeigt das Produktionsergebnis in Abhängigkeit der Wachstumsdauer.

Abb. 1: Die Ertragsfunktion



Für die Produktivität der Zeit berechnet man:

$$f'(t) = \frac{4}{30} t^3 (15 - t) - \frac{1}{30} t^4 = \frac{1}{6} t^3 (12 - t) \tag{2}$$

Nullsetzen von (2) liefert das absolute Ertragsmaximum, das bei $t_m = 12$ liegt. Der durchschnittliche Ausstoß pro Intervall beträgt:

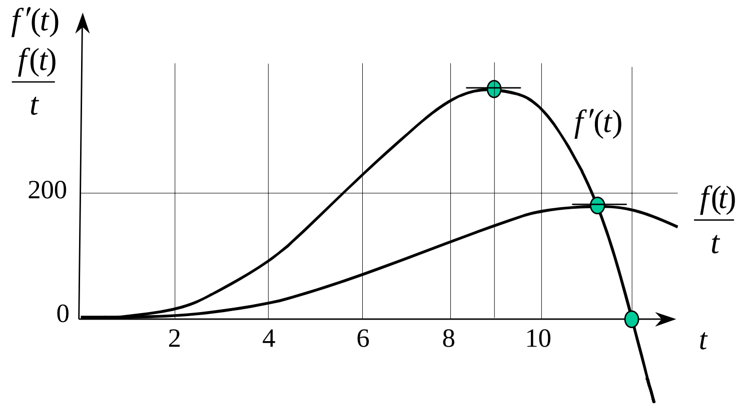
$$\frac{f(t)}{t} = \frac{1}{30} t^3 (15 - t) \tag{3}$$

Für den Extremwert gilt notwendigerweise:

$$\left(\frac{f(t)}{t}\right)' = \frac{1}{10} t^2 (15 - t) - \frac{1}{30} t^3 = \frac{1}{30} t^2 (45 - 4t) = 0 \tag{4}$$

Das mittlere Periodenprodukt wird bei $t_d = 11{,}25$ am größten. Abbildung 2 enthält die Graphen der Gleichungen (2) und (3).

Abb. 2: Produktivität und Durchschnittsertrag



Bei der Durchleuchtung der einzelnen Alternativen wird es besonders darauf ankommen, die jeweils tatsächlich unterstellte Zielsetzung hervorzuheben. Uns interessiert in erster Linie die *unternehmerische* Verhaltensmaxime: Die Stromgröße Gewinn soll möglichst groß sein. Welche Form der Waldbewirtschaftung leistet das? Um diese Frage korrekt zu beantworten, ist es unerlässlich, genau darauf zu achten, wie die konkret zu meisternde Entscheidungssituation aussieht.

2. Erlösüberschuss contra Kostenrendite

2.1 Der maximale Zukunftsgewinn

Im ersten Szenario sei ein Bebauer einer brach liegenden Bodenfläche betrachtet, der sich das Geld für die Anpflanzungskosten in Höhe von L pro Hektar leiht. Um leichter rechnen zu können, verzinse sich der Bankkredit stetig über die Zeit mit einer Zinsintensität i und werde dann nebst aufgelaufenen Zinsen am Ende auf einmal beglichen. Der (etwas salopp) als Gewinn bezeichnete Überschuss pro Hektar zum Zeitpunkt t ist positiv, wenn die verzinsten Aufstockungskosten nicht zu hoch ausfallen:

$$G(t) = f(t) - Le^{it} > 0 \quad \text{für} \quad 0 \leq L < f(t) \quad \text{und} \quad 0 \leq i < i_{\max} \tag{5}$$

Die Einkommensmaximierung[6] erfordert:

$$G'(t) = f'(t) - iLe^{it} = 0 \tag{6}$$

Die Auflösung bringt:

$$e^{it} = \frac{f'(t)}{iL} \tag{7}$$

Logarithmieren liefert:

$$it = ln\left(\frac{f'(t)}{iL}\right) \tag{8}$$

Daraus resultiert als Produktionsperiode:

$$t_G = \frac{1}{i} \cdot ln\left(\frac{f'(t_G)}{iL}\right) > 0 \quad \text{für} \quad f'(t_G) > iL \tag{9}$$

Wenn wir i = 10 % und L = 100 ansetzen, erhalten wir numerisch:

---

[6] Auf die Wiedergabe der hinreichenden Bedingungen wird hier und später verzichtet. Ebenso beschränken wir uns auf die ökonomisch relevanten Lösungen.

$$t_G = 11{,}883 \tag{10}$$

Zu diesem Zeitpunkt fällt ein Gewinn von

$$G(t_G) = 1743{,}517 \tag{11}$$

pro Hektar an. Doch der Landmann muss darauf t_G Jahre warten. Bekanntlich lässt sich jedoch eine Rückwärtsverteilung des zukünftigen Wertes vornehmen. Allgemein gilt für die Annuität z, welche einem späteren Auszahlungsbetrag $E(T)$ zum Zeitpunkt T äquivalent ist:

$$E(T) = \int_0^T z \cdot e^{i(T-t)} dt = \int_0^T z \cdot e^{it} dt = \left[\frac{z}{i} e^{it} \right]_0^T = \frac{z}{i}(e^{iT} - 1) \tag{12}$$

Die Periodisierung der kommenden Zahlung ergibt mithin:

$$z = \frac{iE(T)}{e^{iT} - 1} \tag{13}$$

Nach Einsetzen von $G(t_G)$ für $E(T)$ und der übrigen Werte berechnet man:

$$z_G = \frac{1743{,}517 \cdot 0{,}1}{e^{0{,}1 \cdot 11{,}883} - 1} = 76{,}424 \tag{14}$$

Der Zahlungsstrom über die Zeit z_G stellt das Pendant des in t_G Jahren anfallenden Gewinns dar. Diese Rente trägt (ebenso wie der Kapitalwert) zur Charakterisierung der jeweiligen Lukrativität bei.[7]

2.2 Eine Obergrenze für den Zins

Während die Optimierung eines Zukunftsgewinns in der Literatur keine besondere Rolle spielt, wurde die Bestimmung der Zeitdauer, für welche

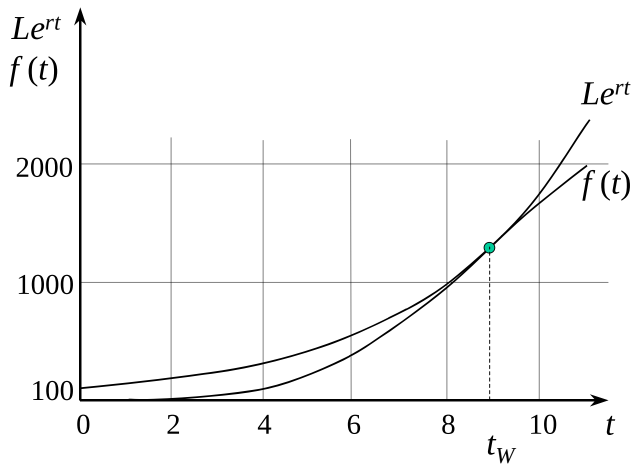
[7] Für konkurrierende Kalküle mit verschiedener Länge ist zu unterstellen, dass sie mehrfach hintereinander durchgeführt werden; die Mindestdauer des Vergleichszeitraums ist das kleinste gemeinsame Vielfache der einzelnen Umtriebsperioden.

eine Geldsumme – hier L – am besten zu investieren ist, oft thematisiert. Bei diesem Ansatz, der meist mit den Namen von K. Wicksell (1851-1926) bzw. K. E. Boulding (1910-1993) verknüpft wird, taucht z.B. die Frage auf, wie lange zugekaufter (neuer) Wein im Keller gelagert werden oder die erworbene Saat im Boden reifen sollte, wenn die Erlösentwicklungsfunktion bekannt ist.[8] Bei stetiger Verzinsung handelt es sich in der Terminologie Wicksells um die Maximierung der Verzinsungsenergie r des eingesetzten Betrages, wobei als Nebenbedingung zu beachten ist, dass der Verkauf die aufgezinste Anfangsinvestition deckt:

$$r \to \text{Max!} \qquad \text{u.d.N.} \qquad Le^{rt} = f(t) \tag{15}$$

Abb. 3 veranschaulicht die grafische Lösung der Problemstellung: Eine Kurve der stetigen Verzinsung der Geldanlage L verläuft so, dass die Ertragsfunktion gerade tangiert wird.

