

# EFFIZIENZANALYSE FÜR LAPTOPS MIT DER INTEGRIERTEN ENTROPIE-EATWIOS-METHODE

*Forschungsartikel / Research Article*

Özdemir, M. H. (2021). Effizienzanalyse Für Laptops Mit Der Integrierten Entropie-Eatwios-Methode. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(2), 717-736.

Geliş Tarihi: 22.02.2021  
Kabul Tarihi: 20.05.2021  
E-ISSN: 2149-3871

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan ÖZDEMİR  
Türk-Alman Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölünü  
hakan.ozdemir@tau.edu.tr  
ORCID No: 0000-0002-7174-9807

## ZUSAMMENFASSUNG

Computer sind in der heutigen Welt, in der die Digitalisierung an Bedeutung gewinnt, zu einem unverzichtbaren Bestandteil des Lebens geworden. Insbesondere in jüngster Zeit haben die Pandemiebedingungen die Menschen gezwungen, von zu Hause aus zu arbeiten, und die meisten Menschen müssen ihre Arbeit auf Computern ausführen. Es gibt jedoch eine Vielzahl von Computern auf dem Markt. In dieser Studie wurde die Effizienz von neun Laptop-Modellen, die als die besten Laptops fürs Arbeiten von zu Hause auf einer Website identifiziert wurden, mit der integrierten Entropie-EATWIOS-Methode (Efficiency Analysis Technique with Input and Output Satisficing) gemessen, um Menschen, die einen Laptop kaufen möchten, bei ihrer Wahl zu helfen. Zu diesem Zweck wurden der Preis und das Gewicht als Inputs und RAM, die Speicherkapazität, die getestete Akkulaufzeit und die Bildschirmgröße als Outputs verwendet. Zunächst wurden die in EATWIOS zu verwendenden Input- und Outputgewichte unter Anwendung der Entropie-Methode berechnet. Dann wurden drei Fälle betrachtet. Im ersten Fall wurde für die Inputs und die Outputs keine Satisfizierungsgrenze festgelegt. Im zweiten Fall wurde eine Satisfizierungsgrenze für den Output „getestete Akkulaufzeit“ festgelegt. Im dritten Fall wurde eine Satisfizierungsgrenze für den Input „Preis“ festgelegt. Das Effizienzranking von Laptops wurde für alle drei Fälle ermittelt und schließlich wurden die Rankings verglichen und interpretiert.

**Schlüsselwörter:** EATWIOS, Effizienzanalyse, Entropie, Laptop.

## BÜTÜNLEŞİK ENTROPİ-EATWIOS YÖNTEMİYLE DİZÜSTÜ BİLGİSAYARLAR İÇİN ETKİNLİK ANALİZİ

### ÖZ

Dijitalleşmenin önem kazandığı günümüzde bilgisayarlar da hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Özellikle son zamanlarda pandemi koşulları insanları evden çalışmaya zorlamış ve çoğu insan işlerini bilgisayar üzerinden yürütmek zorunda kalmıştır. Ancak piyasada çok çeşitli bilgisayarlar mevcuttur. Dizüstü bilgisayar satın almak isteyen kişilere seçimlerinde yardımcı olmak için bu çalışmada, bir web sitesinde evden çalışmak için en iyi dizüstü bilgisayarı olarak belirlenen dokuz dizüstü bilgisayar modelinin etkinliği, bütünlük entropi-EATWIOS (Efficiency Analysis Technique with Input and Output Satisficing) yöntemiyle ölçülmüştür. Bu amaçla fiyat ve ağırlık girdi olarak alınmış ve RAM, depolama kapasitesi, test edilen pil ömrü ve ekran büyüklüğü çıktı olarak alınmıştır. Entropi yönteminden yararlanılarak öncelikle EATWIOS'ta kullanılacak girdi ve çıktı ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra üç durum göz önünde bulundurulmuştur. Birinci durumda girdiler ve çıktılar için herhangi bir tatmin seviyesi belirlenmemiştir. İkinci durumda, test edilen pil ömrü çıktısı için bir tatmin seviyesi belirlenmiştir. Üçüncü durumda ise fiyat girdisi için bir tatmin seviyesi belirlenmiştir. Her üç durum için dizüstü bilgisayarlarının etkinlik sıralaması elde edilmiş ve son olarak sıralamalar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** EATWIOS, Etkinlik analizi, Entropi, Dizüstü bilgisayarı.

# EFFICIENCY ANALYSIS FOR LAPTOPS WITH INTEGRATED ENTROPY-EATWIOS METHOD

## ABSTRACT

Computers have become an indispensable part of life in today's world where digitalization is gaining importance. Especially in recent times, pandemic conditions have forced people to work from home and most people have to run their work on computers. However, there is a wide variety of computers available on the market. In this study, the efficiency of nine laptop models identified as the best laptops for working from home at a website was measured with integrated entropy-EATWIOS (Efficiency Analysis Technique with Input and Output Satisficing) method to help people with their choice who want to buy a laptop. For this purpose, price and weight were taken as inputs and RAM, storage capacity, tested battery life and screen size were taken as outputs. First, input and output weights to be used in EATWIOS were calculated by using entropy method. Then, three cases were considered. In the first case, no satisficing level was determined for inputs and outputs. In the second case, a satisficing level was set for the tested battery life output. In the third case, a satisficing level was set for the price input. The efficiency ranking of laptop computers was obtained for all three cases and finally, the rankings were compared and interpreted.

**Keywords:** EATWIOS, Efficiency analysis, Entropy, Laptop computer.

## 1. EINLEITUNG

Computer sind ein wesentlicher Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden. Heutzutage können viele Arbeiten bequem und schnell am Computer ausgeführt werden, sodass tagsüber mehr Arbeit erledigt werden kann. Die Bedeutung von Computern wurde während der Pandemiezeit besser verstanden. Aus diesem Grund ist die Computerauswahl zu einem wichtigen Thema geworden. Bekanntlich gibt es viele Marken und Modelle auf dem Markt. Wenn es viele Alternativen gibt, ist es schwierig, eine Entscheidung zu treffen (Erpolat und Cinemre, 2011:207-208).

Das Hauptziel dieser Studie ist Antworten auf die Fragen zu finden, wie Menschen, die einen Laptop kaufen möchten, eine Wahl treffen sollten und wie sich das Festlegen von Satisfizierungsgrenzen für Inputs und Outputs auf ihre Wahl auswirkt. Zu diesem Zweck wird die integrierte Entropie-EATWIOS-Methode verwendet. Bekanntermaßen spielt das Konzept der Effizienz, die mit einem Effizienzwert als Quotient aus Output und Input messbar gemacht wird, in der Ökonomie eine äußerst wichtige Rolle, da nicht-effiziente Handlungen zur Verschwendung von Ressourcen führen (Peters und Zelewski, 2016:195). Wenn also sinnvolle Inputs und Outputs gewählt werden, kann eine Effizienzanalyse sehr wohl bei der Auswahl eines Laptops zu Nutzen gemacht werden. Ähnliche Studien sind bei Doyle und Green (1991, 1994), McMullen und Tarasewich (2000), Peaw und Mustafa (2006) und Lin und Liao (2006) zu finden. Außerdem ist es unbedingt zu erwähnen, dass bei EATWIOS zusätzlich das Konzept der Satisfizierung ins Spiel kommt. Die Integration des Konzepts der Satisfizierung in die Effizienzanalyse ist auch für eine nachhaltige Entwicklung von Vorteil. In einem Geschäftsumfeld können Mitarbeiter beispielsweise unter Druck gesetzt werden, wenn sie aufgefordert werden, ihre Produktivität zu maximieren. Das Konzept der Satisfizierung kann jedoch dazu beitragen, diesen Druck zu verringern (Peters und Zelewski, 2016:196).

