

ANWENDUNG DER MONTE-CARLO-SIMULATION ALS ENTSCHEIDUNGSMODELL FÜR KOMMUNALE ENERGIEKONZEPTE

Martin Tschurtschenthaler, David Koch

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs- GmbH, Andreas Hofer Straße 7,
6330 Kufstein, Tel. 0043 5372 71819 138,
Martin.Tschurtschenthaler@fh.kufstein.ac.at, www.fh-kufstein.ac.at

Kurzfassung: Dieser Beitrag umfasst sich mit dem Aufbau, der Entwicklung und der Anwendung eines Berechnungsmodells zur Bewertung verschiedener erneuerbarer-Energien-Anlagen in Gemeinden und Regionen. Ein wesentlicher Aspekt liegt dabei in der Erstellung eines Entscheidungsmodelles, welches der Gemeinde fundierte Aussagen bezüglich ihrer Entwicklungspotenziale in diesem Bereich ersichtlich macht. Investitionsentscheidungen sind in der Regel mit einem bestimmten Risiko behaftet. Um diese Unsicherheiten, vor allem bei der Wahl der Ausgangsparameter, konkretisieren zu können, wurde das Instrument der Monte-Carlo-Simulation in das Entscheidungsmodell integriert. Die damit entstandene Analyse zur Bewertung der Möglichkeiten des Ausbaus erneuerbarer Energien für Gemeinden und Regionen liefert im Rahmen eines Energiekonzeptes wichtige Aussagen zur Erreichung einer gewissen Energieunabhängigkeit.

Keywords: Energieautonomie, Investitionsentscheidung, Ausbaustrategie, Energieleitplan

1 Hintergrund

Bei der Umsetzung der Energiewende wird Gemeinden und Regionen eine tragende Rolle zugeschrieben. Die Erstellung eines kommunalen Energiekonzepts dient dabei als wichtige Grundlage für weitere Maßnahmen. Dieses soll auf Basis einer Bestands- und Potenzialanalyse verschiedene Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie des Anteils an regenerativer Energieerzeugung in der Gemeinde aufzeigen und bewerten. Die Fülle an Möglichkeiten zur nachhaltigen Energienutzung bewirken zumeist jedoch mehrere Unsicherheiten und Hemmnisse. Darüber hinaus fordern unterschiedliche Strukturen in jeder Gemeinde eine möglichst individuelle Betrachtung. So kann die jeweilige Technologie nur unter Berücksichtigung der vorhandenen Energiequellen und einer geeigneten Abnahmestruktur effizient umgesetzt werden. Die Zielsetzung liegt in der objektiven Bewertung unterschiedlicher Anlagentechnologien zur Steigerung des Anteils der regenerativen Energieerzeugung in einer Gemeinde. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, mit vielfach ungenauen Daten möglichst exakte Prognosen zu treffen. Das Entscheidungsmodell soll zudem in die Erstellung von kommunalen Energieleitplanungen integriert, verbesserte Aussagen zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien treffen. Ein solcher Energieleitplan zeigt die ganzheitliche energetische Betrachtung einer Gemeinde bzw. Region und liefert hieraus verschiedene Konzepte und Maßnahmen. Damit soll ähnlich wie beim Flächenwidmungsplan ein langfristiges Instrument geschaffen werden, nach dem diese ihre energiepolitischen

Maßnahmen durchführen kann. Die wesentlichen Bausteine der Planung gliedern sich dabei in folgende Phasen: (StMUG; StMWIVT; OBB 2011)

- Bestands- und Potenzialanalyse
- Konzeptentwicklung
- Umsetzung

Im Rahmen der ersten Phase werden die verfügbaren Daten zum Energiebedarf, der Energieinfrastruktur und den Energiepotenzialen ermittelt. Die Analyse sollte dabei nicht nur die heutige Struktur berücksichtigen, sondern bis zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt reichen. Aus diesen Ergebnissen können in weiterer Folge Entwicklungsszenarien gebildet werden, die den prognostizierten Bedarf mit den verfügbaren Ressourcen gegenüberstellen. In der darauf aufbauenden Phase der Konzeptentwicklung werden geeignete Maßnahmen zur Steigerung des Anteiles erneuerbarer Energien und vermehrter Energieeinsparung entwickelt. Das hier beschriebene Entscheidungsmodell stellt in diesem Bereich einen Mehrwert zu bestehenden Vorgehensweisen dar. Mit dem Modell werden der Gemeinde die Möglichkeiten zum Ausbau erneuerbarer Energien anhand ökonomischer Kennzahlen aufgezeigt. Diese dienen in weiterer Folge als Basis für Umsetzungskonzepte in der dritten Phase, welche über einen Informations- und Partizipationsprozess mit den Stakeholdern in der Gemeinde abgestimmt werden.

