

# Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 3, S. 61 bis 84

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## Die Annuitätenrechnung – eine praxisgerechte Methode der Wirtschaftlichkeitsprüfung von Energiesparmaßnahmen

Von Gerhard Englert, Freising-Weihenstephan\*)

DK 699.86.003.1

Maßnahmen zur Energieeinsparung müssen nicht nur effizient, sondern auch wirtschaftlich sein, sofern sie mit Investitionen und laufenden Betriebskosten verbunden sind. Von den verschiedenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung entspricht die mit Jahreskosten arbeitende Annuitätenrechnung den Investitionsmotiven in der Praxis bei der Beurteilung von Energiesparmaßnahmen am besten. In diesem Bereich erfolgen nämlich Investitionen vorwiegend deshalb, um die jährlichen Energiekosten zu senken.

Die Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung sowie die rechnerischen Grundlagen der Annuitätenrechnung und ihre Anwendung bei der Wirtschaftlichkeitsprüfung von Energiesparmaßnahmen werden dargestellt.

### 1. Einleitung

Maßnahmen zur Energieeinsparung erfordern in fast allen Fällen Investitionen und sind oft mit laufenden Betriebskosten (für Instandhaltung, Betriebsstoffe sowie Unterbringung und Versicherung) verbunden. Sie werden sich daher allein dann in der Praxis auf breiter Basis durchsetzen können, wenn sie nicht nur eine merkliche Verringerung des Energieverbrauches bewirken, sondern diese Einsparung auch in wirtschaftlicher Weise ermöglichen. Dazu darf aber der finanzielle Aufwand für eine Maßnahme in einem bestimmten Zeitraum nicht größer sein als der durch die Senkung der Energiekosten erzielte Gewinn. Die Maßnahmen zur Energieeinsparung müssen also einer Wirtschaftlichkeitsprüfung unterzogen werden, wie sie bei allen mit Investitionen und Betriebskosten verknüpften Lösungen technischer Probleme notwendig ist. Letztlich entscheidet dann die Wirtschaftlichkeit über den Erfolg einer Problemlösung.

Vor allem seitdem die vor einigen Jahren stark gestiegenen Ölpreise zu einer allgemeinen Energiepreissteigerung geführt haben, hat die Zahl der Veröffentlichungen zu den wirtschaftlichen Aspekten

\*) Dipl.-Phys. Dr. G. Englert ist akademischer Oberrat an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. H.L. Wenner) und bearbeitet dort die Fachgebiete Baustoffkunde und Bauphysik.

von Energiesparmaßnahmen deutlich zugenommen. Einen Überblick über die Methoden und Rechengrößen der Wirtschaftlichkeitsprüfung geben u.a. Werner [1], Werner u. Gertis [2] sowie Jäger [3]. Es zeigt sich aus diesen und aus weiteren Veröffentlichungen eine etwas verwirrende Uneinheitlichkeit in den zur Wirtschaftlichkeitsprüfung verwendeten Prüfgrößen und -verfahren. Diese läßt sich erklären als eine Folge der unterschiedlichen Motive, die zu Investitionen in Energiesparmaßnahmen Anlaß sein können. So wird z.B. der Eigentümer eines Mietshauses bei seinen Investitionen sicherlich davon geleitet, wie schnell das eingesetzte Kapital durch höhere Mieteinnahmen wieder zurückfließt oder wie hoch es sich verzinst. Die Amortisationszeit oder der interne Zinssatz (Abschn. 2.3) sind in diesem Fall geeignete Prüfgrößen. Der Mieter des Hauses hätte dagegen vor allem ein Interesse daran, daß sich die Jahr für Jahr anfallenden Energiekosten verringern. Aus seiner Sicht könnten die jährlich anfallenden Kosten, die Jahreskosten, eine sinnvolle Prüfgröße sein.

Ausgehend von einem Überblick über die sich zur Wirtschaftlichkeitsprüfung anbietenden Rechengrößen und Berechnungsverfahren, soll in dieser Arbeit die mit Jahreskosten arbeitende Annuitätenrechnung als eine für die Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis besonders geeignete Prüfmethode in ihren rechnerischen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten dargestellt werden.