Abb. 3: Die Zinsobergrenze



Um den gesuchten Wert für t zu berechnen, wird die Nebenbedingung in (15) logarithmiert:

$$ln\,L + rt = ln\,f(t) \tag{16}$$

---

[8] Vgl. Wicksell, K., Vorlesungen über Nationalökonomie auf Grundlage des Marginalprinzips, Erster Band, Jena 1913, S. 238 f. und Boulding, K. E., Economic Analysis, Volume I, 4. Aufl., New York u.a. 1966, S. 672 ff.

Auflösung liefert:

$$r = \frac{ln\left(\frac{f(t)}{L}\right)}{t} \tag{17}$$

Wir leiten ab:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\left(\frac{f'(t)}{f(t)}\right)t - ln\left(\frac{f(t)}{L}\right)}{t^2} \tag{18}$$

Nullsetzen des Zählers und Umstellung informiert über das gesuchte Investitionsintervall t_W:

$$t_W = \frac{f(t_W) \cdot ln\left(\frac{f(t_W)}{L}\right)}{f'(t_W)} \tag{19}$$

Für unser Beispiel ergibt sich aus (19) als Wachstumsperiode:

$$t_W = 8{,}893 \tag{20}$$

Mit dieser (minimalen) Laufzeit ist die höchste Verzinsungsenergie r^* verbunden, die das Projekt zu erzeugen vermag. Damit ist auch jener kritische Markt- bzw. Kalkulationszinssatz $i_{\max}$ bestimmt, der nicht überschritten werden darf, wenn das Investitionsprojekt profitabel sein soll. Die maximale Verwertungsrate der vorgeschossenen Kosten beträgt nach Einsetzen und Kombination der vorausgegangenen Formeln:

$$r^* = \frac{f'(t_W)}{f(t_W)} = i_{\max} = 0{,}286 \tag{21}$$

Der zukünftige Erlös beläuft sich auf:

$$f(t_W) = Le^{r^* t_W} = 1273{,}038 \tag{22}$$

Bei der Berechnung des äquivalenten Gewinnstroms über die Zeit gemäß (13) ist zu beachten, dass die Kosten hier nur mit $i = 0{,}1 < r^*$ aufzuzinsen sind:

$$z_W = \frac{\left(1273{,}038 - 100 \cdot e^{0{,}1 \cdot 8{,}893}\right) \cdot 0{,}1}{e^{0{,}1 \cdot 8{,}893} - 1} = 71{,}835 \tag{23}$$

Diese Annuität ist geringer als im vorher betrachteten Fall (vgl. (14)). Die Wicksell-Boulding-Lösung oder, wenn man so möchte, die Maximierung der Profitrate alias Kostenrendite kann also nicht der Weisheit letzter Schluss sein. Doch noch ist es viel zu früh, ein Fazit zu ziehen.

3. Vermögensrechnung in der Forstwirtschaft

3.1 Der Kapitalwert des Waldes

Wir hatten unsere Betrachtung mit einem Landmann begonnen, der die Anpflanzungskosten L zum Zinssatz i geliehen hat. Es ließe sich auch fragen, wie hoch das Kreditlimit einer Bank ist, wenn ein Baumbestand verpfändet wird und der Erlös die Schulden tilgen soll. Die Aufgabe läuft auf die Suche nach dem Spitzenpreis heute hinaus, den eine vorhandene Anpflanzung auf einem Terminmarkt erzielen könnte. Gefahndet wird nach dem maximalen Kapitalwert des Holzes (KW_H):

$$KW_H = f(t)e^{-it} - L = \frac{f(t) - Le^{it}}{e^{it}} \overset{(5)}{=} \frac{G(t)}{e^{it}} \to \text{Max!} \tag{24}$$

Wir optimieren:

$$\frac{dKW_H}{dt} = f'(t)e^{-it} - f(t)i \cdot e^{-it} = 0 \tag{25}$$

Daraus resultiert:

$$i = \frac{f'(t)}{f(t)} \tag{26}$$

Die oft nach W. St. Jevons (1835-1882) bzw. nach I. Fisher (1867-1947) bezeichnete Regel[9] formuliert eine optimale Ausreifungszeit eines *Einmalprojekts*: Wenn die Wachstumsrate des Waldes auf den Zinssatz gefallen ist, erreicht der Kapitalwert des Holzbestandes sein Maximum. Aus diesem Kalkül folgt, dass eine Erhöhung des Zinssatzes einen früheren Einschlag bewirkt. Den vorher angesprochenen Höchstzinssatz i_{max} mit der kürzesten Kapitalbindung liefert Gleichung (21), die für $t_W = t$ mit (26) übereinstimmt.

Wir ermitteln für den gegebenen Marktzins i = 10 % als Umtriebsperiode und Kapitalwert:

$$t_H = 11{,}140 \tag{27}$$

$$KW_H = 550{,}433 \tag{28}$$

Für Vergleichszwecke interessiert wieder der entsprechende Zahlungsstrom. Da es sich diesmal um die Vorwärtsverteilung eines Gegenwartswertes in die Zukunft handelt („Kapitalwiedergewinnung“), setzt man wie folgt an:

$$KW(0) = \int_0^T v \cdot e^{-it} dt = \left[\frac{v}{-i} e^{-it} \right]_0^T = -\frac{v}{i}\left(e^{-iT} - 1\right) = \frac{v}{i}\left(1 - e^{-iT}\right) \tag{29}$$

Daraus berechnet sich für die Annuität v:

$$v = \frac{KW(0) \cdot i}{1 - e^{-iT}} \tag{30}$$

Der konkrete Wert fällt bislang am höchsten aus:

$$v_H = \frac{550{,}433 \cdot 0{,}1}{1 - e^{-0{,}1 \cdot 11{,}140}} = 81{,}939 \tag{31}$$

Somit scheint die Jevons-Fisher-Formel das Rennen zu machen; auf jeden Fall bringt sie mehr als die Maximierung der Rendite auf die An-

[9] Vgl. Jevons, W. St., The Theory of Political Economy, 2. Aufl., London 1879, S. 266 f. und Fisher, I., The Theory of Interest, New York 1930, S. 164 f.

fangsinvestition à la Wicksell-Boulding. Allerdings ist das nicht das letzte Wort. Die beste Bewirtschaftung eines Waldes ist nämlich kein Problem einer einmaligen Geldanlage, sondern eines kontinuierlichen Anbaus.