2 Methodik

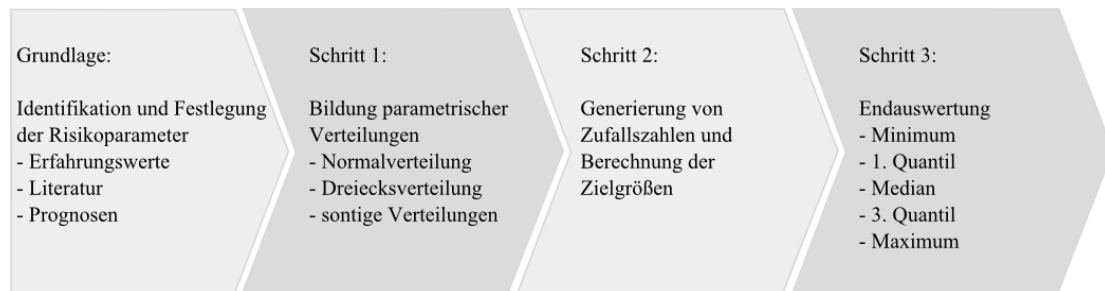
Der nun folgende Abschnitt dieses Beitrags zeigt die methodische Vorgehensweise zur Erstellung des Entscheidungsmodells. Im Prinzip baut dieses auf einem Investitionsvergleich für verschiedene Technologien zur regenerativen Strom- und Wärmeversorgung auf. Zusätzlich wird jedoch eine Monte-Carlo-Simulation (MCS) integriert. Ein solcher Mehraufwand lässt sich dadurch begründen, dass die klassischen Investitionsrechnungsverfahren auf Basis verschiedener Annahmen bezüglich Kosten und Erträgen erstellt werden. Diese analytischen Lösungen eignen sich nur für stark vereinfachte Modelle und können nur bedingt komplexe Sachverhalte, wie die Veränderungen verschiedener Eingangsparameter, darstellen. (Gleißner 2004) Ein wesentlicher Aspekt liegt daher in der Berücksichtigung verschiedener Unsicherheiten, wie Preis- und Mengenrisiken. Mittels der Monte-Carlo-Simulation können diese Risiken quantifiziert werden. Deshalb wird im Folgenden die Struktur der MCS dargestellt.

2.1 Monte-Carlo Simulation – Hintergrund und Aufbau

Die Grundidee der Monte-Carlo-Simulation (MCS) liegt in der Bewertung und Quantifizierung verschiedener Risiken. Im Rahmen der Simulation werden unterschiedlichen Zufallszahlen, eines definierten Bereichs, unter Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, ermittelt. Durch die Generierung verschiedener Einzelszenarien können die getroffenen Einschätzungen quantitativ ausgewertet werden. (Medgenberg; Nemuth 2011)

Jedes dieser Einzelszenarien führt zu einem möglichen Ergebnis der Investition. Die vorher definierte Wahrscheinlichkeit der unterschiedlichen Parameter zeigt in Kombination mit vielen Tausend Durchführungen dieser Szenarien eine Häufigkeitsverteilung der zu erwarten-

den Resultate. Der Mehrwert der Monte-Carlo-Simulation besteht dabei darin, dass die bestehenden Zusammenhänge zwischen den einzelnen Risiken berücksichtigt werden. (Wieske 2006). Die Herangehensweise bei der Monte-Carlo-Simulation soll in Abbildung 1 näher dargestellt werden.



**Abbildung 1: Aufbau der Monte-Carlo-Simulation
(Eigene Darstellung, Daten entnommen aus Wittmer 2013)**

Als Grundgerüst jeder Monte-Carlo-Simulation kann die Identifikation und Definition der Wahrscheinlichkeitsverteilungen gesehen werden. Aus diesem Grund müssen die jeweiligen Risikokomponenten bereits im Vorfeld identifiziert und dokumentiert werden. Mit Hilfe dieser Werte können nun unterschiedliche Verteilungen gebildet werden. Basierend auf dieser Verteilung werden im zweiten Schritt nun unterschiedliche Zufallszahlen gezogen. (Wittmer 2013) Mehrere Tausend Durchläufe bilden einen Vektor, welcher zur Berechnung der Zielgrößen herangezogen wird. Dazu werden bestimmte Verfahren der Investitionsrechnung in die Simulation implementiert. Der finale Schritt besteht in einer Ergebnisinterpretation. Die Zusammenfassung mittels statistischer Lageparameter erlaubt eine übersichtliche und verständliche Auswertung der Berechnung.

2.1.1 Grundlage: Identifikation der Risikoparameter

Für eine Simulation verschiedener Möglichkeiten zum Ausbau erneuerbarer Energien wurde eine Anlagendatenbank mit den wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Parametern angelegt. Die Daten konnten aus mehreren aktuellen Literaturquellen zusammengestellt werden. Unten angeführtes Beispiel der Photovoltaik zeigt nun die Anlagenkennwerte, wie sie für alle gängigen Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung bestimmt wurden.

Kennwert	Anlagengröße	Minimum	Erwartungswert	Maximum	Einheit
Leistungsgröße		2	-	13.000	kW _p
Investitionskosten	Bis 10 kWp	1.700	1.900	2.200	€/kWp
	Bis 1000 kWp	1.500	1.700	1.800	€/kWp
	Ab 1000 kWp	1.500	1.600	1.700	€/kWp
Betriebskosten		25	30	40	€/kWp
Volllaststunden		900	1.000	1.100	h/a

**Abbildung 2: Angewendete Kennwerte für Photovoltaikanlagen
(Kost et al. 2012; Kaltschmitt; Streicher 2009; Dürrschmidt; Zimmermann; Liebing 2004)**

Wie aus Abbildung 2 erkennbar ist, wird der Leistungsbereich der hier angewendeten Photovoltaikanlagen mit 2 kW bis 13 MW definiert. Zusätzlich werden die Investitions- und Betriebskosten, sowie die Volllaststunden als Einflussparameter der Simulation definiert. Neben dem Erwartungswert dieser Komponenten wird zur Bestimmung des Risikos ein Wertebereich zwischen Minimum und Maximum angegeben. Anhand der im nachfolgenden Kapitel

beschriebenen Verteilungsannahme wird auf Basis dieser drei Kennwerte für jede Variable eine parametrische Verteilung gebildet. Die Erträge der Anlagen werden über die erzeugte Energie und den aktuellen Vergütungssätzen festgestellt.

