Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Institut für Agrar- und Forstökonomie

Risikoanalyse in der Pflanzkartoffelproduktion mit der Monte Carlo-Simulation

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Diplomingenieurs
an der Universität für Bodenkultur Wien

vorgelegt von

Thomas Schön

betreut von
Univ. Prof. Dr. Jochen Kantelhardt
(BOKU - Institut für Agrar- und Forstökonomie)
Univ. Ass. Dr. Martin Kapfer
(BOKU - Institut für Agrar- und Forstökonomie)

Wien, Dezember 2011

Danksagung

In meinem Studium und bei der Erstellung der Masterarbeit sammelte ich sowohl in fachlicher als auch in zwischenmenschlicher Weise Erfahrungen, die mich geprägt haben. Allen, die zu meiner fachlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen haben, danke ich.

Mein besonderer Dank gilt Herrn ***Univ. Prof. Dr. Jochen Kantelhardt*** (BOKU) und Herrn ***Univ. Ass. Dr. Martin Kapfer*** (BOKU) für die sehr gute fachliche und wissenschaftliche Betreuung, sowie für sämtliche Anregungen und Hilfestellungen im Rahmen der Masterarbeit.

Herrn ***Dipl. Ing. Michael Buxbaum*** (NÖS), Frau ***Dipl. Ing. Anita Kamptner*** (LLWK) sowie Herrn ***Dipl. Ing. Johannes Schmiedl*** (LLWK) danke ich für die Bereitstellung der erforderlichen Daten und die Hilfe bei auftretenden Problemen.

Weiters bedanke ich mich auch bei allen Landwirten für die Geduld bei den Interviews.

Ein großer Dank gilt meiner Freundin, die mir immer zur Seite stand und mich in meinem Vorhaben wo Sie konnte unterstützt hat.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern für die aufopfernde Unterstützung vor und während meiner Studienzeit. Ohne ihre Mithilfe wäre mein Studium nicht in diesem Ausmaß und Erfolg zu bewältigen gewesen. DANKE!

Abstract

The seed potato production is very intense in production and is associated with numerous risks. Based on the target gross margin, the risk components for conventional and organic seed- and food potatoes are examined. This is done by using the Monte-Carlo-Simulation, a stochastic simulation method. The simulation is performed with a self-designed program that runs under Microsoft Excel. The model building and simulation results are described in detail. In addition the key risk components of the individual production processes are analysed more precisely. The master thesis gives a comprehensive overview of potato production and important risk factors and the establishment of a Monte Carlo Simulation model.

Kurzfassung

Die Pflanzkartoffelproduktion ist ein sehr intensives Produktionsverfahren, das mit zahlreichen Risiken verbunden ist. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation, einer stochastischen Simulationsmethode, werden Risikokomponenten in einer Deckungsbeitragskalkulation integriert. Es soll das Produktionsrisiko für die konventionelle und biologische Pflanz- und Speisekartoffelproduktion untersucht werden. Bedeutende Risikokomponenten der einzelnen Produktionsverfahren werden genauer analysiert. Die Simulation erfolgt mit Hilfe eines selbst entwickelten Excel-Add-Ins, dessen Funktionsweise detailliert beschrieben ist.

Die Masterarbeit gibt einen umfangreichen Überblick über die Kartoffelproduktion und wichtige Risikofaktoren, sowie den Aufbau eines Monte Carlo Simulationsmodells.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Stand des Wissens 3

2.1 Pflanzkartoffel und Risiko 3

2.1.1 Anerkennungswesen und Pflanzgutkontrolle 3

2.1.2 Klimaansprüche und Temperaturgrenzen der Kartoffel 4

2.1.3 Düngung 5

2.1.4 Bestellung und Pflanzung 7

2.1.5 Pflanzenschutz 9

2.1.6 Selektion kranker Kartoffelstauden 13

2.1.7 Krautminderung – Sikkation 14

2.1.8 Einlagerung der Pflanzkartoffeln 15

2.1.9 Minimierung von Lagerungsverlusten 15

2.1.10 Aufbereitung und Vermarktung des Pflanzgutes 17

2.2 Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation 18

2.2.1 Ausarbeitung des Simulationsmodells 19

2.2.2 Auswahl risikobehafteter Inputgrößen 20

2.2.3 Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für unsichere Inputgrößen 20

2.2.4 Definition von Korrelationen zwischen den Risikovariablen 30

2.2.5 Die Erzeugung von Zufallszahlen 31

2.2.6 Erzeugung der Ergebnisverteilung durch multiple Berechnung der interessierenden Zielgröße 41

3 Material und Methoden 42

3.1 Ausarbeitung des Simulationsmodells 43

3.2 Datengrundlage 47

3.2.1 Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur 47

3.2.2 Frischmasseerträge von Pflanz- und Speisekartoffeln 49
3.2.3 Vermarktungsfähiges Pflanzgut, Über- und Untergrößen 52
3.2.4 Erzeugerpreise 55
3.2.5 Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten 57
3.2.6 Pflanzgutbedarf und Pflanzgutkosten 59
3.2.7 Kosten der Düngung 61
3.2.8 Kosten für den Pflanzenschutz 63
3.2.9 Lagerkosten 65
3.2.10 Treibstoffkosten 66
3.2.11 Variable Maschinenkosten 67
3.2.12 Abzüge für Vermarktung und Sonstige Kosten 68
3.3 Festlegung von Korrelationen 68
3.4 Umsetzung der Monte Carlo-Simulation 72
4 Ergebnisse 73
4.1 Konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E 73
4.2 Konventionelle Produktion von zertifiziertem Pflanzgut 75
4.3 Konventionelle Speisekartoffelproduktion 77
4.4 Biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut 79
4.5 Biologische Speisekartoffelproduktion 81
5 Diskussion 85
5.1 Bewertung der Datengrundlage und der Methode 85
5.2 Bewertung der Ergebnisse 90
6 Zusammenfassung 96
7 Abbildungsverzeichnis 99
8 Tabellenverzeichnis 102
9 Formelverzeichnis 104

10 Abkürzungsverzeichnis 105
11 Literaturverzeichnis 107
12 Anhang 113
12.1 Übersichtstabellen zum Pflanzenschutz 113
12.2 Inverse Verteilungsfunktionen 116
12.2.1 Gleichverteilung 116
12.2.2 Dreiecksverteilung 116
12.2.3 Exponentialverteilung 116
12.2.4 Weibullverteilung 116
12.2.5 Kumulativ-Funktion 117
12.3 Cholesky-Funktion 117
12.4 Iman-Conover-Methode 118
12.5 Variable Maschinenkosten 122
12.6 Anleitung zur Benutzung des Programms 124
12.7 Parameter der variablen Inputvariablen 128
12.8 Vergleich der definierten und simulierten Korrelationen 133

1 Einleitung

Die Kartoffel zählt zu jenen landwirtschaftlichen Hauptkulturen, die viel Know-how erfordert, wenn ihr Anbau ertragreich und wirtschaftlich gestaltet werden soll. Das betrifft alle Abschnitte des Vegetationsverlaufes und die sich daran anschließenden Prozesse der Lagerung bis hin zur Vermarktung aller Verwendungszwecke (SCHUHMANN, 2011a). Besonders hohe Ansprüche werden vor allem in der Pflanzkartoffelproduktion gestellt, wobei der wirtschaftliche Erfolg von einer Vielzahl, meist nicht beeinflussbarer Faktoren abhängig ist.

Bei der zukunftsorientierten Bewertung landwirtschaftlicher Tätigkeiten handelt es sich um Entscheidungssituationen unter Unsicherheit (KLEIN, 2010). Herkömmliche Berechnungsschemen verwenden für Leistungen und Kosten Modal- oder Mittelwerte, wodurch Schwankungen infolge unsicherer Einflussparameter nicht berücksichtigt werden können (BESSER, 2010). Stochastische Simulationsprogramme liefern eine „günstige“ und leicht umsetzbare Möglichkeit, Unsicherheiten zu formulieren und Dritten transparent zu machen. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation, wird die Risikostruktur landwirtschaftlicher Tätigkeiten graphisch und statistisch ausgewertet und der weiteren Risikoanalyse zugänglich gemacht (KLEIN, 2010).

Ziel dieser Arbeit ist es, das Risiko in der biologischen und konventionellen Pflanz- und Speisekartoffelproduktion anhand des Deckungsbeitrags zu schätzen. So kann analysiert werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Deckungsbeitrag einen bestimmten Wert realisiert. Genauso soll geklärt werden, wie groß die Spannweite des möglichen Deckungsbeitrags ist und welche Einflussparameter die größte Auswirkung auf diesen besitzen. Insgesamt werden fünf Produktionsverfahren miteinander verglichen:

- Konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E (KPE)
- Konventionelle Produktion von zertifiziertem Pflanzgut (KPZ)
- Biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut (BPZ)
- Konventionelle Speisekartoffelproduktion (KS)
- Biologische Speisekartoffelproduktion (BS)

Die Risikoanalyse soll mit Hilfe eines selbst entworfenen Excel-Add-Ins durchgeführt werden, wobei die simulierten Zufallszahlen ursprünglich festgelegte Korrelationen aufweisen müssen. Das entworfene Programm soll ein kostengünstiges und einfach zu bedienendes Tool zur Risikoabschätzung in der Landwirtschaft darstellen, mit dem praktische Fragestellungen schnell beantwortet werden können.

2 Stand des Wissens

2.1 Pflanzkartoffel und Risiko

2.1.1 Anerkennungswesen und Pflanzgutkontrolle

Die Regelungen zur Produktion und Inverkehrbringung von Kartoffelpflanzgut basieren auf einschlägigen Bestimmungen der Europäischen Gemeinschaft. In der Vermehrung unterscheidet man zwischen drei Pflanzgutkategorien, die in weitere Klassen aufgeteilt werden:

- Vorstufenpflanzgut wird eingeteilt in die Klassen V1, V2 und V3.
- Basispflanzgut wird in die Klassen S (Super), SE (Superelite) und E (Elite) eingeteilt und darf erwachsen sein in der
    - Klasse S: aus anerkanntem Vorstufenpflanzgut
    - Klasse SE: aus anerkanntem Vorstufenpflanzgut oder aus anerkanntem Basispflanzgut der Klassen S.
    - Klasse E: aus anerkanntem Vorstufenpflanzgut oder aus anerkanntem Basispflanzgut der Klasse S oder SE.
- Zertifiziertes Pflanzgut wir anerkannt, wenn es aus anerkanntem Vorstufenpflanzgut oder anerkanntem Basispflanzgut erwachsen ist (AGES, 2011)

Das angemeldete Vermehrungsvorhaben muss einen dreistufigen Prozess erfolgreich durchlaufen, damit das Erntegut als Pflanzgut anerkannt wird und als solches in Verkehr gebracht werden kann:

- Feldbestandsprüfung
- Beschaffenheitsprüfung auf Virus- und Quarantänekrankheiten sowie
- Prüfung auf Knollenkrankheiten und äußere Mängel (ERBE, 1997).

Der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten kommt die größte Bedeutung zu. Die Probenahme erfolgt durch einen amtlich verpflichteten Probenehmer (KÜRZINGER, 1997a). Der Nachweis von *PLRV* (Kartoffelblattrollvirus), *PVY* (Kartoffel Y-Virus), *PVA* (Kartoffel A-Virus), *PVX* (Kartoffel X-Virus) und *PVM* (Kartoffel M-Virus) erfolgt mittels *DAS-ELISA* (Double Antibody Sandwich Enzyme-linked Immunosorbent Assay).

Die Beschaffenheitsnormen betreffend den Virusgehalt des Kartoffelpflanzgutes sind in Tabelle 1 angeführt (AGES, 2011).

Tabelle 1: Anforderungen an den Befall mit Viruskrankheiten in Abhängigkeit von den Kategorien im Zuge der Pflanzkartoffelanerkennung

Virenart	Vorstufenpflanzgut Zählprozent	Basispflanzgut Zählprozent			Zertifiziertes Pflanzgut Zählprozent
	V1, V2, V3	S	SE	E	
Schwere Viren PVY+PLRV+PVA [1)]	0	0	≤ 1	≤ 2	≤ 10 [3)]
Schwere und leichte Viren [2)]	0	0	≤ 2	≤ 4	-N-

[1)] *PVA* gilt als leichtes Virus, wird jedoch im Verhältnis 3:1 als schweres Virus gerechnet
[2)] Viren leichter Ausprägung der Mosaiksymptome insbesondere verursacht durch *PVA*, *PVX*, *PVM*
[3)] Partien mit maximal 6 % schwere Viren dürfen als Zertifiziertes Pflanzgut Klasse A gekennzeichnet werden

Quelle: verändert nach AGES (2011)

Die Virustestung auf *PVY* und *PLRV* wird bei allen Anerkennungsproben durchgeführt. Bei Vorstufen- und Basispflanzgut erfolgt zusätzlich eine Analyse auf *PVA*, *PVX* und *PVM*. Eine Untersuchung auf den Kartoffelvirus A erfolgt bei zertifiziertem Pflanzgut nur bei Sorten mit weniger als dreijähriger Eintragung oder wenn eine spezifische Anfälligkeit vorliegt. (AGES, 2011).

2.1.2 Klimaansprüche und Temperaturgrenzen der Kartoffel

Die Kartoffel ist eine Pflanze des kühlen, gemäßigten Klimas. Die klimatischen Grenzen werden durch die Frostempfindlichkeit von Staude und Knolle, sowie durch die geringe Knollenbildung bei sehr hohen Sommertemperaturen gesetzt (BERGER et al., 1994). Als generelle Anbaugrenze gilt die 20 °C Isotherme für den jeweils wärmsten Monat (SCHUHMANN, 1997c).

Die hohe Ertragsunsicherheit wird sehr stark vom Temperatur- und Niederschlagsverlauf in den Vegetationsabschnitten nach der Pflanzung (Temperatur) und kurz vor und während der Blüte (Niederschlag) bestimmt (DIEPENBROCK et al., 2005). Im konventionellen Kartoffelbau (ohne vorzeitige Sikkation) hat die Niederschlagssumme (Pflanzung bis Reife) einen signifikant positiven Einfluss auf den Hektarertrag. Die Temperatursumme hingegen hat einen signifikant negativen Einfluss auf den Kartoffelertrag (KUNZE, 2010).
Abbildung 1 zeigt einen Überblick, wie sich Temperatur und Wasserversorgung auf ausgewählte Wachstumsmerkmale bei Kartoffeln auswirken.

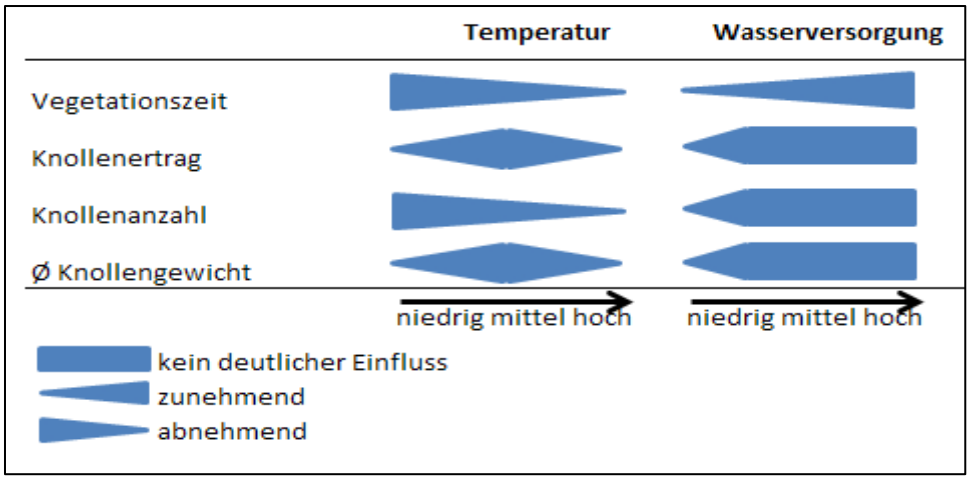

Abbildung 1: Tendenzieller Einfluss von Temperatur und Wasserversorgung während der Vegetation auf ausgewählte Wachstumsmerkmale bei Kartoffeln

Quelle: verändert nach SCHUHMANN (1997d)

2.1.3 Düngung

Die Grundsätze der Pflanzkartoffeldüngung entsprechen weitgehend dem der anderen Verwertungsrichtungen. Hauptziel der Pflanzkartoffelerzeugung ist ein möglichst hoher Anteil von Pflanzkartoffeln. Die Höhe des Gesamtertrages ist von untergeordneter Bedeutung. Dies gilt es bei der Düngerplanung zu berücksichtigen.

Der Gesamtbedarf der jeweiligen Nährstoffe ergibt sich aus dem erwarteten Ertrag und dem Nährstoffbedarf je dt (Dezitonne) Ernteprodukt, unter Beachtung des Bilanzwertes entsprechend der Versorgungstufe des Bodens (PIENZ, 1997). Eine wichtige Voraussetzung für einen hohen Knollenertrag ist die optimale Versorgung der Pflanzen mit den Makronährstoffen (N, P, K, Mg, S) und Mikronährstoffen (B, Cu, Mn, Mo, Zn) (WÖLFEL et al., 2010). Der entsprechende Nährstoffentzug bei einer Bodenversorgungsstufe C ist aus Tabelle 2 zu entnehmen.

Der Einfluss von Stickstoff auf die Ausprägung des Ertrages ist bekannt. Mit zunehmender Stickstoffdüngung steigt der Gesamtertrag vor allem durch die Zunahme des Übergrößenanteiles an. Die mittlere Fraktion (35–55 mm im Quadratmaß) bleibt relativ konstant (PIENZ, 1997).

Tabelle 2: Nährstoffentzüge von Kraut und Knolle der Kartoffel bei Versorgungsstufe C

Nährstoffentzug	Knolle (kg/dt)	Kraut (kg/dt)	Knollen + Kraut[1)] (kg/dt)
Stickstoff	0,3 - 0,4	0,3 – 0,5	0,43
Phosphat	0,12 – 0,16	0,1 – 0,2	0,17
Kalium	0,55 – 0,65	0,5 – 0,7	0,72
Magnesium	0,03 – 0,1	0,15 – 0,25	0,08
Kalzium	0,01 – 0,05	---	---
Schwefel	0,01 – 0,03	0,03 – 0,05	0,03

[1)] Nährstoffentzug in kg zur Produktion von einer dt Knollen, bei unterstelltem Massenverhältnis von Knolle zu Kraut = 1:0,2

Quelle: verändert nach INCONA (2008); WÖLFEL et al. (2010)

Eine Teilung der Stickstoffgaben oder eine organischen Düngung der Vermehrungsbestände, ist aus Gründen einer möglichen Reifeverzögerung durch zu spät wirksam werdenden Stickstoff und den damit verbundenen Risiken nicht zu empfehlen (PIENZ, 1997). Auch aus phytosanitären Gründen ist eine organische Düngung nicht vor der Kartoffel, sondern im Rahmen der Fruchtfolge durchzuführen. Lediglich bei Stickstoffgaben von mehr als 90 bis 110 kg/ha ist die Stickstoffmenge auf leichten Böden zeitlich zu splitten (⅔ vor der Pflanzung und ⅓ nach Aufgang) (WÖLFEL et al., 2010). In Bezug auf die Stickstoffdüngung können nach PIENZ (1997) weitere Überlegungen berücksichtigt werden:

- Eine zu hohe Stickstoffversorgung kann zur Maskierung von Virussymptomen führen und damit die Feldanerkennung erschweren.
- Stickstoff führt nachweislich zu einer Verlängerung der Vegetationszeit. Die Bestände sind länger grün und können somit auch länger von Blattläusen angeflogen werden.
- Das Risiko eines Wideraustriebes steigt deutlich an, was zu „Blattlaus-“ und Phytophthoraspätinfektionen führen kann und eine nochmalige Behandlung der Bestände nötig macht.
- Weiter können nicht ausgereifte Partien eine verminderte Lagerfähigkeit aufweisen.

2.1.4 Bestellung und Pflanzung

Die Bestellung hat in der Kartoffelproduktion eine zentrale Bedeutung. Fehler im Rahmen der Bestellung, sind durch nachfolgende Prozesse meist nicht mehr korrigierbar (SCHUHMANN, 1997a). Der Pflanztermin richtet sich nach dem Bodenzustand und der Bodentemperatur (WÖLFEL et al., 2010). Der Boden sollte ausreichend erwärmt (mindesten 8 °C), abgetrocknet, in Krumme und Unterboden nicht verdichtet und für Maschinen tragfähig sein. Bei Bedarf ist vor der Pflanzung eine Entsteinung durzuführen.

Als optimale Bestandesdichten werden für Pflanzkartoffeln über 185.000 Hauptstängel je Hektar angesehen. Wie in Tabelle 3 dargestellt, kann der erforderliche Pflanzgutaufwand in Abhängigkeit von der mittleren Knollengröße und der angestrebten Bestandesdichte innerhalb einer sehr großen Bandbreite schwanken (SCHUHMANN, 1997a).

Tabelle 3: Optimaler Pflanzgutaufwand für Kartoffeln bei 160.000 - 185.000 Stängel/ha für Konsumkartoffeln und 190.000 - 215.000 Stängel/ha für Pflanzkartoffeln

Pfl. in 1.000/ ha		Knollenmasse (g) und Anzahl Hauptstängel (n)								Bemerkungen
	g	30	40	50	60	70	80	90	100	
	n	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	
		Pflanzgutaufwand dt/ha (a) u. Anz. Hauptstängel in 1.000/ha (b)								
30	a						24,0	27,0	30,0	zu niedriger Einsatz, Ertragsverluste
	b						135	144	153	
35	a				21,0	24,6	28,6	31,5	35,0	Kon- sum
	b				137	147	158	168	179	
40	a		16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	Pflanz- gut
	b		132	144	156	168	180	192	204	
45	a	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45,0	uneffektiv Aufwand, Verschwendung
	b	135	149	162	176	189	203	216	230	
50	a	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	
	b	150	165	180	195	210	225	240	255	
55	a	16,5	22,0	27,5	33,0	38,5	44,0			
	b	165	182	198	215	231	248			
60	a	18,0	24,6	30,0	36,0					
	b	180	198	216	234					
65	a	19,5	26,0							
	b	195	215							
75	a	21,0								
	b	210								

Optimum

Quelle: verändert nach SCHUHMANN (1997a)

In der Praxis gelingt es jedoch nicht, aus jeder Pflanzknolle eine gesunde, voll ertragswirksame Pflanze zu etablieren. Daher sollten unter Beachtung betrieblicher Erfahrungswerte für legemaschinenbedingte Fehlstellen, pflanzgutbedingte Auflaufschäden und Abgänge während der Vegetation entsprechende Zuschläge beim Pflanzgutbedarf getätigt werden (SCHUHMANN, 1997a).

Die Wirkung der mittleren Pflanzknollenmasse und des Legeabstandes auf ausgewählte Ertragsmerkmale geht aus Abbildung 2 hervor. In der Pflanzkartoffelerzeugung liegt das Hauptaugenmerk auf einem hohen Marktwarenertrag mit einem geringen Anteil an Übergrößen (>50/55 mm im Quadratmaß). Der sicherste Weg dieses Ziel zu erreichen, ist eine hohe Pflanzdichte von mittelgroßen Knollen (SCHUHMANN, 1997a).