Es gibt zwei verschiedene Ansätze, um das Konzept der Satisfizierung in die Effizienzanalyse zu integrieren (Peters und Zelewski, 2016:196). Der erste Ansatz besteht in der Weiterentwicklung der Data Envelopment Analysis (DEA) (Charnes et al., 1978, Cooper et al. 2006). Unter der Bezeichnung „Satisficing DEA“ wurden daher stochastische DEA-Modelle entwickelt, in denen Anspruchsniveaus für Effizienzwerte festgelegt werden können (Cooper et al. 1996, 2006:286). Der zweite Ansatz findet sich in der Effizienzanalysetechnik mit Outputsatisfizierung (EATWOS) (Peters und Zelewski 2006b, 2007) sowie in ihrer Erweiterung der Effizienzanalysetechnik mit Input- und Output-Satisfizierung (EATWIOS) (Peters et al., 2012).

Wie in vielen multikriteriellen Entscheidungstechniken kann man bei EATWOS oder EATWIOS so genannte Satisfizierungsgrenzen für Outputs oder für Inputs und Outputs definieren. Wenn für einen Output (Input) eine Satisfizierungsgrenze bestimmt wird, bedeutet dies, dass eine Outputquantität (Inputquantität), die dieser Satisfizierungsgrenze gleich ist, genauso behandelt wird

wie eine Outputquantität (Inputquantität), die höher (niedriger) ist als diese Satisfizierungsgrenze (Peters et al., 2012:305-306).

Diese Studie besteht aus fünf Teilen. Im zweiten Teil wird eine Literaturrecherche gegeben. Im dritten Teil wird erklärt, wie Input- und Outputgewichte mit der Entropie-Methode berechnet werden und wie die Effizienzwerte mit EATWIOS erhalten werden. Der vierte Teil ist der Anwendungsteil. Das Fazit bildet den fünften Teil.

## 2. LITERATURRECHERCHE

EATWOS und EATWIOS sind zwar relativ neue Techniken, aber sie haben in verschiedenen Studien Anwendung gefunden. Peters und Zelewski (2006a) haben für Wärmebehandlungsöfen eine Effizienzanalyse mit EATWOS durchgeführt. Bansal et al. (2014) haben die Effizienz von Anbietern mit Hilfe von EATWOS gemessen. Özbek (2015a) analysierte die Leistungen privater Pensionskassen in der Türkei durch EATWOS. Özbek (2015b) führte eine Effizienzanalyse von Nichtregierungsorganisationen mit Sitz in der Türkei durch, eine Effizienzanalyse des Türkischen Roten Halbmonds zwischen 2012 und 2014 (Özbek, 2015c), eine Effizienzanalyse von Goldminenunternehmen anhand von Abschlüssen (Özbek, 2016) und eine Effizienzanalyse von Wohltätigkeitsorganisationen durch EATWOS (Özbek, 2017a). Kumar et al. (2016) stufte 21 Spieler in der indischen Premier League von EATWOS anhand der Statistiken für die Saison 2013 ein. Özdağoğlu (2018) analysierte die Leistung von 152 Unternehmen im BIST-Industrieindex mit EATWIOS. Çanakçıoğlu (2019) bewertete die finanzielle Leistung von Zementfirmen, die an der Istanbul Börsen gehandelt werden, anhand des integrierten Entropie- und EATWIOS-Ansatzes. Görçün (2019a) analysierte die Stadtbahnssysteme in städtischen Gebieten mit Hilfe eines integrierten Entropie- und EATWOS-Ansatzes. Görçün (2019b) analysierte die Produktivität von Schwarzmeer-Containerhäfen mit Hilfe integrierter Entropie- und EATWOS-Methoden. Görçün (2019c) verwendete integrierte Entropie- und EATWOS-Methoden, um die Logistik- und Transportleistung der zentralasiatischen Turkrepubliken zu analysieren. Bulğurcu (2019) hat die Verkaufsleistung der in BIST indexierten Versicherungsunternehmen für den Fünfjahreszeitraum zwischen 2014 und 2018 mit Hilfe integrierter Entropie- und EATWIOS-Methoden gemessen. Küçükönder und Şişmanoğlu (2020) bewerteten die finanzielle Leistung von Unternehmen im Textil- und Lederindex von BIST unter Verwendung integrierter Entropie- und EATWIOS-Methoden sowie anderer multikriterieller Entscheidungstechniken.

Um die Inputs und die Outputs zu bestimmen, waren die im Folgenden erwähnten Studien besonders hilfreich. Doyle und Green (1991) haben mit der DEA Drucker verglichen. In dieser Studie wurde aber vorher die DEA an einem hypothetischen Beispiel mit den Mikrocomputern erklärt. Die DEA kann verwendet werden, um die Effizienz von jeder Maschine bei der Umwandlung von Inputs (Preis, Stromverbrauch usw.) in Outputs (RAM, Festplattenzugriffszeit usw.) zu bestimmen. Beim hypothetischen Beispiel wurden dann der Preis als Input und die Speicherkapazität und die CPU-Geschwindigkeit als Outputs verwendet. In der Studie wird zusätzlich erwähnt, dass neben dem Preis andere Inputs wie die Lieferzeit, der Fußabdruck (von der Maschine besetzte Fläche) und der Stromverbrauch verwendet werden können. Wie die Inputs und die Outputs aus den Daten bestimmt werden, ist manchmal notwendigerweise subjektiv (Doyle und Green, 1991:632).

In einer anderen Studie haben Doyle und Green (1994) mit der DEA Computer verglichen, um den effizientesten von diesen auszuwählen. Die vier Outputs sind RAM, die Speicherkapazität, die CPU-Geschwindigkeit und die Festplattenzugriffszeit, und der einzige Input ist der Preis (Doyle und Green, 1994:64).

McMullen und Tarasewich (2000) haben die DEA verwendet, um ein Notebook auszuwählen. Dabei wurde der Preis als der einzige Input genommen, da der Entscheidungsträger offensichtlich so wenig wie möglich zahlen möchte. Die Outputs wurden in drei Kategorien (Leistung, Video und Merkmale) unterteilt. Zur Kategorie der Leistung gehören der Prozessortyp, die CPU-Geschwindigkeit, RAM und die Speicherkapazität. Zur Kategorie des Videos gehören die Bildschirmgröße und der Bildschirmtyp. Zur Kategorie der Merkmale gehören die CD-Laufwerk-Geschwindigkeit, die Modemübertragungsrate und die Gewährleistungsfrist. Die Werte dieser

Outputs möchte der Entscheidungsträger so hoch wie möglich haben. Die Gewichte der Notebooks wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Da aber schwere Notebooks als lästig angesehen werden können, könnte das Gewicht wie der Preis als Input behandelt werden (McMullen und Tarasewich, 2000).