2.1.2 Schritt 1: Bildung parametrischer Verteilungen

Die Bestimmung der Einzelrisiken erfolgt im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation über Verteilungsannahmen. Die Herausforderung besteht dabei vor allem darin, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu finden, welche eine möglichst realitätsnahe Interpretation erlaubt. Zur Bestimmung dieser Funktion bedarf es sogenannte Verteilungsparameter. Je nach Verfahren ist eine bestimmte Vielzahl und Tiefe dieser Parameter erforderlich. In dieser Arbeit wird auf die sogenannte Dreiecksverteilung zurückgegriffen. Diese kennzeichnet sich durch eine relativ einfache Struktur, bei der lediglich drei Eingangsparameter erforderlich sind. Die Dreiecksverteilung eignet sich gerade wegen ihrem einfachen Aufbau für diese Berechnung und wird daher als geeignete Verteilung dieses Modells gesehen. Als Eingangswerte müssen folgende drei Positionen angegeben werden.

- der Minimalwert a
- der wahrscheinlichste Wert (Erwartungswert) c
- der Maximalwert b. (Gleißner 2011)

Die Dichtefunktion der Dreiecksverteilung definiert sich dabei wie in folgender Formel angeführt. (Rosenkranz; Missler-Behr 2005). Aus dieser Funktion lässt sich in Abbildung 3 die Dreiecksverteilung graphisch darstellen.

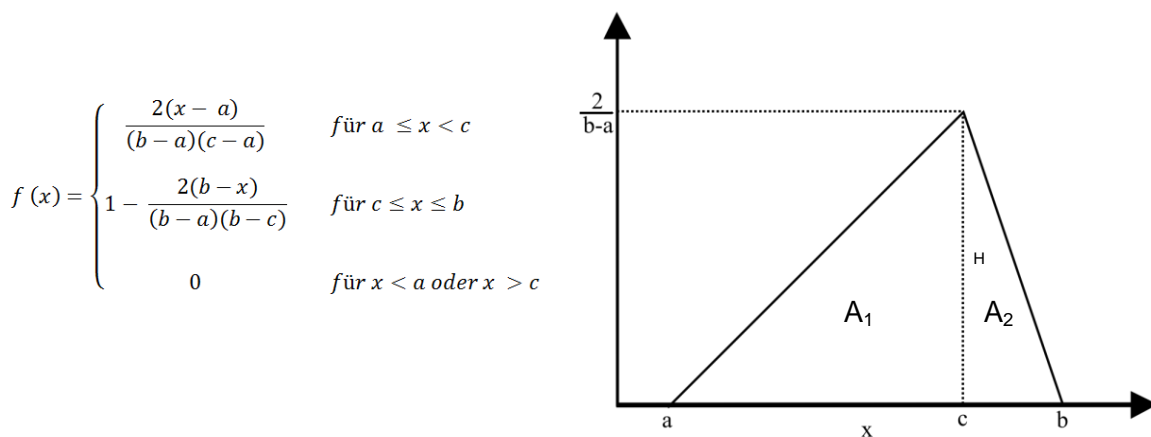


Abbildung 3: Dichtefunktion und graphische Darstellung einer Dreiecksverteilung (Modifiziert nach Kotz; van Dorp 2004)

Hieraus wird die Struktur dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung ersichtlich. Der Minimalwert (a) definiert die Untergrenze der möglichen Werte. Die Spannweite (x) reicht dabei bis zum Maximum (b), während der Erwartungswert durch (c) bestimmt wird. Die gesamte Fläche kann dabei in zwei rechtwinklige Dreiecke A₁ und A₂ mit der Höhe (h) unterteilt werden. Alle wahrscheinlichen Werte liegen innerhalb dieser Dreiecke. Somit gilt A₁ + A₂ = 1. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich über folgende Formel die Höhe (H) bestimmen. (Kotz; van Dorp 2004)

$$(c-a) \frac{H}{2} + (b-c) \frac{H}{2} = 1 \leftrightarrow H = \frac{2}{b-a}$$

Die Dreiecksverteilung wird nicht nur wegen ihrer Einfachheit in das Modell integriert. Ein weiterer Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Werte nicht zwingend normalverteilt sind. Unter Umständen kann die Dreiecksverteilung daher die Realität genauer darstellen, als die geläufigere Normalverteilung.

Die MCS wurde in dieser Arbeit im Statistikprogramm R entwickelt. (R Development Core Team 2011) Mithilfe des Paketes *triangle* kann die Dreiecksverteilung in R angewendet werden. Die benötigten Kennzahlen umfassen die Anzahl der Beobachtungen, sowie den drei benötigten Werten Minimum, Erwartungswert und Maximum. (Carnell 2009)

2.1.3 Schritt 2: Generierung von Zufallszahlen und Berechnung der Zielgrößen

Auf Basis des dreiecksverteilten Wertebereiches werden in der nun folgenden Phase der Monte-Carlo-Simulation die Zielgrößen berechnet. Als primäre Kennzahl wird der Kapitalwert gesehen, welcher sich nach folgender Formel berechnen lässt. (Konstantin 2009)

$$\text{Kapitalwert } K_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t)}{q^t}$$

K_0	Kapitalwert zum Bezugszeitpunkt in €
I_0	Investitionsausgaben
E_t	Einnahmen am Ende des Jahres t in €/a
A_t	Ausgaben am Ende des Jahres t in €/a
q	Diskontierungsfaktor, $q=1+i/100$
i	Kalkulatorischer Zinssatz in %/a
t	Jahr der Nutzungsperiode
n	Kalkulatorische Nutzungsdauer in Jahren

Die Berechnung des Kapitalwerts erfolgt in der Praxis über reale, sprich verzinste Zahlungsreihen. Zu Beginn steht die Investition I_0 . Darauf folgen die jährlichen verzinnten Einnahmen E_t und Ausgaben A_t über die gesamte kalkulatorische Nutzungsdauer. Zur Berechnung des Kapitalwerts werden diese diskontierten Kapitalflüsse summiert. Sowohl I_0 als auch E_t und A_t sind Kennwerte, die auf Basis der dreiecksverteilten Zufallsvariablen gebildet werden.