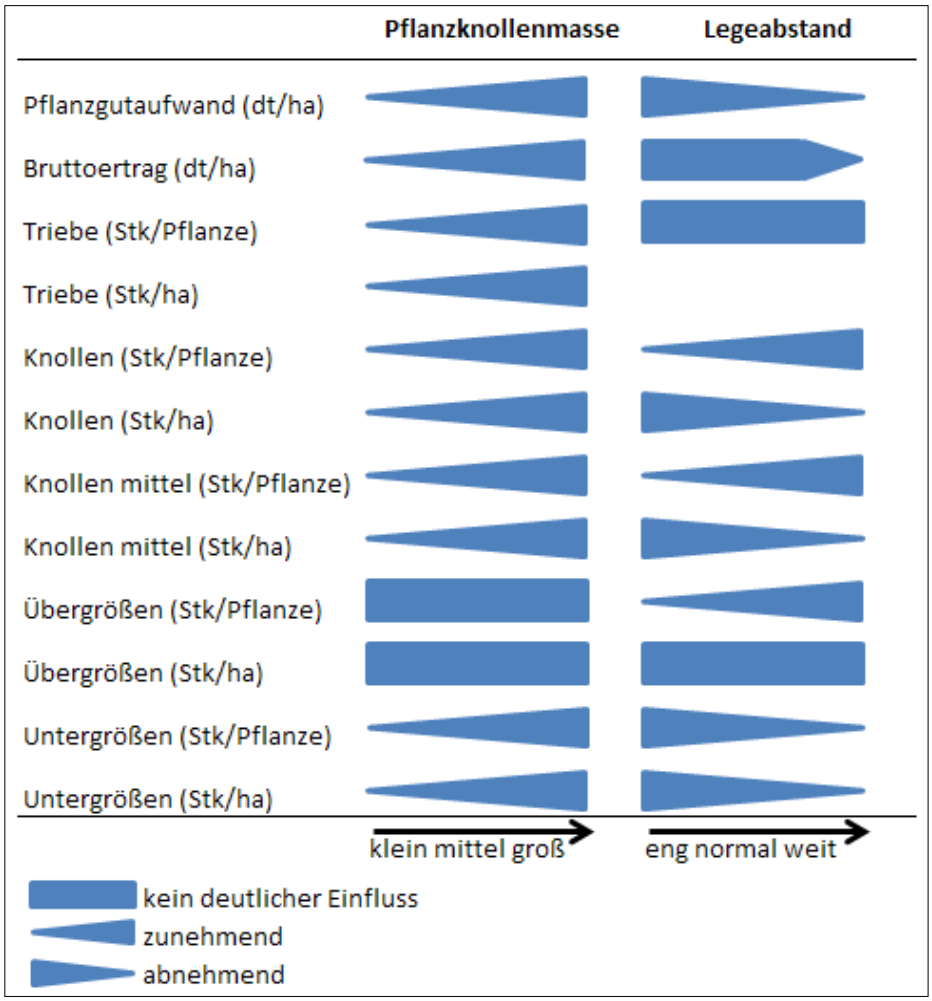

Abbildung 2: Tendenzieller Einfluss der Pflanzknollenmasse und des Legeabstandes auf ausgewählte Ertragsmerkmale

Quelle: verändert nach SCHUHMANN

2.1.5 Pflanzenschutz

2.1.5.1 Knollenbeizung gegen Krankheitserreger und Schädlinge

Die Beizung der Pflanzkartoffeln im Frühjahr gehört zu den ertrags- und qualitätssichernden Maßnahmen. Der Beizerfolg ist abhängig vom Witterungsverlauf. Die meisten Beizen richten sich hauptsächlich gegen den Pilz „*Rhizoctonia solani*“ (Wurzeltöterkrankheit) (KÜRZINGER, 2011). Befallene Kartoffelpflanzen bilden verstärkt kleine missgestaltete Knollen (MAYKUß, 1997b), wodurch in Extremfällen mit Ertragsausfällen von bis 20% zu rechnen ist. Durch Rhizoctonia steigen die Sortierverluste an; der Anteil von Unter- und Übergrößen wird erhöht (KÜRZINGER, 2011).

Die Beizmittel werden als Flüssig- oder Trockenbeizmittel angeboten (LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM, 2008). Voraussetzung für die Wirkung der Präparate ist eine exakte Mittelapplikation auf der Knollenoberfläche. Nicht benetzte Flächen der Knolle können vom Pilz befallen werden und stellen neben der Wirksamkeit auch die Wirtschaftlichkeit der Beizung in Frage. In Punkto Wirkungssicherheit ist die Flüssigbeizung stabiler als die Trockenbeizung. Des Weiteren lassen sich Flüssigbeizen untereinander kombinieren (MAYKUß, 1997b).

Auch für den biologischen Kartoffelbau stehen Beizmittel zur Verfügung. Die Präparate basieren auf natürlichen Wirkstoffen und zählen zu den Pflanzenstärkungsmitteln. Der positive Effekt dieser Präparate hängt aber noch viel stärker von den Witterungs- und Bodenbedingungen ab. Dies führt zu regional unterschiedlichen Wirkungsgraden (KÜRZINGER, 2011). Tabelle 13 (Anhang Punkt 12.1) zeigt einen Überblick über mögliche Beizmittel im biologischen und konventionellen Kartoffelbau.

2.1.5.2 Beikrautregulierung in Kartoffelbeständen

Optimal wachsende Kartoffelbestände setzen Unkrautfreiheit voraus. Zudem sind Maßnahmen zur Unkrautregulierung wichtig, um die vollmechanische Ernte ohne störende Spätverunkrautung zu gewährleisten. Bis zum Reihenschluss sind Pflegemaßnahmen unerlässlich, da die Kartoffel Unkräuter während ihrer Jugendentwicklung kaum unterdrücken kann. Erst nach dem Reihenschluss hat die Kartoffel genügend Konkurrenzkraft. Im konventionellen Kartoffelbau ist die chemische Unkrautregulierung weit verbreitet. Bei den Präparaten erfolgt eine Unterscheidung zwischen Vorauflauf- und Nachauflaufherbiziden. Die Auswahl der Herbizide muss sich an den dominierenden Leitunkräutern orientieren (MAYKUß, 1997a). Vorauflaufherbizide entfalten ihre volle Wirkung, nur wenn bei der Applikation eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit gegeben ist (SCHMIEDL et al., 2011) und die Dämme gut abgesetzt sind. Nach der Spritzung soll keine Bodenbearbeitung mehr stattfinden (MAYKUß, 1997a).

Im biologischen Kartoffelbau müssen aufkommenden Gräser und Unkräuter mechanisch reguliert werden. Die Pflegemaßnahmen müssen sich an der Bestandesentwicklung orientieren. Richtig ist es, die Dämme anfangs flach zu halten, was das Erwärmen und damit den Aufgang der Kartoffeln fördert (RUNGE, 1997). Kurz vor dem Auflaufen sollen die Kartoffeldämme angehäufelt werden. Die weitere Bearbeitung besteht im Wechsel von Abeggen (Striegeln) und Anhäufeln der Dämme. Die Anzahl der Bearbeitungsvorgänge ist von den Boden- und Witterungsbedingungen, dem Verunkrautungsgrad und der Pflanzenentwicklung abhängig (BERGER et al., 1994).

2.1.5.3 Fungizideinsatz

Die *Kraut- und Knollenfäule* (Phytophthora infestans) ist die bedeutendste Kartoffelkrankheit und hat enorme Auswirkungen auf den Knollenertrag und die Qualität. Mit einer Infektion ist in jedem Jahr zu rechnen, wobei das zeitliche Erstauftreten und die Intensität des Befalles von Jahr zu Jahr schwankt. Das Auftreten der Krankheit ist sehr witterungsabhängig (KÜRZINGER, 1997a). Hoher Infektionsdruck herrscht besonders bei feuchtwarmer Witterung und dichten geschlossenen Beständen (SCHIESSENDOPPLER and CATE, 1976).

Bei geringem Befallsdruck ist es sinnvoll, die durch die Wirkungsdauer der Präparate festgelegten Spritzabstände zu vergrößern. Durch viele unkalkulierbare Einzelfaktoren ist diese Strategie vor allem in der Pflanzkartoffelvermehrung sehr riskant, da aufgrund der

hohen Anforderungen an Qualität und Lagerfähigkeit keinerlei Befall durch Krautfäule toleriert wird (BRENDLER, 1997). Nur eine prophylaktische Bekämpfung verzögert den Erstbefall und reduziert die Intensität eines möglichen Befalles (KÜRZINGER, 1997a). Die Kurativleistung der zur Verfügung stehenden Wirkstoffe ist nur schwach ausgeprägt bzw. überhaupt nicht vorhanden (BRENDLER, 1997). Aus diesem Grund ist entsprechend der Warnmeldungen, die durch Phytophthora-Informationssysteme errechnet werden, vor einem sichtbaren Befall mit den Fungizidbehandlungen zu beginnen (KÜRZINGER, 1997a). In Jahren mit ausgeprägten Trockenperioden können dadurch Spritzungen eingespart werden, dabei bleibt das Infektionsrisiko kalkulierbar. In Jahren mit durchgehend hohem Infektionsrisiko, werden sich hingegen kaum Unterschiede zu praxisüblichen Standardspritzfolgen ergeben.

Zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule steht eine breite Palette an Fungiziden zu Verfügung. Diese werden in Kontaktmittel, lokalsystemische und systemische Mittel eingeteilt (SCHMIEDL et al., 2011). Die reinen Kontaktfungizide dominieren aufgrund ihrer Preisvorteile in den Spritzfolgen (KÜRZINGER, 1997a).

Im biologischen Landbau finden teilweise Kupferpräparate Verwendung. Der Einsatz ist jedoch nur nach Ausschöpfung der vorbeugenden Maßnahmen erwünscht. Es dürfen aber nicht mehr als zwei Kilogramm Reinkupfer pro Hektar und Jahr ausgebracht werden (BIO AUSTRIA, 2010). Tabelle 14 (Anhang Punkt 12.1) zeigt einen Überblick über häufig verwendete Fungizide im Kartoffelbau.

Die Auswahl der Fungizide und Spritzabstände ist den jeweiligen Bedingungen anzupassen. Im Zuge des Resistenzmanagements darf der Wirkstoffwechsel nicht vernachlässigt werden (KÜRZINGER, 1997a). Bei Teilnahme an der ÖPUL 2007 Maßnahme „*IP-Kartoffel*“ müssen beim Pflanzenschutzmitteleinsatz die jährlich aktualisierten Richtlinien beachtet werden (SCHMIEDL et al., 2011).

2.1.5.4 Schadinsekten und ihre Bekämpfung im Kartoffelbau

In der Pflanzkartoffelproduktion richtet sich die Bekämpfung tierischer Schaderreger hauptsächlich gegen Blattläuse als Virusvektoren, Kartoffelkäfer und Erdraupen (KÜRZINGER, 1997b).

Die Bekämpfungsschwelle für Kartoffelkäfer liegt bei 15 Junglarven je Pflanze bzw., wenn ein Prozent Blattfraß überschritten wird (BECK, 2009). Eine Kontrolle der Kartoffelflächen ist daher in regelmäßigen Zeitintervallen durchzuführen (KÜRZINGER, 1997b). Zusätzlich bieten sich Prognosemodelle als Entscheidungshilfe zur Terminierung der notwendigen Insektizidapplikationen an (KÜRZINGER, 2010b). In der Pflanzkartoffelproduktion wird die Kartoffelkäfer- und Blattlausbekämpfung meist kombiniert durchgeführt (KÜRZINGER, 1997b).

Für den biologischen Kartoffelbau stehen neben mechanischen Maßnahmen wie Absammeln per Hand oder Bio-Collectoren auch biologische Pflanzenschutzmittel wie *Novodor FC* und *NeemAzal-T/S* zur Verfügung (KÜRZINGER, 2010b).

Das Hauptaugenmerk bei der Pflanzkartoffelproduktion liegt jedoch bei den Blattläusen, die als Virusvektoren fungieren. Applikationen gegen Blattläuse erfolgen prophylaktisch und nicht nach dem Schadschwellenprinzip, da keine Blattläuse im Bestand geduldet werden können. Für die Vektorenbekämpfung stehen zurzeit Mittel mit drei unterschiedlichen Wirkungsprinzipien zur Verfügung.

Bei Kontaktwirkung tritt die Wirkung bereits bei der ersten Berührung ein. Die Blattlaus wird abgetötet, bevor sie weitere Pflanzen anfliegen kann. Blattläuse in den unteren Blattetagen werden durch diese Präparate aber nicht ausreichend erfasst. In die zweite Wirkungsgruppe fallen Präparate mit Kontakt- und Dampfwirkung. Durch die Dampfwirkung werden Blattläuse erfasst, die in den unteren Blattetagen versteckt sitzen. Insektizide mit systemischer Wirkung sind bestens geeignet, um den Aufbau von Blattpopulation im Bestand zu verhindern. Sie eignen sich aber nicht zur Abwehr des Frühjahrsfluges, da die Blattlausabtötung erst nach der Saugtätigkeit möglich ist (KÜRZINGER, 1997b).

Im biologischen Pflanzkartoffelbau gestaltet sich die Vektorenbekämpfung schwierig. Die zugelassenen Präparate werden wegen der hohen Preise und der unzureichenden Wirkung kaum eingesetzt. Tabelle 15 (Anhang Punkt 12.1) zeigt einen Überblick über Insektizide, die in der Praxis häufig Verwendung finden.

Im Zuge des Resistenzmanagements muss auf einen Wirkstoffwechsel geachtet werden. Durch die unterschiedlichen Wirkungsprinzipien der Präparate sind alle Blattläuse gezielt erfassbar. Bei stärkeren Hitzeperioden ist eine effektive Bekämpfung sehr schwierig, da versteckt sitzende Blattläuse mit Kontaktmitteln nicht oder nur unzureichend erfassbar sind und auch systemische Präparate Wirkungsschwächen aufweisen. Neben den Insektiziden stehen auch Mineral- und Pflanzenöle zur Verhinderung von Neuinfektionen zur Verfügung. Diese sind vor allem bei *PVY* relevant (KÜRZINGER, 1997a).

2.1.6 Selektion kranker Kartoffelstauden

Eine erfolgreiche Pflanzkartoffelproduktion hängt primär von der Virusverseuchung im Bestand ab (SCHIESSENDOPPLER and CATE, 1976). Aufgrund der vegetativen Vermehrung muss gewährleistet werden, dass das Pflanzgut weitgehend frei von pflanzgutübertragbaren Viren ist (KLOCKENBUSCH, 2008).

Bereits die ausgepflanzten Knollen stellen potenzielle Virusquellen für Neuinfektionen dar. Die ersten viruskranken Stauden sind bereits in handhohen Beständen gut zu erkennen. Nach einer Virusübertragung durch Blattläuse bzw. auf mechanischem Wege bilden diese Stauden den Ausgangspunkt für Primärinfektionen an gesunden Kartoffelpflanzen. Eine direkte Bekämpfung von Virosen ist nicht möglich, es sind nur die Vektoren bekämpfbar (KÜRZINGER, 1997c).

Insgesamt werden bei der Bekämpfung des persistenten übertragenen *Kartoffelblattrollvirus* sehr gute Ergebnisse erzielt, so dass diese Virenart bei der Anerkennung nur noch eine untergeordnete Rolle spielt (KÜRZINGER, 1997a). Ein Großteil der nachgewiesenen Virusinfektionen ist auf *PVY* zurückzuführen (KLOCKENBUSCH, 2008), da es im Zuge der Vektorenbekämpfung nur unzureichend bekämpft werden kann und es immer wieder zu Neuinfektionen kommt (KÜRZINGER, 1997a).

Die Gesunderhaltung von Freilandbeständen kann daher nur vorwiegend durch vorbeugende Maßnahmen erfolgen. Die Verwendung von gesundem Ausgangspflanzgut ist von zentraler Bedeutung (SCHIESSENDOPPLER and CATE, 1976). Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass sich keine anderen Virusquellen im Bestand bzw. in näherer Umgebung befinden (KÜRZINGER, 2008b). Eine zeitgerechte Beseitigung von viruskranken Pflanzen ist ebenfalls von essentieller Bedeutung für eine erfolgreiche Pflanzkartoffelvermehrung (ERBE, 2008).

Die Selektion kleiner Stauden ist arbeitswirtschaftlich wesentlich einfacher als im hohen Bestand. Speziell bei schwachem Befall mit Mosaikviren besteht die Gefahr, dass diese später wesentlich schlechter erkennbar sind, insbesondere wenn nicht alle Triebe Virussymptome aufweisen (KÜRZINGER, 1997c). Die Selektion sekundärkranker Pflanzen soll beim Auftreten geflügelter Blattlausformen (Ende Juni bis Anfang Juli) weitgehend abgeschlossen sein. Weitere Selektionsgänge sollen bis zum Abreifen der Bestände im Abstand von höchstens zwei bis drei Wochen wiederholt werden (ERBE, 2008). In der Regel sind zwei bis drei Selektionsdurchgänge ausreichend. Bei Sorten mit geringer Virusanfälligkeit kann auch ein Durchgang ausreichend sein. Hingegen sind bei stark virusanfälligen Sorten bis zu fünf Selektionsdurchgänge notwendig (KÜRZINGER, 2008).

2.1.7 Krautminderung – Sikkation

Die Krautabtötung dient der Ernteerleichterung, der Verhinderung von Knolleninfektionen durch Braunfäule und Virosen, sowie der Verbesserung der Schalenfestigkeit. In der Pflanzkartoffelproduktion muss die Sikkation schon sehr früh in der Vegetation durchgeführt werden, damit der Anteil an Übergrößen nicht zu hoch wird (WÖLFEL et al., 2010). Die mechanische Krautabtötung spielt vor allem im biologischen Pflanzkartoffelbau eine wichtige Rolle. Im konventionellen Kartoffelbau hat sich die Kombination aus mechanischer (Krautschlagen) und chemischer Krautabtötung bewährt (PETERS, 1997b, WÖLFEL et al., 2010).

Beim Einsatz des Krautschlägers ist auf eine Stängelrestlänge von etwa 20 bis 30 cm zu achten, damit bei nachfolgender Sikkation das Präparat im notwendigen Umfang aufgenommen wird und um eine vollständige Abtrennung des Restkrautes im Sammelroder sicherzustellen (PETERS, 1997b, WÖLFEL et al., 2010). Tabelle 16 (Anhang Punkt 12.1) zeigt einen Überblick über häufig verwendete Sikkationsmittel bei der chemischen Krautabtötung. Alternativ zur chemischen Krautabtötung kann nach dem Krautschlagen auch das Krautziehen, eine thermische Minderung oder das Grünroden durchgeführt werden (PETERS, 1997b).

2.1.8 Einlagerung der Pflanzkartoffeln

Die Lagerung der Pflanzkartoffeln erfolgt vorwiegend in Großkisten á 950 kg. Die Kistenlagerung eignet sich speziell für Pflanzkartoffelerzeuger, da diese oft mehrere Sorten gleichzeitig vermehren. Die Lagerung in Haufen ist zwar die einfachste und billigste, aber in vielen Fällen auch die schlechteste aller Möglichkeiten. Eine optimale Belüftung des Haufens ist nur sehr schwer realisierbar, womit die Gefahr von Lagerverlusten infolge von Fäulnis steigt (AUMANN, 2008).

Bei der Ernte sollte eine möglichst trockene Witterung vorherrschen (NÖS, 2009). Die geernteten Kartoffeln sind innerhalb von 24 bis 48 Stunden zu trocknen, um günstige Wachstumsbedingungen für Bakterien und Pilze zu vermeiden. Sobald die Knollen trocken sind, ist die Belüftungsintensität sieben bis zehn Tage zu reduzieren, um die Wundheilung und Verkorkung der verletzten Knollen zu fördern (BEYER and GERINGHAUSEN, 2009). Als günstige Temperaturen für die Wundheilung werden Temperaturen um 15-18 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 95% angesehen (SCHUHMANN, 2009b). Nach der Wundheilung folgt Mitte Oktober bis Ende November das langsame Abkühlen mit einer Abkühlungsrate von 0,3 bis 0,5 °C pro Tag. In der Lagerphase sollen die Saatkartoffeln bei drei bis fünf Grad Celsius und einer Luftfeuchtigkeit von 90 bis 95 % gelagert werden. Eine zu hohe Lagertemperatur fördert die Fäulnisgefahr, regt die Keimung zu früh an und kann durch zu starke Atmung zu Sauerstoffmangel führen (NÖS, 2009).

2.1.9 Minimierung von Lagerungsverlusten

Das Verhalten der Kartoffeln während der Lagerung wird durch ihre morphologischen und physiologischen Merkmale und durch äußere Bedingungen beeinflusst. Atmung, Verdunstung, Wundheilung, Abwehr von Krankheitserregern und Keimung stellen die wichtigsten Prozesse der Knolle dar (SCHUHMANN, 2009b).

Die Intensität der Atmung ist temperaturabhängig und bei fünf Grad Celsius am geringsten. Äußere Einwirkungen wie Verletzungen, Krankheitsbefall, sowie die Keimung erhöhen die Atmung. Unreif geerntete Knollen atmen unmittelbar nach der Ernte stärker als reif geerntet (SCHUHMANN, 2009b).

Durch die Verdunstung (Transpiration) erfolgt eine weitere kontinuierliche Verminderung des Knollengewichtes. Dieses kann je nach Feuchtegehalt der umgebenden Luft und der Luftwechselrate in weiten Grenzen schwanken. Wasserverluste durch zu intensive Belüftung

und zu hohe Lagerungstemperaturen sind von großer ökonomischer Bedeutung. Bei zu hoher Luftfeuchtigkeit im Stapel (>95% relative Luftfeuchte) ist die Transpiration zwar verringert, durch die Bildung von Kondenswasser erhöht sich aber die Gefahr von Fäulnisverlusten (SCHUHMANN, 1997b).

Die Massenverluste durch transpirierte Trockensubstanz und Wasserabgabe bezeichnet man als Schwund. Der Schwund beträgt bei einer Lagerungstemperatur von 4 °C ca. 5-10 g/t*h, bei 15 °C dagegen über 20 g/t*h (SCHUHMANN, 1997b). Die in Tabelle 4 genannten Schwundsätze gelten für kontinuierlichen Luftwechsel mit relativ geringen Luftwechselraten und einer Luftfeuchtigkeit von etwa 95% (SCHUHMANN, 2009b).

Auch der Keimruhe ist ein besonderes Augenmerk zu schenken, da eine zu starke Keimung ebenfalls die Verdunstungsverluste fördert (KÜRZINGER, 2009).

Tabelle 4: Richtwerte für den bei der Lagerung auftretenden natürlichen Schwund, sowie Kennwerte der Wärme- und Stoffabgabe von Kartoffeln

Monat	Lagerungs-temperatur (°C)	Atmungsver-luste an TS[1)] (g/t,h)	Verdunstung s-Verluste (g/t,h)	Schwund		
				g/t,h	je Monat %	kumulativ %
September	15	5,0 (2,0)	20,0	22,0	1,6	1,6
Oktober	12	4,0 (1,6)	6,4	8,0	0,6	2,2
November	6	3,0 (1,2)	5,0	6,2	0,5	2,7
Dezember	4-6	2,5 (1,0)	4,5	5,5	0,4	3,1
Jänner	4-6	2,5 (1,0)	4,5	5,5	0,4	3,5
Februar	4-6	2,5 (1,0)	4,5	5,5	0,4	3,9
März	4-6	2,5 (1,0)	4,5	5,5	0,4	4,3
April	6-7	2,5 (1,0)	6,0	6,0	0,5	4,8

[1)] Werte in ():~ 40% für Anrechnung auf Schwund, da bei Atmung entstandenes Wasser z.T. in Zellen verbleibt.

Quelle: verändert nach SCHUHMANN (2009b)

2.1.10 Aufbereitung und Vermarktung des Pflanzgutes

Die Aufbereitung des Pflanzgutes erfolgt vorwiegend bei den Pflanzkartoffelproduzenten. Der Zeitpunkt der Aufbereitung wird vor allem von der Zielregion der Pflanzkartoffeln und zum Teil durch die arbeitswirtschaftlichen Verhältnisse in den Betrieben bestimmt. Die Vermarktung der Pflanzkartoffeln erstreckt sich vom Herbst (Exporte in Mittelmeerraum) bis zum Frühjahr (nationaler Anbau). Der Schwerpunkt des Absatzes liegt in den Monaten März und April. Arbeitsspitzen ergeben sich vor allem im Frühjahr, da sich Aufbereitung und Vermarkung oft mit der anstehenden Frühjahrsbestellung überschneiden.

Die Sortiergenauigkeit ist bei der Aufbereitung von Pflanzkartoffeln wichtig, da bei der Vermarktung genaue Sortiergrenzen für die einzelnen Sorten vorgegeben werden. In der Praxis herrschen Flachsiebsortierer mit quadratischen Sieböffnungen vor. Die auf den Betrieben häufig vorkommenden Kapazitätsprobleme bei der Sortierung führen dazu, dass ein Teil der Ware bereits im Vorfeld aufbereitet und dann wieder in das Lager gebracht wird (PETERS, 1997a). Die Vermarktung der Pflanzkartoffeln erfolgt heute vorrangig über *Big Bags* mit einer Füllmenge von bis zu 1.100 kg.