### 2. Rechengrößen und Verfahren der Wirtschaftlichkeitsprüfung

#### 2.1 Kapitalwert konstanter jährlicher Zahlungen

Um die in den folgenden Abschnitten vorgestellten Rechengrößen und Verfahren der Wirtschaftlichkeitsprüfung erklären zu können, wird zunächst gezeigt, wie sich die bei Energiesparmaßnahmen einmalig anfallenden Investitionen und die regelmäßig (hier: jährlich) wiederkehrenden Zahlungen (Betriebskosten, Einnahmen durch eingesparte Energiekosten) auf einen gemeinsamen Nenner bringen lassen. Dies geschieht über den aus der Rentenrechnung bekannten Zusammenhang zwischen dem Gegenwartswert eines Kapitals  $K_{0,n}$  (DM) und seinem Zeitwert  $K_n$  nach  $n$  Jahren (am Ende des  $n$ -ten Jahres; nachschüssige Betrachtung) bei einem Zinssatz  $i$  (s. z.B. [4]):

$$K_{0,n} = q^{-n} K_n \quad (1)$$

mit

$$q = 1 + i \quad \text{Zinsfaktor (1/Jahr).}$$

Interpretiert man  $K_n$  als am Ende des n-ten Jahres zu zahlende Jahreskosten bzw. als dann realisierte jährliche Einnahmen, so entspricht  $K_{o,n}$  deren Kapitalwert zum Zeitpunkt unmittelbar vor dem Betrachtungszeitraum.

Können die jährlichen Zahlungen  $\dot{K}$  (DM/Jahr) und der Zinssatz  $i$  in einem bestimmten Betrachtungszeitraum von  $N$  Jahren als konstant angenommen werden, errechnet sich der Kapitalwert  $K_o$  dieser Zahlungen (er entspricht dem Barwert bei der Rentenrechnung) zu:

$$K_o = (q^{-1} + q^{-2} + \dots + q^{-N}) \dot{K} \\ = \frac{1}{q^N} (q^{N-1} + q^{N-2} + \dots + 1) \dot{K} \quad (2)$$

Die Partialsumme der geometrischen Reihe in der Klammer beträgt:

$$\sum_{n=1}^N q^{n-1} = \frac{q^N - 1}{q - 1}$$

Damit folgt für Gl. (2)

$$K_o = \frac{q^N - 1}{q^N (q - 1)} \dot{K} = D_N \dot{K} \quad (3)$$

mit

$D_N$  Diskontierungsfaktor, Kapitalisierungsfaktor (Jahre). Der Kehrwert von  $D_N$  ist der Annuitätenfaktor  $a_N$ :

$$a_N = \frac{q^N (q - 1)}{q^N - 1} \quad (4)$$

Mit ihm lassen sich die im Betrachtungszeitraum von  $N$  Jahren im Durchschnitt jährlich anfallenden Kosten  $\dot{K}_I$  einer Investition  $K_I$  berechnen:

$$\dot{K}_I = a_N K_I \quad (5)$$

Die Gln. (3) bis (5) sind die Ausgangsgleichungen der dynamischen Investitionsrechnung, bei der Zinsen berücksichtigt werden. Bei den auch heute noch vielfach verwendeten statischen Methoden [3] wird mit den Einnahmen und Ausgaben eines Jahres gerechnet und angenommen, daß diese im Betrachtungszeitraum unverändert bleiben. Diese Vereinfachung kann in der Praxis zu beachtlichen Fehleinschätzungen führen.