### 3. METHODE

In dieser Studie wurde die integrierte Entropie-EATWIOS-Methode verwendet, um die Effizienz von Laptops zu berechnen. In 3.1 und 3.2 wird erläutert, wie die Input- und Outputgewichte nach der Entropie-Methode berechnet werden und wie die Effizienzwerte unter Verwendung dieser Gewichte mit EATWIOS erhalten werden.

#### 3.1. Entropie-Methode

Die Schritte zur Berechnung der Input- und Outputgewichte mit der Entropie-Methode sind nachstehend angegeben (Zardari et al., 2015:33; Görçün, 2019a:257-259).

- 1) Sei  $I$  die Anzahl der Entscheidungseinheiten (Decision Making Units: DMUs),  $K$  die Anzahl der Inputs und  $J$  die Anzahl der Outputs. Zunächst werden die Matrizen  $\underline{X}$  mit den Inputquantitäten  $x_{ik}$  dieser DMUs und  $\underline{Y}$  mit den Outputquantitäten  $y_{ij}$  dieser DMUs erstellt.

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1K} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{I1} & x_{I2} & \dots & x_{IK} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x_{ik} \in \mathbb{R}_{\geq 0} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1J} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{I1} & y_{I2} & \dots & y_{IJ} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$y_{ij} \in \mathbb{R}_{\geq 0} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J$$

- 2) Die Inputquantitäten  $x_{ik}$  und die Outputquantitäten  $y_{ij}$  werden normalisiert.

$$x_{ik}^* = \frac{x_{ik}}{\sum_{i=1}^I x_{ik}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$y_{ij}^* = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^I y_{ij}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (4)$$

- 3) Für jeden Input und Output wird jeweils ein Entropiewert  $E_k^+$  und  $E_j^-$  berechnet.

$$E_k^+ = -\left(\sum_{i=1}^I x_{ik}^* \ln(x_{ik}^*)\right) / \ln(I) \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$E_j^- = -\left(\sum_{i=1}^I y_{ij}^* \ln(y_{ij}^*)\right) / \ln(I) \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (6)$$

- 4) Dann werden die Gewichte  $w_k$  für jeden Input und  $v_j$  für jeden Output berechnet.

$$w_k = \frac{1-E_k^+}{\sum_{k=1}^K (1-E_k^+)} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$v_j = \frac{1-E_j^-}{\sum_{j=1}^J (1-E_j^-)} \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (8)$$

### 3.2. EATWIOS

Die Schritte von EATWIOS ohne Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen sind nachstehend aufgeführt (Peters und Zelewski, 2006b:3-10):

- 1) Auch hier werden zuerst die Inputquantitäten  $x_{ik}$  und die Outputquantitäten  $y_{ij}$  normalisiert, wobei die Normalisierung anders erfolgt als bei der Entropie-Methode. Dann werden die normalisierte Inputmatrix  $\underline{S}$  und die normalisierte Outputmatrix  $\underline{R}$  gebildet.

$$\exists i \exists k x_{ik} \neq 0: s_{ik} = \frac{x_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I x_{ik}^2}} \quad \begin{array}{l} \forall i = 1, \dots, I \\ \forall k = 1, \dots, K \end{array} \quad (9)$$

$$\forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad x_{ik} = 0: s_{ik} = 0$$

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1K} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{I1} & s_{I2} & \dots & s_{IK} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$s_{ik} \in \mathbb{R}_{\geq 0} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$$\exists i \exists j y_{ij} \neq 0: r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I y_{ij}^2}} \quad \begin{array}{l} \forall i = 1, \dots, I \\ \forall j = 1, \dots, J \end{array} \quad (11)$$

$$\forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad y_{ij} = 0: r_{ij} = 0$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1J} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{I1} & r_{I2} & \dots & r_{IJ} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$r_{ij} \in \mathbb{R}_{\geq 0} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J$$

- 2) In der normalisierten Inputmatrix  $\underline{S}$  wird für jeden Input die minimale normalisierte Inputquantität  $s_k^*$  erhalten.

$$s_k^* = \min_i \{s_{ik}\} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (13)$$

Mit  $s_k^*$  werden die Abstandsmaße  $ip_{ik}$  für die Inputs berechnet.

$$ip_{ik} = 1 + s_{ik} - s_k^* \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (14)$$

- 3) In der normalisierten Outputmatrix  $\underline{R}$  wird für jeden Output die maximale normalisierte Outputquantität  $r_j^*$  erhalten.

$$r_j^* = \max_i \{r_{ij}\} \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (15)$$

Mit  $r_j^*$  werden die Abstandsmaße  $op_{ij}$  für die Outputs berechnet.

$$op_{ij} = 1 - (r_j^* - r_{ij}) \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (16)$$

- 4) Für jede DMU wird der Effizienzwert  $E_i$  berechnet.

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^J v_j op_{ij}}{\sum_{k=1}^K w_k ip_{ik}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (17)$$

Wenn Satisfizierungsgrenzen  $SG_j$  für die Outputs festgelegt werden, werden die unten angegebenen Restriktionen für alle Outputs mit einer Satisfizierungsgrenze angewendet (Peters und Zelewski, 2006b:7).

$$\left(\frac{SG_j - y_{ij}}{SG_j}\right) + z_{1.ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (18)$$

$$\left(\frac{SG_j - y_{ij}}{SG_j}\right) \cdot z_{2.ij} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (19)$$

$$z_{1.ij}, z_{2.ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (20)$$

$$z_{1.ij} + z_{2.ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (21)$$

$$a_{ij} = \frac{y_{ij}}{SG_j} \cdot z_{2.ij} + 1 \cdot z_{1.ij} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (22)$$

Allgemein gilt für die Elemente der normalisierten Outputmatrix  $\underline{A}$  (Özbek, 2017b:278):

$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{y_{ij}}{SG_j} \cdot z_{2.ij} + 1 \cdot z_{1.ij}, & \text{falls eine Satisfizierungsgrenze } SG_j \text{ festgelegt ist} \\ r_{ij}, & \text{sonst} \end{cases} \quad (23)$$

$$\forall i = 1, \dots, I$$

$$\forall k = 1, \dots, K$$

Für die Outputs mit einer Satisfizierungsgrenze  $SG_j$  sind vier Fälle zu berücksichtigen (Peters und Zelewski, 2006b:8):

- Wenn  $y_{ij} = 0$ , dann  $a_{ij} = 0$ .
- Wenn  $0 < y_{ij} < SG_j$ , dann  $a_{ij} = \frac{y_{ij}}{SG_j}$ .
- Wenn  $y_{ij} = SG_j$ , dann  $a_{ij} = 1$ .
- Wenn  $y_{ij} > SG_j$ , dann  $a_{ij} = 1$ .