2.2 Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation

Methodische Vorstufen der *Monte-Carlo-Simulation* (MCS) wurden zum ersten Mal im 19. Jahrhundert bei der näherungsweisen Berechnung der Zahl Pi eingesetzt. Geprägt wurde die Bezeichnung „Monte-Carlo-Simulation“ durch die Arbeit von den Wissenschaftlern *NEUMANN* und *ULAM*, die im zweiten Weltkrieg an der Entwicklung der Atombombe beteiligt waren. Das Codewort für diese Forschungen war „Monte Carlo“. Nach Veröffentlichung der Arbeit und den immer höher werdenden Rechenleistungen der Computer hielt diese Methode rasch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen Einzug. Nach einer kurzen Phase geringer Beachtung erlebte die quantitative Risikoanalyse in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts aufgrund neuer und einfach zu bedienender Softwareprogramme in vielen Bereichen der Wissenschaft und Wirtschaft eine Renaissance (FREY and NIEßEN, 2004).

Bei der Monte-Carlo-Methode oder Monte-Carlo-Simulation handelt es sich um ein stochastisches Verfahren, welches es ermöglicht, das Risiko in quantitativer Analyse und Entscheidungsfindung nachzuweisen (HAMMERSLEY and HANDSCOMB, 1964). Die MCS ermöglicht es, beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Eingangsgrößen, beliebige Abhängigkeiten und mehrere Zielgrößen gleichzeitig zu erfassen. Im Rahmen der Stichprobenerstellung werden Zufallsprozesse (z.B. Ertrag von Kartoffeln) simuliert, deren Merkmalswerte Zufallsgrößen sind, die eine für den abzubildenden Prozess typische stochastische Verteilung besitzen. Anders ausgedrückt werden mit Hilfe der Simulation Stichproben beliebigen Umfangs aus bekannten statistischen Verteilungen erzeugt. Das Ziel besteht darin, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Zielgröße (z.B. Deckungsbeitrag) aus sicheren und unsicheren Inputgrößen abzuleiten (HERTZ, 1964). Die Monte-Carlo-Simulation kann in folgende Schritte zerlegt werden (Abbildung 3).

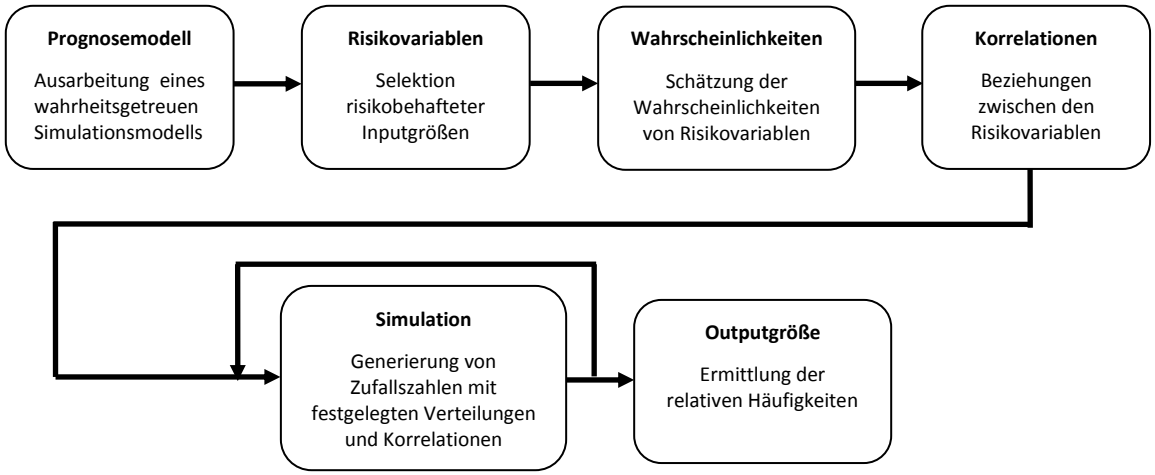

Abbildung 3: Einzelschritte der Monte-Carlos-Simulation

Quelle: verändert nach SAVVIDES (1994)

2.2.1 Ausarbeitung des Simulationsmodells

Der Entwurf eines geeigneten Vorhersagemodells ist der Erste Schritt in der Risikoanalyse. Es werden mathematischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Inputgrößen und der Zielgröße definiert (SAVVIDES, 1994). Das Deckungsbeitragsschema (Abbildung 4) mit der Zielgröße Deckungsbeitrag (DB), der sich aus variablen Leistungen (L) und variablen (Spezial-)Kosten (K) zusammensetzt ist ein Beispiel für ein solches Modell.

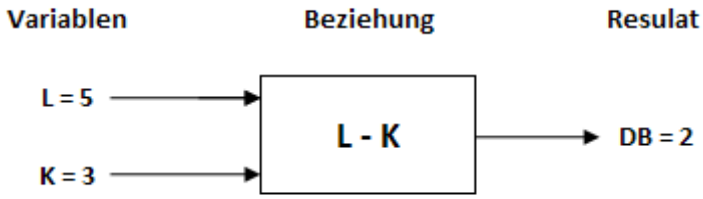

Abbildung 4: Deckungsbeitrag als Vorhersagemodell

Quelle: verändert nach KIRNER et al (2006, KUNZE, 2010), SAVVIDES (1994)

Ein gutes Model beinhaltet alle relevanten Variablen, exkludiert alle nicht relevanten und postuliert die korrekte Beziehung zwischen diesen (SAVVIDES, 1994).

2.2.2 Auswahl risikobehafteter Inputgrößen

In einem zweiten Schritt sind die risikobehafteten Inputgrößen des Modells zu ermitteln. Prinzipiell unterscheidet man zwischen fixen und variablen Inputgrößen. Den fixen Inputgrößen ordnet man festgelegte Werte zu, während die variablen Inputgrößen in Abhängigkeit von deren Verteilung durch Simulation am Computer erzeugt werden (HERTZ, 1964). Die Risikovariablen oder variablen Inputgrößen üben im Gegensatz zu den fixen Inputgrößen ein schwer kalkulierbares Risiko auf das Produktionsverfahrens aus. Geringfügige Abweichungen von den voraussichtlichen Werten sind wahrscheinlich und potenziell schädlich für ein Vorhaben. Es sollen nur die Risikovariablen ausgewählt werden, die entscheidend für die Verwirklichung eines Projektes sind. Je größer die Anzahl von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in der Simulation ist, umso wahrscheinlicher entstehen inkonsistente Szenarien, weil die vordefinierten Korrelationen zwischen den Variablen nur noch schwer zu erfüllen sind. Die Szenarien werden verzerrt. Ferner ist das Kosten- (im Sinne von Experten, Zeit und Geld) Nutzenverhältnis zu berücksichtigen. Für die Definition der Wahrscheinlichkeiten und Korrelationen benötigt man viele Informationen, die in der Beschaffung oft sehr zeitintensiv bzw. teuer sind. Um die Produktivität zu erhöhen, ist es sinnvoller, identifizierte Risikovariablen mit kleinen Auswirkungen, als fixe Inputgrößen zu behalten (SAVVIDES, 1994).

2.2.3 Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für unsichere Inputgrößen

Als nächstes müssen den Risikovariablen Werte zugewiesen werden, um die Zielgröße zu errechnen. Dies geschieht bei der MCS mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsfunktionen (PRECHT et al., 1999). Es gibt viele Faktoren, die eine genaue Vorhersage von zukünftigen Ereignissen beeinflussen und erschweren. Die Fähigkeit, Unsicherheiten zu reduzieren hängt stark von der Qualität und Quantität der verfügbaren Informationen ab. Die Durchführung statistischer Analysen für die Schätzung des zukünftigen Wertes einer Variablen ist nur sehr selten möglich. Meist muss auf Erfahrungswerte von Experten zurückgegriffen werden. Hier muss die Frage gestellt werden, wo die höchsten bzw. geringsten Werte für eine spezifische Risikovariable liegen können und welche Wahrscheinlichkeitsverteilung diese besitzen (SAVVIDES, 1994).

Innerhalb der Risikovariablen ist zwischen diskreten und stetigen Variablen zu unterscheiden. Während für eine diskrete Zufallsvariable nur Realisationen mit endlicher Anzahl möglich sind (z.B. Anzahl Erntetage je Jahr), können stetige bzw. kontinuierliche Zufallsvariablen beliebige Werte annehmen (z.B. Hektarerträge von Kartoffeln). In der praktischen Landwirtschaft liegen hauptsächlich kontinuierliche Zufallsvariablen vor (PRECHT und KRAFT, 1992).

2.2.3.1 Grundlagen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Prinzipiell ist zwischen diskreten und kontinuierlichen Verteilungen zu unterscheiden. Bei einer kontinuierlichen Verteilung wird in der Regel eine Dichtefunktion (DF) beschrieben. Meist besitzen diese die Form einer Glocke (vgl. Abbildung 5). Den wahrscheinlichsten Wert bildet der Modalwert (m). Die Dichtefunktion für einen unsicheren Ertrag x, wird üblicherweise als f(x) bezeichnet, mit der Eigenschaft, dass die Fläche unter der Kurve 1,0 beträgt. Die Fläche unter der Kurve zwischen den Punkten a und X, repräsentiert die Wahrscheinlichkeit (A), dass ein bestimmter Ertrag (x) in diesem Bereich auftritt.

Die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeit (A) ist mittels der Dichtefunktion mathematisch sehr anspruchsvoll (HARDACKER et al., 1997). Um die Berechnung zu vereinfachen, integriert man die Dichtefunktion, um die Verteilungsfunktion (VF) zu erhalten (KRÖBER et al., 2008). Der Minimalwert besitzt eine Wahrscheinlichkeit von 0 und der Maximalwert eine von 1,0. Der Funktionswert F(x) für eine bestimmte Menge X, entspricht der Wahrscheinlichkeit A. Das heißt, ein unsicherer Ertrag x zwischen den Punkten a und X, tritt mit der Wahrscheinlichkeit von A auf (HARDACKER et al., 1997). Die Beziehung zwischen Dichte- und Verteilungsfunktion ist in Abbildung 5 dargestellt.

Die Variationsbreite der Risikovariablen wird also durch die Minimum- und Maximum-Grenzen bestimmt. Die Festlegung dieser Grenzwerte ist aber nicht schwieriger als die Schätzung eines deterministischen Einzelwertes (SAVVIDES, 1994). Im Folgenden sollen Verteilungen vorgestellt werden, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden.

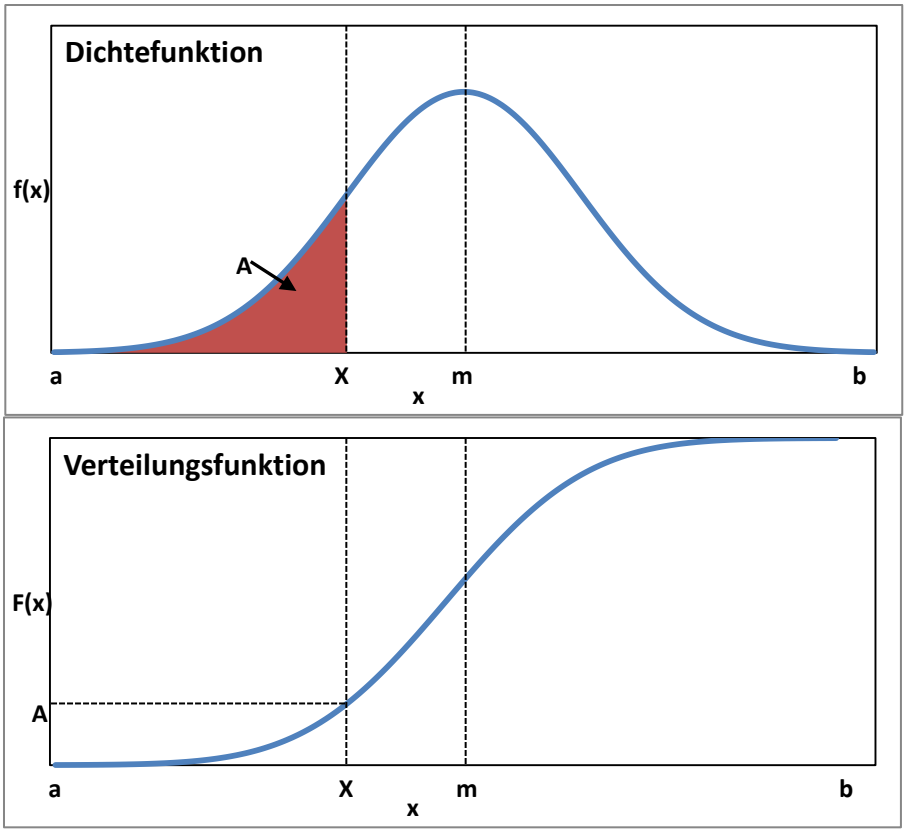

Abbildung 5: Die Beziehung zwischen Dichtefunktion und Verteilungsfunktion im Intervall [a,b] anhand der Normalverteilung

Quelle: verändert nach HARDACKER et al. (1997)

2.2.3.2 Gleichverteilung

Die Gleichverteilung stellt den einfachsten Fall einer kontinuierlichen Verteilung dar. Die Wahrscheinlichkeitsdichte von x beschränkt sich auf das Intervall [a; b] und verläuft innerhalb des Intervalls konstant (Abbildung 6). Diese Verteilung ist kaum von praktischem Interesse. Sie ist jedoch als einfachste Verteilung einer kontinuierlichen Variablen besonders leicht zu handhaben. Als Erwartungswert von x nimmt man aus Symmetriegründen das arithmetische Mittel der Grenzen an (Formel 2-1) (BRANDT, 1999).

Formel 2-1: Erwartungswert E(x) und Varianz Var(x) der kontinuierlichen Gleichverteilung

$$E(x) = \frac{b+a}{2} \qquad Var(x) = \frac{1}{12}(b-a)^2$$

Die Dichte- und Verteilungsfunktion ist Formel 2-2 und Formel 2-3 zu entnehmen.

Formel 2-2: Dichtefunktion einer kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [a; b]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x < a, x > b \end{cases}$$

Formel 2-3: Verteilungsfunktion der kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [0; 1]

$$F(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 0, & x < a \\ 1, & x \geq a \end{cases}$$

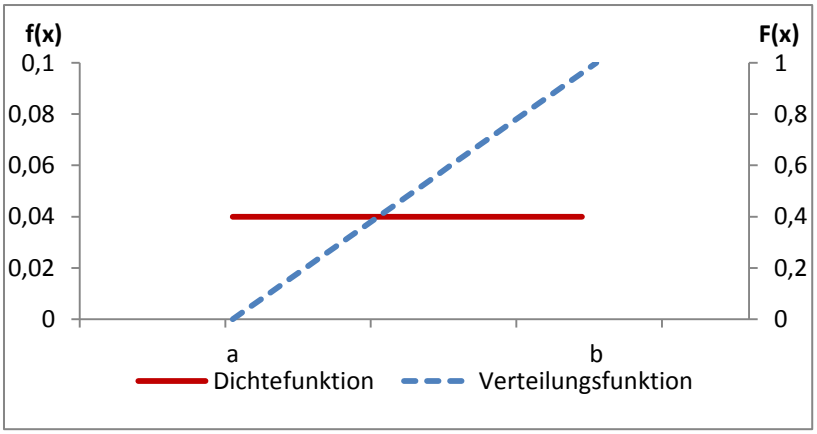

Abbildung 6: Dichte- und Verteilungsfunktion einer kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [a; b]

Quelle: verändert nach BRANDT (1999)

2.2.3.3 Normalverteilung

Die Normalverteilung (Abbildung 5) ist wohl die wichtigste Verteilung für stetige Zufallsvariablen. Sie wird nach ihrem Entdecker auch als Gaußverteilung oder Glockenverteilung bezeichnet (ZUCCHINI et al., 2009). Die Normalverteilung ist durch den Erwartungswert μ und die Varianz σ^2 eindeutig bestimmt (BOSCH, 2007). Um auszudrücken, dass eine Zufallsvariable normalverteilt ist, wird die Bezeichnung $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ verwendet (ZUCCHINI et al., 2009).

Der erste Parameter stellt den Erwartungswert $\mu = E(X)$, der zweite die Varianz $\sigma^2 = Var(X)$ und nicht die Standardabweichung dar. Die Werte der Zufallsvariablen X bezeichnet man mit x. Die Dichtefunktion der Normalverteilung ist in Formel 2-4 dargestellt.

Formel 2-4: Dichtefunktion der Normalverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Die Verteilungsfunktion der allgemeinen Normalverteilung erhält man mit Hilfe der Standardisierung. Von den Werten x der Ausgangsvariablen X wird ihr Erwartungswert μ subtrahiert. Diese Differenz wird anschließend durch die Standardabweichung σ dividiert. Die Verteilungsfunktion der Zufallsvariablen X lautet (Formel 2-5):

Formel 2-5: Verteilungsfunktion der Normalverteilung

$$F(x) = \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

Dabei ist ϕ die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung (BOSCH, 2007).

2.2.3.4 Dreiecksverteilung

Eine Alternative zur empirischen Verteilungsfunktion stellt der Einsatz der Dreiecksverteilung (Abbildung 7) dar. Ein großer Vorteil dieser Verteilung ist ihre leichte Verständlichkeit. Sie ist daher für Expertenschätzungen sehr gut einsetzbar. Die Verteilung wird durch den Minimalwert (a), den Maximalwert (b) und den wahrscheinlichsten Wert bzw. Modalwert (m) beschrieben. Der Erwartungswert und die Varianz der Zufallsvariablen X sind in Formel 2-6 ersichtlich (STEINHOFF, 2008).

Formel 2-6: Erwartungswert und Varianz der Dreiecksverteilung

$$E(x) = \frac{a+b+m}{3} \qquad Var(x) = \frac{a^2+b^2+m^2-a*b-a*m-b*m}{18}$$

Formel 2-7 zeigt die zugehörige Dichtefunktion (KÜHN, 2006).

Formel 2-7: Dichtefunktion f(x) der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(m-a)}, & \text{a} \leq \text{x} \leq \text{m} \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-m)}, & m < x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

Die Verteilungsfunktion lautet demnach (Formel 2-8) (BRANDT, 1999):

Formel 2-8: Verteilungsfunktion F(x) der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b]

$$F(x)\begin{cases} 0 & |x < a \\ \dfrac{(x-a)^2}{(b-a)(m-a)} & |a \le x \le m \\ 1 - \dfrac{(b-x)^2}{(b-a)(b-m)} & |m < x \le b \\ 1 & |x > b \end{cases}$$

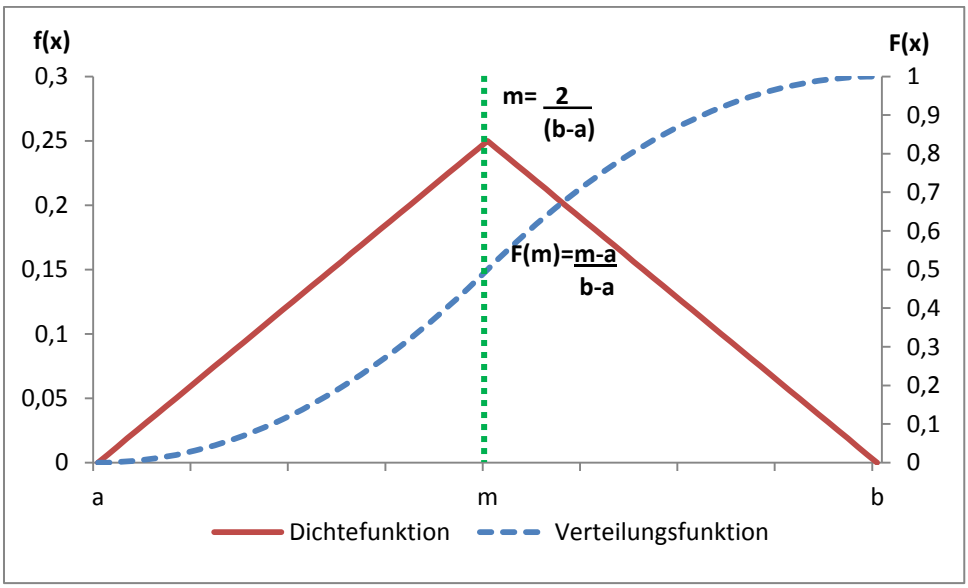

Abbildung 7: Dichtefunktion und Verteilungsfunktion der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b]

Quelle: verändert nach BRANDT (1999)

2.2.3.5 Exponentialverteilung

Durch die Exponentialverteilung (Abbildung 8) wird oft die Lebensdauer eines Elements beschrieben, das keinem mechanischen Verschleiß ausgesetzt ist, wie z.B. elektronische Bauteile (BOSCH, 2007). Die Exponentialverteilung gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen höchstens x Zeiteinheiten vergehen (SCHIELEK and KRÜGEL, 2005). Beispiele dazu wären die Lebensdauer einer Glühbirne bzw. die Zeitdifferenz zweier nacheinander an einem Bank- oder Postschalter ankommender Kunden (BOSCH, 2007).

Die Exponentialverteilung hat einen Parameter, der mit λ bezeichnet wird. Der Parameter ist ein konstanter Wert, der größer als Null sein muss, d.h. λ>0. Um auszudrücken, dass eine Zufallsvariable exponentialverteilt ist, verwendet man die Bezeichnung $X \sim Exp(\lambda)$. Der Erwartungswert E(X) einer exponentialverteilten Zufallsvariable ist gleich dem reziproken

Wert des Parameters λ. Die Varianz Var(X) entspricht dem reziproken Wert des Parameters λ^2 (Formel 2-9).

Formel 2-9: Erwartungswert und Varianz der Exponentialverteilung

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \qquad Var(x) = \frac{1}{\lambda^2}$$

Die allgemeine Dichtefunktion der Exponentialverteilung ist in Formel 2-10 dargestellt (ZUCCHINI et al., 2009).

Formel 2-10: Dichtefunktion der Exponentialverteilung

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{für } x \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Verteilungsfunktion lautet demnach (BOSCH, 2007) (Formel 2-11):

Formel 2-11: Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x<0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & 0 \leq x \end{cases}$$

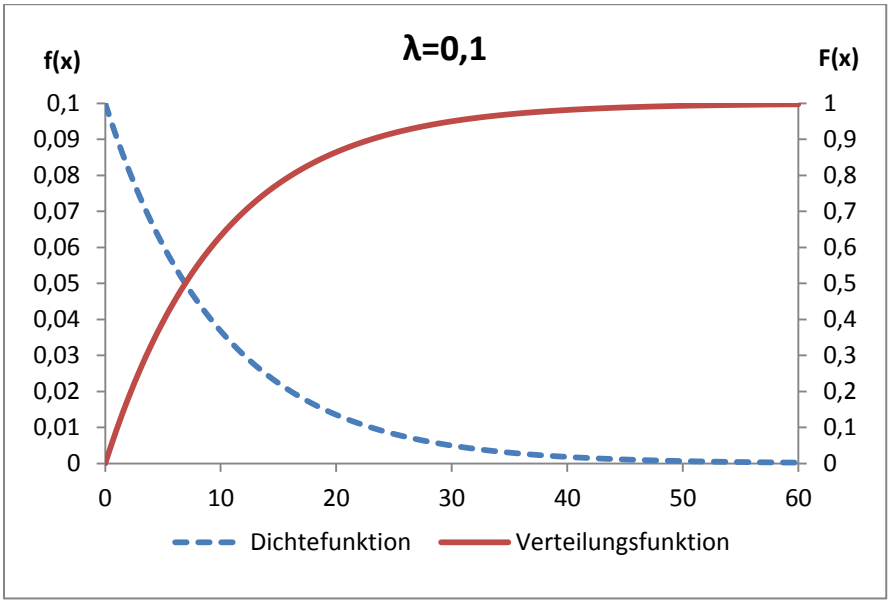

Abbildung 8: Dichte- und Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung im Intervall [0; 60]

Quelle: verändert nach BOSCH (2007), ZUCCHINI et al., (2009)

2.2.3.6 Weibullverteilung

Die Weibullverteilung ist die gebräuchlichste Lebensdauerverteilung. Sie ist durch zwei positive Parameter T (charakteristische Lebensdauer) und b (Ausfallsteilheit) festgelegt. Um auszudrücken, dass eine Zufallsvariable weibullverteilt ist, verwendet man die Bezeichnung $X \sim Wei\ (b,T)$. Ein Vorteil der Verteilung ist ihre hohe Anpassungsfähigkeit von nahezu symmetrischer Form bis zur schiefen Verteilung (Abbildung 9). Die Dichtefunktion ist in Formel 2-12 und die Verteilungsfunktion in Formel 2-13 dargestellt (LINß, 2006, VIERTL, 2003, KÜHLMEYER, 2001).