## 2.2 Gesamt-Kapitalwert einer Investitionsmaßnahme zur Energieeinsparung

Mit den Gln. (3) bis (5) ist es möglich, je nach Bedarf die durchschnittlichen Jahreskosten von Investitionen oder den Kapitalwert konstanter jährlicher Zahlungen zu errechnen und damit die Investitionen und jährlichen Zahlungen vergleichbar zu machen. Man kann so die mit Energiesparmaßnahmen verbundenen Investitionen und jährlichen Kosten bzw. Einnahmen in einer Gleichung für den Kapitalwert  $K_{o,I}$  der Investitionsmaßnahme vereinen:

$$K_{o,I} = -K_I - D_N (\dot{K}_B - \dot{K}_{E,g}) \quad (6)$$

mit

$\dot{K}_B$  jährliche Betriebskosten

$\dot{K}_{E,g}$  jährlich eingesparte (gewonnene) Energiekosten.

Es wird dabei weiterhin vorausgesetzt, daß am Ende des Betrachtungszeitraumes von  $N$  Jahren der Zeitwert des investierten Kapitals Null beträgt. Bei einem von Null verschiedenen Zeitwert  $K_N$  müßte ein Glied  $K_N/q^N$  auf der rechten Seite der Gl. (6) hinzugefügt werden. Der Fall von wiederholten Investitionen im Betrachtungszeitraum wird später behandelt.

## 2.3 Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung einzelner Investitionen

Zur Überprüfung der Vorteilhaftigkeit einer einzelnen Investition gibt es drei Methoden, die identisch sind und sich auf das folgende allgemeine Kriterium zurückführen lassen [5]:

„Eine geplante Investition ist bei einem gegebenen Kalkulationszinsfuß für den Investor vorteilhaft, wenn ihr auf den Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Investition bezogener Kapitalwert nicht negativ ist“.

Der Kalkulationszinsfuß (Kalkulationszinssatz) gibt dabei eine bestimmte, vom Investor als angemessen angesehene Verzinsung der Investition an, ist also nicht notwendigerweise mit dem langfristigen Zinssatz des Kapitalmarktes identisch.

Die drei Methoden lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

1. Bei der Diskontierungsmethode werden alle nach dem Zeitpunkt der Investition erfolgten jährlichen Zahlungen auf den Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Investition abgezinst (diskontiert). Eine Investition ist bei einem gegebenen Kalkulationszinssatz dann vorteilhaft, wenn ihr Kapitalwert nicht negativ ist. Man bezeichnet diese Methode auch als Kapitalwertmethode, da der nach Gl. (6) zu errechnende Kapitalwert Prüfgröße der Wirtschaftlichkeit ist. Das Prüfkriterium für wirtschaftliche Investitionen ist dann:

$$K_{o,I} \geq 0.$$

2. Bei der internen-Zinssatz-Methode errechnet man sich den internen Zinssatz der Investition und vergleicht ihn mit dem Kalkulationszinssatz. Der interne Zinssatz ist dabei der Zinssatz, bei dem der Kapitalwert der Investitions-Maßnahme gleich Null ist. Eine Investition ist vorteilhaft, wenn der interne Zinssatz mindestens gleich groß wie der Kalkulationszinssatz ist.

Es muß also durch Nullsetzen von  $K_{o,I}$  in Gl. (6) in einem iterativen Rechenverfahren der interne Zinssatz  $i_i$  als Prüfgröße errechnet werden. Wirtschaftliche Investitionen müssen dann folgendem Prüfkriterium genügen:

$$i_i \geq i.$$

3. Die Annuitätenmethode beruht auf einem Vergleich der durchschnittlichen jährlichen Ausgaben einer Investition mit ihren durchschnittlichen jährlichen Einnahmen. Bei einer vorteilhaften Investition darf die Differenz zwischen den Einnahmen und Ausgaben nicht negativ sein, d.h. aber daß die Einnahmen nicht kleiner als die Ausgaben sein dürfen.