Die zur Bewertung der einzelnen Anlagen angewendete Kennzahl ist der Profitability-Index (PI). Er bestimmt sich durch den Quotienten von Kapitalwert und dem heutigen Wert der Investition. Mit dieser Kennzahl wird die Wertschöpfung des eingesetzten Kapitals dargestellt. Der Profitability Index ist somit wie folgt definiert: (Correia et al. 2007)

$$PI = \frac{\text{Investment} + NPV}{\text{Investment}} \text{ bzw. } PI = \frac{NPV}{\text{Investment}} + 1$$

PI	Profitability Index
NPV	Kapitalwert
Investment	Investitionskosten

Der Profitability Index liefert einen einfachen Kosten-Nutzen-Vergleich. In diesem Zuge eignet sich die Kennzahl vor allem zur Priorisierung unterschiedlicher Investitionen. Unter sonst

gleichen Voraussetzungen (*ceteris paribus*) wirft jene Anlage mit dem höchsten Profitability Index die größte Wertschöpfung des eingesetzten Kapitals ab.

Der Ablauf der eigentlichen Simulation kann daher an folgenden Schritten zusammengefasst werden.

- 1.) Ziehen eines Zufallswerts für jeden Eingangsparameter
- 2.) Errechnen der einzelnen Kennwerte I_0 , E_t und A_t
- 3.) Ermittlung des Kapitalwertes und Profitability Index
- 4.) Punkt 1.) bis 3.) 100.000-mal wiederholen
- 5.) Verteilung der ermittelten Kapitalwerte und PI's analysieren.

2.1.4 Schritt 3: Endauswertung

Die Investitionsrechnung mittels Monte-Carlo-Simulation liefert eine Vielzahl an Resultaten. Die sorgfältige Darstellung dieser Ergebnisse ist daher ein essentieller Bestandteil der Interpretation. Abbildung 4 zeigt daher die Dichteverteilung des Profitability-Indexes für bestimmte Referenzanlagen.

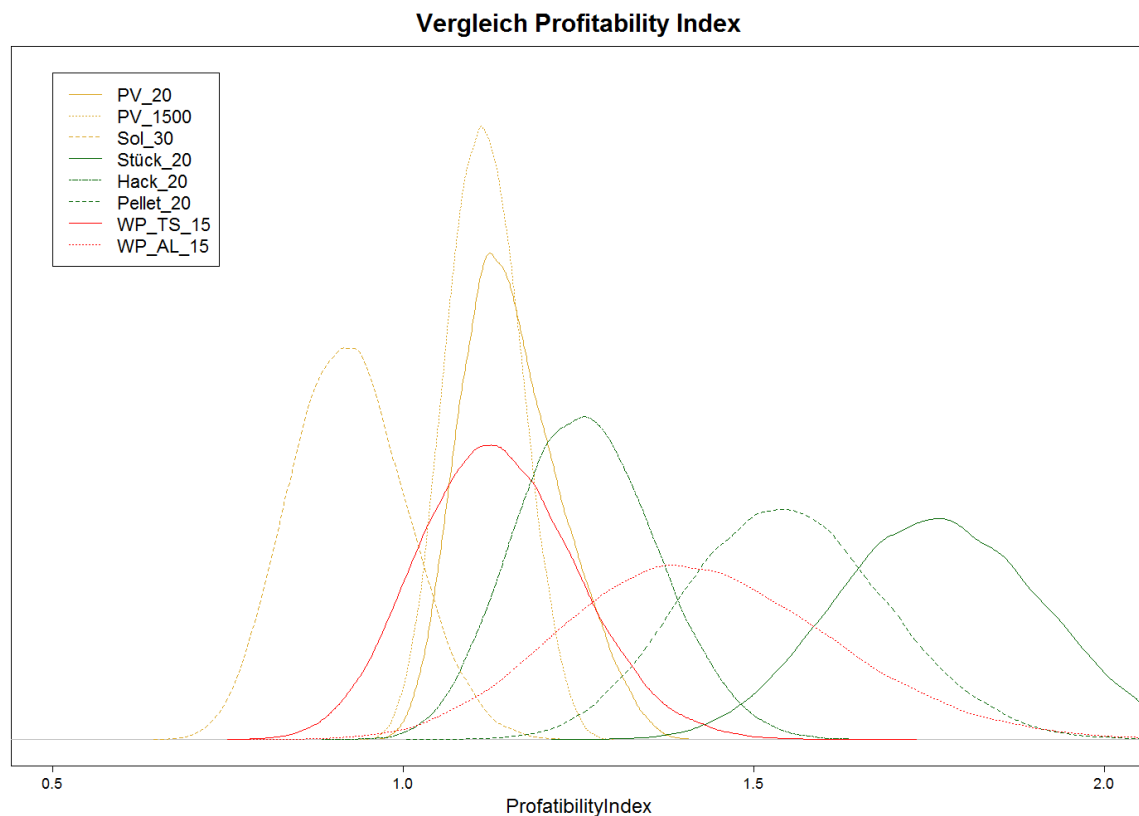


Abbildung 4: Dichtefunktion des Profitability Indexes für bestimmte Referenzanlagen