Formel 2-12: Dichtefunktion der Weibullverteilung Wei(b,T)

$$f(x) = \frac{b}{T}\left(\frac{x}{T}\right)^{b-1} e^{\left(-\frac{x}{T}\right)^{b}}$$

Formel 2-13: Verteilungsfunktion der Weibullverteilung Wei(b,T)

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{T}\right)^{b}}$$

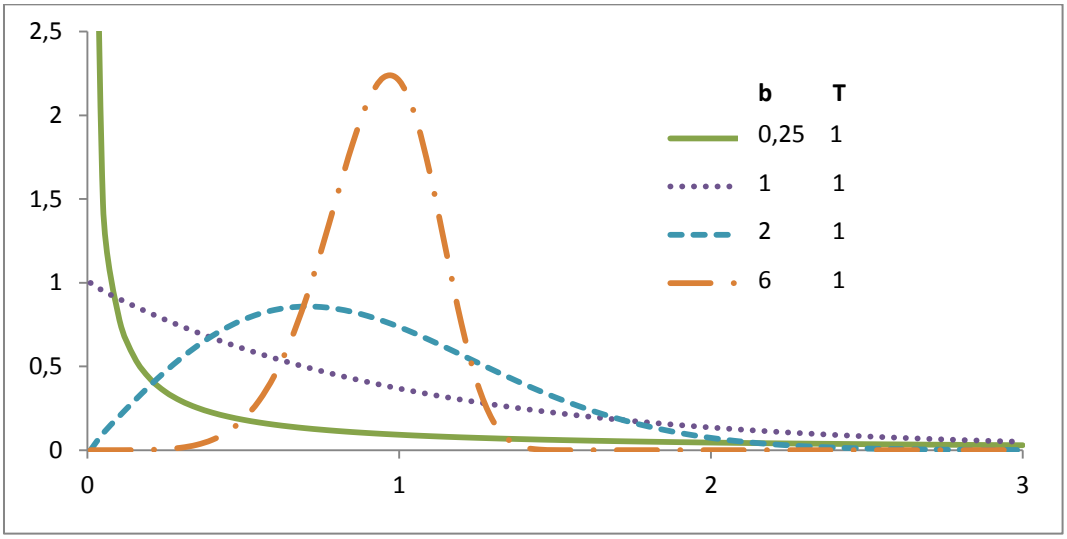

Abbildung 9: Dichtefunktionen von ausgewählten Weibullverteilungen im Intervall [0; 3]

Quelle: verändert nach KÜHLMEYER (2001)

2.2.3.7 Gammaverteilung

Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung ist für stochastische Größen geeignet, die nur positive Werte annehmen. Sie ist durch zwei positive Parameter α (k^{-1}) und ß (Υ^{-1}) festgelegt (VIERTL, 2003). Änderungen von α wirken sich vor allem auf die Form und Lage der Gammaverteilung aus, während ß eher für den Skalierungseffekt zuständig ist (Abbildung 10). Um auszudrücken, dass eine Zufallsvariable gammaverteilt ist, verwendet man die Bezeichnung $X \sim GA\ (\alpha, \beta)$. Der Erwartungswert E(x) und die Varianz Var(x) ist gegeben durch $E(x) = \alpha ß$ bzw. $Var(x) = \alpha ß^2$ (HENKING et al., 2006). Die entsprechende Dichtefunktion ist in Formel 2-14 dargestellt.

Formel 2-14: Dichtefunktion der Gammaverteilung GA (α,ß)

$$f(x) = \begin{cases} 0 & |x < 0 \\ \dfrac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} * e^{-\frac{x}{b}} * x^{\alpha-1} & |x \geq 0 \end{cases}$$

Der Ausdruck $\Gamma(\alpha)$ steht für den Funktionswert der Gammafunktion.

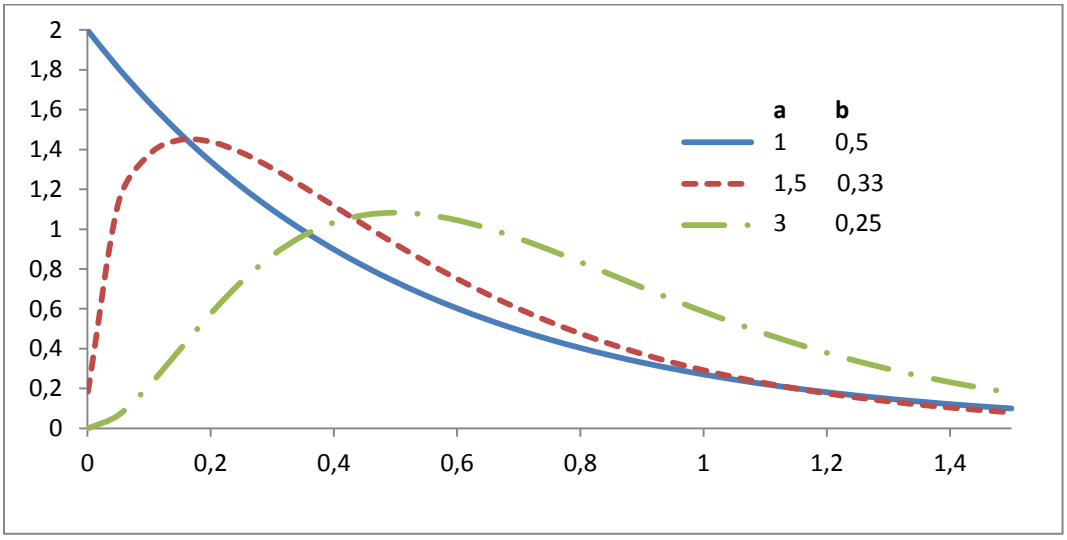

Abbildung 10: Dichtefunktionen von ausgewählten Gammaverteilungen im Intervall [0; 1,5]

Quelle: verändert nach SCHLITTGEN (2003)

Die Verteilungsfunktion der Gammaverteilung ist die unvollständige Gammafunktion, die in Formel 2-15 dargestellt ist (VIERTL, 2003).

Formel 2-15: Verteilungsfunktion der Gammaverteilung GA(α,ß)

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^{\alpha}} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}\, dt \quad |x > 0$$

2.2.3.8 Diskrete Verteilung

Für diskrete Verteilungen (Abbildung 11), beschreibt die Wahrscheinlichkeitsfunktion die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von x_i, anhand der Zähldichte der Verteilung von X auf der Menge der möglichen Werte. Somit kann jedem Wert x eine Wahrscheinlichkeit p zugeordnet werden mit der die Zufallsvariable X diesen annimmt. Die Dichtefunktion ist in Formel 2-16 dargestellt (CRONE, 2010).

Formel 2-16: Dichtefunktion der diskreten Verteilung

$$f(x) = \frac{p_{i+1} - p_i}{x_{i+1} - x_i}, \qquad f\ddot{u}r\ x_i \leq X < x_{i+1}$$

Aus der Wahrscheinlichkeitsfunktion von X wird die kumulative Verteilungsfunktion F(x) gebildet, die für den diskreten Fall angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Zufallsvariable X einen Wert kleiner oder gleich dem Wert x, (0 ≤ X ≤ x) annimmt. Daraus ergibt sich die Verteilungsfunktion in Formel 2-17 (CRONE, 2010).

Formel 2-17: Verteilungsfunktion der diskreten Verteilung

$$F(x) = p_i + (p_{i+1} - p_i)\left(\frac{X - x_i}{x_{i+1} - x_i}\right), \qquad f\ddot{u}r\ x_i \leq X < x_{i+1}$$

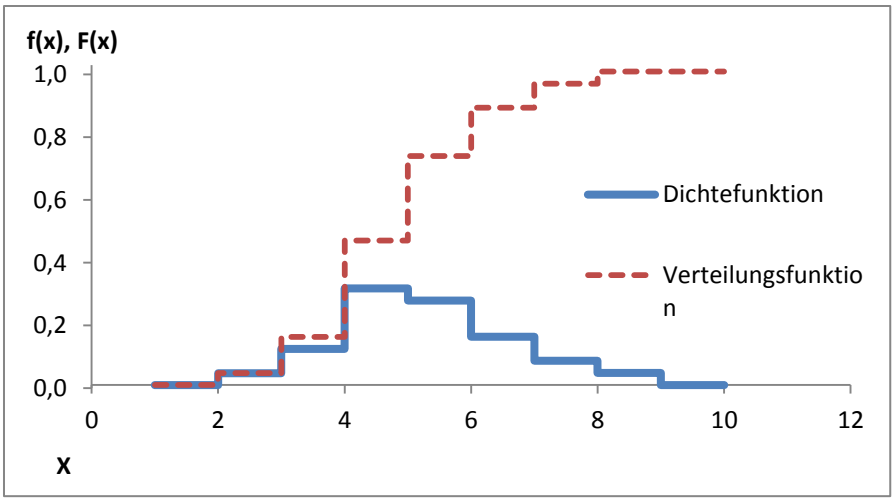

Abbildung 11: Dichtefunktion und Verteilungsfunktion einer diskreten Verteilung im Intervall [2; 9]

Quelle: verändert nach BRANDT (1999) und HARDACKER et al. (1997)

2.2.4 Definition von Korrelationen zwischen den Risikovariablen

Liegen den Risikovariablen entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugrunde, ist eine weitere Grundlage für die Simulation gegeben.

Theoretisch ist es möglich die Simulation zu starten, jedoch ist diese Simulation nur korrekt, wenn die Risikovariablen unabhängig voneinander sind (SAVVIDES, 1994).

Das Modell ist auf vorhandene Abhängigkeiten zu untersuchen, da sich die identifizierten Risiken kompensieren, gar nicht beeinflussen oder sogar verstärken können. Die Festlegung solcher Korrelationen hat im Modell dafür Sorge zu tragen, dass keine unrealistischen Kombinationen in einem Simulationsdurchlauf vorkommen. Stochastische Abhängigkeiten können auch zwischen den Ausprägungen einer einzelnen Inputvariablen im Zeitablauf vorliegen (serielle oder Autokorrelation). Quantifizierbar sind solche Zusammenhänge mit dem dimensionslosen Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson (KLEIN, 2010). Die Korrelation beschreibt dabei lineare Zusammenhänge zwischen zwei Zufallsvariablen (DANNENBERG, 2009). WOOLDRIDGE (2000) formuliert den Korrelationskoeffizienten wie in Formel 2-18 dargestellt.

Formel 2-18: Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson für zwei Zufallszahlen

$$r = \frac{Cov(X,Y)}{sd(X) * sd(Y)} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Der Korrelationskoeffizient ist der Quotient aus der Kovarianz (Cov) und den Standardabweichungen (sd) der Zufallsvariablen X und Y. Bei einer Korrelation von 0 sind die beiden Zufallsvariablen unabhängig, bei -1 bzw. 1 herrscht eine völlig negative bzw. positive Korrelation vor (WOOLDRIDGE, 2000). Dieser Korrelationskoeffizient erlaubt aber nur die Interpretation von linear abhängigen, normalverteilten Messwerten. Er reagiert des Weiteren stark auf Ausreißer in den Beobachtungen und kann leicht zu Fehlern führen, da im Regelfall nur sehr wenige Daten für die Bewertung vorliegen (KLEIN, 2010).

Liegt keine Normalverteilung vor bzw. folgt der Zusammenhang keiner linearen Beziehung, kann die Rangkorrelation nach Spearman angewendet werden (HATZINGER and NAGEL, 2009). Die Anwendung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman setzt verbundene Einzelbeobachtungen mindestens ordinal skalierter Merkmale voraus (KLEIN, 2010). Um den Koeffizient zu berechnen, werden jeweils alle X und Y-Werte mit Rangzahlen versehen. Die Differenz dieser beiden Rangzahlen eines Beobachtungspaares sei d_i. Aus diesen Differenzen

wird der Spearman´sche Korrelationskoeffizient (Formel 2-19) berechnet (WEIß and RZANY, 2010).

Formel 2-19: Korrelationskoeffizient nach Spearman für zwei Rangzahlen

$$r_{SP} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Die Berücksichtigung von Korrelationen wird in der Simulation über die Cholesky-Zerlegung in Verbindung mit der Iman-Conover-Methode umgesetzt.

2.2.5 Die Erzeugung von Zufallszahlen

2.2.5.1 Abgrenzung von echten und Pseudozufallszahlen

Von Zufall spricht man, wenn es offen ist, ob ein Ereignis eintritt oder nicht. Ein zufälliges Ereignis liegt vor, wenn es aus einer gegebenen Gesamtheit von Bedingungen nicht mit Notwendigkeit folgt, sondern eine gewisse Wahrscheinlichkeit für seinen Eintritt angegeben werden kann (SCHIELEK and KRÜGEL, 2005).

Echte Zufallszahlen können nicht vorhergesagt werden und sind somit auch wirklich zufällig (ESCHENMOSER and SCHWITTER, 2009). Sie sind dadurch charakterisiert, dass jeder Wert in einem bestimmten Intervall ungefähr die gleiche relative Häufigkeit besitzt und keine Zahl von einer anderen abhängt (SCHIELEK and KRÜGEL, 2005). Echte Zufallszahlen werden aus physikalischen Experimenten generiert, wie zum Beispiel aus dem Rauschen elektrischer Bauelemente. Solche Experimente sind allerdings sehr aufwändig und lassen sich in der Praxis nur schwer realisieren. Die Zahlen eignen sich bestens für die Generierung von Verschlüsselungen hochsensibler Daten (ESCHENMOSER und SCHWITTER, 2009).

Pseudozufallszahlen sind keine wirklichen Zufallszahlen. Sie werden mit Hilfe von speziellen mathematischen Algorithmen berechnet. Die Algorithmen haben die Eigenschaft, dass sie bei identischem Input dasselbe Ergebnis erzeugen, was sie vorhersagbar und reproduzierbar macht. Im Gegensatz zu echten Zufallszahlen wiederholen sich die Zahlenfolgen bei Pseudozufallszahlen nach einer gewissen Anzahl von erzeugten Zufallszahlen. Die Anzahl der Werte, die erzeugt werden kann, bis es zu einer Wiederholung kommt, nennt man Periodenlänge. Dies ist das wichtigste Erkennungsmerkmal einer Pseudozufallszahl (ESCHENMOSER and SCHWITTER, 2009). Die Güte der Pseudozufallszahlen kann durch

statistische Tests ermittelt werden. Man testet die Gleichverteilung (Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest) und Unabhängigkeit (Test auf serielle Autokorrelation) von Zufallszahlen (SCHIELEK and KRÜGEL, 2005).

2.2.5.2 Erzeugung gleichverteilter Zufallszahlen mittels Algorithmen

In der Regel geht man von einem Zufallszahlengenerator aus, der bei jedem Aufruf eine neue Zahl U, die im Intervall [0; 1] gleichverteilt ist, zurückgibt (KOLANOSKI, 2008). Gleichverteilte Zufallszahlen zwischen 0 und 1 bilden den Ausgangspunkt für die Generierung von Zufallszahlen aus anderen Verteilungen (MUßHOFF and HIRSCHAUER, 2011). Die verwendeten Algorithmen sollten eine möglichst hohe Periodizität und keine Korrelationen in der Abfolge der Zufallszahlen aufweisen, um ein Muster in einem multidimensionalen Raum zu vermeiden. Es gibt eine Reihe von verschiedenen Zufallszahlengeneratoren welche Zahlenfolgen erzeugen, die möglichst viele Eigenschaften von echten Zufallszahlen besitzen.
In den letzten Jahren hat sich der Zufallsgenerator *Mersenne-Twister* etabliert. *Mersenne-Twister* ist ein Pseudozufallszahlengenerator der 1997 von Makoto Matsumoto und Takuji Nishimura entwickelt wurde und die ausgegebenen Zufallszahlen besitzen sehr gute statistische Eigenschaften (ESCHENMOSER and SCHWITTER, 2009). Er zeichnet sich unter anderem durch eine extrem lange Periodenlänge aus (2^{19937}-1), erzeugt sehr gute Gleichverteilungen (nachgewiesen bis zur Dimension 623) und ist dennoch schneller als andere Zufallszahlengeneratoren (KOLANOSKI, 2008). Aufgrund seiner guten Eigenschaften, wird der *Mersenne-Twister* in der Masterarbeit für die Erzeugung gleichverteilter Zufallszahlen herangezogen.

2.2.5.3 Erzeugung von Zufallszahlen beliebiger Verteilungen

Um aus den oben erzeugten gleichverteilten Zufallszahlen im Intervall [0; 1] Zufallszahlen beliebiger Verteilung zu erzeugen, muss man sich der inversen Verteilungsfunktion der jeweiligen Verteilungen bedienen (HARDACKER et al., 1997). In Abbildung 12 ist das Prinzip der Zufallszahlenerzeugung ersichtlich. Nachdem der Risikovariablen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zugeordnet wurde, muss diese durch Simulation erzeugt werden. Um eine Inputgröße zu erhalten, muss die Zufallszahl U in die inverse Verteilungsfunktion $F^{-1}(U)$ eingesetzt werden. Dadurch wird dem U-Wert [0; 1] der zugehörige X-Wert zugeordnet (HERTZ, 1964).

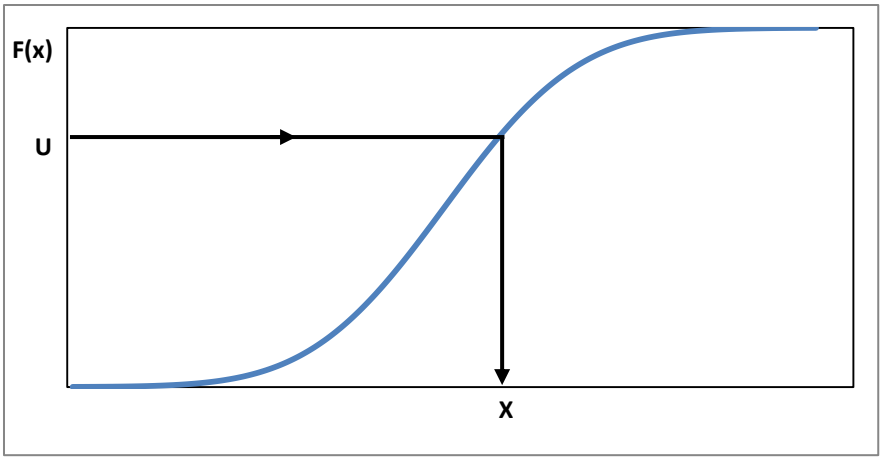

Abbildung 12: Erzeugung von Zufallszahlen beliebiger Verteilung, aus gleichverteilten Zufallszahlen [0; 1] mit Hilfe der inversen Verteilungsfunktion

Quelle: verändert nach HARDACKER et al. (1997)

Gleichverteilung:

Zur Erzeugung einer gleichverteilten Zufallszahl im Intervall [a; b], muss man sich nach KOLONKO (2008) der Formel 2-20 bedienen.

Formel 2-20: Inverse Verteilungsfunktion der Gleichverteilung im Intervall [0; 1]

$$X: F^{-1}(U) = \begin{cases} -\infty & U = 0 \\ U * (b - a) + a & 0 < U < 1 \\ b & U = 1 \end{cases}$$

Für eine effizientere Nutzung der Formel, wurde in *VBA* (Visual Basic for Applications) eine Funktion für Microsoft Excel programmiert. Die Funktion ist unter der Syntax „=GLEICHINV(U,Maximum,Minimum)“ abrufbar. Damit die Formel funktioniert, müssen die Funktionsargumente U (Zufallszahl), Maximum (Maximalwert) und Minimum (Minimalwert) definiert werden. Der entsprechende VBA-Code ist im Anhang unter Punkt 12.2.1 ersichtlich.

Normalverteilung:

Die Inversion der Normalverteilung ist nicht explizit berechenbar und nur über Approximationen oder mit Hilfe einer umfangreichen Tafel möglich (KOLONKO, 2008), jedoch beinhaltet Microsoft Excel eine Funktion, die es relativ leicht ermöglicht, normalverteilte Zufallsvariablen mit einem beliebig gewählten Erwartungswert μ und einer beliebig gewählten Standardabweichung σ zu generieren. Diese Funktion lautete: „=STANDNORMINV(U)*σ+μ“ (MUßHOFF and HIRSCHAUER, 2011).

Dreiecksverteilung:

Die Transformation gleichverteilter Pseudozufallszahlen im Intervall [0; 1], in dreiecksverteilte Zufallszahlen erfolgt mit Formel 2-21. Diese stellt die Umkehrfunktion $F^{-1}(U)$ der Verteilungsfunktion F(x) dar (BRANDT, 1999).

Formel 2-21: Inverse Verteilungsfunktion der Dreiecksverteilung im Intervall [0; 1]

$$X \coloneqq F^{-1}(U) = \begin{cases} a + \sqrt{U(b-a)(m-a)}, & a \leq x \leq m \\ b - \sqrt{(b-a)(b-m)(1-U)}, & m < x \leq b \end{cases}$$

Für die Dreiecksverteilung wurde ebenfalls eine eigene Funktion für Microsoft Excel programmiert. Die Syntax lautet „=DREIECKINV(U,a,m,b)“. Das Funktionsargument a stellt den Minimalwert, m den Modalwert und b den Maximalwert dar. Der entsprechende VBA-Code ist im Anhang unter Punkt 12.2.2 ersichtlich.

Exponentialverteilung:

Zur Transformation gleichverteilter Pseudozufallszahlen U [0,1] in exponentialverteilte Pseudozufallszahlen X muss man sich ebenfalls der Inversionsmethode bedienen (KOLONKO, 2008). Die Umkehrfunktion $F^{-1}(U)$ der Verteilungsfunktion F(x) ist Formel 2-22 zu entnehmen.

Formel 2-22: Inverse Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung im Intervall [0; 1]

$$X \coloneqq F^{-1}(U) = -\frac{1}{\lambda} ln(1-U)$$

Die Syntax für die Exponentialverteilung lautet „=EXPONINV(U,Lambda)“. Der entsprechende VBA-Code ist im Anhang unter Punkt 12.2.3 ersichtlich.

Weibullverteilung:

Die Transformation von gleichverteilten Pseudozufallszahlen in weibullverteilte Zufallszahlen erfolgt mit Formel 2-23.

Formel 2-23: Inverse Verteilungsfunktion der Weibullverteilung im Intervall [0; 1]

$$X \coloneqq F^{-1}(U) = T * \left(-LN(1-U)\right)^{\frac{1}{b}}$$

Die Syntax für die Weibullverteilung lautet „=WEIBULLINV(U,b,T)“. Das Funktionsargument b repräsentiert die Ausfallsteilheit, T die charakteristische Lebensdauer. Der entsprechende VBA-Code ist im Anhang unter Punkt 12.2.4 ersichtlich.

Gammaverteilung:

Die Inversion der Gammaverteilung ist mathematisch sehr anspruchsvoll und erfolgt deshalb mit Hilfe der in Microsoft Excel bereitgestellten Funktion „GAMMA.INV(U;α;ß)".

Diskrete Verteilung:

Eine Implementierung der inversen Verteilungsfunktion besteht nur darin, den passenden Wert in einer Liste zu finden (KOLONKO, 2008). Tabelle 5 zeigt die Häufigkeit und die kumulierte Häufigkeit der jeweiligen X-Werte. Um aus kontinuierlichen gleichverteilten Zufallszahlen im Intervall [0; 1] eine diskrete kumulative Verteilung zu erzeugen, wird der Wert der jeweiligen Zufallszahl mit den kumulierten Häufigkeiten vergleichen. Zum Beispiel ergibt sich ein X-Wert von 3 unter der Bedingung $0{,}038 < U \leq 0{,}153$.