3.2 Die Ertragskraft des Bodens

Die vorangegangene Kapitalwertmaximierung beschränkt sich auf die Betrachtung einer Altersklasse an Bäumen. Hiervon ist die Frage zu trennen, welches Vermögenspotenzial eine (noch) nackte Fläche besitzt, deren Verwendungsmöglichkeit sich *allein* auf die Forstwirtschaft beschränkt. Es soll also der Kapitalwert *aller* zukünftigen Wälder und damit der „richtige“ *Preis des Bodens* berechnet werden. Diesen Ansatz verfolgte der studierte Förster Martin Faustmann (1822-1876) Mitte des 19. Jahrhunderts: „Welches ist der reine Geldertrag, den ein jetzt holzleerer Waldboden immerwährend in jährlich gleicher Größe liefert?“[10]

Der Grundstückswert (KW_F) reflektiere die Abfolge einer unendlich langen Kette von gleichen Projekten, wobei die Zinseffekte zu berücksichtigen sind. Damit erhoffte sich Faustmann „[…] die nötigen Aufschlüsse […] bei Waldzerstörungen durch Feuer, Insekten, Menschen […]“[11] zu erlangen. Die Ertragskraft des Areals – und nicht der Wert vernichteten Holzes! – beläuft sich laut Faustmann auf:

$$KW_F = -L + \left(f(t) - L\right)e^{-it} + \left(f(t) - L\right)e^{-2it} + \dots \tag{32}$$

Dies kann man umgruppieren:

$$KW_F = \left(f(t)\,e^{-it} - L\right) + \left(f(t)e^{-it} - L\right)e^{-it} + \left(f(t)e^{-it} - L\right)e^{-2it} + \dots \tag{33}$$

---

[10] Faustmann, M., Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen, in: Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, December 1849, S. 441-455, S. 442.

[11] Ebenda, S. 441. Gemeint ist offenbar die endgültige Unbrauchbarkeit des Bodens zu Forstzwecken; damit steht die Suche nach einer angemessenen Höhe des Schadenersatzes („Expropriationen“) im Raum.

Damit lässt sich die Summenformel für die unendliche geometrische Reihe anwenden:

$$KW_F = \frac{f(t)e^{-it} - L}{1-e^{-it}} \overset{(24)}{=} \frac{KW_H}{1-e^{-it}} = \frac{G(t)}{e^{it}-1} \tag{34}$$

Selbstverständlich wächst der Faustmann-Kapitalwert – wie alle lohnenden Investitionen mit ewiger Laufzeit – für einen verschwindenden Zinssatz über alle Grenzen, und zwar unabhängig davon, welche Höhe der Zukunftsgewinn $G(t)$ hat. In einer solchen Situation ist man gezwungen, nach einem anderen Verfahren Ausschau zu halten, mit dem sich eine konkrete Wachstumsdauer für die Bäume finden lässt. Ferner darf der Zinssatz höchstens $i_{\max}$ betragen, weil sonst der Ertragswert wegen eines negativen Gewinns $G(t)$ im Minus liegt. Innerhalb des zulässigen Spektrums treiben Veränderungen des Zinssatzes den Kapitalwert in gegenläufige Richtung.

Die Maximierung des Faustmann-Kapitalwerts kennzeichnet die „Bodenreinertragslehre“:

$$\frac{dKW_F}{dt} = \frac{\left[f'(t)e^{-it} + f(t)\left(-ie^{-it}\right)\right]\left(1-e^{-it}\right) - \left(f(t)e^{-it} - L\right)\left(ie^{-it}\right)}{\left(1-e^{-it}\right)^2} = 0 \tag{35}$$

Daraus folgt zunächst:

$$f'(t)(1-e^{-it}) = i\left(f(t)(1-e^{-it}) + f(t)e^{-it} - L\right) \tag{36}$$

Schließlich resultiert:

$$f'(t) = \frac{i\left(f(t) - L\right)}{1-e^{-it}} \tag{37}$$

Aus dieser Gleichung ist t zu ermitteln. Hierfür muss neben dem Zinssatz die explizite Ertragsfunktion bekannt sein. Die Berechnung für unser Exempel ergibt:

$$t_F = 10{,}666 \tag{38}$$

$$KW_F = 828{,}745 \tag{39}$$

Falls sich dieser Kapitalwert durch Verkauf der Kulturfläche realisieren lässt oder eine entsprechende Verpachtung möglich sein sollte, fließt daraus die ewige Rente[12]:

$$Z_F = i \cdot KW_F = 0{,}1 \cdot 828{,}745 = 82{,}8745 \tag{40}$$

Eine Rückwärtsverteilung nach (13) von $G(t_F)$ brächte dasselbe Ergebnis.[13] Ehe wir prüfen, ob die Parzelle den Faustmann-Wert überhaupt erzielt, betrachten wir jedoch eine grundsätzlich andere Modellierung.

4. Einnahmen finanzieren Ausgaben

4.1 Thünen: Zu viel des Guten

Bislang haben wir auf unserer Bodenfläche gedanklich jeweils einen Altersjahrgang von Bäumen wachsen lassen, der dann zum gleichen Zeitpunkt geschlägert wurde. In der Wirklichkeit wird quasi permanent angepflanzt und geerntet; übertragen auf unser Beispiel wird in Abhängigkeit der Rotationsperiode t jeweils der t-te Teil eines Hektars abgeholzt und dann wieder aufgeforstet.

Der Gesichtspunkt eines „nachhaltigen“ statt eines „aussetzenden“ Betriebes findet sich ebenfalls in den Schriften von Johann Heinrich von Thünen (1783-1850).[14] Er reißt die Unterscheidung aber nicht nur an –

---

[12] Die Formel ergibt sich aus Gleichung (30) für $T \to \infty$.

[13] Eine alternative Herleitung der Faustmann-Rotation besteht darin, in (13) den kommenden Gewinn $G(t) = f(t) - Le^{it}$ einzusetzen und z in Bezug auf t zu optimieren. Dies läuft auf die Suche der maximalen Annuität der Projektkette hinaus.

[14] Vgl. Thünen, J. H. v., Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie, Dritter Theil, Grundsätze zur Bestimmung der Bodenrente, der vorteilhaftesten Umtriebszeit und des Werths der Holzbestände von verschiedenem Alter für Kieferwaldungen (1863), 3. Aufl., hrsg. v. Schumacher-Zarchlin, H., Berlin 1875.

wie etwa Faustmann –, sondern macht sie tatsächlich fruchtbar, indem er auf ein regelmäßig wiederkehrendes Einkommen abstellt. Die vorher erörterten Verfahren behandelten die Aufgabenstellung als ein Problem der Investitionsrechnung, Thünen demgegenüber nimmt von vornherein eine Stromgröße ins Visier: den *Perioden*gewinn (PG) des Waldbesitzers. Dabei zieht er vom Ertrag neben den Pflanzkosten L zusätzlich die (entgangenen) Zinsen auf den Geldwert des stehenden Holzes ab. Dieser ist im stetigen Fall gleich dem Integral $F(t)$ über der Ertragsfunktion $f(t)$. Thünens Maximand lässt sich wie folgt schreiben[15]:

$$PG_T = \frac{f(t) - iF(t) - L}{t} \tag{41}$$

Das Geniale dieses Kalküls besteht darin, die Zielfunktion von Anfang an auf einen kontinuierlichen Überschuss auszurichten, womit die Weichenstellung direkt in Richtung einer synchronisierten Anpflanzung geschieht. Aus den Einnahmen eines derart gestaffelten Forstes werden die Kosten der Neuanpflanzung getragen, die daher keinen Zinsanspruch begründen.

Schauen wir, was die Optimierung eines nachhaltigen Betriebes im Sinne Thünens bringt. Die notwendige Bedingung fordert:

$$\frac{dPG_T}{dt} = \frac{\left(f'(t) - if(t)\right)t - f(t) + iF(t) + L}{t^2} = 0 \tag{42}$$

Der Ansatz bestimmt das Wachstum des einzelnen Baumes zu:

$$t_T = \frac{f(t_T) - iF(t_T) - L}{f'(t_T) - if(t_T)} \tag{43}$$

Wir berechnen konkret:

$$t_T = 10{,}453 \tag{44}$$

[15] Vgl. van Suntum, U., Johann Heinrich von Thünen …, a.a.O., S. 108. Zur diskreten Formulierung siehe Manz, P., Forestry economics in the steady state: the contribution of J. H. von Thünen, in: History of Political Economy, Bd. 18 (1986), S. 281-290, S. 285 ff.

$$PG_T = 113{,}488 \tag{45}$$

Diesen deutlich höheren Zufluss gegenüber den vorher behandelten sukzessiven Bebauungsweisen stellt einen Anreiz dar, die Maximierung des Periodengewinns einer Plenterwirtschaft ins Auge zu fassen. Freilich ist es ökonomisch fragwürdig, die Opportunitätskosten bereits bei der Optimierung einer Aktivität zu berücksichtigen. Vielmehr dient der *anschließende* Vergleich mit einer alternativen Verwendung des Holzkapitals zur Entscheidung, ob der Forstbetrieb überhaupt lohnt. Deswegen überzeugt die Thünen'sche Überlegung letzten Endes nicht vollständig.