Wenn Satisfizierungsgrenzen  $SG_k$  für die Inputs festgelegt werden, werden die unten angegebenen Restriktionen für alle Inputs mit einer Satisfizierungsgrenze angewendet (Peters und Zelewski, 2012:309).

$$\left(\frac{x_{ik}-SG_k}{SG_k}\right) \cdot x_{ik} + q_{1.ik} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (24)$$

$$\left(\frac{x_{ik}-SG_k}{SG_k}\right) \cdot q_{2.ik} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (25)$$

$$q_{1.ik}, q_{2.ik} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (26)$$

$$q_{1.ij} + q_{2.ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (27)$$

$$c_{ik} = \frac{x_{ik}}{SG_k} \cdot q_{2.ik} + 1 \cdot q_{1.ik} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (28)$$

$$x_{ik} > 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (29)$$

$$SG_k \geq \frac{x_{ik}}{x_{ik+1}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (30)$$

Für die Inputs mit einer Satisfizierungsgrenze sind drei Fälle zu berücksichtigen (Peters und Zelewski, 2012:310-311):

- a) Wenn  $0 < x_{ik} < SG_k$ , dann  $c_{ik} = 1$ .
- b) Wenn  $x_{ik} = SG_k$ , dann  $c_{ik} = 1$ .
- c) Wenn  $x_{ik} > SG_k$ , dann  $c_{ik} = \frac{x_{ik}}{SG_k}$ .

Die modifizierten Inputquantitäten  $c_{ik}$  müssen dann normalisiert werden, um die normalisierte Inputmatrix  $\underline{C}^n$  zu bilden (Peters und Zelewski, 2012:312; Özbek, 2017b:284):

$$c_{ik}^n = \begin{cases} \frac{c_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I c_{ik}^2}}, & \text{falls eine Satisfizierungsgrenze } SG_k \text{ festgelegt ist} \\ s_{ik}, & \text{sonst} \end{cases} \quad \begin{matrix} \forall i = 1, \dots, I \\ \forall k = 1, \dots, K \end{matrix} \quad (31)$$

Es gibt auch eine Version, bei der die Restriktionen (22) und (28) von Peters und Zelewski (2018) leicht modifiziert wurden.

#### 4. ANWENDUNG

In dieser Studie wurde die Effizienz von neun Laptop-Modellen, die als die besten Laptops fürs Arbeiten von zu Hause auf einer Website identifiziert wurden, mit der integrierten Entropie-EATWIOS-Methode gemessen. Zu diesem Zweck wurden der Preis und das Gewicht als Inputs und RAM, die Speicherkapazität, die getestete Akkulaufzeit und die Bildschirmgröße als Outputs verwendet. Unter Verwendung der Entropie-Methode wurden die Input- und Outputgewichte berechnet, die in EATWIOS verwendet werden sollen. Schließlich wurde unter Verwendung dieser Gewichte ein Effizienzranking von Laptop-Computermodellen erhalten. Die für die Analyse zu verwendenden Daten wurden im Februar 2021 von einer Website abgerufen. Daher war in dieser Studie keine Genehmigung der Ethikkommission erforderlich. Diese Daten sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Laptop-Daten für die Analyse

	INPUT 1	INPUT 2	OUTPUT 1	OUTPUT 2	OUTPUT 3	OUTPUT 4
Modelle	Preis (US-Dollar)	Gewicht (Pfund)	RAM (GB)	Speicherkapazität (GB)	Getestete Akkulaufzeit (Stunde)	Bildschirmgröße (Zoll)
M1	2149	4,3	16	512	11	16
M2	2199,99	4,5	16	512	8	15,6
M3	868,83	4,74	8	512	8,5	15,6
M4	1149,99	2,2	16	512	18,5	14
M5	1199	1,7	8	256	10,5	12,3
M6	949,99	2,5	8	512	10	13,3
M7	999,77	4,54	8	1000	6	15,6
M8	488	3,75	8	128	5	15,6
M9	899,99	2,75	8	128	8	13,3

(Freedom251, 2020)

#### 4.1. Berechnung der Input- und Outputgewichte mit der Entropie-Methode

- 1) Die Matrizen  $\underline{X}$  mit den Inputquantitäten der DMUs und  $\underline{Y}$  mit den Outputquantitäten der DMUs werden erstellt.

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} 2149 & 4,3 \\ 2199,99 & 4,5 \\ 868,83 & 4,74 \\ 1149,99 & 2,2 \\ 1199 & 1,7 \\ 949,99 & 2,5 \\ 999,77 & 4,54 \\ 488 & 3,75 \\ 899,99 & 2,75 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} 16 & 512 & 11 & 16 \\ 16 & 512 & 8 & 15,6 \\ 8 & 512 & 8,5 & 15,6 \\ 16 & 512 & 18,5 & 14 \\ 8 & 256 & 10,5 & 12,3 \\ 8 & 512 & 10 & 13,3 \\ 8 & 1000 & 6 & 15,6 \\ 8 & 128 & 5 & 15,6 \\ 8 & 128 & 8 & 13,3 \end{bmatrix}$$



- 2) Die Inputquantitäten  $x_{ik}$  und die Outputquantitäten  $y_{ij}$  werden normalisiert.

$$\underline{X}^* = \begin{bmatrix} 0,197 & 0,139 \\ 0,202 & 0,145 \\ 0,080 & 0,153 \\ 0,105 & 0,071 \\ 0,110 & 0,055 \\ 0,087 & 0,081 \\ 0,092 & 0,147 \\ 0,045 & 0,121 \\ 0,083 & 0,089 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y}^* = \begin{bmatrix} 0,167 & 0,126 & 0,129 & 0,122 \\ 0,167 & 0,126 & 0,094 & 0,119 \\ 0,083 & 0,126 & 0,099 & 0,119 \\ 0,167 & 0,126 & 0,216 & 0,107 \\ 0,083 & 0,063 & 0,123 & 0,094 \\ 0,083 & 0,126 & 0,117 & 0,101 \\ 0,083 & 0,246 & 0,070 & 0,119 \\ 0,083 & 0,031 & 0,058 & 0,119 \\ 0,083 & 0,031 & 0,094 & 0,101 \end{bmatrix}$$

- 3) Für jeden Input und Output wird jeweils ein Entropiewert  $E_k^+$  und  $E_j^-$  berechnet.

$$E_1^+ = 0,956 \text{ und } E_2^+ = 0,976$$

$$E_1^- = 0,973, E_2^- = 0,928, E_3^- = 0,969 \text{ und } E_4^- = 0,998$$

- 4) Dann werden die Gewichte  $w_k$  für jeden Input und  $v_j$  für jeden Output berechnet.

$$w_1 = 0,643 \text{ und } w_2 = 0,357$$

$$v_1 = 0,204, v_2 = 0,545, v_3 = 0,237 \text{ und } v_4 = 0,014$$

Es ist ersichtlich, dass der Input „Preis“ ein größeres Gewicht hat und die Speicherkapazität das größte Gewicht unter den Outputs hat.

#### 4.2. EATWIOS ohne Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenzen

- 1) Die Matrizen  $\underline{X}$  mit den Inputquantitäten der DMUs und  $\underline{Y}$  mit den Outputquantitäten der DMUs werden erstellt.