Tabelle 5: Erzeugung einer diskreten Verteilung im Intervall [0; 1]

X	Häufigkeit	Kumulierte Häufigkeit
2	0,038	0,038
3	0,115	0,153
4	0,308	0,461
5	0,269	0,73
6	0,154	0,884
7	0,077	0,961
8	0,039	1

Die Syntax der Funktion lautet „=KUMULATIV(U,p_i,x_i)". Das Funktionsargument p_i repräsentiert alle kumulativen Häufigkeiten und x_i die dazugehörenden X-Werte. Der entsprechende VBA-Code ist im Anhang unter Punkt 12.2.5 ersichtlich.

2.2.5.4 Cholesky-Zerlegung

Die Cholesky-Zerlegung bezeichnet in der numerischen Mathematik eine Zerlegung einer positiv definiten Matrix (SCHWARZ and KÖCKLER, 2006). Es wird eine obere Dreiecksmatrix C_T gesucht, die, multipliziert mit ihrer transponierten Matrix *C,* einer Ausgangsmatrix *A* entspricht (Abbildung 13). Die Ausgangsmatrix ist symmetrisch, wenn die Korrelationen zwischen allen Variablen angegeben sind. Positiv definit bedeutet, dass alle Eigenwerte der Ausgangsmatrix größer als Null sein müssen. Ist dies nicht der Fall, kann die Cholesky-Zerlegung nicht durchgeführt werden (DANNENBERG, 2009). Der Algorithmus soll anhand eines Beispiels, in Anlehnung an SCHWARZ und KÖCKLER (2006) verdeutlicht werden.

Die Grundüberlegung lautet:

$$A = C * C_T$$

bei gegebener Ausgangsmatrix

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}2 & 0{,}9 \\ 0{,}2 & 1 & 0{,}4 \\ 0{,}9 & 0{,}4 & 1 \end{pmatrix}$$

und

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} \text{ und}$$

$$C_T = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ 0 & c_{22} & c_{23} \\ 0 & 0 & c_{33} \end{pmatrix}$$

ergibt sich durch die Matrixmultiplikation:

$$CC_T = \begin{pmatrix} c_{11}^2 & c_{11}c_{12} & c_{11}c_{31} \\ c_{21}c_{11} & c_{21}^2 + c_{22}^2 & c_{21}c_{31} + c_{22}c_{32} \\ c_{31}c_{11} & c_{31}c_{21} + c_{32}c_{22} & c_{31}^2 + c_{32}^2 + c_{33}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = A$$

Durch Gleichsetzen der Matrixelemente folgt:

$c_{11}^2 = a_{11} \rightarrow \ c_{11}^2 = 1 \ \rightarrow c_{11} = 1$

$c_{21}c_{11} = a_{21} \rightarrow c_{21} * 1 = 0{,}9 \rightarrow c_{21} = 0{,}9$

$c_{31}c_{11} = a_{31} \rightarrow c_{31} * 1 = 0{,}2 \rightarrow c_{31} = 0{,}2$

Für die restlichen Matrixelemente wird so weiterverfahren und schlussendlich ergibt sich

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0{,}9 & 0{,}9797959 & 0 \\ 0{,}2 & 0{,}2245366 & 0{,}3736085 \end{pmatrix}$$

und

$$C_T = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}9 & 0{,}2 \\ 0 & 0{,}9797959 & 0{,}2245366 \\ 0 & 0 & 0{,}3736085 \end{pmatrix}$$

Abbildung 13: Algorithmus der Cholesky-Zerlegung

Quelle: verändert nach SCHWARZ und KÖCKLER (2006)

In Anlehnung an DANNENBERG (2009), können die einzelnen Elemente $c_{i,j}$ der *C* Matrix mit Zeilenindex *i* und Spaltenindex *j* wie folgt durch Formel 2-24 berechnet werden, wobei a_{ij} die Elemente der Ausgangsmatrix bezeichnen.

Formel 2-24: Cholesky-Zerlegung für i,j Elemente

$$c_{ij} = \begin{cases} 0 & wenn\ i < j \\ \sqrt{1 - \sum_{k=1}^{i-1} c_{ik}^2} & wenn\ i = j \\ \frac{1}{c_{ij}} \left(a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} c_{ij} * c_{jk} \right) & wenn\ i > j \end{cases}$$

Im Rahmen der Masterarbeit wurde der oben angeführte Ausdruck in Microsoft Excel mittels VBA-Code programmiert. Dieser befindet sich im Anhang unter Punkt 12.3. Es ist jedoch zu beachten, dass dieser Code nicht die C_T Matrix (obere Dreiecksmatrix) sondern die C Matrix (untere Dreiecksmatrix) generiert. Der Output dieser Operation muss nochmals mit der Excelfunktion „=MTRANS()“ transponiert werden.

2.2.5.5 Iman Conover Methode

Die Iman Conover (IC) Methode ist ein praktischer Ansatz für den Umgang mit Zufallsvariablen. Mit diesem Verfahren können aus unabhängigen Zufallszahlen beliebiger Verteilung Zufallszahlen mit gewünschter Korrelation erzeugt werden (MILDENHALL, 2005). Es ist aber anzumerken, dass mit dieser Methode keine linearen sondern Rangkorrelationen modelliert werden. Für die Anwendung der IC-Methode muss das Ergebnis der oben beschriebene Cholesky-Zerlegung mit eingebunden werden (DANNENBERG, 2009).

Die IC-Methode soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Den Ausgangspunkt der IC-Methode bildet die Matrix X^{m*n}. Die Matrix beinhaltet die zuvor erzeugten Zufallszahlen der Risikovariablen mit *m=i=20* Werten für die *n=j=3* Risikovariablen (MILDENHALL, 2005). Die Werte in den Spalten sind jeweils der Größe nach geordnet (DANNENBERG, 2009). Diese Matrix ist in Abbildung 14 ersichtlich, wobei aus Platzgründen die Zeilen und Spalten transponiert wurden.

$$X^{n*m} = \begin{bmatrix} 53 & 56 & 59 & 62 & 78 & 80 & 89 & 92 & 98 & 102 & 108 & 111 & 115 & 117 & 122 & 127 & 129 & 132 & 140 & 147 \\ 1034 & 1108 & 1138 & 1177 & 1303 & 1305 & 1315 & 1341 & 1429 & 1456 & 1460 & 1497 & 1527 & 1599 & 1701 & 1707 & 1855 & 1867 & 1930 & 1942 \\ 623 & 657 & 759 & 781 & 804 & 824 & 829 & 865 & 874 & 1001 & 1015 & 1026 & 1035 & 1142 & 1219 & 1294 & 1372 & 1380 & 1395 & 1447 \end{bmatrix}$$

Abbildung 14: Transponierte Matrix der unabhängigen Zufallszahlen der Größe nach geordnet

Quelle: verändert nach DANNENBERG (2009)

Als nächstes ist eine Matrize S^m zu erzeugen. Die Elemente s_{ij} berechnen sich aus der inversen Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit *i/(m+1)*. In Microsoft Excel können diese Werte mit der Funktion: „=STANDNORMINV(i/(m+1))“ erzeugt werden. Da die Standardabweichung dieser Matrix aufgrund der begrenzten Werte nicht eins ergibt, muss die Matrize S^m normiert werden. Dafür werden die Elemente s_{ij} durch ihre Standardabweichung dividiert, wodurch S^m nun eine Standardabweichung von eins aufweist (DANNENBERG, 2009).

Im Folgenden müssen n=3 Abwandlungen der normierten Matrix S^m erzeugt werden. Dazu wird eine zusätzliche Matrix $Z^{m*(n-1)}$ benötigt, deren Elemente z_{ij} aus Zufallszahlen bestehen. Im Anschluss werden die Ränge von den Elementen z_{ij} bestimmt, wobei dem Element mit dem Größten Wert der erste Rang zugewiesen wird. Die Speicherung der Ränge erfolgt in der Matrix $R^{m*(n-1)}$. Die *j* Variationen der Matrix S^m werden in der einer neuen Matrix M^{m*n} erzeugt. Die erste Spalte von M^{m*n} entspricht S^m. Die restlichen *j-1* Spalten von M^{m*n} werden entsprechend den Rängen aus $R^{m*(n-1)}$ mit den Elementen aus der Matrix S^m aufgefüllt (MILDENHALL, 2005, DANNENBERG, 2009). In Abbildung 15 soll dies verdeutlicht werden. Den Wert $m_{ij} = m_{12}$ erhält man, indem das Element $s_i = s_{16}$ eingesetzt wird.

m+1 = 21

i	S^{20}	S^{20} normiert	Zufallszahlen Z^{20*2}		Rangordnung der Zufallszahlen R^{20*2}	
1	-1,6683912	-1,8719854	0,1335131	0,0716589	16	19
2	-1,3091717	-1,4689302	0,6737976	0,4499019	7	11
3	-1,0675705	-1,1978464	0,1438862	0,3471360	15	14
4	-0,8761428	-0,9830588	0,9567319	0,8745299	1	3
5	-0,7124430	-0,7993826	0,7243559	0,4331508	5	12
6	-0,5659488	-0,6350117	0,7019091	0,2053776	6	18
7	-0,4307273	-0,4832891	0,0849940	0,6232395	18	7
8	-0,3029804	-0,3399532	0,2597678	0,5690161	12	8
9	-0,1800124	-0,2019793	0,8154894	0,6627534	4	5
10	-0,0597171	-0,0670044	0,2444020	0,9155636	13	2
11	0,0597171	0,0670044	0,9083203	0,6407013	3	6
12	0,1800124	0,2019793	0,4437720	0,4052347	10	13
13	0,3029804	0,3399532	0,0963819	0,2208448	17	17
14	0,4307273	0,4832891	0,9114981	0,4544272	2	10
15	0,5659488	0,6350117	0,6261761	0,3130612	8	15
16	0,7124430	0,7993826	0,0710631	0,2940117	19	16
17	0,8761428	0,9830588	0,2657427	0,4667567	11	9
18	1,0675705	1,1978464	0,4680059	0,0388167	9	20
19	1,3091717	1,4689302	0,0518027	0,8063678	20	4
20	1,6683912	1,8719854	0,2396942	0,9898985	14	1
σ	0,8912416	1				

$$M^{20*3} = \begin{bmatrix} -1,8719854 & 0,7993826 & 1,4689302 \\ -1,4689302 & -0,4832891 & 0,0670044 \\ -1,1978464 & 0,6350117 & 0,4832891 \\ -0,9830588 & -1,8719854 & -1,1978464 \\ -0,7993826 & -0,7993826 & 0,2019793 \\ -0,6350117 & -0,6350117 & 1,1978464 \\ -0,4832891 & 1,1978464 & -0,4832891 \\ -0,3399532 & 0,2019793 & -0,3399532 \\ -0,2019793 & -0,9830588 & -0,7993826 \\ -0,0670044 & 0,3399532 & -1,4689302 \\ 0,0670044 & -1,1978464 & -0,6350117 \\ 0,2019793 & -0,0670044 & 0,3399532 \\ 0,3399532 & 0,9830588 & 0,9830588 \\ 0,4832891 & -1,4689302 & -0,0670044 \\ 0,6350117 & -0,3399532 & 0,6350117 \\ 0,7993826 & 1,4689302 & 0,7993826 \\ 0,9830588 & 0,0670044 & -0,2019793 \\ 1,1978464 & -0,2019793 & 1,8719854 \\ 1,4689302 & 1,8719854 & -0,9830588 \\ 1,8719854 & 0,4832891 & -1,8719854 \end{bmatrix}$$

Abbildung 15: Schema für die Erzeugung der Startmatrix M^{m*n}

Quelle: verändert nach DANNENBERG (2009)

Die Spalten der Matrix *M* sind approximativ unabhängig voneinander, weisen also bei hinreichend vielen Werten eine Korrelation von nahe null auf. Die Korrelationen zwischen den Risikovariablen der Matrix M, werden in die Korrelationsmatrix AM^{m*n} eingefügt, wobei *m=n=3* entspricht (DANNENBERG, 2009).

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Cholesky-Zerlegung benötigt. Die Cholesky zerlegte Ausgangsmatrix *A* sei C_T (aus Abbildung 13) und die von *AM* sei CM_T (DANNENBERG, 2009). Mit den Matrizen *M*, CM_T^{-1} (inverse von CM_T) und C_T kann nun die Matrix T^{m*n} (Formel 2-25) mit m=20 und n=3 berechnet werden. Die Spalten der Matrix weisen bei genügenden Elementen je Spalte die gewünschten Korrelationen der Ausgangsmatrix *A* auf (MILDENHALL, 2005).

Formel 2-25: Berechnung der T Matrix mit Hilfe der Cholesky zerlegten Matrizen C und C_T^{-1} und der Matrix M

$$T = M * CM_T^{-1} * C_T$$

Die IC Methode nutzt an dieser Stelle aus, dass die Rangkorrelation einer Reihe approximativ ihrer linearen Korrelation entspricht. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt wiederum für jedes Element der Matrix *T* sein Rang in der entsprechenden Spalte bestimmt. Danach

wird die Ausgangsmatrix X^{m*n}, wie in Abbildung 16 ersichtlich, entsprechend dieser Rangordnung umsortiert. Es entsteht die Matrix XK^{m*n}. Der kleinste Wert in der j-ten Spalte der Matrix *T* bekommt die Rangordnung eins, da auch Matrix *X* aufsteigend sortiert wurde (DANNENBERG, 2009).

$\mathbf{T}^{20*3}$ =

-1,8719854	0,9176432	-1,0606689
-1,4689302	-0,4050274	-1,4371446
-1,1978464	0,7123008	-0,8356650
-0,9830588	-1,8398793	-1,6998843
-0,7993826	-0,7638139	-0,8063048
-0,6350117	-0,6067567	-0,2376352
-0,4832891	1,2413552	-0,4452095
-0,3399532	0,2241991	-0,4188618
-0,2019793	-0,9842954	-0,6628603
-0,0670044	0,3482614	-0,5774761
0,0670044	-1,2173837	-0,3811380
0,2019793	-0,0795123	0,3111888
0,3399532	0,9763502	0,8641340
0,4832891	-1,5159873	0,1867757
0,6350117	-0,3809697	0,7885675
0,7993826	1,4421254	1,3056548
0,9830588	0,0112725	0,8584534
1,1978464	-0,2736004	1,8217860
1,4689302	1,8119006	1,3105166
1,8719854	0,3818177	1,1157718

Ränge der Elemente R^{20*3}		
1	16	3
2	7	2
3	15	4
4	1	1
5	5	5
6	6	11
7	18	8
8	12	9
9	4	6
10	13	7
11	3	10
12	10	13
13	17	16
14	2	12
15	8	14
16	19	18
17	11	15
18	9	20
19	20	19
20	14	17

$\mathbf{X}^{20*3}$ =

53	1034	623
56	1108	657
59	1138	759
62	1177	781
78	1303	804
80	1305	824
89	1315	829
92	1341	865
98	1429	874
102	1456	1001
108	1460	1015
111	1497	1026
115	1527	1035
117	1599	1142
122	1701	1219
127	1707	1294
129	1855	1372
132	1867	1380
140	1930	1395
147	1942	1447

$\mathbf{XK}^{20*3}$ =

53	1707	759
56	1315	657
59	1701	781
62	1034	623
78	1303	804
80	1305	1015
89	1867	865
92	1497	874
98	1177	824
102	1527	829
108	1138	1001
111	1456	1035
115	1855	1294
117	1108	1026
122	1341	1142
127	1930	1380
129	1460	1219
132	1429	1447
140	1942	1395
147	1599	1372

Abbildung 16: Ableitung korrelierter Zufallszahle für die Ausgangsmatrix X

Quelle: verändert nach DANNENBERG (2009)

Die Risikovariablen in den Spalten der Matrix XK^{m*n} (Abbildung 17) weisen nun näherungsweise die gewünschte Korrelation der Matrix *A* aus Abbildung 13 auf.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}2 & 0{,}9 \\ 0{,}2 & 1 & 0{,}4 \\ 0{,}9 & 0{,}4 & 1 \end{pmatrix} \quad XK = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}23 & 0{,}9 \\ 0{,}23 & 1 & 0{,}43 \\ 0{,}9 & 0{,}43 & 1 \end{pmatrix}$$

Abbildung 17: Vergleich der Ausgangsmatrix A mit den Korrelationen XK der IC-Methode

Quelle: verändert nach DANNENBERG (2009)

Mit dem erzielten Ergebnis kann man durchaus zufrieden sein, da bei dieser Simulation nur 20 Wertepaare erzeugt wurden. Da normalerweise deutlich mehr Wertepaare erzeugt werden als hier im Beispiel, sind approximativ auch bessere Übereinstimmungen mit der Ausgangsmatrix *A* zu erwarten (MILDENHALL, 2005).

2.2.6 Erzeugung der Ergebnisverteilung durch multiple Berechnung der interessierenden Zielgröße

Die in Kapitel 2.2.1 festgelegte Gleichung der Zielgröße wird nun mit zufälligen Eingangswerten belegt. Dabei ist wichtig, dass bei der Monte-Carlo-Simulation alle unabhängigen Inputgrößen unter Berücksichtigung von Korrelationen eigens errechnete Zufallswerte erhalten. Durch die Wiederholung der Simulation erhält man viele verschiedene Szenarien mit ihren Ergebniswerten. Der Simulationsvorgang wird so oft wiederholt, bis eine repräsentative Anzahl an Zufallsergebnissen vorliegt. Je nach Komplexität des Experiments sollten 100 bis 10.000 Simulationsläufe durchgeführt werden.

Mit Hilfe des mehrmaligen Ablaufs der Simulation kann eine Häufigkeitsverteilung der Outputgröße erstellt werden. Je häufiger die Simulation durchgeführt wurde, umso homogener wird die Verteilung. Diese relativen Häufigkeiten entsprechen näherungsweise der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgröße. Mit Hilfe dieser kann abgeschätzt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein gewisser Zielwert erreicht wird (RAUH, 2006).

3 Material und Methoden

Die von der NÖS (Niederösterreichische Saatbaugenossenschaft) zur Verfügung gestellten Daten bilden die Grundlage für die Simulation. Die Daten umfassen Hektarerträge, Pflanzgutausbeuten, Testergebnisse der Virusbelastung und Erzeugerpreise für Pflanzkartoffeln der vergangenen Jahre. Daten bezüglich Erzeugerpreise für Speisekartoffeln, Kosten für Düngung und Pflanzenschutz stammen von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich bzw. dem Raiffeisenlagerhaus Zwettl. Überdies flossen Daten des Krautfäule-Warndienstes ISIP in die Simulation mit ein. Um übliche Spritzfolgen in der Pflanzkartoffelproduktion zu ermitteln, wurden zu diesem Thema zehn Landwirte befragt. Zusätzlich benötigte Daten wie zum Beispiel Maschinenkosten stammen aus Literaturangaben. Die erhobenen Daten wurden aufbereitet, um die Zielgröße Deckungsbeitrag je Hektar für einen pauschalierten Betrieb, der an der ÖPUL-Maßnahme „*Biologische Wirtschaftsweise*“ bzw. „*UBAG*“ teilnimmt, zu ermitteln. Insgesamt sollen fünf Produktionsverfahren simuliert und miteinander verglichen werden: *KPE* (konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E), *KPZ* (konventionelle Produktion von zertifiziertem Pflanzgut), *BPZ* (biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut), *KS* (konventionelle Speisekartoffelproduktion) und *BS* (biologische Speisekartoffelproduktion). Die Stärke- und Verarbeitungssorten werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. In der jeweiligen Produktionsrichtung werden je 5.000 Einzelsimulationen durchgeführt und anschließend in Form von Dichte- und Verteilungsfunktionen dargestellt.

3.1 Ausarbeitung des Simulationsmodells

Der erste Schritt bei einer Monte-Carlo-Simulation ist die Ausarbeitung des Simulationsmodells. Die Simulation erfolgt auf Basis der Deckungsbeitragskalkulation. Die Zielgröße Deckungsbeitrag je Hektar (HERTZ, 1964), ergibt sich aus der Differenz der variablen Leistungen (z.B. Erlöse, Prämien) und den variablen (Spezial-)Kosten (z.B. Pflanzgut, Düngemittel, etc.), wobei zusätzlich der Lohnansatz für nichtentlohnte Arbeitskräfte in der Kalkulation berücksichtigt wird.

Für die Berechnungen werden die relevanten Inputvariablen und deren Zusammenhänge, die einen Einfluss auf den Deckungsbeitrag besitzen, festgelegt. Bei den Inputvariablen wird zwischen fixen, variablen und abhängig variablen Inputgrößen unterschieden (Tabelle 6).

Den fixen Inputgrößen werden in der Deckungsbeitragskalkulation fixe Werte zugeordnet. Diese sind von den Risikofaktoren nicht beeinflussbar. Beispielsweise ist die *UBAG-Prämie* in den konventionellen Produktionsverfahren unabhängig vom realisierten Ertrag immer gleich hoch.

Die variablen Inputgrößen werden auf Basis von definierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen generiert. Diese Risikovariablen sind vom Produzenten nicht bzw. nur sehr schwer beeinflussbar (z.B. Flächenertrag, Anteil schwerer Virosen).

Abhängig variable Inputgrößen gehen von einem Basiswert aus, der sich in Abhängigkeit von den variablen Inputgrößen verändert (z.B. die variablen Maschinenkosten und die Arbeitskraftstunden ändern sich in Abhängigkeit vom Treibstoffpreis, der Ertragslage und der Anzahl durchgeführter Pflanzenschutzapplikationen).

Tabelle 6: Inputgrößen im Deckungsbeitragsmodell

Inputgröße		Einheit	KPE	KPZ	KS	BPZ	BS
Agrardieselvergütung		€/l	○	○	○	○	○
Anteil Futterkartoffeln	AF	%	●	●	●	●	●
Anteil schwerer Virosen	ASV	%	●	●	♦	●	♦
Arbeitskraftstunden		h/ha	■	■	■	■	■
Ausbeute Pflanzkartoffeln	AP	%	●	●	♦	●	♦
Durchschnittstemperatur	DT	°C	♦	♦	●	●	♦
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln	€P	€/dt	●	●	●	●	●
Erzeugerpreis Speisekartoffeln	€S	€/dt	●	●	●	●	●
Frischmasseertrag	FM	t/ha	●	●	●	●	●
Fungizidapplikationen	APP_F	Anzahl	●	●	●	○	○
Insektizidapplikationen	APP_I	Anzahl	●	●	○	○	○
Kalium (K_2O)		kg/ha	○	○	○	○	○
Kosten Düngung	NPK	€/ha	●	●	●	●	●
Kosten Herbizide		€/ha	○	○	○	○	○
Kosten pro Fungizidapplikation		€	○	○	○	○	○
Kosten pro Insektizidapplikation		€	○	○	○	○	○
Kosten Sikkation		€/ha	○	○	○	○	○
Kosten Pflanzgutbeizung		€/dt	○	○	○	○	○
Lagerungsdauer	LD	Monat	○	○	○	○	○
Lagerschwund	LS	%	○	○	○	○	○
Lohnansatz		€/h	○	○	○	○	○
Maximaler Anteil schwerer Virosen		%	○	○	○	○	○
Mengenabzug Speisek. sortiert	MA_S	%	○	○	○	○	○
Mengenabzug Speisek. unsortiert	MA_{US}	%	○	○	○	○	○
Nachbaupflanzgut		%	○	○	○	○	○
Niederschlagssumme	NS	mm	●	●	●	●	♦
Pflanzgutaufwand	PA	dt/ha	●	●	●	●	●
Pflanzgutkosten	PK	€/dt	■	■	■	■	■
Phosphor (P_2O_5)		kg/ha	○	○	○	○	○
Preisdifferenz Oktober-Lagerung	PDO	%	○	○	○	○	○
Sikkation		Anzahl	○	○	○	○	○
Sonstige Kosten		€/ha	○	○	○	○	○
Stickstoff		kg/ha	○	○	○	○	○
Treibstoffkosten	TK	€/l	●	●	●	●	●
Variable Maschinenkosten		€/ha	■	■	■	■	■
Verlust Auslagerung	VA	%	○	○	○	○	○
Verlust Einlagerung	VE	%	○	○	○	○	○
Zielertrag		dt/ha	○	○	○	○	○
Zinssatz	i	%	○	○	○	○	○

○ Fixe Inputgröße; ● Variable Inputgröße; ■ Abhängig variable Inputgröße; ♦ nicht verwendet

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 18 zeigt das entsprechende Schema der Deckungsbeitragskalkulation. Die Risikovariablen *NS* und *DT* sind in der Kalkulation nicht explizit enthalten, beeinflussen aber über festgelegte Korrelationen die Risikovariablen *FM*, *ASV*, *AP*, AAP_F und AAP_I. *Der Erzeugerpreis für Pflanzkartoffeln* ist von den Ergebnissen der Beschaffenheitsprüfung abhängig. Wenn der *Anteil schwerer Virosen* die zulässigen Obergrenzen (*KPE* ≤ 2%, *KPZ* ≤ 10%) überschreitet, wird der Erzeugerpreis für Pflanzkartoffeln durch den Erzeugerpreis der darunter gelegenen Kategorie ersetzt. Ist der *Anteil schwerer Virosen* bei *KPE* > 2 ≤ 10%, wird das Pflanzgut zuerst in die Kategorie Z herabgestuft. Bei Überschreitung der 10% Grenze sind die Pflanzkartoffeln nur mehr als Konsumware zu verkaufen. Bei den Futterkartoffeln erfolgt keine monetäre Bewertung.