Aus diesen Verteilungen können sowohl der Mittelwert μ (M_μ), als auch die Standardabweichung σ (Sigma) gebildet werden. Diese zwei Kennzahlen dienen aufgetragen in einem My-Sigma-Diagramm zur Bewertung der einzelnen Anlagen. Der Mittelwert wird dabei auf die y-Achse und die Standardabweichung auf die x-Achse gezeichnet. Damit soll ein schneller Überblick bezüglich des zu erwartenden Ertrags der Anlage und des zu berücksichtigenden Risikos gegeben. Diese Methodik wird vor allem im Portfoliomanagement angewendet, welche in mehreren Wirtschaftsbereichen als Entscheidungsgrundlage bezüglich verschiedener Investitionsalternativen herangezogen wird. (Podding; Brinkmann; Seiler 2009) Damit wird

ein schneller Überblick bezüglich des zu erwartenden Ertrags der Anlage und des zu berücksichtigenden Risikos gegeben. Wie in späterer Folge dargestellt, werden auf Basis dieser Vorgehensweise alle Anlagentechnologien und Leistungsklassen miteinander verglichen und priorisiert. Daraus kann ein Ausbauplan für die Gemeinde erstellt werden.

2.2 Struktur und Aufbau des Berechnungsmodells

Das nun folgende Kapitel befasst sich mit dem eigentlichen Aufbau des Berechnungsmodells. Diese erfolgt auf Basis der bereits dargestellten Grundlagen und methodischen Vorgehensweise. Abbildung 5 zeigt den strukturellen Aufbau des Modells.

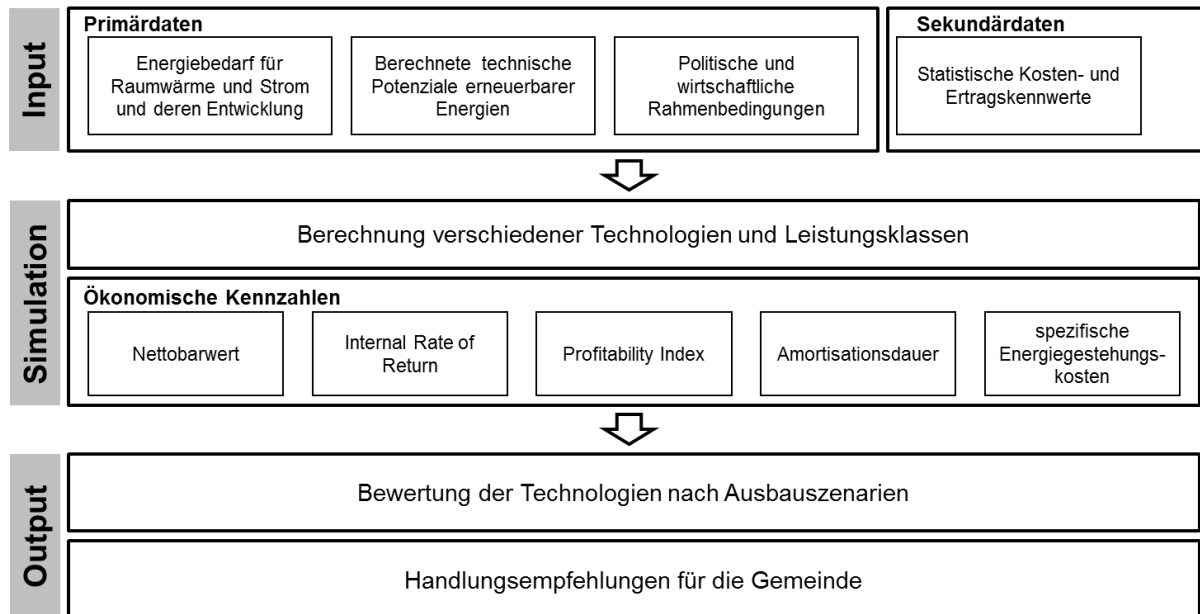


Abbildung 5: Struktur des Berechnungsmodells

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgangswert der Berechnungen sind die bereits ermittelten Ergebnisse hinsichtlich des Energiebedarfs und der Potenziale erneuerbarer Energien aus der Grundlagenerhebung. Unter den Inputdaten finden sich zudem die sogenannten politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, eine Sammlung weiterer Spezifika, welche die Anforderungen je Gemeinde verdeutlichen sollen. Zu den bereits beschriebenen Primärdaten werden die technisch ökonomischen Parameter aus der Anlagendatenbank angewendet. Nach der Definition der benötigten Eingangsdaten werden im Rahmen der vorhin beschriebenen Monte-Carlo-Simulation verschiedene Kennwerte, wie sie in Abbildung 5 dargestellt sind, berechnet. Auf Basis dieser ökonomischen Kennzahlen wird in weiterer Folge die Bewertung der Technologien durchgeführt. Das hieraus erstellte Ausbauszenario leitet verschiedene Handlungsempfehlungen für die Gemeinde ab.