4.2 Zurück zu den Wurzeln: 1788

Allerdings gibt es eine weitere Fällregel, die in der Forstökonomik seit langem diskutiert wird. Sie erhebt die auf einen Hektar bezogene Differenz zwischen Ertrag und Pflanzkosten pro Zeiteinheit (PG_J) zur Zielfunktion:

$$PG_J = \frac{f(t) - L}{t} \tag{46}$$

Tatsächlich wurde diese Handlungsanleitung unter Joseph II. (daher Index J) erteilt, wie eine 1788 von der österreichischen Regierung publizierte Vorschrift belegt.[16] Diese „Waldreinertragsformel“ entspricht der Thünenschen für i = 0. Zur Optimierung bringen wir die Ableitung von (46) zum Verschwinden:

$$\frac{dPG_J}{dt} = \frac{f'(t)t - (f(t) - L)}{t^2} = 0 \tag{47}$$

Die Auflösung führt zu:

$$t_J = \frac{f(t_J) - L}{f'(t_J)} \tag{48}$$

[16] Vgl. Osmaston, F. C., The Management of Forests, London 1968, S. 188.

Bemerkenswerterweise geht auch die Faustmann-Lösung für einen gegen Null strebenden Zinssatz in diesen Ausdruck über. Denn nach Anwendung der Regel von de l'Hospital erhält man aus (37) eine Variante von (48):

$$\lim_{i \to 0} f'(t) = \lim_{i \to 0} \frac{f(t) - L}{te^{-it}} = \frac{f(t) - L}{t} \tag{49}$$

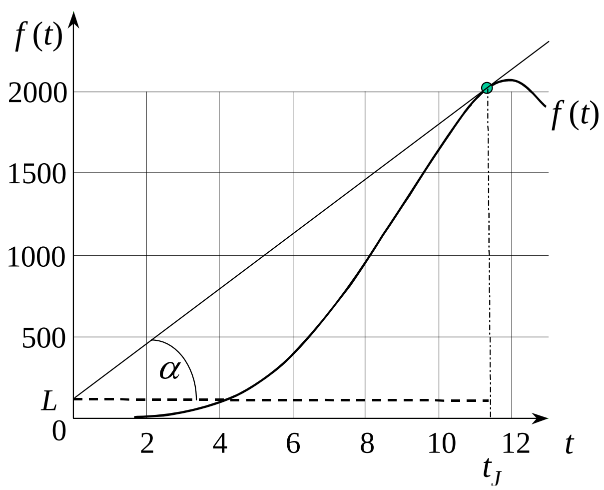
Die Substitution unserer Ertragsfunktion in (48) und (46) bringt:

$$t_J = 11{,}296 \tag{50}$$

$$PG_J = 169{,}108 \tag{51}$$

Im vorliegenden Fall lässt sich die optimale Rotationsperiode auf einfache Weise aus einer Grafik ablesen (vgl. Abb. 4).

Abb. 4: Die maximale Bodenrente



Es wird vom Fixkostenblock L der Fahrstrahl an $f(t)$ gelegt, der den Winkel α bestimmt, dessen Tangens dem größten Überschuss pro Hektar über der Zeit entspricht. Wie die als Anhang III (S. 42) angefügte Tabelle bestätigt, ist dies der bisher höchste Periodengewinn.

Damit ist zugleich Klarheit geschaffen, unter welchen Bedingungen sich die Forstwirtschaft nicht mehr lohnt. Bei entsprechender Lukrativität einer Alternative werden Holz und Boden versilbert, um den realisierten

Verkaufserlös (U) dort zu verwerten. Sollte dies die Finanzanlage sein, gilt:

$$U \cdot i > PG_J \tag{52}$$

Wir werden sofort Gelegenheit haben, die Zusammenhänge zu konkretisieren.

4.3 Die Probe aufs Exempel

P. A. Samuelson nennt in seinem oft zitierten Aufsatz u.a. das soeben beschriebene Verfahren, den nachhaltigen Nettoertrag („sustained net yield") zu maximieren.[17] Er (und mit ihm die herrschende Meinung) hält diese „Austrian Cameral Valuation Method" für falsch, da sie Zinseffekte nicht berücksichtige.[18] Einem Forstwissenschaftler, der glaubt, es komme auf den Unterschied zwischen Holzerträgen und Pflanzkosten pro Jahr an, werden die Leviten gelesen:

> „This is so absurd as to be almost believable to the layman – up to the moment when the economist breaks the news to the farmer […] that he can mine the forest by cutting it down without replanting and sell the land, thereafter putting the proceeds into the bank […] and subsequently earn interest forever."[19]

Mit unseren Erkenntnissen können wir die Kritik Samuelsons würdigen. Angenommen, ein Landmann, der einen Hektar mit Joseph II.-synchronisiertem Wald sein Eigen nennt, beherzigte die ihm erteilte Anweisung. Er schlägt die Kulturfläche kahl, veräußert das Holz und finde anschließend sogar einen Abnehmer, der das Grundstück zum Faustmann-Wert erwirbt. Insgesamt erhält unser Ex-Förster:

---

[17] Vgl. Samuelson, P. A., Economics …, a.a.O., S. 477.

[18] Vgl. ebenda, S. 489.

[19] Ebenda, S. 474.

$$U = \int_0^{t_J} \frac{1}{t_J} f(t)dt + KW_F = 606{,}401 + 828{,}745 = 1435{,}146 \qquad (53)$$

Demgegenüber liefert der als ewige Rente interpretierte Periodengewinn PG_J gemäß (51) einen Gegenwartswert in Höhe von:

$$\frac{PG_J}{i} = \frac{169{,}108}{0{,}1} = 1691{,}08 \qquad (54)$$

Offensichtlich machte der Ratsuchende einen Verlust, wenn er Samuelsons Empfehlung befolgen würde: Der (wie noch gezeigt wird: höchstmögliche) „Firmenwert“ U gemäß (53) ist kleiner als der Betrag nach (54)! Tatsächlich besteht eine Grundbedingung unternehmerischen Handelns darin, dass der dauerhafte Nettozufluss den Ertrag aus dem auf Zins gelegten Verkaufserlös des Betriebsvermögens übertrifft. Dem ist hier so, die „Raubbaukondition“ (52) ist nicht erfüllt. Damit schneidet das Wirtschaften nach der „Daumenregel“[20] von 1788 bei der gegebenen Datenlage besser ab als die unterbreitete Abholzungspolitik.

Doch wir müssen beachten, dass die Boden- und Waldreinertragslehren sich einem unmittelbaren Vergleich sperren: Faustmann steht auf (noch) leerer Fläche und sucht deren Wert; der (bereits) von Bäumen umringte Joseph II. dagegen möchte aus seinen Wäldern dauerhaft möglichst viel ernten.[21] Dieser Unterschied ist auch für den Forstwirt in modernen Zeiten von Bedeutung. Darüber hinaus verdienen institutionelle Veränderungen Beachtung.