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} 2149 & 4,3 \\ 2199,99 & 4,5 \\ 868,83 & 4,74 \\ 1149,99 & 2,2 \\ 1199 & 1,7 \\ 949,99 & 2,5 \\ 999,77 & 4,54 \\ 488 & 3,75 \\ 899,99 & 2,75 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} 16 & 512 & 11 & 16 \\ 16 & 512 & 8 & 15,6 \\ 8 & 512 & 8,5 & 15,6 \\ 16 & 512 & 18,5 & 14 \\ 8 & 256 & 10,5 & 12,3 \\ 8 & 512 & 10 & 13,3 \\ 8 & 1000 & 6 & 15,6 \\ 8 & 128 & 5 & 15,6 \\ 8 & 128 & 8 & 13,3 \end{bmatrix}$$

- 2) Die Inputquantitäten  $x_{ik}$  und die Outputquantitäten  $y_{ij}$  werden normalisiert. Dann werden die normalisierte Inputmatrix  $\underline{S}$  und die normalisierte Outputmatrix  $\underline{R}$  gebildet.

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} 0,539 & 0,397 \\ 0,551 & 0,415 \\ 0,218 & 0,437 \\ 0,288 & 0,203 \\ 0,300 & 0,157 \\ 0,238 & 0,231 \\ 0,251 & 0,419 \\ 0,122 & 0,346 \\ 0,226 & 0,254 \end{bmatrix}$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 0,471 & 0,330 & 0,360 & 0,364 \\ 0,471 & 0,330 & 0,262 & 0,355 \\ 0,236 & 0,330 & 0,278 & 0,355 \\ 0,471 & 0,330 & 0,605 & 0,319 \\ 0,236 & 0,165 & 0,343 & 0,280 \\ 0,236 & 0,330 & 0,327 & 0,303 \\ 0,236 & 0,644 & 0,196 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,164 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,262 & 0,303 \end{bmatrix}$$

- 3) In der normalisierten Inputmatrix  $\underline{S}$  wird für jeden Input die minimale normalisierte Inputquantität  $s_k^*$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Inputs wird die Matrix  $\underline{I}$  erstellt.

$$s_1^* = 0,122 \text{ und } s_2^* = 0,157$$

$$\underline{I} = \begin{bmatrix} 1,416 & 1,240 \\ 1,429 & 1,258 \\ 1,095 & 1,281 \\ 1,166 & 1,046 \\ 1,178 & 1,000 \\ 1,116 & 1,074 \\ 1,128 & 1,262 \\ 1,000 & 1,189 \\ 1,103 & 1,097 \end{bmatrix}$$

- 4) In der normalisierten Outputmatrix  $\underline{R}$  wird für jeden Output die maximale normalisierte Outputquantität  $r_j^*$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Outputs wird die Matrix  $\underline{Q}$  erstellt.

$$r_1^* = 0,471, r_2^* = 0,644, r_3^* = 0,605 \text{ und } r_4^* = 0,364$$

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,686 & 0,755 & 1,000 \\ 1,000 & 0,686 & 0,657 & 0,991 \\ 0,764 & 0,686 & 0,673 & 0,991 \\ 1,000 & 0,686 & 1,000 & 0,954 \\ 0,764 & 0,521 & 0,738 & 0,916 \\ 0,764 & 0,686 & 0,722 & 0,939 \\ 0,764 & 1,000 & 0,591 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,558 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,657 & 0,939 \end{bmatrix}$$

- 5) Die Spalten der Matrizen  $\underline{I}$  und  $\underline{Q}$  werden mit den jeweiligen Gewichten multipliziert, um die Matrizen  $\underline{I}^*$  und  $\underline{Q}^*$  zu erhalten. In Tabelle 2 sind die Effizienzwerte von Laptops aufgeführt, die mit EATWIOS ohne Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenzen erhalten wurden.

$$\underline{I}^* = \begin{bmatrix} 0,910 & 0,443 \\ 0,918 & 0,450 \\ 0,704 & 0,458 \\ 0,749 & 0,374 \\ 0,757 & 0,357 \\ 0,717 & 0,384 \\ 0,725 & 0,451 \\ 0,643 & 0,425 \\ 0,709 & 0,392 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q}^* = \begin{bmatrix} 0,204 & 0,374 & 0,179 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,156 & 0,014 \\ 0,156 & 0,374 & 0,159 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,237 & 0,013 \\ 0,156 & 0,284 & 0,175 & 0,013 \\ 0,156 & 0,374 & 0,171 & 0,013 \\ 0,156 & 0,545 & 0,140 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,132 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,156 & 0,013 \end{bmatrix}$$

**Tabelle 2:** Mit EATWIOS ohne Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenzen erzielte Effizienzwerte

Effizienzwert	Rang
$E_1 = 0,569$	5
$E_2 = 0,546$	7
$E_3 = 0,605$	4
$E_4 = 0,737$	1
$E_5 = 0,563$	6
$E_6 = 0,648$	3
$E_7 = 0,727$	2
$E_8 = 0,507$	9
$E_9 = 0,512$	8

Gemäß den mit EATWIOS ohne Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenzen erzielten Effizienzwerten in Tabelle 2 ist M4 der effizienteste Laptop, während M8 der am wenigsten effiziente Laptop ist.

#### 4.3. EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für einen Output

Für den Output „getestete Akkulaufzeit“ wird eine Satisfizierungsgrenze von 10 Stunden festgelegt.

- 1) Die normalisierte Inputmatrix  $\underline{S}$  und die normalisierte Outputmatrix werden  $\underline{A}$  gebildet.

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} 0,539 & 0,397 \\ 0,551 & 0,415 \\ 0,218 & 0,437 \\ 0,288 & 0,203 \\ 0,300 & 0,157 \\ 0,238 & 0,231 \\ 0,251 & 0,419 \\ 0,122 & 0,346 \\ 0,226 & 0,254 \end{bmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0,471 & 0,330 & 1,000 & 0,364 \\ 0,471 & 0,330 & 0,800 & 0,355 \\ 0,236 & 0,330 & 0,850 & 0,355 \\ 0,471 & 0,330 & 1,000 & 0,319 \\ 0,236 & 0,165 & 1,000 & 0,280 \\ 0,236 & 0,330 & 1,000 & 0,303 \\ 0,236 & 0,644 & 0,600 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,500 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,800 & 0,303 \end{bmatrix}$$

- 2) In der normalisierten Inputmatrix  $\underline{S}$  wird für jeden Input die minimale normalisierte Inputquantität  $s_k^*$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Inputs wird die Matrix  $\underline{I}$  erstellt.

$$s_1^* = 0,122 \text{ und } s_2^* = 0,157$$

$$\underline{I} = \begin{bmatrix} 1,416 & 1,240 \\ 1,429 & 1,258 \\ 1,095 & 1,281 \\ 1,166 & 1,046 \\ 1,178 & 1,000 \\ 1,116 & 1,074 \\ 1,128 & 1,262 \\ 1,000 & 1,189 \\ 1,103 & 1,097 \end{bmatrix}$$

- 3) In der normalisierten Outputmatrix  $\underline{A}$  wird für jeden Output die maximale normalisierte Outputquantität  $a_j^*$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Outputs wird die Matrix  $\underline{O}$  erstellt.