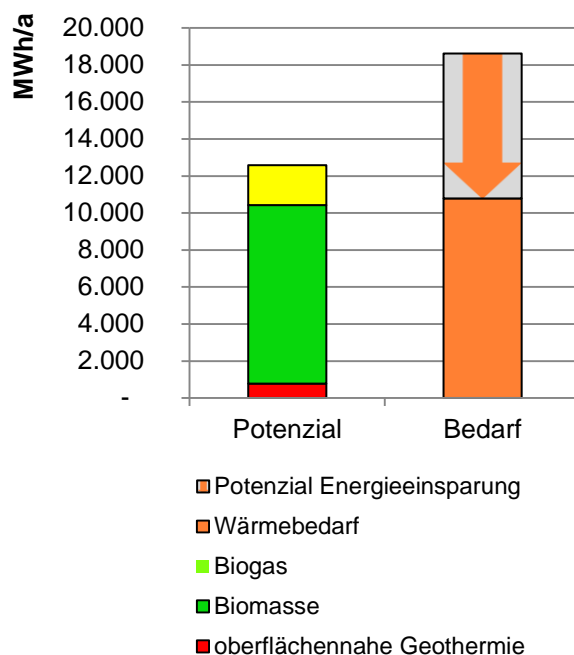
3 Anwendung der Ergebnisse im Entscheidungsmodell

Der abschließende Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Interpretation des Simulationsmodells an einem realen Praxisbeispiel. Die hierfür benötigten Grundlagen beziehen sich auf ein Forschungsprojekt der Fachhochschule Kufstein. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Energieleitplan für acht Tiroler Gemeinden im Bezirk Imst erstellt. (Fachhochschule Kufstein

Tirol; Regionalmanagement Imst 2013) Die Gemeinde Roppen ist eine dieser Kommunen und wird in diesem Kapitel als Referenz herangezogen. Die Gliederung dieses Abschnittes richtet sich nach der in Abbildung 5 dargestellten Struktur des Berechnungsmodells. Aus diesem Grund wird im ersten Schritt eine Kurzzusammenfassung der Inputdaten gegeben.

Der nötige Dateninput des Berechnungsmodells gliedert sich in Energiebedarf für Raumwärme und Strom, sowie den berechneten technischen Potenzialen regenerativer Energien. Im Energieleitplan für die Gemeinde Roppen wurden diese Werte erhoben und in einer Bilanzierung zusammengefasst. In den nachfolgenden Abbildungen werden die Potenziale erneuerbarer Energien mit den Bedarfswerten hinsichtlich Strom und Wärme gegenübergestellt.

Bilanz Wärme:



Bilanz Strom:

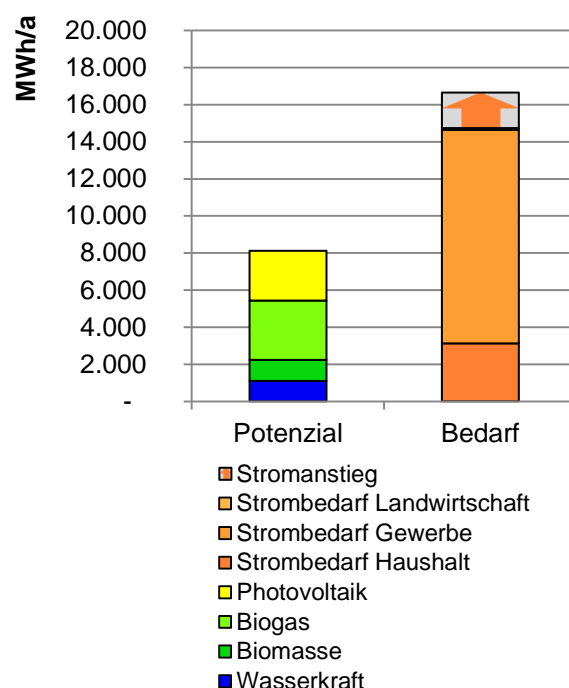


Abbildung 6: Energetische Bilanzen für Wärme (links) und Strom (rechts) der Gemeinde Roppen (Fachhochschule Kufstein Tirol; Regionalmanagement Imst 2013)

Auf Basis der in Abbildung 6 dargestellten Potenziale und Entwicklungen hinsichtlich des Strom- und Wärmebedarfs werden in weiterer Folge für die Erstellung eines Ausbauszenarios bestimmte Ausbaustufen generiert. Diese richten sich sowohl nach dem verfügbaren Potenzial, als auch nach gängigen Anlagengrößen. Beispielsweise kann das Potenzial an Sonnenenergie zu mit einem Bestimmten Anteil an Photovoltaikanlagen der Leistungsklassen 5 kW, 20 kW wie auch 1000 kW und in weiterer Folge mit Solarkollektoren im Ausmaß von je 10 m² und 30 m² Fläche gedeckt werden. Die Größe und Anzahl der Technologien werden aus Erfahrungswerten und dem verfügbaren Potenzial bestimmt.

Wie aus der Struktur des Berechnungsmodells ersichtlich wird, wird im darauf folgenden Schritt die Simulation dieser Ausbaustufen durchgeführt und daraus bestimmte Kennzahlen berechnet. Diese werden für die Priorisierung der Technologien herangenommen. Das dargestellte Beispiel zeigt das so genannte Maximum-Profit Szenario dargestellt, welches sich nach dem Profitability Index richtet. Der eigentliche Output der Monte-Carlo-Simulation ist

eine Verteilung der simulierten Berechnungsergebnisse. Aus dieser werden zur abschließenden Bewertung die Parameter Mittelwert und Standardabweichung im μ - σ -Diagramm zusammengefasst und bewertet.

Abbildung 7 zeigt das Ausbauszenario der Gemeinde Roppen unter Berücksichtigung des Profitability Index. Die verschiedenen Ausbaustufen wurden nach der beschriebenen Methodik priorisiert. Die Bezeichnung der Anlagen sowie deren Anzahl bestimmen die technischen Möglichkeiten zum Ausbau erneuerbarer Energien. Abbildung 7 fasst diese in einer Grafik zusammen.