---

[20] Vgl. Neher, P. A., forests, in: The New Palgrave, Bd. 2, London / New York / Tokyo 1994, S. 412-414, S. 413.

[21] In der Wissenschaft tobte lange Zeit ein intensiver Streit zwischen den beiden Schulen. Vgl. zur Geschichte dieser Auseinandersetzung Wagner, C., Lehrbuch der theoretischen Forsteinrichtung, Berlin 1928, der auf S. 199 bilanziert: „So stand also Nachhaltigkeit gegen Rentabilität, Preußen gegen Sachsen.“ Allerdings verfehlt diese Gegenüberstellung den Kern der Sache. Eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist auch mit der Faustmann-Umtriebszeit möglich, freilich mit suboptimalem Holzertrag. Setzt man in (46) t_F aus (38) ein, ergibt sich: $PG_F = 165{,}920 < PG_J = 169{,}108$.

5. Vom Feudalismus zum Kapitalismus

5.1 Die Phase der Akkumulation

Wir bereichern das Bild nun, indem wir einen zusätzlichen ökonomischen Akteur auf die Bühne bitten, den Unternehmer. Wie ein Investor strebt er nach Gewinnmaximierung, wenngleich er einer anderen Restriktion unterworfen ist: Den Unternehmer bindet nicht sein Geld, das er in ein Projekt einzuschießen vermag, sondern er unterliegt einer *erlösseitigen* Beschränkung. Seine Hauptaufgabe besteht darin, ein Leistungsangebot bereitzustellen, das auf eine effektive Nachfrage stößt, die zumindest die Kosten deckt. Aus analytischer Sicht ist dabei davon auszugehen, dass der Entrepreneur grundsätzlich kein eigenes Geld vorstreckt; seine Reputation oder die Überzeugungskraft von seiner Geschäftsidee eröffnen ihm den Weg zum Kredit. Von dieser Warte aus gesehen sind Renditegrößen – also Quotienten, die einen Überschuss in Beziehung zu irgendeinem Kapitaleinsatz setzen – ungeeignet, als Indikator seines erwerbswirtschaftlichen Erfolgs zu dienen. Die Obergrenzen von Holz- oder Bodenwerten spiegeln in erster Linie die Interessen von Vermögensbesitzern wider, nicht die eines Unternehmers, der einen hohen Periodengewinn anstrebt.

In der vorliegenden Modellwelt hat unser neuer Protagonist wenigstens in einer Hinsicht leichtes Spiel: Die Ertragsfunktion der Holzproduktion ist bekannt, der Absatz macht kein Problem. Welche Umtriebszeit ist aber optimal, sobald alle Kosten, inklusive Bodennutzung, zu tragen sind?

Im ersten Schritt soll das Areal nur zum Faustmann-Wert für akkumulierende unternehmerische Forstwirte käuflich sein. Periode für Periode werde in Abhängigkeit eines gegebenen Fällzeitpunktes T eine weitere Teilparzelle $1/T$ eines Hektars erworben. Zudem fallen jeweils die entsprechenden Setzkosten an. Bei Kreditfinanzierung sind bis zum Erreichen der (noch unbekannten) optimalen Rotationsperiode T damit folgende Schulden aufgehäuft:

$$S_{\text{Kauf}}(T) = \int_0^T \frac{1}{T}\left(KW_F + L\right)e^{i(T-t)}dt = \left(KW_F + L\right)\left(\frac{e^{iT} - 1}{iT}\right) \tag{55}$$

Substituiert man in diese Formel als Umtriebszeit die Faustmann-Periode t_F sowie die anderen Daten, ergibt sich:

$$S_{\text{Kauf}}(t_F) = (828{,}745 + 100)\left(\frac{e^{0{,}1 \cdot 10{,}666} - 1}{0{,}1 \cdot 10{,}666}\right) = 1659{,}20 \tag{56}$$

Die Verzinsung dieses aufgelaufenen Schuldenbergs während des Aufbaus der Plenterwirtschaft wird gerade vom Periodenertrag bei synchronisierter Kultur gedeckt:

$$PG_F = \frac{f(t_F) - L}{t_F} = i \cdot S_{\text{Kauf}}(t_F) = 165{,}920 \tag{57}$$

Aus (57) ist ersichtlich, welchen Charakter der Faustmann-Bodenwert aus Käufersicht hat: Er repräsentiert das *Limit* des Betrags, der im Zeitablauf jeweils für eine weitere Parzelle zur Errichtung eines gestaffelten Waldes von einem mittellosen Unternehmer überhaupt gezahlt werden kann.[22] Möchte der Erwerber Gewinn einstreichen, muss der tatsächlich entrichtete Preis für das Jahr für Jahr hinzugekaufte Stück Land *geringer* als der Faustmann-Wert sein. Er ist demnach – wie der maximale Kalkulationszins $i_{\max}$ – eine *Randbedingung* für forstwirtschaftliches Handeln.

Schauen wir als Vorstudie für den kommenden Abschnitt noch kurz auf die Alternative, die sich dem Unternehmer eventuell statt des Bodenerwerbs bietet: die Pacht in Höhe von *R* pro Periode und Hektar. Während sich die erforderlichen Ausgaben für die Setzlinge wie vorher bis zum Erreichen der angestrebten Wachstumsdauer der Bäume summieren,

[22] „Herr Faustmann must have reasoned along lines somewhat as follows: If I were to start planning a forest from scratch, how much could I afford to pay for bare land?” Gregory, G. R., Forest Resource Economics, New York u.a. 1972, S. 286 f. Wie im Anhang I (S. 39 f.) gezeigt wird, können die aufgelaufenen Schulden einer Vollaufstockung der zum Faustmann-Wert gekauften Gesamtfläche niemals aus dem Ertrag abgebaut werden, da der Ertrag lediglich zur Zinszahlung reicht.

sieht die Formel für die kumulierten Pachtschulden anders aus. Der in Anspruch genommene Kredit zum Zeitpunkt T beträgt:

$$S_{\text{Pacht}}(T) = \int_0^T t \frac{1}{T} Re^{i(T-t)} dt + \int_0^T \frac{1}{T} Le^{i(T-t)} dt = \\ = \frac{R\left(e^{iT} - iT - 1\right) + Li\left(e^{iT} - 1\right)}{i^2 T} \tag{58}$$

Damit erhalten wir als Gewinnfunktion des Unternehmer-Pächters unmittelbar nach Aufbau des gestaffelten Waldes zum Zeitpunkt T:

$$PG(T) = \frac{f(T) - L}{T} - R - i \cdot S_{\text{Pacht}}(T) \tag{59}$$

Bei bekanntem Rentsatz R wählte unser Modell-Förster das geeignete T. Hernach kann er je nach Gusto und Datenlage seine Schulden rascher oder langsamer tilgen. Damit wird eines schönen Tages t ebenso wie beim Kauf des Bodens die Zinszahlung auf den in Anspruch genommenen Kredit hinfällig – sofern das unternehmerische Engagement von Erfolg gekrönt ist. Langfristig gilt dann:

$$PG(t) = \frac{f(t) - L}{t} - R \tag{60}$$

Widmen wir uns dieser langen Frist und der Bestimmung der Pacht etwas genauer.

5.2 Die Bodenrente in der Konkurrenz

Die kameralistische Vorschrift von 1788 hat aus moderner Sicht ein Manko. Sie diente als Richtlinie im *Feudalismus*: Die Forstwirtschaft wurde vom Eigentümer, dem zuweilen riesige Gebiete gehörten, selbst betrieben. Er fungierte als Bodenbesitzer und Holzproduzent in Personalunion, ohne Pacht abzuzweigen. Außerdem hatte die Natur sozusagen für eine kostenlose Erstanpflanzung gesorgt. Unter solchen Umständen lag dem Grundherrn das gesamte kontinuierliche Einkommen aus seinen Domänen am Herzen.