Nr.	Bezeichnung	Einheit	Menge	Preis/EH	Summe
1	Erlöse [1.1+1.2]				
1.1	Pflanzkartoffel	dt	253	24,82	6.282
1.2	Speisekartoffel	dt	60	12,54	756
2	Prämien [2.1+2.2]				
2.1	UBAG	€			85
2.2	Agrardieselvergütung	l	130	0,25	32
3	**Variable Leistung** [1+2]				**7.156**
4	Pflanzgut [4.1+4.2+4.3+4.4]				
4.1	zugekauftes Pflanzgut	dt	35	48,82	1.712
4.2	eigenes Pflanzgut	kg			
4.3	Beizung	dt	35	5,51	195
4.4	Zinsen für das gebundene Kapital	€	1.907		41
5	Düngung [5.1+5.2]				
5.1	Düngemittel	€			615
5.2	Zinsen für das gebundene Kapital	€	615		13
6	Pflanzenschutz [6.1+6.2+6.3+6.4+6.5]				
6.1	Herbizid	Stk	2		143
6.2	Fungizid	Stk	3	29,36	88
6.3	Insektizid	Stk	6	21,49	129
6.4	Sikkation	Stk	2		143
6.5	Zinsen für das gebundene Kapital	€	503		11
7	Lagerungskosten [7.1+7.2+7.3]	dt			
7.1	Sortierung, Ein- und Auslagerung	€			343
7.2	Zinsverluste aus späteren Verkauf	€			70
7.3	Lagerverluste	€	7.038	5%	342
8	Abzüge Vermarktung	dt	3	12,54	38
9	Sonstige Kosten	€			103
10	Variable Maschinenkosten	€			811
11	**Variable Kosten** [4+5+6+7+8+9+10]				**4.796**
12	**Deckungsbeitrag I** [3-11]				**2.359**
13	Lohnansatz für nichtentlohne Arbeitskräfte	€	122	10	1.223
14	**Deckungsbeitrag II** [12-13]				**1.136**

€P ist abhänig vom Anteil schwerer Virosen

Menge Pflanzkartoffel = *FM*AP*
Menge Speisekartoffel = *FM*(1-AP-AF)*

$$PK = \left(\frac{€P_{Vorjahr}}{1{,}12} + Preisaufschlag\right) * 1{,}7 * 1{,}10 + 1{,}2$$

$$Zinsen = 1980 * (1+i)^{\frac{LD}{12}} - 1$$

$$Zinsverluste = FM * €S * (1 - PD_0) * (1 - MA_{us}) * (1+i)^{\frac{LD}{12}} - 1$$

$$Lagerverluste = VE * FM + LS * FM * 0{,}75 + VA * \frac{FM + (1-LS) * FM * 0{,}75}{2} / FM$$

$$Menge\ Speisekartoffel * MA_S$$

Abbildung 18: Schema der Deckungsbeitragskalkulation

Quelle: Eigene Darstellung

Damit zum Beispiel zertifiziertes Pflanzgut erzeugt werden kann, benötigt man Basispflanzgut der Klasse E. In der Simulation leitet sich der Erzeugerpreis für Basispflanzgut der Klasse E aus dem Vorjahreserzeugerpreis für Z-Pflanzgut ab. In der Speisekartoffelproduktion wird unterstellt, dass der Anteil an zugekauftem Z-Pflanzgut nur 25% beträgt. Der Rest stammt aus eigenem Nachbau und wird mit dem Vorjahreserzeugerpreis für Speisekartoffeln bewertet. Die Prozentsätze orientieren sich an den Kalkulationen des LFL (2011).

Die Kosten für Pflanzgut, Düngung und Pflanzenschutz werden mit einem Kalkulationszinssatz von 4% verzinst.

Durch die Lagerung verschiebt sich der Zeitpunkt für den Zufluss an Liquidität. Die Zinsverluste, welche infolge der Lagerung entstehen, müssen geltend gemacht werden (SCHINDLER, 2010). Die Erzeugerpreise im Oktober liegen im Normalfall unter den kalkulierten Jahresdurchschnittspreisen (siehe Punkt 3.2.4). Dies wird mit dem Term ($1\text{-}PD_O$) korrigiert. Werden die Speisekartoffeln unsortiert direkt vom Feld verkauft, werden in der Regel zehn Prozent von der angelieferten Menge in Abzug gestellt ($1\text{-}MA_{US}$). Der daraus theoretisch erzielbare Erlös wird über die durchschnittliche Lagerungsdauer verzinst.

Die Lagerverluste setzen sich aus den Verlusten bei Ein- und Auslagerung sowie dem Lagerschwund zusammen. Der Lagerschwund wird nur zu 75% in Ansatz gebracht, da ein Teil der Ernte schon vor Ende der Lagerdauer verkauft wird. Der daraus resultierende Prozentsatz wird mit den Erlösen aus dem Kartoffelverkauf multipliziert.

Die Übergroßen Knollen werden in der Regel als Speisekartoffeln verkauft. Beim Verkauf ist es üblich, dass bei sortierter Ware fünf Prozent der gelieferten Menge abgezogen werden (MA_S). Auf die variablen Maschinenkosten, den Lohnansatz für nichtentlohnte Arbeitskräfte und die Kosten für Sortierung, Ein- und Auslagerung wird in Punk 3.2.11 im Detail eingegangen.

3.2 Datengrundlage

3.2.1 Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur

Wie bereits erwähnt, haben alle Witterungselemente einen unterschiedlich starken Einfluss auf den Ertrag der Kartoffeln (KUNZE, 2010). Aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit fließen in diesem Modell nur die Witterungselemente Niederschlagssumme (mm) und Durchschnittstemperatur (°C) ein. Als Bezugszeitraum für die Daten, wird der Zeitraum 15. Mai bis 15. Juli angenommen.

Die Daten stammen aus der Datenbank der Österreichischen Hagelversicherung und umfassen das gesamte Vermehrungsgebiet in Nieder- und Oberösterreich der Jahre 2007-2009. Die Daten wurden getrennt nach Postleitzahlen erhoben, um den regionalen Einfluss der Witterung auf den Ertrag erfassen zu können. Die Durchschnittstemperaturen und durchschnittlichen Niederschlagssummen sind in Abbildung 19 dargestellt. Im Vergleich zu den Jahren 2007 und 2008 war das Erntejahr 2009 relativ feucht und kühl.

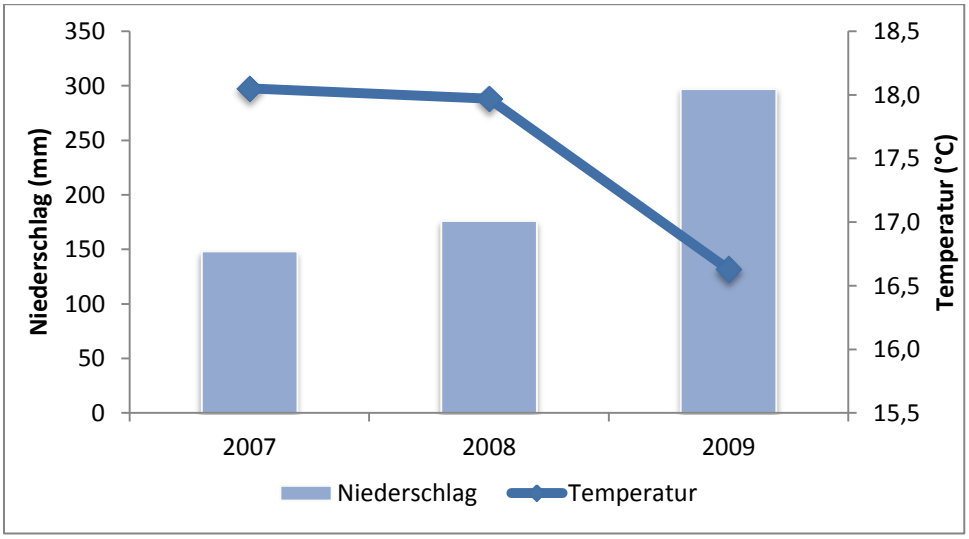

Abbildung 19: Durchschnittstemperaturen und durchschnittliche Niederschlagssummen der Erntejahre 2007 bis 2009

Quelle: verändert nach DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010)

Für die Simulation der Risikovariable *NS* (Niederschlagssumme) wird die *„Diskrete Verteilung“* herangezogen. Die *NS* variiert im Zeitraum 15. Mai bis 15. Juli zwischen 78 und 428 mm (Abbildung 20).

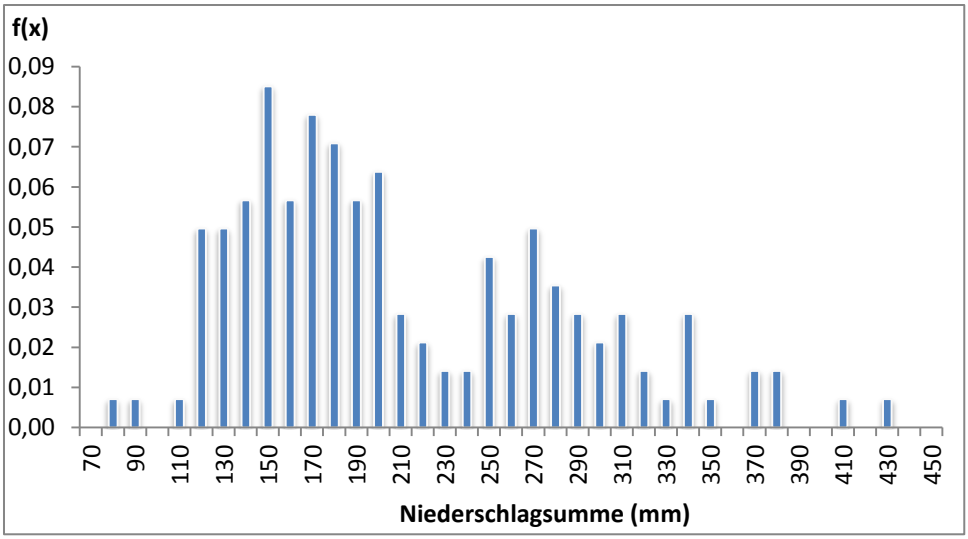

Abbildung 20: Dichtefunktion der Risikovariable Niederschlagssumme (mm)

Quelle: Eigene Darstellung

Die *DT* (Durchschnittstemperaturen) schwanken je nach Ort und Vegetationsjahr im Bereich von 14 bis 21 °C (Abbildung 21). Für die Simulation der Risikovariable *DT* wird die *„Dreiecksverteilung“* mit den Parametern a=15 m=17 und b=22 gewählt. Damit sich die Verteilungsfunktion besser an die Datenpunkte anpasst, wird der Modalwert um ein Grad Celsius niedriger gewählt.

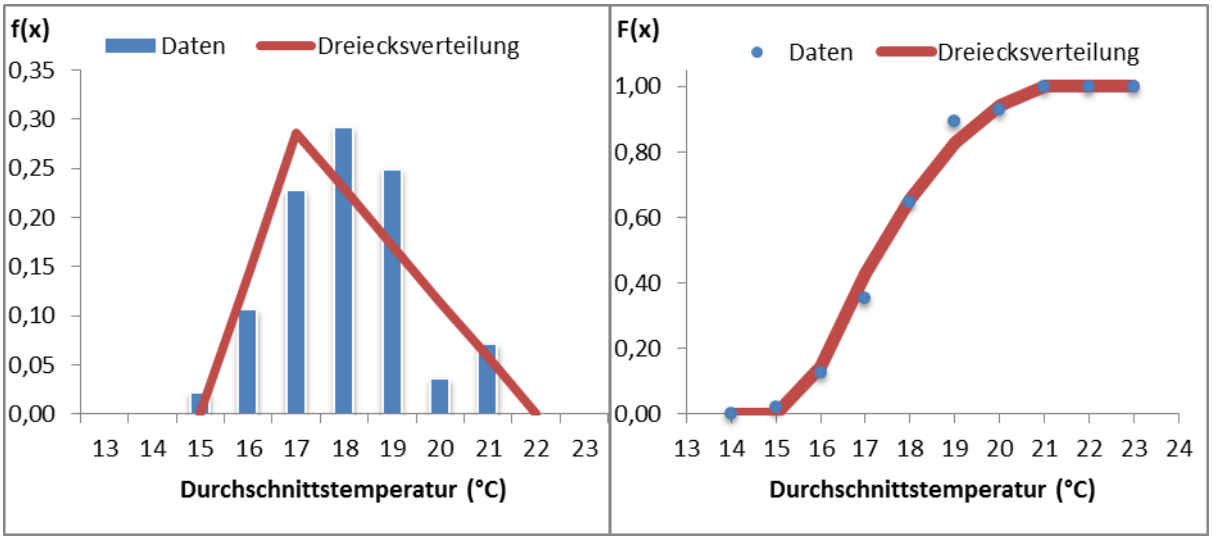

Abbildung 21: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Durchschnittstemperatur (°C)

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.2 Frischmasseerträge von Pflanz- und Speisekartoffeln

Abbildung 22 zeigt die durchschnittlichen Hektarerträge für biologisches und konventionelles Pflanzgut (Basispflanzgut der Klasse E und zertifiziertes Pflanzgut) im Zeitraum 2007-2009. Die Daten stammen von den jährlichen Mengenerhebungen, welche im Herbst von der NÖS durchgeführt werden. Somit stehen Daten von allen Vermehrungsvorhaben zur Verfügung. Im Zuge der Mengenerhebungen wird auch der Anteil an vermarktungsfähigen Pflanzkartoffeln geschätzt. Eine präzisere Aufspaltung in die Pflanzgutkategorien wird nicht durchgeführt, da sich die Hektarerträge zwischen den Kategorien kaum unterscheiden.

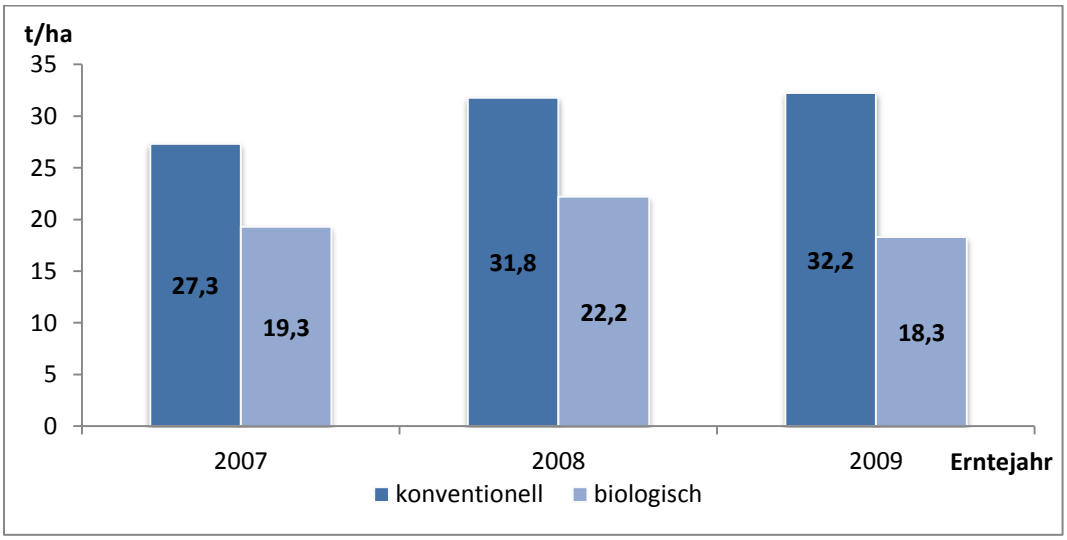

Abbildung 22: Durchschnittliche Hektarerträge für biologisches und konventionelles B- und Z-Pflanzgut, im Zeitraum 2007- 2009

Quelle: verändert nach NÖS (2010)

In Abbildung 23 sind die Hektarerträge des konventionellen Speisekartoffelbaus ersichtlich. Die Daten stammen von der *Statistik Austria* und beinhalten die durchschnittlichen Erträge der Jahre 2000-2010, der Bundesländer Ober-, Niederösterreich, Burgenland und Steiermark.

Die Datensätze der in Abbildung 22 und 23 gemittelten Daten werden herangezogen, um präzisere Verteilungsanalysen durchzuführen.

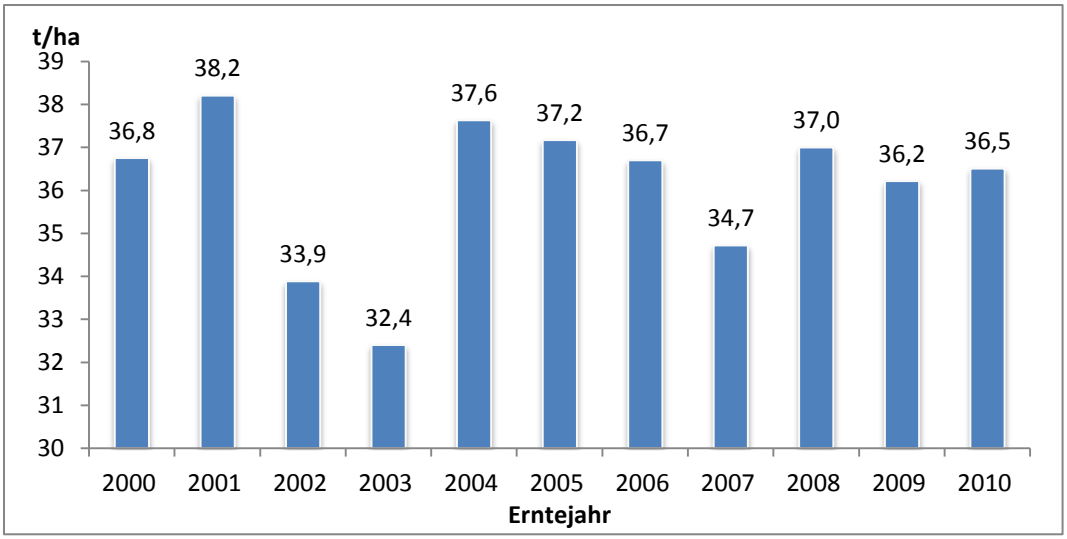

Abbildung 23: Durchschnittliche Hektarerträge im konventionellen Speisekartoffelbau, im Zeitraum 2000 bis 2010

Quelle: verändert nach STATISTIK AUSTRIA (2011)

3.2.2.1 Frischmasseertrag von konventionell produziertem Pflanzgut

Für die Risikovariable FM_{KP} (Frischmasseertrag konventionell produziertes Pflanzgut) (Abbildung 24), wird die Gammaverteilung mit den Parametern α=18 und ß=1,8 gewählt. Die Verteilung wird für die Pflanzgutkategorien E und Z verwendet, da beim Hektarertrag keine relevanten Unterschiede vorliegen. Die Hektarerträge schwanken zwischen 15 und 55 t. Der arithmetische Mittelwert liegt bei 32 t/ha. Aus der Abbildung geht hervor, dass die ausgewählte Verteilung die erhobenen Daten sehr gut simulieren kann.

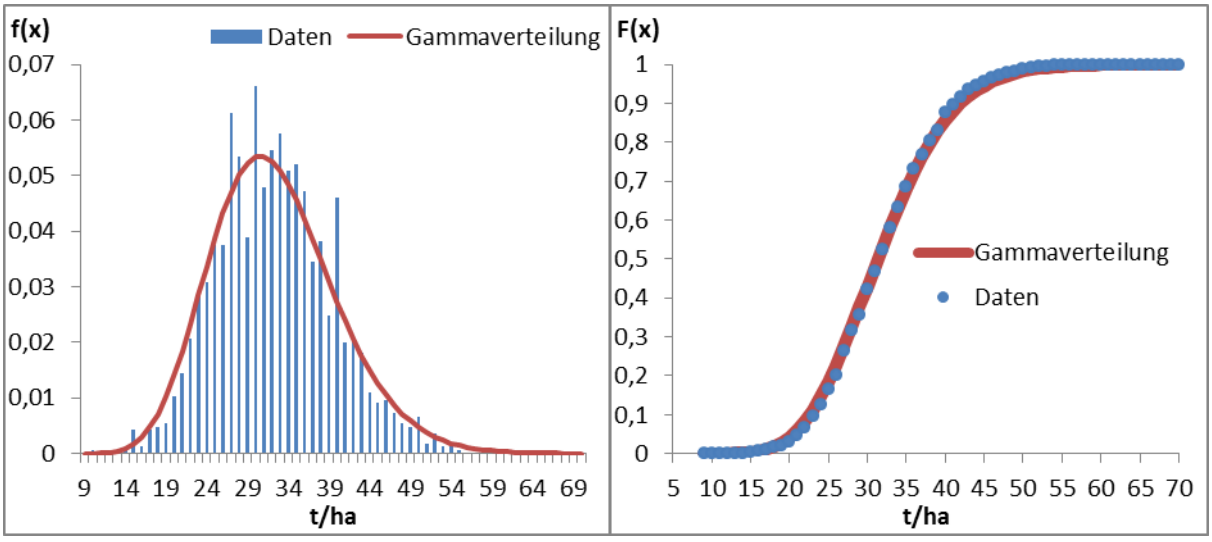

Abbildung 24: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Frischmasseertrag konventionell produziertes Pflanzgut (t/ha) der Kategorie E und Z

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.2.2 Frischmasseertrag von biologische produziertem Pflanzgut bzw. Speisekartoffeln

Die Verteilung der Risikovariable FM_{BP} (Frischmasseertrag biologisch produziertes Pflanzgut) ist in Abbildung 25 dargestellt. Die Hektarerträge schwanken zwischen 7 und 34 t pro Hektar. Zur Simulation der Verteilung wird die „*Normalverteilung*“ mit den Parametern μ=21 und σ=6,5 herangezogen. Die erzeugte Verteilung weicht nur geringfügig von den erhobenen Daten ab. Diese Verteilung wird auch für die Risikovariable FM_{BS} (Frischmasseertrag biologisch produzierte Speisekartoffeln) verwendet, da in der Produktionsrichtung *BS* kaum höherer Erträge erzielbar sind.