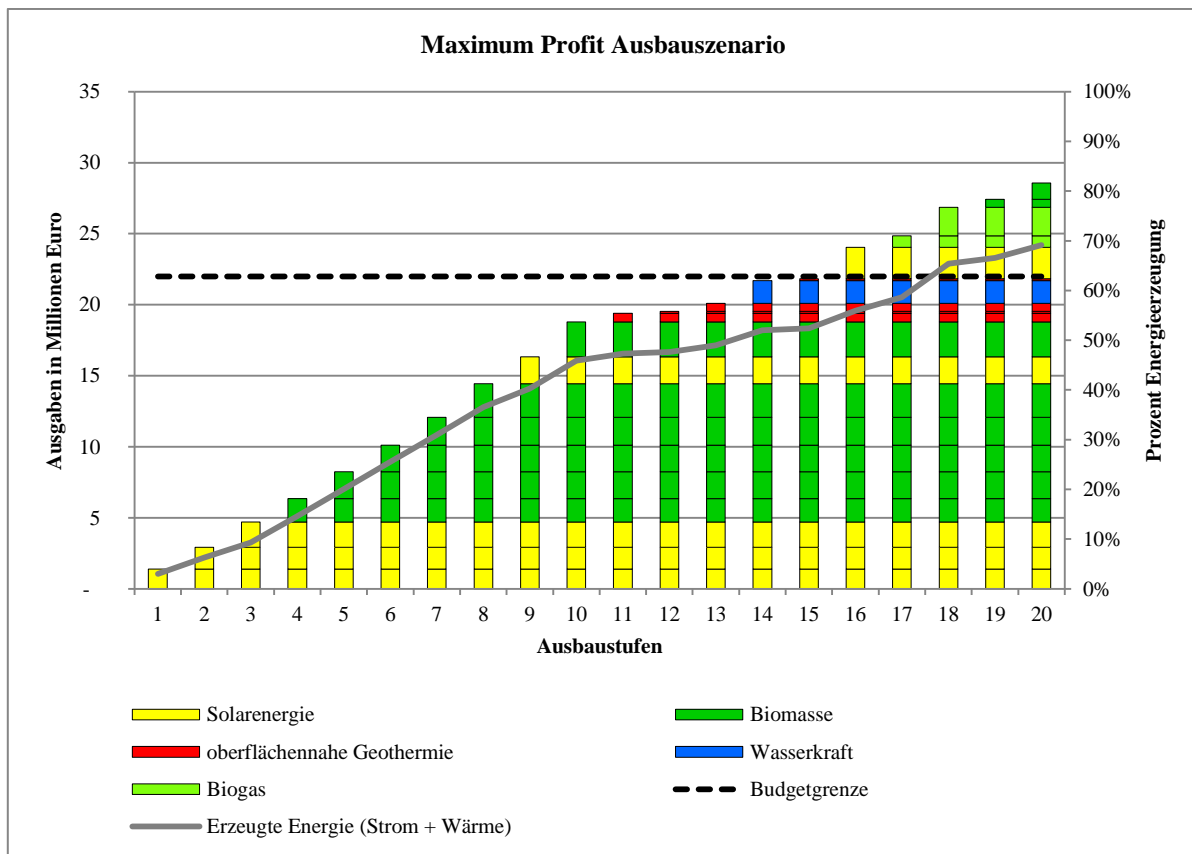


Abbildung 7: Graphische Darstellung des Ausbauszenarios für die Gemeinde Roppen im Maximum-Profit Szenario, Eigene Darstellung

Aus der graphischen Darstellung des Ausbauszenarios lassen sich verschiedene Erkenntnisse ableiten. Die Balken zeigen den Zuwachs der bereits priorisierten Anlagen, zusammengefasst nach der jeweiligen Energiequelle. Die Höhe der Balken kennzeichnen dabei die gesamten Ausgaben (Investition- und laufende Betriebskosten) zur Errichtung der Anlagen. Die Reihung der Säulen richtet sich nach der Ausbaupriorität wobei die Balken selbst in kumulierter Form dargestellt werden. Konkret bedeutet dies: Säule 1 zeigt die Kosten der Errichtung der profitabelsten Anlagentechnologie. Säule 2 addiert hierzu die Kosten der zweitprofitabelsten Anlage. In dieser Form werden somit alle Ausbaumöglichkeiten aufgezeigt. Bei der Errichtung aller Anlagen würden die Gesamtkosten bei rund 28,5 Millionen Euro liegen. Die Rahmenbedingungen erlauben jedoch nur ein maximales Investitionsbudget von 22 Millionen Euro. Aus diesem Grund wurde die Budgetobergrenze als gestrichelte Linie in das Diagramm eingezeichnet. Man erkennt, dass aufgrund dieser Restriktion einige Anlagen nicht gebaut werden können. Eine zweite eingezeichnete Linie zeigt die Steigerung der Er-

zeugung aus regenerativen Energien im Verhältnis zum gesamten Energiebedarf. In Summe könnte in der Gemeinde Roppen im Jahr 2035 rund 70% des Energiebedarfs gedeckt werden. In der 15. Ausbaustufe, welche durch das vorgegebene Budget als Maximum definiert wurde, erreicht die Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien einen Wert von circa 52%. Ein Ausbauszenario basierend auf den profitabelsten Anlagen führt demnach in der Gemeinde Roppen zur Deckung des halben Energiebedarfs in Bezug auf Strom und Wärme.