Die Anwendung der Annuitätenrechnung auf Energiesparmaßnahmen erfordert damit die Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Zahlungen. Mit den Gln. (3) und (4) folgt aus Gl. (6):

$$a_N K_{o,I} = -a_N K_I - \dot{K}_B + \dot{K}_{E,g}.$$

Für wirtschaftliche Investitionen muß dann gelten:

$$\dot{K}_{E,g} \geq (a_N K_I + \dot{K}_B) \quad (7)$$

Als weitere, in der Praxis bei der Beurteilung von Energiesparmaßnahmen häufig gebrauchte Methode [3] sei noch die Amortisationsrechnung erwähnt, bei der die Amortisationszeit, also die Zahl der Jahre  $N$ , berechnet wird, in der sich das eingesetzte Kapital amortisiert hat. Die Bestimmungsgleichung für  $N$  erhält man aus Gl. (6) durch Nullsetzen von  $K_{o,I}$ .

Eine übersichtliche Einordnung und Wertung aller verschiedenen in der Praxis angewandten Methoden für die Wirtschaftlichkeitsprüfung gibt Jäger [3].

## 2.4 Bestimmung der wirtschaftlichsten Investition bei mehreren Investitionsmöglichkeiten

Im allgemeinen steht ein Investor vor dem Problem, zwischen mehreren Investitionsmöglichkeiten auswählen zu müssen, z.B. bei Wärmedämm-Maßnahmen zwischen verschiedenen Dämmschichtdicken bzw. k-Werten. Die vorteilhafteste, d.h. wirtschaftlich optimale Investition läßt sich dann durch Anwendung des folgenden Fundamentalkriteriums finden [5]:

„Von mehreren vorteilhaften Investitionen ist bei einem gegebenen Kalkulationszinsfuß diejenige Investition am vorteilhaftesten, deren Kapitalwert am größten ist“.

Analog den im vorigen Abschnitt dargestellten drei Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung können danach drei Verfahren zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Investition angegeben werden. Sie beruhen auf der Ermittlung

- des maximalen Kapitalwertes,
- des maximalen internen Zinssatzes bzw.
- der maximalen Differenz zwischen den durchschnittlichen jährlichen Einnahmen und Kosten.

## 3. Wirtschaftliche Optimierung von Energiesparmaßnahmen durch Minimierung der jährlichen Gesamtkosten

### 3.1 Anwendung der Annuitätenmethode bei der Wirtschaftlichkeitsprüfung von Energiesparmaßnahmen

Die dargestellten Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung sind, wie schon gesagt, identisch und führen daher zu vergleichbaren Ergebnissen. Nach *Schneider* [5] entspricht aber die Annuitätenmethode dem Denken in der Praxis am besten, sie kann jedoch ohne größere rechnerische Schwierigkeiten nur in einzelnen Spezialfällen angewandt werden. Dazu gehört der Fall von Investitionen mit einer Ausgabe im Zeitpunkt Null, sowie mit  $n$  gleich großen Ausgaben bzw. Einnahmen in den Zeitpunkten  $1, 2, \dots, n$  [5]. Diesem Investitionstyp entsprechen die Investitionen in Energiesparmaßnahmen.

Während nun bei der Prüfung einzelner Investitionen die Annuitätenmethode in der in Abschn. 2.3 mit der Gl. (7) dargestellten Form zur Anwendung kommen kann, ermöglicht eine Abwandlung davon bei der Bestimmung der wirtschaftlichsten Investition eine noch bessere Anpassung an die Investitionsmotive in der Praxis, vor allem auch in der landwirtschaftlichen Praxis. Investitionen in Energiesparmaßnahmen werden nämlich in den meisten Fällen nicht getätigt – schon gar nicht von Landwirten –, um einen möglichst großen Gewinn zu erzielen, sondern vielmehr um angesichts der steigenden Energiekosten die zur Lösung der Energieprobleme aufzubringenden jährlichen Gesamtkosten möglichst niedrig zu halten. Dieser Investitionsgrund läßt sich in dem Rechenverfahren der Wirtschaftlichkeitsprüfung erfassen, indem statt der eingesparten Energiekosten die verbleibenden Kosten in die Rechnung einbezogen werden. Die Einsparungen sind also in den verbleibenden Kosten verrechnet. Damit hat man aber nur noch mit Ausgaben zu rechnen, die sich zu folgenden Kostenarten zusammenfassen lassen:

- Investitionskosten (Kapitalkosten)  $\dot{K}_I$ ,
- mit den Investitionen verbundene Betriebskosten  $\dot{K}_B$  (für Instandhaltung, Betriebsstoffe, Unterbringung und Versicherung) und
- (verbleibende) Energiekosten  $\dot{K}_E = \dot{K}_{E,o} - \dot{K}_{E,g}$ .