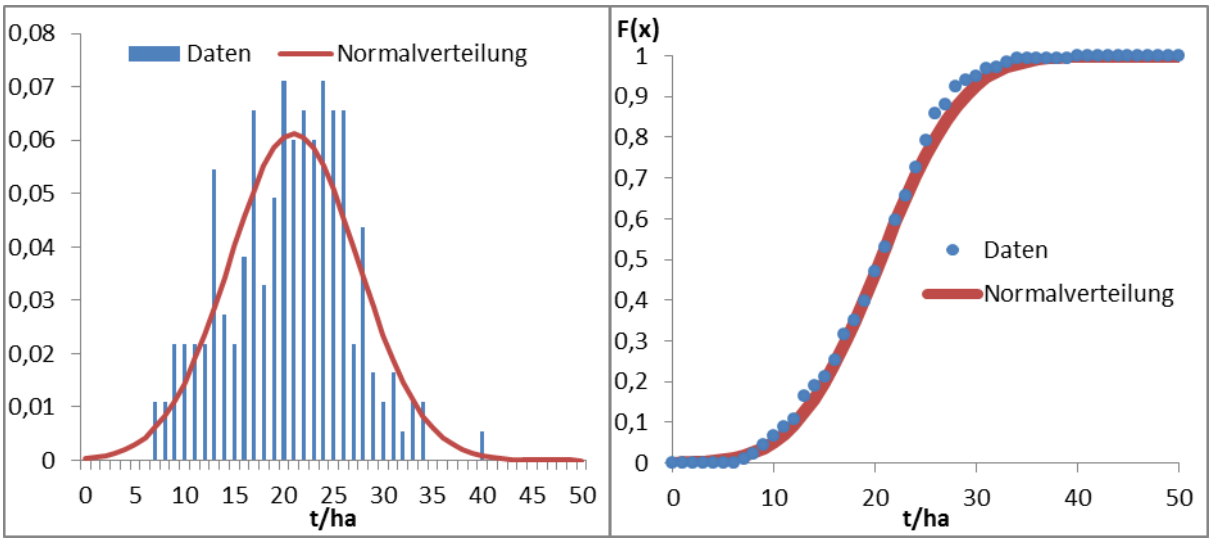

Abbildung 25: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Frischmasseertrag biologisch produziertes Pflanzgut (t/ha) bzw. Frischmasseertrag biologisch produzierte Speisekartoffeln (t/ha)

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.2.3 Frischmasseertrag von konventionell produzierten Speisekartoffeln

Für die Risikovariable FM_{KS} (Frischmasseertrag konventionell produzierte Speisekartoffeln) in Abbildung 26 wird eine „*Dreiecksverteilung*“ mit den Parametern a=26, m=38, b=50 zur Simulation verwendet. Um die genaue Verteilung der Erträge bestimmen zu können, standen zu wenige Daten zur Verfügung.

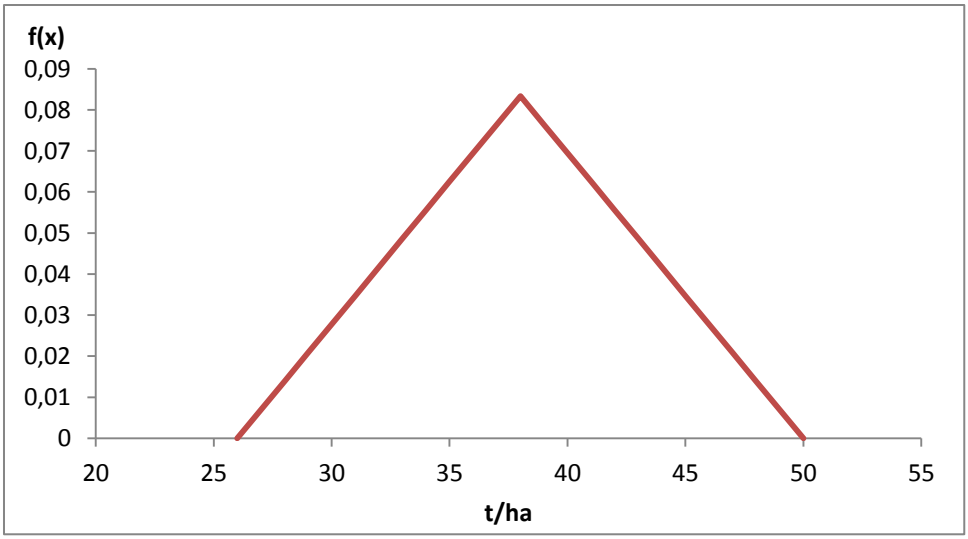

Abbildung 26: Dichtefunktion der Risikovariable Frischmasseertrag konventionell produzierte Speisekartoffeln (t/ha)

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.3 Vermarktungsfähiges Pflanzgut, Über- und Untergrößen

Abbildung 27 zeigt die durchschnittlichen Pflanzgutausbeuten der Erntejahre 2008 und 2009. Die Daten stammen wiederum von der NÖS und schließen alle anerkannten Pflanzgutpartien mit ein. Zwischen den einzelnen Erntejahren ist kaum ein Unterschied vorhanden. Im konventionellen Pflanzkartoffelbau liegen die Ausbeuten in beiden Jahren geringfügig unter jenen des biologischen Pflanzkartoffelbaus. Auch in dieser Abbildung sind die Ausbeuten von allen Pflanzgutkategorien zusammengefasst, da ebenfalls keine großen Unterschiede feststellbar sind.

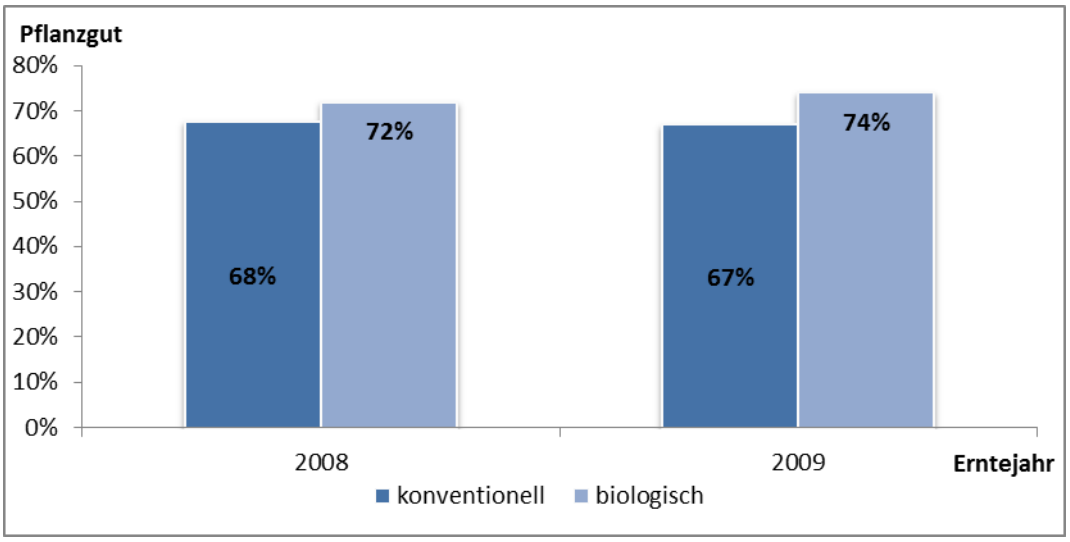

Abbildung 27: Vermarktungsfähige Pflanzkartoffeln für biologisches und konventionelles V-, B- und Z-Pflanzgut, der Jahre 2008 und 2009

Quelle: verändert nach NIEDERÖSTERREICHISCHE SAATBAUGENOSSENSCHAFT (2010)

In Jahren mit Pflanzgutknappheit kann es durchaus vorkommen, dass auch ein Teil der Unter- bzw. Übergrößen als Pflanzgut verkauft wird. Dies findet in den Berechnungen aber keine Berücksichtigung.

Der Anteil der unter- bzw. übergroßen Kartoffeln wird bei den Mengenerhebungen der NÖS nicht separat erfasst, sondern es muss auf Werte aus der Literatur zurückgegriffen werden. MECHTLER (2002) erhob die Sortieranteile bei frühen und mittelfrühen Speisesorten aus 22 Einzelversuchen und ermittelte bei den Untergrößen (<35 mm im Quadratmaß) je nach Sorte einen Anteil von 2 bis 12 Prozent. Die Übergrößen werden kalkulatorisch durch Subtraktion ermittelt ($\%\ \ddot{U}bergr\ddot{o}\ss en = 100\% - (\%\ Untergr\ddot{o}\ss en + \%\ Pflanzgut)$).

3.2.3.1 Ausbeute Pflanzkartoffeln konventionell

Abbildung 28 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable AP_{KP} (Ausbeute Pflanzkartoffeln konventionell). Aus der Abbildung geht hervor, dass sich die Weibullverteilung mit den Parametern b=12,3 und T=69,4 sehr gut an die erhobenen Daten annähert und diese nur im oberen Bereich Abweichungen aufweist. Der Anteil an vermarktungsfähigen Pflanzkartoffeln schwankt zwischen 47 und 91 Prozent. Die Verteilung wird für die Produktionsverfahren *KPE* und *KPZ* verwendet.

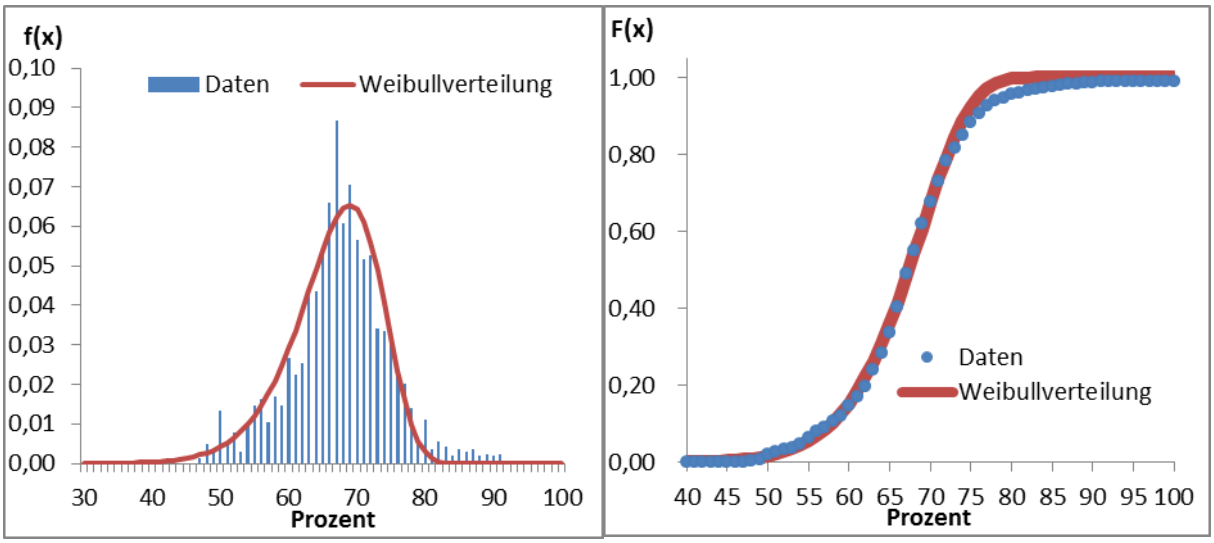

Abbildung 28: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Ausbeute Pflanzkartoffeln konventionell (%), der Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E und Z

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.3.2 Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch

Abbildung 29 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable AP_{BP} (Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch). Zur Simulation dieser Risikovariable wurde die „*Dreiecksverteilung*“ mit den Parametern a=55, m=70 und b=95 gewählt, da diese Verteilung die erhobenen Datenpunkte am exaktesten simulieren kann. Im unteren Bereich werden die Pflanzgutausbeuten von der Verteilung geringfügig unterschätzt, im oberen Bereich etwas überschätzt. Der Anteil an vermarktungsfähigen Pflanzkartoffeln schwankt zwischen 50 und 95 Prozent.

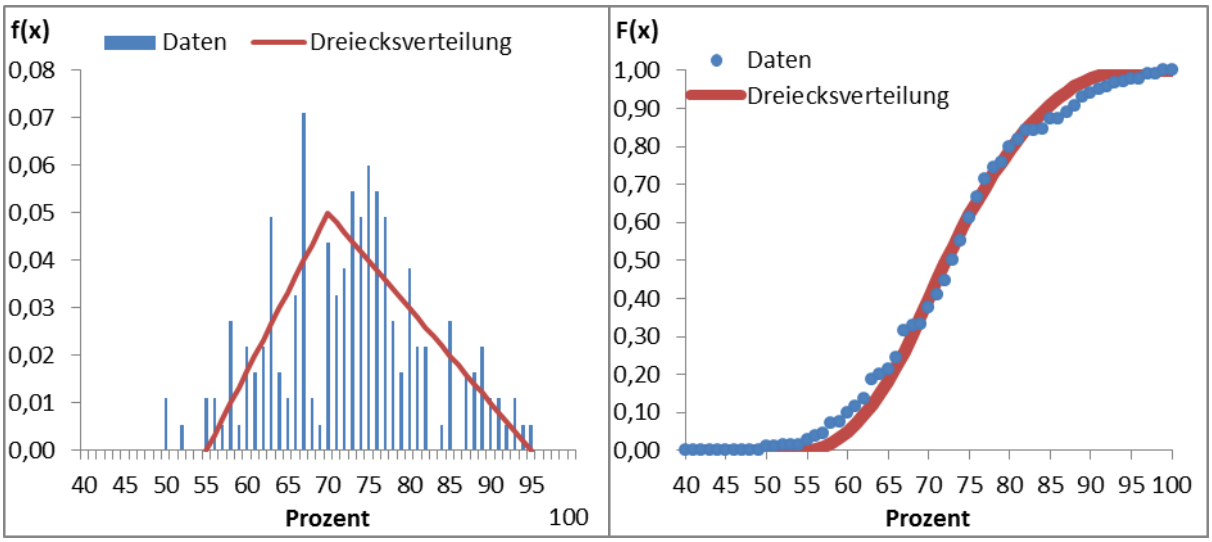

Abbildung 29: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch (%)

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.3.3 Anteil an Futterkartoffeln

In Abbildung 30 ist die Dichtefunktion für die Risikovariable *AF* (Anteil Futterkartoffeln) ersichtlich. Mangels Daten wird für diese Verteilung die Dreiecksverteilung mit den Parametern a=2, m=5, b=12 ausgewählt, welche sich an den Untersuchungsergebnissen von MECHTLER (2002) orientiert. Diese Verteilung wird für die Simulation der Produktionsverfahren *KPE*, *KPZ*, *BPZ*, *KS* und *BS* verwendet.

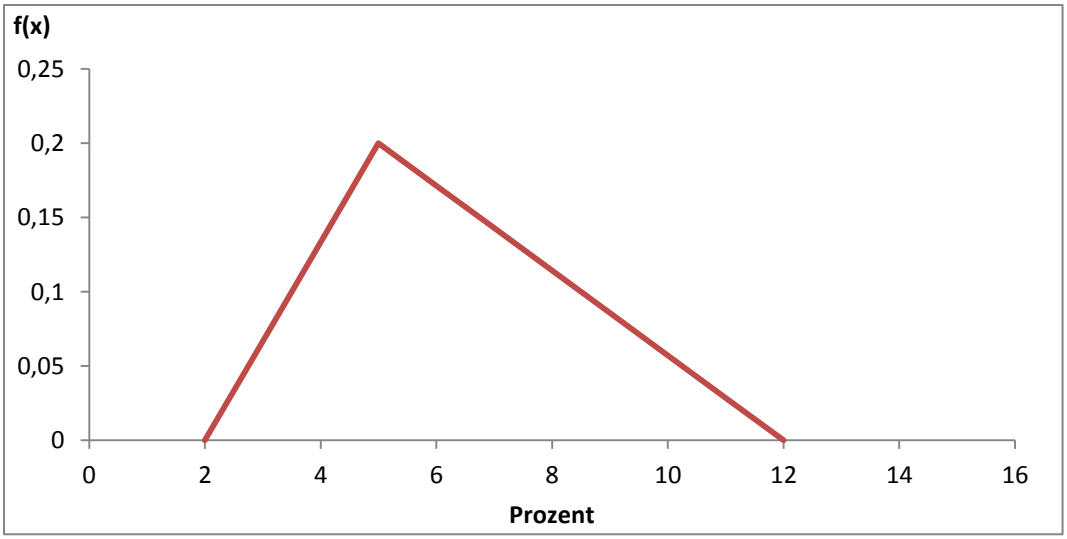

Abbildung 30: Dichtefunktion der Risikovariable Anteil Futterkartoffeln (%) für alle simulierten Produktionsverfahren

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.4 Erzeugerpreise

Abbildung 31 zeigt die historische Preisverläufe der Bruttoerzeugerpreise für Früh- und Speisesorten bzw. Verarbeitungs- und Stärkesorten. Die NÖS setzt jeweils einen Herbst- und Frühjahrspreis fest, der sich an den allgemeinen Konsum- bzw. Industriekartoffelpreisen orientiert. Aus der Abbildung geht hervor, dass die Erzeugerpreise für Früh- und Speisesorten tendenziell höher liegen als die für Verarbeitungs- und Stärkesorten. Für die Kalkulation werden nur die Erzeugerpreise der Früh- und Speisesorten herangezogen, da sich bei den Stärkesorten das Bezahlsystem stark von den Früh- und Speisesorten unterscheidet.

Der Erzeugerpreis für Basispflanzgut der Klasse E liegt generell um 1,50 €/dt (exkl. MwSt.) über dem Erzeugerpreis von Z-Pflanzgut, der von Basispflanzgut der Klasse SE liegt um 3,00 €/dt (exkl. MwSt.) darüber.

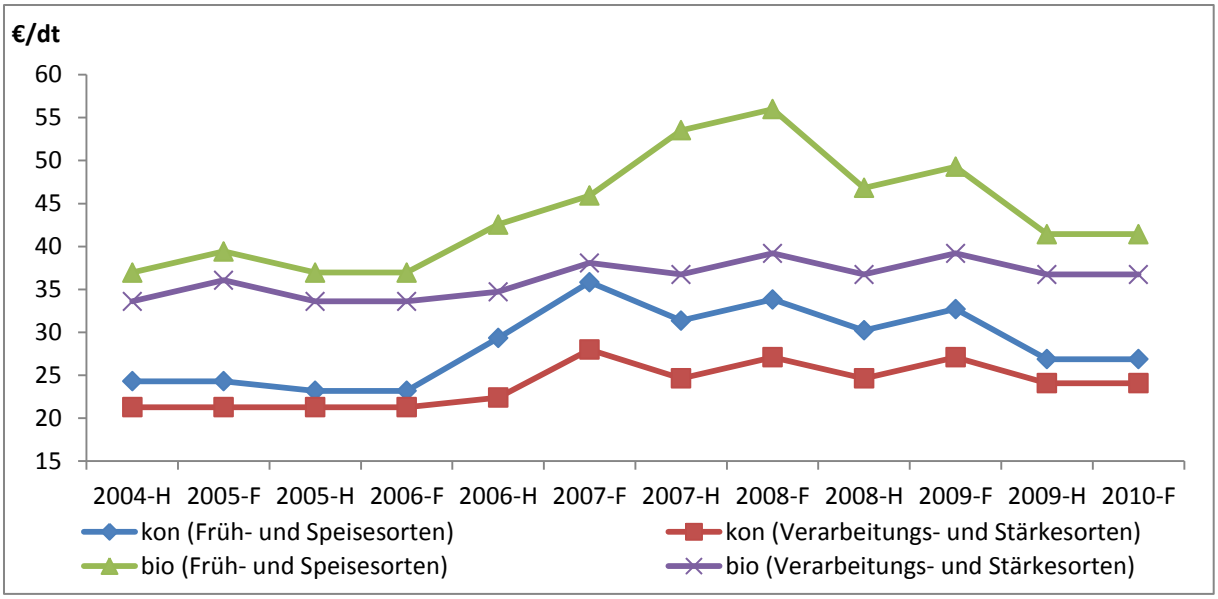

Abbildung 31: Erzeugerpreise für biologisches und konventionelles Z-Pflanzgut von Früh- und Speisesorten und Verarbeitungs- und Stärkesorten, im Zeitraum 2004 bis 2010

Quelle: verändert nach NIEDERÖSTERREICHISCHE SAATBAUGENOSSENSCHAFT (2010)

In Abbildung 32 sind die historischen Preisverläufe der Bruttoerzeugerpreise für biologische und konventionelle Speisekartoffeln ersichtlich. Die Preise repräsentieren Durchschnittswerte für den Herbst bzw. das Frühjahr. Aus der Abbildung geht hervor, dass die Frühjahrspreise tendenziell höher sind. Vor allem der Biospeisekartoffelmarkt wies in der Vergangenheit hohe Volatilitäten auf. Die Erzeugerpreise schwankten zwischen 32 und 70 €/dt. In der konventionellen Speisekartoffelproduktion fielen die Preisschwankungen nicht so stark aus. Hier schwankten die Bruttoerzeugerpreise im Zeitraum 2007-2011 zwischen 8,5 und 29,5 €/dt (DEUTSCHER BAUERNVERBAND, 2010, SCHILDBÖCK, 2011).

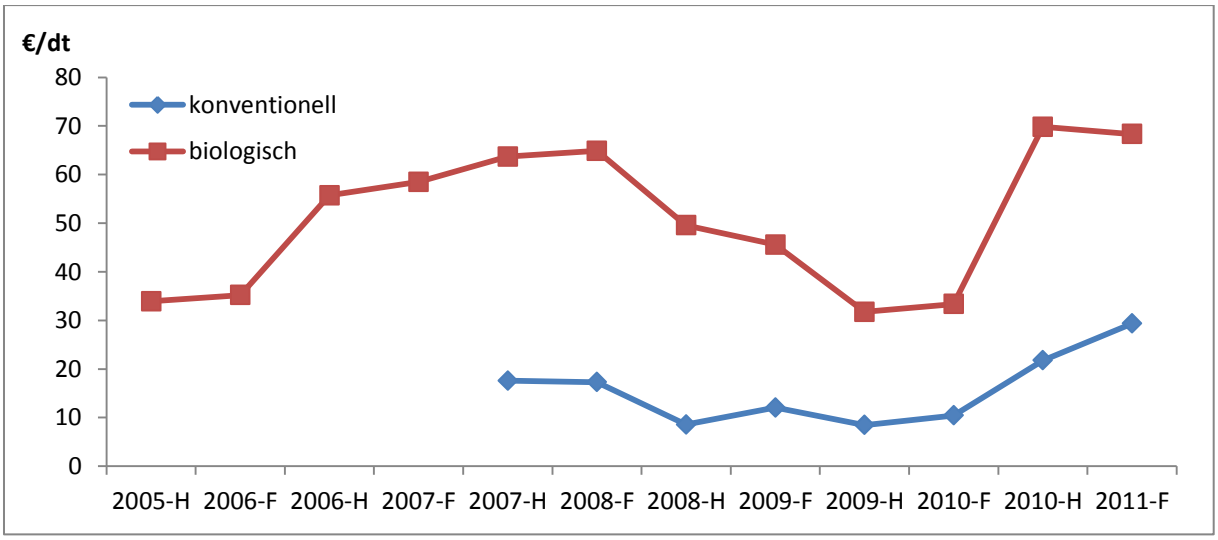

Abbildung 32: Bruttoerzeugerpreise für biologische und konventionelle Speisekartoffeln, im Zeitraum 2005 bis 2011

Quelle: verändert nach DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2010) und SCHILDBÖCK (2011)

In Anlehnung an Abbildung 31 und 32 wird für die Bruttoerzeugerpreise von Pflanz- und Speisekartoffeln eine Gleichverteilung angenommen. Die Minimal- und Maximalwerte sind in Tabelle 7 aufgelistet. Im Modell wird mit einem Durchschnittspreis kalkuliert, der sich zu 25% aus dem Herbstpreis und 75% aus dem Frühjahrspreis zusammensetzt. Der Frühjahrspreis bekommt eine höhere Gewichtung, da der Großteil des Pflanzgutes in den Monaten März und April vermarktet wird.

Tabelle 7: Minimal- und Maximalwerte der Gleichverteilungen für die Bruttoerzeugerpreise von biologischen und konventionellen Pflanz- und Speisekartoffeln

Produktionsrichtung	Einheit	Minimum	Maximum
KPZ (Früh- und Speisesorten)	dt	23,20 €	34,20 €
KPE (Früh- und Speisesorten)	dt	24,88 €	35,88 €
BPZ (Früh- und Speisesorten)	dt	37,00 €	55,40 €
Konventionelle Speisekartoffelproduktion	dt	10,00 €	27,50 €
Biologische Speisekartoffelproduktion	dt	33,00 €	68,70 €

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.5 Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten bei konventionellen und biologischen Pflanzkartoffeln der Jahre 2007-2009. Diese Daten stammen ebenfalls aus Aufzeichnungen der NÖS. Bei biologischem Z-Pflanzgut sind die Anerkennungsraten geringfügig höher als bei konventionellen Z-Pflanzgut. Vergleiche bei Basispflanzgut sind nicht sinnvoll, da beim biologischen Basispflanzgut zu wenige Testergebnisse vorliegen. Jahresvergleiche in den Pflanzgutkategorien zeigen, dass die Aberkennungsquoten von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken können. Auffällig viele Aberkennungen gab es im Erntejahr 2008.