4 Zusammenfassung und Fazit

Das hier vorgestellte Entscheidungsmodell dient einer Gemeinde zur Bewertung investiver Maßnahmen in erneuerbare Energien. Für eine ganzheitliche Analyse sind dabei verschiedene Restriktionen zu berücksichtigen. Zum einen kann nur ein bestimmter Anteil der verfügbaren Energiequellen genutzt werden. Diese definieren sich nach den technischen Angebots- bzw. Nachfragepotenzialen. Zusätzlich müssen vor allem finanzielle Einschränkungen berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein jährliches Investitionsbudget definiert. Zur Berechnung selbst wird das vorhandene Energiepotenzial in bestimmte Ausbaukategorien unterteilt. Diese werden durch eine hierfür geeignete Referenztechnologie geprägt. Die Ergebnisse der Simulation werden über ein Bewertungsschema priorisiert. Hieraus wird die eigentliche Ausbaustrategie erstellt.

Bei der Bewertung einer geeigneten Ausbaustrategie wurde ein Schwerpunkt auf eine übersichtliche Darstellung gelegt. Die verbesserte Verständlichkeit der Analyse hat jedoch Einbußen in der Genauigkeit der Ergebnisse zur Folge. Aus diesem Grund sollten die Szenarien allenfalls kritisch hinterfragt werden. Zur Bewertung des Risikos wurde beispielsweise die Standardabweichung herangezogen. Diese einzelne Kennzahl reicht jedoch nicht aus, um die gesamte Risikostreuung abzubilden. Ähnliches gilt bei der Festlegung des Profits bzw. der Energiegestehungskosten über den Mittelwert der Verteilung. Genauere Auskünfte hierfür liefern die im Rahmen der Simulation erstellten Einzelbetrachtungen. Dort kann unter Berücksichtigung aller fünf angewendeten Kennzahlen eine detailliertere Analyse erstellt werden. Ein weiterer Punkt liegt in der Kategorisierung der Anlagentechnologien. Eine stärkere Differenzierung der Ausbaukategorien und Leistungsklassen kann die strukturellen Gegebenheiten der jeweiligen Gemeinde verschärft abbilden. Letztendlich liegt hierbei ein Defizit jeder theoretischen Berechnung. Die individuellen Bedürfnisse der Bewohner, ihrer Gebäude und Wohneinheiten können mit keiner Simulation abgebildet werden.

Dieses Simulationsmodell soll den Gemeinden vorwiegend jedoch als erste Entscheidungsgrundlage dienen. Es zeigt die Möglichkeiten zum Ausbau erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung der Energiepotenziale und des vorhandenen Budgets. Die Gemeinde erhält hierbei eine Auswertung hinsichtlich ihrer Chancen einer verstärkten Eigenenergieerzeugung und der damit verbundenen Unabhängigkeit gegenüber fossiler Ressourcen. Im Rahmen eines Energieleitplans lassen sich diese Erkenntnisse direkt in unterschiedliche Handlungsempfehlungen überleiten. Zur Erreichung einer möglichen Energieautonomie sind in der Regel zwei Maßnahmenbündel erforderlich. Die Reduktion des Energiebedarfs und den Ausbau erneuerbarer Energien. Letzteres kann mit dem hier dargestellten Simulationsmodell quantifiziert werden.

5 Literatur

- Carnell, Rob (2009): triangle: Provides the standard distribution functions for the triangle distribution o. J.
- Correia, Carlos et al. (2007): Financial Management. Sixth edit. Cape Town: Juta & Co.
- Dürschmidt, Wolfhard; Zimmermann, Gisela; Liebing, Alexandra (2004): Erneuerbare Energien - Innovationen für die Zukunft. Berlin.
- Fachhochschule Kufstein Tirol; Regionalmanagement Imst (2013): Energieleitplanung Pilotgemeinden Bezirk Imst - Arbeitsmappe Gemeinde Roppen. Kufstein.
- Gleißner, Werner (2004): „Auf nach Monte Carlo - Simulationsverfahren zur Risiko-Aggregation.“ In: Risknews, (2004), pp. 31–37.
- Gleißner, Werner (2011): „Quantitative Verfahren im Risikomanagement: Risikoaggregation, Risikomaße und Performancemaße.“ In: Der Controlling Berater, 16 (2011).
- Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang (2009): Regenerative Energien in Österreich: Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH.
- Konstantin, Panos (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft - Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt. 2. Auflage. Burgstetten: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kost, Christoph et al. (2012): Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Freiburg.
- Kotz, Samuel; van Dorp, Johan René (2004): Beyond Beta - Other Continuous Families of Distributions with Bounded Support and Applications. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Medgenberg, Justus; Nemuth, Tilo (2011): „Potential der Monte-Carlo-Simulation für Risikoanalyse im Projektmanagement.“ In: 1. Internationaler BBB-Kongress. Dresden, pp. 153–171.
- Podding, Thorsten; Brinkmann, Ulf; Seiler, Katharina (2009): Portfoliomanagement: Konzepte und Strategien. Bad Soden: Uhlenbruch Verlag GmbH.
- R Development Core Team (2011): R: A language and environment for statistical computing Vienna: R Foundation for Statistical Computing. J.
- Rosenkranz, Friedrich; Missler-Behr, Magdalena (2005): Unternehmensrisiken erkennen und managen - Einführung in die quantitative Planung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- StMUG; StMWIVT; OBB (2011): Leitfaden Energienutzungsplan. München.
- Wieske, Diana (2006): Risikoanalyse in Industrieunternehmen - Nutzung der Monte Carlo Simulation zur Risikoaggregation. Berlin.
- Wittmer, Rudolf (2013): Monte Carlo Simulation (Grundlagen). Online im Internet: <http://www.whs-gmbh.de/> (Zugriff am: 13.05.2013).