Bei kapitalistischen Verhältnissen ist eine Separation erkenntnisdienlich: Unternehmer und Ressourcenlieferant sind in ihrer Funktion zu trennen. So lassen sich die sonst vermischten Einkommenskategorien „Gewinn aus Holzbetrieb“ sowie „Rente für Bodennutzung“ isolieren. Wir betrachten im Folgenden die langfristige Situation, die Investitionsaufwendungen zur Erreichung einer synchronen Produktionsstruktur seien getilgt. Angenommen, für den Gebrauch eines Hektars ist eine Pacht $R \geq 0$ zu entrichten. Ferner soll pro Periode ein Hektar schlagreif werden. Die Gleichung (60) liefert den Hektargewinn (HG) in Höhe von:

$$HG = t \cdot PG(t) = f(t) - L - R \cdot t \qquad (61)$$

Der letzte Term auf der rechten Seite von (61) gibt die insgesamt fälligen Pachtzahlungen an. Die Ableitung bringt:

$$HG' = f'(t) - R \qquad (62)$$

Im Optimum gilt folglich:

$$f'(t) = R \qquad (63)$$

Dieses Resultat ist ökonomisch plausibel: Im Gleichgewicht stimmt die Zeitproduktivität mit der Pacht überein. Ist der Boden gratis, d.h. bei einem verschwindenden Rentsatz, wird im Ertragsmaximum $f(t_m)$ die Axt geschwungen – unabhängig von den Pflanzkosten und dem Zinssatz. Erwartungsgemäß ist in diesen idyllischen Verhältnissen der Hektarertrag geringer als bei Beachtung der kameralistischen Fällvorschrift:

$$\frac{HG_m}{t_m} = \frac{f(t_m) - L}{t_m} - R = \frac{2073{,}6 - 100}{12} - 0 = 164{,}466 \qquad (64)$$

Trotzdem ist der Gesamtgewinn größer, da mehr Erde zum Nulltarif kultiviert wird:

$$\begin{aligned} HG_m &= 164{,}466 \cdot 12 = 1973{,}6 > PG_J \cdot t_J = \\ &= 169{,}108 \cdot 11{,}296 = 1910{,}24 \end{aligned} \tag{65}$$

Der Bezugspunkt des Vergleichs bei unentgeltlicher Landnutzung ist sinnvollerweise der gleiche Betrag *L*, der auch als Arbeitsaufwand interpretiert werden kann. Die Berücksichtigung des Flächenverbrauchs wird erst erforderlich, wenn für den Boden bezahlt werden muss. Gleichung (63) informiert dann darüber, wann die Wachstumsphase der Bäume zu beenden ist. Die Stückkostenminimierung wird sozusagen zum ausschlaggebenden Kriterium der „Technikwahl“ in der unternehmerischen Forstwirtschaft.

Ein zu entrichtender Pachtsatz verkürzt die Lebensdauer der Bäume gegenüber dem Ertragsmaximum. Sollte zudem im Zuge des Konkurrenzprozesses um knappe, homogene Böden der Profit verschwinden, wird *HG* in Gleichung (61) Null. Den Grundherrn gelingt es unter solchen Bedingungen, den maximalen Nettoertrag pro Hektar als Rente einzustreichen:

$$R_{\max} = \frac{f(t) - L}{t} \tag{66}$$

Offensichtlich entspricht dies dem Joseph II.-Fall: Es gibt keine unternehmerischen Pächter, sondern bloß Grundherren, welche im Eigenbetrieb das Einkommen pro Flächeneinheit maximieren; die Wirtschaft weist feudale Charakterzüge auf.[23]

Für moderne Zeiten lässt die Kapitalismusanalyse von David Ricardo (1772-1823) grüßen: Betrachtet man Areale unterschiedlicher Qualität in einer Ökonomie, die (noch) nicht die Expansionsgrenze erreicht hat, zahlen Unternehmer-Pächter für die zuletzt bestellte Fläche mit der geringsten Fruchtbarkeit keine Rente. Die besseren Flurstücke erhalten demgegenüber in Abhängigkeit von ihrer Güte eine Prämie. Und für den Profit kann in dem Modell ebenfalls Platz geschaffen werden; er fiele im Gleichgewicht nach Maßgabe der gesellschaftlichen Mehrwertrate in Proportion zu den Pflanzkosten an.

---

[23] Im Anhang II (S. 40 f.) wird das Problem erörtert, wie der Eigentümer nackten Bodens selbst eine synchronisierte Kultur anlegt.

6. Rückblick und Umschau

Eingangs haben wir uns in einen Forstwirt versetzt, der sich an Ökonomen wendet, jedoch unzulänglich beraten wird. Und dies auf einem Terrain, wo die etablierte Lehre als besonders stark gilt: der Analyse einer klar strukturierten mikroökonomischen Entscheidungssituation.

Die Frage erhebt sich, weshalb die Disziplin in dieser Angelegenheit einen „Holzweg" beschritten hat: Die Antwort lautet einfach, dass vermengt worden ist, welches Problem jeweils in Angriff genommen wurde. So bedeutsam die Kalkulation der maximalen Verzinsungsenergie der Kosten einer Anfangsaufstockung als Höchstzins oder die Ermittlung der (zinsabhängigen) Kapitalwerte von Holz bzw. Boden im Rahmen einer Investitionsrechnung sein mögen, der optimale Fällzeitpunkt aus *unternehmerischer* Sicht bei *kontinuierlicher* Forstwirtschaft wird damit keineswegs bestimmt.

Außerdem leidet das allgemein anerkannte Faustmann-Verfahren an einer erklärungsbedürftigen Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis. Zweifellos haftet der Auswahl des Kalkulationszinssatzes stets ein gewisses Maß an Willkür an. Es muss jedoch Erstaunen auslösen, wenn – offenbar in der Absicht, „erwünschte" Ergebnisse zu erhalten – prinzipiell unrealistisch geringe Zinssätze verwendet werden. So wird seit langem ein „Staatsforst-Wirthschaftszinsfuß" von 3,5 % propagiert.[24] Eine überzeugende Begründung für solche bis heute üblichen Konventionen sucht man (erwartungsgemäß) vergebens.[25] De facto macht der Einsatz eines „forstwirtschaftlichen" Zinssatzes die Faustmann-Formel mit dem tatsächlichen Verhalten kompatibel. Auf diese Weise versöhnt die beobachtbare Forstpolitik das intuitiv als richtig Empfundene mit einer vermeintlich korrekten, aber dazu nicht so recht passenden Handlungsanleitung. Von der Wissenschaft vorgetragene Forderungen nach einer eigent-

---

[24] Vgl. Pressler, M. R., Der Rationelle Waldwirth und sein Waldbau des höchsten Ertrages, Zweites (selbstständiges) Buch, Die forstliche Finanzrechnung mit Anwendung auf Wald-Werthschätzung und -Wirthschaftsbetrieb, Dresden 1859, S. 10.

[25] Vgl. die Überlegungen bei Sagl, W., Bewertung in Forstbetrieben, Berlin / Wien 1995, S. 59 ff.

lich erforderlichen radikalen Kahlschlagpolitik werden dem gemäß ignoriert.[26]

Zahlt ein unternehmerischer Forstwirt eine Rente für fremden Boden, kompensiert er damit Unterschiede in der Fruchtbarkeit – wer nichts Besonderes zu bieten hat, bekommt auch nichts. Die Wahl der gewinnmaximalen Umtriebszeit orientiert sich dann an diesen Pachtsätzen: Die Ernte erfolgt, wenn der Wertzuwachs des Holzes auf die Zahlung für den Gebrauch der jeweiligen Parzelle gesunken ist. Auf freiem Boden wachsen die Bäume bis zum höchsten Ertrag $f(t_m)$, was auf eine Minimierung der Pflanzkosten hinausläuft. Produktive Effizienz auf fruchtbareren Flächen schließt demgegenüber ein Entgelt für die Extra-Kräfte der Natur ein. Mithin findet man die optimale Rotationsperiode in einer profitorientierten Holzproduktion zwischen t_J – dem Intervall, das gemäß Joseph II. die Rente pro Hektar maximiert – und t_m, jene Zeitspanne, die verstreicht, bis das Wachstum der Bäume seinen Gipfelpunkt erreicht hat.