$$a_1^* = r_1^* = 0,471, a_2^* = r_2^* = 0,644, a_3^* = 1,000 \text{ und } a_4^* = r_4^* = 0,364$$

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,686 & 1,000 & 1,000 \\ 1,000 & 0,686 & 0,800 & 0,991 \\ 0,764 & 0,686 & 0,850 & 0,991 \\ 1,000 & 0,686 & 1,000 & 0,954 \\ 0,764 & 0,521 & 1,000 & 0,916 \\ 0,764 & 0,686 & 1,000 & 0,939 \\ 0,764 & 1,000 & 0,600 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,500 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,800 & 0,939 \end{bmatrix}$$

- 4) Die Spalten der Matrizen  $\underline{I}$  und  $\underline{Q}$  werden mit den jeweiligen Gewichten multipliziert, um die Matrizen  $\underline{I}^*$  und  $\underline{Q}^*$  zu erhalten. In Tabelle 2 sind die Effizienzwerte von Laptops aufgeführt, die durch EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für den Output „getestete Akkulaufzeit“ erhalten wurden.

$$\underline{I}^* = \begin{bmatrix} 0,910 & 0,443 \\ 0,918 & 0,450 \\ 0,704 & 0,458 \\ 0,749 & 0,374 \\ 0,757 & 0,357 \\ 0,717 & 0,384 \\ 0,725 & 0,451 \\ 0,643 & 0,425 \\ 0,709 & 0,392 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q}^* = \begin{bmatrix} 0,204 & 0,374 & 0,237 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,190 & 0,014 \\ 0,156 & 0,374 & 0,201 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,237 & 0,013 \\ 0,156 & 0,284 & 0,237 & 0,013 \\ 0,156 & 0,374 & 0,237 & 0,013 \\ 0,156 & 0,545 & 0,142 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,118 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,190 & 0,013 \end{bmatrix}$$

**Tabelle 3:** Durch EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für den Output „getestete Akkulaufzeit“ erzielte Effizienzwerte

Effizienzwert	Rang
$E_1 = 0,612$	6
$E_2 = 0,571$	7
$E_3 = 0,641$	4
$E_4 = 0,737$	1
$E_5 = 0,619$	5
$E_6 = 0,708$	3
$E_7 = 0,729$	2
$E_8 = 0,494$	9
$E_9 = 0,543$	8

Gemäß den durch EATWIOS mit einer Satisfizierungsgrenze von 10 Stunden für den Output „getestete Akkulaufzeit“ erzielten Effizienzwerten in Tabelle 3 ist M4 der effizienteste Laptop, während M8 der am wenigsten effiziente Laptop ist.

#### 4.4. EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für einen Input

Für den Input „Preis“ wird eine Satisfizierungsgrenze von 1000 US-Dollar festgelegt.

- 1) Die normalisierte Inputmatrix  $\underline{C}^n$  und die normalisierte Outputmatrix  $\underline{R}$  werden gebildet.

$$\underline{C}^n = \begin{bmatrix} 0,518 & 0,397 \\ 0,530 & 0,415 \\ 0,241 & 0,437 \\ 0,277 & 0,203 \\ 0,289 & 0,157 \\ 0,241 & 0,231 \\ 0,241 & 0,419 \\ 0,241 & 0,346 \\ 0,241 & 0,254 \end{bmatrix}$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 0,471 & 0,330 & 0,360 & 0,364 \\ 0,471 & 0,330 & 0,262 & 0,355 \\ 0,236 & 0,330 & 0,278 & 0,355 \\ 0,471 & 0,330 & 0,605 & 0,319 \\ 0,236 & 0,165 & 0,343 & 0,280 \\ 0,236 & 0,330 & 0,327 & 0,303 \\ 0,236 & 0,644 & 0,196 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,164 & 0,355 \\ 0,236 & 0,082 & 0,262 & 0,303 \end{bmatrix}$$

- 2) In der normalisierten Inputmatrix  $\underline{C}^n$  wird für jeden Input die minimale normalisierte Inputquantität  $c_k^{n*}$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Inputs wird die Matrix  $\underline{I}$  erstellt.

$$c_1^{n*} = 0,241 \text{ und } c_2^{n*} = 0,157$$

$$\underline{I} = \begin{bmatrix} 1,277 & 1,240 \\ 1,289 & 1,258 \\ 1,000 & 1,281 \\ 1,036 & 1,046 \\ 1,048 & 1,000 \\ 1,000 & 1,074 \\ 1,000 & 1,262 \\ 1,000 & 1,189 \\ 1,000 & 1,097 \end{bmatrix}$$

- 3) In der normalisierten Outputmatrix  $\underline{R}$  wird für jeden Output die maximale normalisierte Outputquantität  $r_j^*$  erhalten. Nach der Berechnung der Abstandsmaße für die Outputs wird die Matrix  $\underline{Q}$  erstellt.

$$r_1^* = 0,471, r_2^* = 0,644, r_3^* = 0,605 \text{ und } r_4^* = 0,364$$

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} 1,000 & 0,686 & 0,755 & 1,000 \\ 1,000 & 0,686 & 0,657 & 0,991 \\ 0,764 & 0,686 & 0,673 & 0,991 \\ 1,000 & 0,686 & 1,000 & 0,954 \\ 0,764 & 0,521 & 0,738 & 0,916 \\ 0,764 & 0,686 & 0,722 & 0,939 \\ 0,764 & 1,000 & 0,591 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,558 & 0,991 \\ 0,764 & 0,438 & 0,657 & 0,939 \end{bmatrix}$$

- 4) Die Spalten der Matrizen  $\underline{I}$  und  $\underline{Q}$  werden mit den jeweiligen Gewichten multipliziert, um die Matrizen  $\underline{I}^*$  und  $\underline{Q}^*$  zu erhalten. In Tabelle 4 sind die Effizienzwerte von Laptops aufgeführt, die durch EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für den Input „Preis“ erhalten wurden.

$$\underline{I}^* = \begin{bmatrix} 0,820 & 0,443 \\ 0,828 & 0,450 \\ 0,643 & 0,458 \\ 0,666 & 0,374 \\ 0,673 & 0,357 \\ 0,643 & 0,384 \\ 0,643 & 0,451 \\ 0,643 & 0,425 \\ 0,643 & 0,392 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q}^* = \begin{bmatrix} 0,204 & 0,374 & 0,179 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,156 & 0,014 \\ 0,156 & 0,374 & 0,159 & 0,014 \\ 0,204 & 0,374 & 0,237 & 0,013 \\ 0,156 & 0,284 & 0,175 & 0,013 \\ 0,156 & 0,374 & 0,171 & 0,013 \\ 0,156 & 0,545 & 0,140 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,132 & 0,014 \\ 0,156 & 0,239 & 0,156 & 0,013 \end{bmatrix}$$

**Tabelle 4:** Durch EATWIOS unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze für den Input „Preis“ erzielte Effizienzwerte

Effizienzwert	Rang
$E_1 = 0,610$	5
$E_2 = 0,584$	7
$E_3 = 0,639$	4
$E_4 = 0,796$	1
$E_5 = 0,609$	6
$E_6 = 0,695$	3
$E_7 = 0,782$	2
$E_8 = 0,507$	9
$E_9 = 0,545$	8

Gemäß den durch EATWIOS mit einer Satisfizierungsgrenze von 1000 US-Dollar für den Input „Preis“ erzielten Effizienzwerten in Tabelle 4 ist M4 der effizienteste Laptop, während M8 der am wenigsten effiziente Laptop ist.