$\dot{K}_{E,o}$  sind dabei die Energiekosten vor der Investition. Das Fundamentalprinzip von Abschn. 2.4 läßt sich für diese Form der Annuitätenrechnung dahingehend interpretieren, daß die wirtschaftlich optimale Investition durch minimale jährliche Gesamtkosten gekennzeichnet ist.

## 3.2 Jährliche Gesamtkosten energiesparender Maßnahmen

Zur Energieeinsparung führen im Einzelfall entweder einzelne technische und betriebliche Maßnahmen oder aber Kombinationen aus mehreren verschiedenartigen Maßnahmen (z.B. Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung als Alternativen zur Heizung eines Raumes). Jede dieser verschiedenartigen Maßnahmen kann dabei in unterschiedlicher Ausprägung (z.B. bei der Wärmedämmung: verschiedene Dämmschichtdicken) oder Ausführung (z.B. bei der Wärmerückgewinnung: verschiedene Wärmetauscher) mit entsprechend unterschiedlichen Investitionen und Betriebskosten zu berücksichtigen sein. Bei z.B. 2 verschiedenartigen Maßnahmen, die in den Ausprägungen bzw. Ausführungen mit den Kennziffern  $k$  bzw.  $l$  in Frage kommen, setzen sich dann die jährlichen Gesamtkosten aus folgenden jährlichen Kosten zusammen:

$$\begin{aligned} \dot{K}_{I,1,k}, \dot{K}_{B,1,k} & \text{ Investitions- bzw. Betriebskosten für die 1. Maßnahme in der Ausprägung bzw. Ausführung } k \\ \dot{K}_{I,2,l}, \dot{K}_{B,2,l} & \text{ Investitions- bzw. Betriebskosten für die 2. Maßnahme in der Ausprägung bzw. Ausführung } l \\ \dot{K}_{E,1+2,k,l} & \text{ Energiekosten nach Ausführung der beiden Maßnahmen in den Ausprägungen bzw. Ausführungen } k \text{ bzw. } l \end{aligned}$$

mit

$$k = 1, 2, \dots, m_1; \quad l = 1, 2, \dots, m_2.$$

$$\begin{aligned} \dot{K}_{\text{ges}} &= \dot{K}_{I,1,k} + \dot{K}_{I,2,l} + \dot{K}_{B,1,k} + \dot{K}_{B,2,l} + \dot{K}_{E,1+2,k,l} = \\ &= a_N (K_{I,1,k} + K_{I,2,l}) + \dot{K}_{B,1,k} + \dot{K}_{B,2,l} + \dot{K}_{E,1+2,k,l} \quad (8). \end{aligned}$$

Es gilt nun für die  $m_1 \cdot m_2$  möglichen Kombinationen beider Maßnahmen die jährlichen Gesamtkosten zu berechnen und deren Minimalwert durch Kostenvergleich zu ermitteln. Die zu dem Minimalwert führende Kombination ist dann die wirtschaftlich optimale Kombination beider Energiesparmaßnahmen. Bei mehr als zwei verschiedenartigen Maßnahmen müssen die Zusammenstellung der Kosten und die Gl. (8) entsprechend erweitert werden.

### 3.3 Jährliche Gesamtkosten bei Berücksichtigung von konstant steigenden Jahreskosten

Da gerade für die Energie weiterhin Preissteigerungen zu erwarten sind, aber auch für den Fall, daß für andere Jahreskosten konstante jährliche Steigerungen, z.B. infolge der Inflation, berücksichtigt werden müssen, läßt sich in einer Modifikation von Gl. (3) eine im Betrachtungszeitraum konstante Steigerung der Jahreskosten mit-erfassen.