Die soeben skizzierte Überlegung deutet an, weshalb Agrarland grundsätzlich relativ billig ist, falls Erde brach liegt und zum Kauf angeboten wird: Der Bodenpreis als kapitalisierter Pachtsatz reflektiert bloß *Fertilitätsdifferenzen*. Vor diesem Hintergrund verblasst die Bedeutung der Faustmann-Formel sogar im Hinblick auf ihre ursprüngliche Zielsetzung – die Ermittlung des reinen Grundstückwertes –, die (kalkulatorische) Ertragskraft des Bodens liefert lediglich eine praktisch nie erreichte Randlösung.

Was Immobilien kosten, erklärt eher die klassische Lehre. Ihr zufolge entscheidet bei gegebenem Bestand, d.h. nicht vermehrbarer Menge, die Nachfrage über den Preis. Im Unterschied zum Holz ist der vorhandene Boden (und seine Qualität) eine fixe Größe; die für seine Benutzung geforderte Rente ist darum ein Reflex der Knappheitslage. Im Kapitalismus bestimmt *diese* Mechanik, wie viel für ein Flecken der Erdoberfläche gezahlt wird.

---

[26] Eidgenössische Forstwirte müssen etwa mit folgender Anweisung leben: „Die Umtriebszeit sollte gesamtschweizerisch um ein Drittel verkürzt werden […] und der durchschnittliche Holzvorrat ist auf die Hälfte des heutigen Wertes zu reduzieren.“ Manz, P., Die Kapitalintensität der schweizerischen Holzproduktion, Eine theoretische und empirische Untersuchung, Bern 1987, S. 189.

Allerdings wartet die Forstwirtschaft mit einer weiteren Besonderheit auf: Es gibt gegenwärtig in Mitteleuropa kaum Land, das für *forstwirtschaftliche* Zwecke verpachtet wird. Die relativ langen Umtriebszeiten machten nämlich Verträge erforderlich, die über mehrere Generationen laufen müssten. Das deutsche Recht z.B. sieht aber in § 594 b BGB vor, dass Pachtverträge, die für eine längere Zeit als dreißig Jahre geschlossen werden, nach Ablauf dieser Frist jährlich kündbar sind. Eine Alternative bestünde höchstens darin, die Vereinbarungen über die Lebenszeit des Verpächters oder des Pächters zu treffen – gleichfalls keine Regelung, welche die notwendige Planungssicherheit auf lange Sicht schafft. Deshalb wird Forstwirtschaft fast ausschließlich vom Eigentümer betrieben, womit sich in der Praxis die Einkommensquellen vermischen.

Abschließend sei auf die kapitaltheoretischen Implikationen der vorausgegangenen Analyse verwiesen. Selbst in der hier analysierten Situation, in welcher der Ertrag des einzelnen Baumes von der jeweiligen Ausreifung abhängt, kommt dem Zins im Zuge der perfekten Synchronisation des Waldes keine besondere Bedeutung zu: Es existiert eine quasi physisch determinierte Betriebsweise zur Erzeugung des höchsten Überschusses. Aufgabe des Akkumulationsprozesses ist es, die optimale Produktionsstruktur möglichst kostengünstig zu installieren. Diese Erkenntnisse tauchten Böhm-Bawerks (1851-1914) durchschnittliche Produktionsperiode – und damit wider dessen Willen die Arbeitswertlehre – in rosigeres Licht als es die herrschende Doktrin wahrnimmt.[27]

Wie bei der permanenten und zirkulären Fertigung im gewerblichen Sektor sollte man sich von der konkreten Ware und ihrer Herstelldauer lösen, um die Stromgrößen insgesamt zu betrachten. Jedenfalls ist es hier wie dort abwegig, die Verzinsung der Stückkosten über die individuelle Fabrikations- oder Ausreifungszeit als „Profit“ zu interpretieren, statt auf die Differenz zwischen Erlösen und Kosten in einem Zeitraum zu achten.[28] Die Gütererzeugung ist eben *grundsätzlich* nicht sukzessiv, sondern synchron organisiert. Und so fügt sich das Resultat dieser Studie

---

[27] Vgl. als Überblick van Suntum, U., Die Österreichische Kapitaltheorie, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 16. Jg. (1987), S. 282-286.

[28] Vgl. mit weiteren Angaben Helmedag, F., Warenproduktion mittels Arbeit oder Die Neueröffnung der Debatte, in: Nach der Wertdiskussion?, hrsg. v. Eicker-Wolf, K., Niechoj, T., Wolf, D., Marburg 1999, S. 67-91.

passgerecht in das Bild einer einheitlichen und einfacheren Theorie der Technikwahl, die gleichwohl mehr Erklärungspotenzial bietet als die gängigen Erläuterungsbemühungen.

Literaturverzeichnis

Boulding, K. E., Economic Analysis, Volume I, 4. Aufl., New York u.a. 1966.

Faustmann, M., Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen, in: Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, December 1849, S. 441-455.

Fisher, I., The Theory of Interest, New York 1930.

Gregory, G. R., Forest Resource Economics, New York u.a. 1972.

Hampicke, U., Ökologische Ökonomie, Individuum und Natur in der Neoklassik, Natur in der ökonomischen Theorie, Teil 4, Opladen 1992.

Helmedag, F., Warenproduktion mittels Arbeit oder Die Neueröffnung der Debatte, in: Nach der Wertdiskussion?, hrsg. v. Eicker-Wolf, K., Niechoj, T., Wolf, D., Marburg 1999, S. 67-91.

Jevons, W. St., The Theory of Political Economy, 2. Aufl., London 1879.

Johansson, P.-O. / Löfgren, K.-G., The Economics of Forestry and Natural Resources, Oxford 1985, S. 74.

Manz, P., Forestry economics in the steady state: the contribution of J. H. von Thünen, in: History of Political Economy, Bd. 18 (1986), S. 281-290.

——, Die Kapitalintensität der schweizerischen Holzproduktion, Eine theoretische und empirische Untersuchung, Bern 1987.

Neher, P. A., forests, in: The New Palgrave, Bd. 2, London / New York / Tokyo 1994, S. 412-414.

Osmaston, F. C., The Management of Forests, London 1968.

Pressler, M. R., Der Rationelle Waldwirth und sein Waldbau des höchsten Ertrags, Zweites (selbstständiges) Buch, Die forstliche Finanzrechnung mit Anwendung auf Wald-Werthschätzung und -Wirthschaftsbetrieb, Dresden 1859.

Sagl, W., Bewertung in Forstbetrieben, Berlin / Wien 1995.

Samuelson, P. A., Economics of Forestry in an Evolving Society, in: Economic Enquiry, Bd. XIV (1976), S. 466-492.

van Suntum, U., Die Österreichische Kapitaltheorie, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 16. Jg. (1987), S. 282-286.

——, Johann Heinrich von Thünen als Kapitaltheoretiker, in: Studien zur Entwicklung der ökonomischen Theorie XIV, Johann Heinrich von Thünen als Wirtschaftstheoretiker, hrsg. v. Rieter, H., Berlin 1995, S. 87-113.