## 5. FAZIT

Die Auswahl von Computern ist in letzter Zeit ein wichtiges Thema geworden, da aufgrund der Pandemie immer mehr von zu Hause aus gearbeitet wird. Es ist zu erwähnen, dass Laptops sehr beliebt sind, da sie überall hin mitgenommen werden können. Bei der Auswahl eines Laptops müssen jedoch die technischen Daten beachtet werden. In dieser Studie wurde die Effizienz von neun Laptops mit der integrierten Entropie-EATWIOS-Methode gemessen, um Menschen, die einen Laptop kaufen möchten, bei ihrer Wahl zu helfen. Die Daten stammen von einer Website, wo die besten Laptops fürs Arbeiten von zu Hause aus aufgelistet sind. In der Analyse wurden der Preis und das Gewicht als Inputs und RAM, die Speicherkapazität, die getestete Akkulaufzeit und die Bildschirmgröße als Outputs verwendet. Zunächst wurden die in EATWIOS zu verwendenden Input- und Outputgewichte unter Anwendung der Entropie-Methode berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Input „Preis“ ein größeres Gewicht hat als der Input „Gewicht“. Bei den Outputs hat die Speicherkapazität das größte Gewicht. Der Speicherkapazität folgen die getestete Akkulaufzeit, RAM und die Bildschirmgröße. Die berechneten Input- und Outputgewichte wurden dann bei der Analyse von drei verschiedenen Fällen verwendet. Im ersten Fall wurde für die Inputs und Outputs keine Satisfizierungsgrenze ermittelt. Im zweiten Fall wurde eine Satisfizierungsgrenze von 10 Stunden für den Output „getestete Akkulaufzeit“ eingestellt. Im dritten Fall wurde eine Satisfizierungsgrenze von 1000 US-Dollar für den Input „Preis“ festgelegt. Für alle drei Fälle wurden ziemlich ähnliche Effizienzrankings erhalten. In allen drei Fällen ist M4 der effizienteste Laptop. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da M4 im Vergleich zu anderen Laptops relativ höhere Outputquantitäten mit relativ niedrigeren Inputquantitäten zu haben scheint. Umgekehrt war M8 in allen drei Fällen der am wenigsten effiziente Laptop. Obwohl der Preis für M8 niedrig ist, ist M8 relativ schwer. Darüber hinaus sind die Speicherkapazität und die getestete Akkulaufzeit von M8 sehr gering. Deshalb hat M8 in allen drei Fällen den niedrigsten Rang. In Bezug auf die drei erzielten Effizienzrankings gibt es keinen bzw. geringfügige Unterschiede in den Rängen anderer Laptops.

EATWIOS kann einfach mit MS Excel angewendet werden. Wie in der Studie gezeigt, macht die Festlegung der Satisfizierungsgrenzen für die Inputs und die Outputs diese Methode attraktiv. Die Analyse kann jedoch ohne Bestimmung einer Satisfizierungsgrenze durchgeführt werden. In zukünftigen Studien können die mit anderen Methoden erhaltenen Effizienzrankings mit den in dieser Studie erhaltenen Effizienzrankings verglichen werden. Zusätzlich können die in der Analyse zu verwendenden Gewichte für die Inputs und die Outputs mit verschiedenen Methoden berechnet werden. Unter Verwendung dieser mit verschiedenen Methoden berechneten Gewichte für die Inputs und die Outputs können verschiedene Effizienzrankings durch andere Methoden oder erneut durch EATWIOS erhalten werden. Dabei können natürlich auch unterschiedliche Satisfizierungsgrenzen festgelegt werden. Diese Effizienzrankings können mit den in dieser Studie erhaltenen Effizienzrankings verglichen werden.

## LITERATUR

Bansal, A., Singh, R. K., Issar, S. und Varkey, J. (2014). Evaluation of vendors ranking by EATWOS approach. *Journal of Advances in Management Research*, 11(3), 290-311.

Bulgurcu, B. (2019). Sales Operation Evaluation of Insurance Companies: A Novel Integrated Model based on Entropy-EATWIOS. In *Contemporary Challenges in Business and Life Sciences*, IJOPEC Publication. 25-37.

Charnes, A., Cooper, W. W. und Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.



- Cooper, W. W., Huang, Z. und Li, S. X. (1996). Satisficing DEA models under chance constraints. *Annals of operations research*, 66(4), 279-295.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. und Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*. Springer Science & Business Media.
- Çanakçıoğlu, M. (2019). Borsa İstanbul'da İşlem Gören Çimento Firmalarının Entropi-Eatwios Bütünleşik Yaklaşımı İle Finansal Performanslarının Değerlendirmesi. *Journal of Yasar University*, 14(56), 407-421.
- Doyle, J. R., und Green, R. H. (1991). Comparing products using data envelopment analysis. *Omega*, 19(6), 631-638.
- Doyle, J., und Green, R. (1994). Strategic choice and data envelopment analysis: comparing computers across many attributes. *Journal of Information Technology*, 9(1), 61-69.
- Erpolat, S. und Cinemre, N. (2011). Notebook seçiminde hibrit bir yaklaşım: analitik hiyerarşi yöntemine dayalı veri zarflama analizi. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 40(2), 207-225.
- Freedom251 (2020). 10 Best Laptops For Working From Home in 2021 [Approved by Remote Workers], abgerufen am 21.02.2021 von <https://freedom251.com/best-laptops-for-working-from-home/>.
- Görçün, Ö. F. (2019a). Kentsel Lojistikte Kullanılan Hafif Raylı Sistem Hatlarının Entegre Entropi ve EATWOS Yöntemleri Kullanılarak Analizi. *Gümüşhane University Electronic Journal of the Institute of Social Science/Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 10(1), 254-267.
- Görçün, Ö. F. (2019b). Entegre Entropi ve Eatwos Yöntemleri Kullanılarak Karadeniz Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 811-830.
- Görçün, Ö. F. (2019c). Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinin Lojistik ve Taşımacılık Performansları ve Verimliliklerinin Analizi İçin Hibrid Bir Çok Kriterli Karar Verme Modeli. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(3): 2775-2798.
- Kumar, N., Singh, A. Verma, A. und Sonal, T. (2016). Measuring Efficiency of IPL Players Using EATWOS. *International Journal of Advanced Production and Industrial Engineering*, 1(2), 13-16.
- Küçükönder, Ü. H. und Şişmanoğlu, Ü. E. (2020). BIST Tekstil, Deri Endeksindeki İşletmelerin Finansal Performansları için ÇKKV Yöntemlerine Dayalı Alternatif Bir Değerlendirme Çerçevesi. *Mali Çözüm Dergisi*, 30(159), 91-127.
- Lin, C. H., und Liao, D. Y. (2006). A data envelopment analysis approach for performance evaluation of IT products. In *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Vol. 5, 3772-3777). IEEE.
- McMullen, P. R., und Tarasewich, P. (2000). Selection of notebook personal computers using data envelopment analysis. *The Southern Business and Economic Journal*, 23(3), 200-214.
- Özbek, A. (2015a). Analysis of Private Pension Companies in Turkey by EATWOS. *European Journal of Business and Management*, 7(26), 31-43.
- Özbek, A. (2015b). Efficiency Analysis of Non-Governmental Organizations Based in Turkey. *International Business Research*, 8(9), 95-104.
- Özbek, A. (2015c). Efficiency Analysis of the Turkish Red Crescent between 2012 and 2014. *International Journal of Economics and Finance*, 7(9), 322-334.