Werden die Jahreskosten jeweils zu Beginn eines jeden Jahres (d.h. vorschüssig) um den Faktor  $j$  größer, gilt (s. z.B. [6]) statt Gl. (1):

$$K_{o,n} = \gamma^{n-1} q^{-n} K_n$$

mit

$$\gamma = 1 + j \quad \text{Steigerungsfaktor (1/Jahr).}$$

Für den Kapitalwert dieser Kosten folgt:

$$\begin{aligned} K_o &= (q^{-1} + \gamma q^{-2} + \dots + \gamma^{N-1} q^{-N}) \dot{K} \\ &= \frac{\gamma^{N-1}}{q^N} \left[ \left(\frac{q}{\gamma}\right)^{N-1} + \left(\frac{q}{\gamma}\right)^{N-2} + \dots + 1 \right] \dot{K}. \end{aligned}$$

Die Gl. (3) wird damit ersetzt durch:

$$K_o = \frac{(q/\gamma)^N - 1}{\gamma(q/\gamma)^N [(q/\gamma) - 1]} \dot{K} \quad (9).$$

Als "modifizierter Annuitätenfaktor" ergibt sich:

$$a'_N = \frac{\gamma(q/\gamma)^N [(q/\gamma) - 1]}{(q/\gamma)^N - 1} \quad \text{für } i \neq j,$$

$$a'_N = \frac{q}{N} \quad \text{für } i = j \quad (10).$$

Mit Gl. (9) ist es dann z.B. möglich, den Kapitalwert von Energiekosten zu berechnen, die jährlich um den Faktor  $j$  als Folge entsprechender Steigerungen des Energiepreises zunehmen.

Soll nun diese Energiepreissteigerung auch bei den jährlichen Gesamtkosten Berücksichtigung finden, ist zunächst deren Kapitalwert zu berechnen:

$$K_{o,ges} = K_{I,1,k} + K_{I,2,l} + \frac{1}{a'_N} (\dot{K}_{B,1,k} + \dot{K}_{B,2,l}) + \frac{1}{a'_N} \dot{K}_{E,1+2,k,l}$$

Die durchschnittlichen jährlichen Gesamtkosten ergeben sich mit Gl. (3) dann zu:

$$\dot{K}_{ges} = a'_N K_{o,ges} = a'_N (K_{I,1,k} + K_{I,2,l}) + \dot{K}_{B,1,k} + \dot{K}_{B,2,l} + \frac{a'_N}{a'_N} \dot{K}_{E,1+2,k,l} \quad (11).$$

### 3.4 Mehrfachinvestitionen im Betrachtungszeitraum

Haben einzelne Investitionsobjekte eine Nutzungsdauer  $n$ , die kleiner ist als der Betrachtungszeitraum  $N$ , so daß eine  $m$ -fache Erneuerung, d.h. Investition, ( $mn < N$ ) notwendig wird, läßt sich die Gesamt-Investition mit Gl. (1) berechnen zu:

$$K_{I,ges} = K_I \sum_{l=0}^m q^{-nl} \quad (12).$$

Die Gl. (12) ist dann in den Gln. (8) bzw. (11) zu berücksichtigen.

### 3.5 Ermittlung der Energiekosten

Für die Zusammenstellung der Kosten in Gl. (8) bzw. (11) muß bekannt sein, welche Energiekosten nach Ausführung der Energiesparmaßnahmen jeweils noch verbleiben bzw. welche Energiekosten eingespart werden. Da sich die jährlichen Energiekosten nach