Thünen, J. H. v., Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie, Dritter Theil, Grundsätze zur Bestimmung der Bodenrente, der vorteilhaftesten Umtriebszeit und des Werths der Holzbestände von verschiedenem Alter für Kieferwaldungen (1863), 3. Aufl., hrsg. v. Schumacher-Zarchlin, H., Berlin 1875.

Wacker, H. / Blank, J.-E., Ressourcenökonomik, Band I: Einführung in die Theorie regenerativer natürlicher Ressourcen, München / Wien 1998.

Wagner, C., Lehrbuch der theoretischen Forsteinrichtung, Berlin 1928.

Wicksell, K., Vorlesungen über Nationalökonomie auf Grundlage des Marginalprinzips, Erster Band, Jena 1913.

Anhang I

In Fußnote 22 wurde bemerkt, dass die aufgelaufenen Schulden einer Vollaufstockung des zum Faustmann-Wert (34) gekauften Bodens niemals abgetragen werden können. Der Zinsanteil der Schulden beträgt:

$$\left(\frac{f(t)e^{-it}-L}{1-e^{-it}}+L\right)\left(e^{it}-1\right)=f(t)-L \tag{A1}$$

Demnach reicht der Nettoertrag gerade aus, um die Zinsen zu zahlen. Dies gilt auch, wenn der Kauf von Boden nach und nach erfolgt, während des Aufbaus eines gestaffelten Waldes durch Unternehmerhand werden die Parzellen sukzessive erworben. Setzt man den Faustmann-Kapitalwert (34) in die Schuldenformel für den kontinuierlichen Zukauf von Boden (55) ein, ergibt sich für die Zinsbelastung zum Zeitpunkt *t*:

$$i\cdot S_{Kauf}\overset{(55)}{=}i\,(KW_F+L)\left(\frac{e^{it}-1}{it}\right)\overset{(34)}{=}i\left(\frac{f(t)e^{-it}-L}{1-e^{-it}}+L\right)\left(\frac{e^{it}-1}{it}\right) \tag{A2}$$

Ausmultiplikation und Kürzen liefert:

$$i\cdot S_{Kauf}=\frac{f(t)-L}{t} \tag{A3}$$

Offensichtlich mündet die sukzessive Veräußerung des Bodens zum Faustmann-Wert in eine synchronisierte Produktion: So sind immerhin die Zinslasten aus dem Periodenertrag zu decken. Von Tilgung oder gar Gewinn kann freilich keine Rede sein; der Faustmann-Kapitalwert bildet damit lediglich das Limit des Preises einer Parzelle.

Anhang II

Wir erfüllen jetzt das in Fußnote 23 gegebene Versprechen darzulegen, wie die Aufstockung eines synchronisierten Waldes auf gegebener Fläche konkret geschehen sollte. Unser repräsentativer Eigentümer-Förster besitze ein Stück Land, Investitionen sind fremd zu finanzieren. Gefragt wird, ob er am Ende der Aufbauphase von der „Zinsfessel“ frei ist, um regelmäßig den Periodenertrag gemäß der Regel von Joseph II. einzustreichen.

Man könnte nun meinen, dass trotz der Absicht, einen gestaffelten Wald anzupflanzen, im ersten Schritt das gesamte Areal bebaut wird. In den Folgejahren wird jeweils $(1/t)$-tel des Bestandes verkauft und neu bewaldet. Dieses Verfahren hätte aber den Nachteil, dass in der ersten Zeit Bäume herausgenommen würden, die ihre aufgezinsten Setzkosten noch nicht einspielen. Solche Verlustbringer müssen ausgeschaltet werden. Die kritische Mindestwachstumsdauer t_K ergibt sich aus:

$$f(t_K) = Le^{it_K} \tag{A4}$$

Für das Beispiel liefert die Rechnung:

$$t_K = 4{,}63 \tag{A5}$$

Die prozentuale Freifläche zu Beginn des Projektes beträgt:

$$\frac{1}{t_J} \cdot t_K = 40{,}99\ \% \tag{A6}$$

Unser Landmann beginnt also damit, ca. 60 % seines Bodens zu kultivieren. Wir kalkulieren im ersten Schritt die bis zum Mindestalter t_K auflaufenden Kosten. Zunächst erhalten wir für die Erstbestockung:

$$EL = 0{,}5901 \cdot 100 \cdot e^{0{,}1 \cdot 4{,}63} = 93{,}757 \tag{A7}$$

Dazu kommen die kontinuierlich fälligen Kosten für die zu beschaffenden Setzlinge:

$$SL = \int_0^{4{,}63} \frac{1}{t_J} \cdot 100 \cdot e^{0{,}1\,(4{,}63 - t)} dt = 52{,}127 \tag{A8}$$

Der Forstwirtschaftler steht damit nach 4,63 Jahren vor einer völlig bewaldeten Fläche und einem Schuldenberg in Höhe von:

$$S(t_K) = EL + SL = 93{,}757 + 52{,}127 = 145{,}884 \tag{A9}$$

In Ermangelung des Wissens, wie die Tilgung konkret gestaltet wird, verzinsen wir diese Summe bis t_J:

$$S(t_J) = 145{,}884 \cdot e^{0{,}1\,(t_J\ -\ 4{,}63)} = 284{,}124 \tag{A10}$$

Allerdings gibt es ab t_K auch Nettoerlöse, die zur Bank gebracht werden und Rendite abwerfen:

$$N(t_J) = \int_{4{,}63}^{t_J} \frac{1}{t_J}(f(t) - 100)e^{0{,}1(t_J - t)}dt = 665{,}408 \tag{A11}$$

Saldierung bringt:

$$V(t_J) = N(t_J) - S(t_J) = 665{,}408 - 284{,}124 = 381{,}284 \tag{A12}$$

Wie man sieht, verfügt unser feudaler Modellökonom nach Aufbau eines perfekt synchronisierten Waldes nicht nur über ein Vermögen in Höhe von $V(t_J) = 381{,}284$, sondern er darf ab diesem Datum Jahr für Jahr auch den maximalen Periodengewinn pro Hektar in Höhe von $PG_J = 169{,}108$ verbuchen.

Anhang III

Konzepte zur Bestimmung der optimalen Rotationsperiode

Hektarertrag $f(t) = \frac{1}{30} t^4 (15 - t)$

Zinsintensität $i = 10\ \%$

Erstanpflanzungskosten $L = 100$

Verfahren	Zielstellung	Umtriebszeit t	Ergebnis pro ha
N. N.	$G(t) = f(t) - Le^{it} \rightarrow$ Max! $0 \leq L < f(t);\ 0 \leq i < i_{\max}$	11,883	$G(t)$ = 1743,517 Rückwärtsverteilung: z_G = 76,424
Wicksell / Boulding	$r \rightarrow$ Max! u.d.N. $Le^{rt} = f(t)$ $r^* = i_{\max}$	8,893	r^* = 0,286 Rückwärtsverteilung: z_W = 71,835
Jevons / Fisher	$KW_H = f(t)e^{-it} - L = \frac{G(t)}{e^{it}} \rightarrow$ Max!	11,140	KW_H = 550,433 Vorwärtsverteilung: v_H = 81,939
Faust-mann	$KW_F = \frac{f(t)e^{-it} - L}{1 - e^{-it}} = \frac{G(t)}{e^{it} - 1} \rightarrow$ Max!	10,666	KW_F = 828,745 Vorwärtsverteilung: Z_F = 82,8745
Thünen	$PG_T = \frac{f(t) - iF(t) - L}{t} \rightarrow$ Max!	10,453	PG_T = 113,488
Joseph II.	$PG_J = \frac{f(t) - L}{t} \rightarrow$ Max!	11,296	PG_J = 169,108
Helmedag	$HG = f(t) - L - R \cdot t \rightarrow$ Max! $0 \leq R \leq PG_{J\max}$	$f'(t) = R$	$\frac{HG}{t}$