- Özbek, A. (2016). Efficiency Analysis of Gold Mining Companies through Financial Statements. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 6(10), 273-290.
- Özbek, A. (2017a). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Hayırsever Kuruluşlarında Verimlilik Analizi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 99-114.
- Özbek, A. (2017b). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü*, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Özdağoğlu, A. (2018). BIST Sınai İşletmelerinin Gri Entropi-EATWIOS Bütünleşik Yaklaşımı ile Performans Değerlendirilmesi. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 19(2), 271-299.
- Peaw, T. L., and Mustafa, A. (2006). Incorporating AHP in DEA Analysis for Smartphone Comparison. In *Proceedings of the 2nd IMT-GT Regional Conference on Mathematics, Statistics and Applications Universiti Sains Malaysia, Penang*.
- Peters, M., und Zelewski, S. (2006a). *Effizienz-Analyse unter Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Outputs: die Effizienz-Analysetechnik EATWOS*. Inst. für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Univ. Duisburg-Essen, Campus Essen.
- Peters, M. L. und Zelewski, S. (2006b). Efficiency analysis under consideration of satisficing levels for output quantities. In *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Production and Operations Management Society (POMS) (Vol. 28, No. 1.05)*.
- Peters, M. L. und Zelewski, S. (2007). Effizienz-Analyse mit EATWOS – Eine Anwendung auf Wärmebehandlungsöfen. *Controlling*, 19(2):75–81.
- Peters, M. L., Zelewski, S. und Bruns, A. S. (2012). Extended Version of EATWOS concerning Satisficing Levels for Input Quantities. *Pioneering supply chain design—a comprehensive insight into emerging trends, technologies and applications. Lohmar–Köln: Eul Verlag*.303-318.
- Peters, M. L. und Zelewski, S. (2016). Chancen und Risiken von Satisfizierungsgrenzen in Effizienzanalysen aus Perspektive nachhaltiger Entwicklung. In *Sustainability Management Forum*, 24(2-3), 195-199.
- Peters, M. L. und Zelewski, S. (2018). Some thoughts on operationalizing the concept of sufficiency in efficiency analysis. *International Journal of Management and Sustainability*, 7(1), 63-71.
- Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M. und Yusop, Z. B. (2015). *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*, Springer.

## EXTENDED SUMMARY

### Purpose

Computers have become an indispensable part of life in today's world where digitalization is gaining importance. Especially in recent times, pandemic conditions have forced people to work from home and most people have to run their work on computers. In this study, the efficiency of nine laptop computers identified as the best laptops for working from home at a website was measured with integrated entropy-EATWIOS method (Efficiency Analysis Technique with Input and Output Satisficing) to help people with their choice who want to buy a laptop.

### Methodology

In the study, the efficiency of nine laptop models identified as the best laptops for working from home at a website was measured with integrated entropy-EATWIOS method. For this purpose, price and weight were taken as inputs and RAM, storage capacity, tested battery life and screen size were taken as outputs. First, input and output weights to be used in EATWIOS were calculated by using entropy method. Then three cases were considered. In the first case, no satisficing level was determined for inputs and outputs. In the second case, a satisficing level was set for the tested battery life output. In the third case, a satisficing level was set for the price input. The efficiency ranking of laptop computers was obtained for all three cases.

### Findings

First, weights for inputs and outputs were calculated separately according to the entropy method. The weights were found as 0.643 for price input and 0.357 for weight input. As for the outputs, the weight was found to be 0.204 for RAM, 0.545 for storage capacity, 0.237 for tested battery life and 0.014 for screen size. Accordingly, it is seen that the price input is more important than the weight input. Storage capacity has the largest weight among outputs. The storage capacity is followed by the tested battery life, RAM and screen size, respectively.

These weights were later used in EATWIOS. As mentioned above, in the first case, no satisficing level was determined for inputs and outputs. While the M4 model was the most effective laptop model with an efficiency score of 0.737, M8 was the least efficient laptop model with an efficiency score of 0.507. In the second case, a satisficing level of 10 hours was set for the tested battery life output. While the M4 model was the most effective laptop model with an efficiency score of 0.737, M8 was the least efficient laptop model with an efficiency score of 0.494. In the third case, a satisficing level of 1000 US dollar was determined for the price input. While the M4 model was the most effective laptop model with an efficiency score of 0.796, M8 was the least efficient laptop model with an efficiency score of 0.507.

### Conclusion and Discussion

Computer selection has become an important issue today, when working from home is increasing due to the pandemic. It should be noted right away that laptop computers are very popular as they can be carried anywhere. However, when selecting a laptop computer it is necessary to pay attention to the specifications. In this study, the efficiency of nine laptop computers was measured with integrated entropy-EATWIOS method to help people with their choice who want to buy a laptop. The data come from a website that lists the best laptops for working from home. In the analysis, price and weight were taken as inputs and RAM, storage capacity, tested battery life and screen size were taken as outputs. First, input and output weights to be used in EATWIOS were calculated by using entropy method. The results show that the price input has a greater weight than the weight input. As for the outputs, the storage capacity has the greatest weight. The storage capacity is followed by the tested battery life, RAM and the screen size, respectively. The calculated input and output weights were then used in the analysis of three different cases. In the first case, no satisficing level was determined for inputs and outputs. In the second case, a satisficing level of 10 hours was set for the tested battery life output. In the third case, a satisficing level of 1000 US dollar is set for the price input. Quite similar efficiency rankings were obtained for all three cases. In all three cases, M4 emerges as the most efficient laptop computer. This result is not surprising because

M4 appears to have relatively higher output values with relatively lower input values when compared to other laptop computers. Conversely, M8 was the least efficient laptop computer in all three cases. Although the price of M8 is low, it is relatively heavy. In addition, the storage capacity and the tested battery life of M8 are very low. This is why M8 has the lowest rank in all three cases. With regard to the three efficiency rankings achieved, there are no or slight differences in the ranks of other laptops.

EATWIOS can be applied easily by using MS Excel. As shown in the study, setting satisficing levels for inputs and outputs makes this method attractive. However, analysis can be done without determining any satisficing level. In future studies, efficiency rankings obtained by using other methods can be compared with the efficiency rankings obtained in this study. In addition, the input and output weights to be used in the analysis can be calculated with different methods. Using these input and output weights, various efficiency rankings can be obtained by other methods or again by EATWIOS. Different satisficing levels can also be set. These efficiency rankings can be compared with the efficiency rankings obtained in this study.