$$\dot{K}_E = K'_E E \quad (13)$$

aus dem Energiepreis  $K'_E$  (DM/kWh) und dem jährlichen Energiebetrag  $E$  (kWh/Jahr) berechnen lassen, gilt es, jeder durch die finanziellen Kenngrößen Investition und Betriebskosten charakterisierten Ausprägung bzw. Ausführung von Energiesparmaßnahmen den dadurch eingesparten Energiebetrag zuzuordnen. Dazu müssen die eingesparten oder verbleibenden Energiebeträge entweder gemessen oder mit z.T. aufwendigen Rechenverfahren berechnet werden. So ist z.B. für den Fall, daß die Heizkosten eines Stalles durch Wärmedämm-Maßnahmen unterschiedlicher Ausprägung verringert werden sollen, möglich, sowohl für die Investition als auch für das verbleibende, durch die Heizung abzudeckende Wärmeenergie Defizit eine Abhängigkeit vom mittleren  $k$ -Wert anzugeben [7]. Der  $k$ -Wert charakterisiert aber die Ausprägung der Wärmedämm-Maßnahme und man erhält eine Be-

ziehung zwischen den jährlichen Gesamtkosten und dem  $k$ -Wert. Durch Variation dieser Kenngröße der Wärmedämm-Maßnahme lassen sich dann die minimalen jährlichen Gesamtkosten und damit der die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung kennzeichnende  $k$ -Wert ermitteln.

## 4. Zusammenfassung

Energiesparmaßnahmen werden nur dann eine breite Anwendung finden, wenn sie effizient und wirtschaftlich sind. Von den verschiedenen in einem Überblick behandelten Methoden der Wirtschaftlichkeitsprüfung ist die Annuitätenmethode gerade auch für die landwirtschaftliche Praxis am geeignetsten, weil sie die jährlichen Einnahmen und Ausgaben miteinander vergleicht. Die Investitionsmotive in der Praxis gründen sich bei Energiesparmaßnahmen aber gerade darauf, die jährlichen Energiekosten zu verringern.

Es wird gezeigt, wie sich mit der Annuitätenmethode die Wirtschaftlichkeit einzelner Investitionen überprüfen läßt. Für die Ermittlung der wirtschaftlichsten Investition bei verschiedenen Investitionsmöglichkeiten eignet sich eine Abwandlung der Annuitätenmethode, bei der die eingesparten Energiekosten mit den Ausgangs-Energiekosten verrechnet werden. Die so erhaltenen, nach der Investition verbleibenden Energiekosten ergeben zusammen mit den jährlichen Investitions- und Betriebskosten die jährlichen Gesamtkosten nach Ausführung der Investition. Die wirtschaftlichste Investition läßt sich dann über den Minimalwert der jährlichen Gesamtkosten ermitteln. Das Prinzip und die Berechnungsgrundlagen dieser wirtschaftlichen Optimierung durch Minimierung der jährlichen Gesamtkosten werden dargestellt.

## Schrifttum

- Bücher sind durch ● gekennzeichnet
- [ 1 ] *Werner, H.*: Methoden zur wirtschaftlichen Optimierung von Wärmedämm-Maßnahmen. Bauphysik Bd. 2 (1980) Nr. 5, S. 167/69.
  - [ 2 ] *Werner, H. u. K. Gertis*: Zur Wahl von Kalkulationsmethoden bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen. Baumasch. u. Bautechn. (BMT) Bd. 26 (1979) Nr. 2, S. 65/66, 69/72.
  - [ 3 ] *Jäger, F.*: Methoden zur betriebswirtschaftlichen Bewertung regenerativer Energiequellen. Tagungsbericht, International Solar Energy Congress and Exposition/Building Service Engineer ISES/BSE-Fachtagung 1.12.1982 München.
  - [ 4 ] ● *Kosiol, E.*: Finanzmathematik. Wiesbaden: Dr. Th. Gabler 1973.
  - [ 5 ] ● *Schneider, W.*: Wirtschaftlichkeitsrechnung – Theorie der Investition. Tübingen: J.C.B. Mohr 1968.
  - [ 6 ] *Klinkenberg, D.*: Bemessung wirtschaftlicher Dämmschichtdicken. Wksb. Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz (1980) Nr. 10, S. 5/9.
  - [ 7 ] *Englert, G.*: Wirtschaftliche Optimierung der Wärmedämmung von Ställen. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 4, S. 109/16.