Tabelle 8: Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten bei konventionellen und biologischen Pflanzkartoffeln der Kategorien B/SE, B/E und Z

Anerkennungsergebnisse (%)									
konventionell									
	B/SE			**B/E**			**Z**		
	2007	**2008**	**2009**	**2007**	**2008**	**2009**	**2007**	**2008**	**2009**
Mit Erfolg anerkannt	99	96	100	93	89	98	86	77	99
Davon stufengerecht	79	56	92	73	60	93	86	77	99
Davon abgestuft	21	40	8	20	29	5	0	0	0
Ohne Erfolg anerkannt	1	4	0	7	11	2	14	23	1
Testanzahl	117	135	110	96	122	107	629	606	615
biologisch									
	B/SE			**B/E**			**Z**		
	2007	**2008**	**2009**	**2007**	**2008**	**2009**	**2007**	**2008**	**2009**
Mit Erfolg anerkannt	100	86	100		100		90	95	100
Davon stufengerecht	71	29	100		71		90	95	100
Davon abgestuft	29	57	0		29		0	0	0
Ohne Erfolg anerkannt	0	14	0		0		10	5	0
Testanzahl	7	7	4		7		79	75	92

Quelle: verändert nach NIEDERÖSTERREICHISCHE SAATBAUGENOSSENSCHAFT (2010)

Abbildung 33 zeigt die Dichtefunktionen der Risikovariablen *ASV* (Anteil schwerer Virosen) für die Produktionsverfahren *KPE*, *KPZ* und *BPZ*. Zur Simulation der Daten wird die „*Diskrete Verteilung*“ herangezogen. Die genauen Parameter für jedes Produktionsverfahren werden in Tabelle 18 bis Tabelle 22 (Anhang Punkt 12.7) beschrieben.

Für die Simulation werden nur die schweren Virosen berücksichtigt, da im Falle einer Aberkennung hauptsächlich dieser Grenzwert überschritten wird. Aus der Abbildung geht hervor, dass die meisten Proben einen relativ geringen Anteil mit schweren Virosen aufweisen. Die Wahrscheinlichkeit für eine höhere Virusbelastung ist relativ gering.

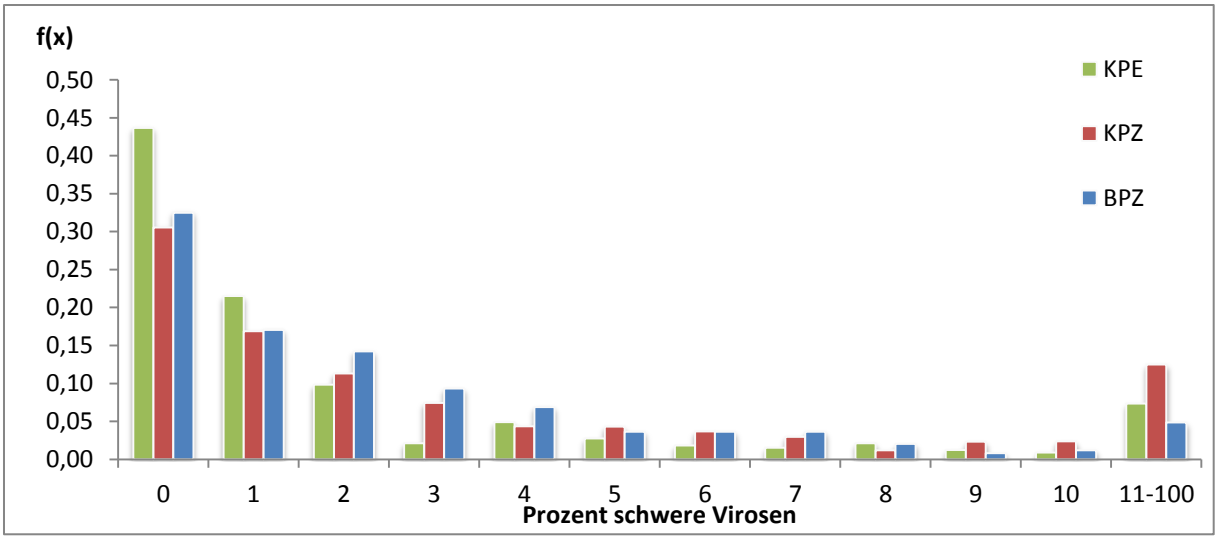

Abbildung 33: Dichtefunktion der Risikovariable Anteil schwerer Virosen (%) der Produktionsverfahren KPE, KPZ und BPZ

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.6 Pflanzgutbedarf und Pflanzgutkosten

Der erforderliche Pflanzgutaufwand kann in Abhängigkeit von der mittleren Knollengröße innerhalb sehr großer Grenzen schwanken (SCHUHMANN, 1997a). Im Rahmen der Interviews wurde diese Problematik von den Landwirten bestätigt. Abbildung 34 zeigt die Dichtefunktionen der Risikovariablen PA_P (Pflanzgutaufwand Pflanzkartoffeln) bzw. PA_S (Pflanzgutaufwand Speisekartoffeln). Die Dreiecksverteilungen für biologisch und konventionell produzierte Pflanz- und Speisekartoffeln orientieren sich an SCHUHMANN (1997a). Die Risikovariable PA_P mit den Parametern a=20, m=35, b=40 wird in den Simulationen der Produktionsverfahren *KPE*, *KPZ* und *BPZ* integriert. Die Produktionsverfahren *KS* und *BS* verwenden die Risikovariable PA_S, mit den Parametern a= 17, m=28 und b=35. Aufgrund mangelnder Daten wird zwischen der biologischen und konventionellen Produktionsweise keine Unterscheidung durchgeführt.

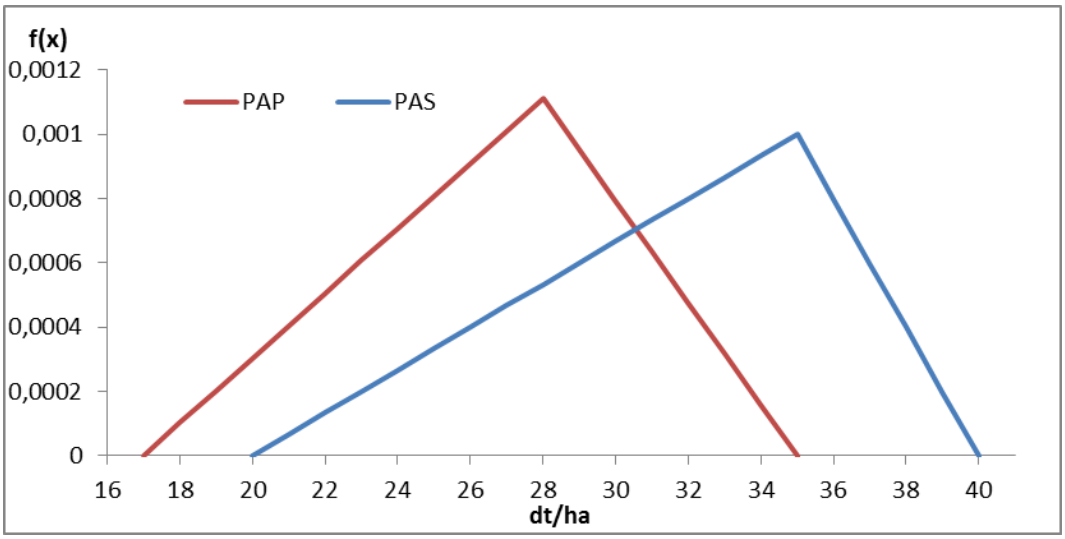

Abbildung 34: Dreiecksverteilungen des Pflanzgutaufwandes für biologische und konventionelle Pflanz- und Speisekartoffeln

PAP…Pflanzgutaufwand Pflanzkartoffeln; PAS…Pflanzgutaufwand Speisekartoffeln

Quelle: Eigene Darstellung

Die Pflanzgutkosten für Basis-, Elite- bzw. Superelitesaatgut orientieren sich bei der NÖS am Erzeugerpreis, der im Herbst bzw. Frühjahr festgelegt wird. Der festgelegte Erzeugerpreis wird mit dem Faktor 1,7 multipliziert, wobei für Fracht bzw. Verpackung zusätzlich ein Preisaufschlag von einem Euro pro Dezitonne (exkl. MwSt.) miteinbezogen wird.

Weiter wird in der Kalkulation angenommen, dass die Pflanzkartoffeln mit dem Beizmittel „*Monceren G*“ gebeizt werden. Die Kosten für das Beizmittel belaufen sich auf 5,51 €/dt Pflanzgut.

3.2.7 Kosten der Düngung

In Abbildung 35 sind die Bruttopreise pro kg für die Reinnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P_2O_5) und Kalium (K_2O) ersichtlich. Der Düngemittelmarkt ist hohen Volatilitäten unterworfen. Starke Preisanstiege sind vor allem in den Jahren 2008 und 2009 ersichtlich, welche sich 2010 aber wieder normalisieren. Für das Jahr 2011 ist mit steigenden Nährstoffpreisen zu rechnen (SPRINGER, 2011).

Für Stickstoff erstrecken sich die Kosten zwischen 0,74 und 1,62 €/kg, für Phosphat zwischen 1,01 und 2,10 €/kg und für Kalium zwischen 0,66 und 1,24 €/kg (BAUERNZEITUNG, 2009, BUNDESANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT, 2011).

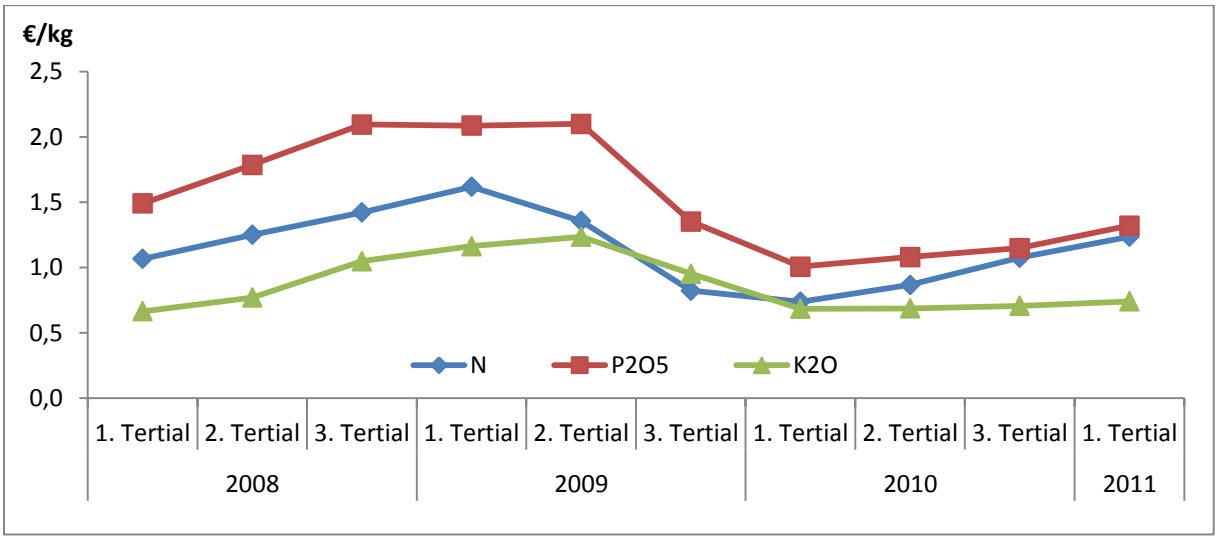

Abbildung 35: Reinnährstoffkosten in €/kg für Stickstoff, Phosphor und Kalium

Quelle: verändert nach BAUERNZEITUNG (2009) und BUNDESANSTALT FÜR AGRARÖKONOMIK (2011)

Im ökologischen Landbau beruht die N-Versorgung hauptsächlich auf der Stickstofffixierung mit Leguminosen, da synthetische Mineraldünger nicht erlaubt sind und zugelassene Handelsdünger aufgrund ihres Preises nur selten eingesetzt werden. Um den Betriebswert von Stickstoff zu ermitteln, kann man sich verschiedener Bewertungsverfahren bedienen (BRÖTER, 2007). Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Stickstoffbewertung mit Hilfe des Herstellungswertes.

Es wird angenommen, dass der Betrieb zur Stickstoffgewinnung einjähriges Kleegras und eine legume Zwischenfrucht anbaut. Das Kleegras wird in die Vorfrucht der Kartoffel als Untersaat eingesät und nach deren Ernte gemulcht. Der Nettoertrag an Stickstoff beträgt etwa 172 kg/ha und Jahr. Wenn die Vollkosten 241 €/ha betragen, ergibt sich ein

Stickstoffherstellungswert von 1,35 €/kg N (BRÖTER, 2007).

Mit der legumen Zwischenfrucht wird ein N-Eintrag von 40 kg/ha erreicht. Die Gesamtkosten für ein Untersaatverfahren belaufen sich auf 223 €/ha. Somit ergibt sich ein Stickstoffherstellungswert von 5,58 €/kg N.
Das Kleegras trägt etwa 80% zur Stickstoffversorgung bei, die legume Zwischenfrucht etwa 20%. Das gewichtete Mittel der beiden Herstellungswerte beträgt 2,19 €/kg N (BRÖTER, 2007).

Die Zusammensetzung der Entzugswerte wurde in Kapitel 2.1.3 ausführlich behandelt. Für Stickstoff betragen diese 0,43 kg/dt, für Phosphor (P_2O_5) 0,17 kg/dt und für Kalium (K_2O) 0,72 kg/dt. In Tabelle 9 sind die kalkulatorischen Nährstoffentzüge pro Hektar für Stickstoff, Phosphor und Kalium ausgewiesen. Die angenommenen Zielerträge liegen um 10% über den Durchschnittswerten aus Kapitel 3.2.2.

Tabelle 9: Nährstoffentzüge pro Hektar bei gegebenem Zielertrag für ausgewählte Produktionsrichtungen

Bezeichnung	Zielertrag (dt)	N (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
Pflanzkartoffel (konventionell)	350	150 (125)	60	252
Pflanzkartoffel (biologisch)	220	95	38	159
Speisekartoffel (konventionell)	400	172 (150)	68	288
Speisekartoffel (biologisch)	220	95	38	159
() Stickstoffobergrenzen im ÖPUL 2007 bei gegebener Ertragslage				

Quelle: verändert nach INCONA (2008); LFI (2007); WÖLFEL et al. (2010)

Zur Simulation der Risikovariable *NPK* (Düngekosten pro Hektar) wird eine Gleichverteilung angenommen. Die Düngekosten leiten sich aus dem Reinnährstoffbedarf (Tabelle 9) und den Reinnährstoffkosten (Abbildung 35) ab. Die Minimal- und Maximalwerte für das entsprechende Produktionsverfahren sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Minimal- und Maximalwerte der Gleichverteilungen für die Risikovariable Düngekosten pro Hektar (€) der Produktionsverfahren KPE, KPZ, KS, BPZ, BS

Produktionsverfahren	Einheit	Minimum	Maximum
Konventionelle Pflanzkartoffelproduktion	€/ha	330	630
Biologische Pflanzkartoffelproduktion	€/ha	360	480
Speisekartoffelproduktion konventionell	€/ha	390	740
Speisekartoffelproduktion biologisch	€/ha	360	480

Quelle: Eigene Darstellung

3.2.8 Kosten für den Pflanzenschutz

Die Einkaufspreise für die benötigten Pflanzenschutzmittel stammen vom Raiffeisen-Lagerhaus Zwettl. Die historischen Preisverläufe bei den gängigen Kartoffelfungiziden zeigen eine jährliche Teuerungsrate von 2 bis 13%. Aufgrund dieser Tatsache wird in der Arbeit mit den Pflanzenschutzmittelpreisen des Frühjahrs 2011 kalkuliert. Da bei den Fungiziden und Insektiziden aufgrund des Wirkstoffwechsels verschiedene Präparate zum Einsatz kommen, wird in der Kalkulation für jede Gruppe ein Durchschnittspreis aus den geläufigsten Präparaten gebildet. Es werden folgende Annahmen gemacht:

In der konventionellen Kartoffelproduktion erfolgt zu Beginn der Vegetation eine einmalige Herbizidbehandlung mit dem Präparat „*Artist*“. Die Kosten für die Pflanzenschutzmaßnahme belaufen sich auf 79,25 €/ha.

Die durchschnittlichen Kosten für eine Fungizidbehandlung liegen bei 29,36 €/ha, für eine Insektizidbehandlung bei 21,49 €/ha. Wie oft in der Pflanzkartoffelproduktion eine Applikation erforderlich ist, wurde direkt bei den Landwirten, bzw. aus Daten des Pflanzenschutzwarndienstes ISIP erhoben. Je nach Jahr und Umweltbedingungen sind 2 bis 6 Fungizidmaßnahmen nötig. Eine Applikation mit Insektiziden wird im Schnitt 2- bis 7-mal durchgeführt. Insofern es möglich ist, erfolgen die Insektizid- und Fungizidbehandlungen kombiniert.

Im Speisekartoffelbau wird aufgrund der längeren Vegetationsperiode mit 4 bis 8 Fungizidmaßnahmen kalkuliert. Der Insektizideinsatz beschränkt sich meist auf ein bis drei Behandlungen. Für die weiteren Berechnungen wird mit zwei Insektizidmaßnahmen kalkuliert. Als Datengrundlage dienten ebenfalls Aufzeichnungen des Pflanzenschutzwarndienstes ISIP.

Die Sikkation erfolgt in der konventionellen Pflanzkartoffelproduktion jeweils mit 3 lt/ha „*Reglone*“ (67,10 €/ha) und 3 bis 5 Tage später nochmals mit 1 l/ha „*Shark*“ (75,68 €/ha). In der konventionellen Speiskartoffelproduktion werden nur 2,5 lt/ha „*Reglone*“ (44,73 €/ha) appliziert, da das Kraut nicht vollkommen abgetötet werden muss.

Abbildung 36 zeigt die Dichtefunktionen der Risikovariablen APP_F (Pflanzenschutzmittelapplikationen Fungizid) bzw. APP_I (Pflanzenschutzmittelapplikationen Insektizid) der jeweiligen Produktionsverfahren. Zur Simulation dieser Risikovariablen wird wiederum die „*Diskrete Verteilung*“ eingesetzt. Applikationen mit Insektiziden erfolgen im Normalfall in Kombination mit der Fungizidbehandlung.

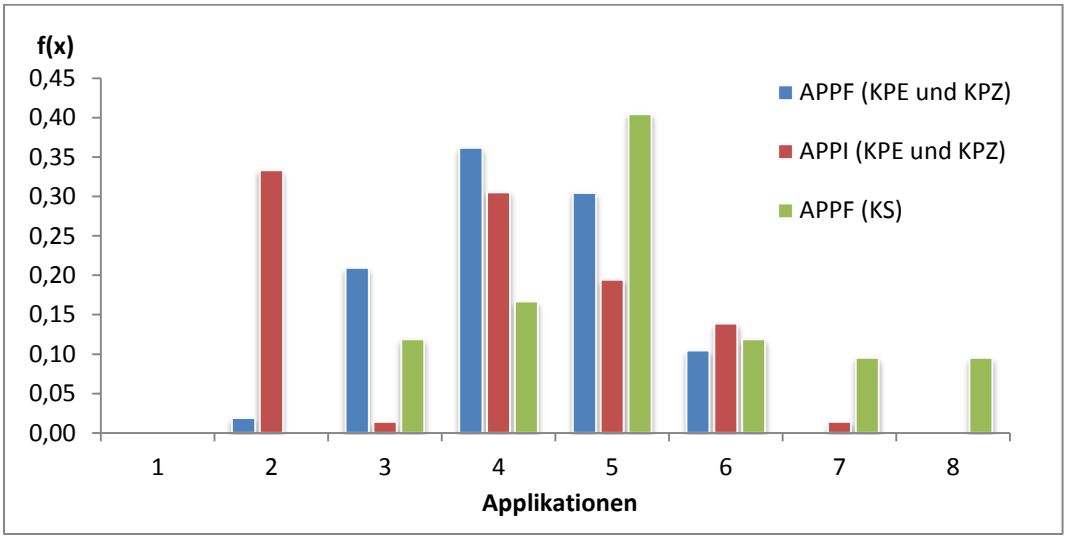

Abbildung 36: Dichtefunktion der Risikovariable Pflanzenschutzmittelapplikationen Fungizid (Anzahl) bzw. Pflanzenschutzmittelapplikationen Insektizid (Anzahl) der Produktionsverfahren KPE, KPZ und KS

Quelle: Eigene Darstellung

Im biologischen Kartoffelbau ist man in der Präparatauswahl stark eingeschränkt. Gegen Kraut- und Knollenfäule wird das Präparat „*Cuprozin flüssig*“ (2 lt/ha) eingesetzt. Für eine Applikation belaufen sich die Kosten auf 60,64 €/ha. Es werden drei Fungizidapplikationen durchgeführt, wobei die gesetzliche Obergrenze von 2 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr nicht überschritten wird. Gegen den Kartoffelkäfer erfolgt eine einmalige Applikation mit dem Präparat „*NeemAzal- T/S*“ (2,5 lt/ha). Die Kosten für eine Spritzung belaufen sich auf 170,73 €/ha.

3.2.9 Lagerkosten

Die mit der Lagerung verbundenen Kosten lassen sich in zwei Kostengruppen unterteilen. Kostengruppe eins stellt das Kartoffellager dar. Darunter fallen die Kosten des Kartoffellagers (Abschreibung, Zinsanspruch und Reparaturen) sowie die Betriebskosten des Lagers während der Lagerung. Diese Kostengruppe wird in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Die zweite Kostengruppe steht mit dem Produkt Kartoffel im Zusammenhang. Darunter fallen Kosten für das Produkthandling (Ein und Auslagerung), Zinsverluste aufgrund eines späteren Verkaufs und Kosten durch Substanzverluste (SCHINDLER, 2010).

Wer direkt bei der Ernte verkauft, bekommt sein Geld in der Regel vier bis acht Wochen später auf sein Konto überwiesen. Aufgrund der Lagerung verschiebt sich der Zeitpunkt für den Zufluss an Liquidität durch die Verkaufserlöse (SCHINDLER, 2010). Ausgangsbasis für die Kalkulation dieser Kostenposition bildet der durchschnittliche Bruttoerlös (bei einem Marktwareanteil von 90%) im Oktober des jeweiligen Erntejahres. Im Zeitraum 2007-2010 lagen die Erzeugerpreise für konventionelle Speisekartoffeln im Oktober durchschnittlich um 16% unter den kalkulierten Jahresdurchschnittspreisen (siehe Punkt 3.2.4). Bei biologisch erzeugten Speisekartoffeln lagen die Erzeugerpreise jedoch nur um 2,5% unter dem Jahresdurchschnittspreis. Die Kosten für die Lohnsortierung werden vernachlässigt, da sie nicht immer in Rechnung gestellt werden. Dieser Betrag wird mit einem Zinssatz von 4% über die Lagerungsperiode verzinst. Die durchschnittliche Lagerungsdauer wird mit 6,5 Monaten angenommen.

Bei einer durchschnittlichen Lagerungsdauer von 6,5 Monaten wird, wie in Kapitel 2.1.9 erläutert, ein Schwund von 4,8% angenommen. Üblicherweise werden aber nicht alle Pflanzkartoffeln bis in den April hinein gelagert. Ein Teil der Vermarktung erfolgt schon im Herbst und der Rest wird im Frühjahr kontinuierlich vermarktet. Deshalb werden die Lagerverluste nur für 75% der Rohware in Abzug gestellt. Zusätzlich werden für die Einlagerung 0,9%, für die Auslagerung 0,7% Verlust veranschlagt.
Die monetäre Bewertung der Verluste erfolgt wiederum mit den Bruttoerzeugerpreisen.
Als letzte der oben genannten Positionen sind die variablen Kosten der Eigensortierung und für die Ein- und Auslagerung zu berücksichtigen (SCHINDLER, 2010) diese werden nach den ÖKL-Richtlinien ermittelt.

3.2.10 Treibstoffkosten

Abbildung 37 zeigt die durchschnittlichen monatlichen Dieselpreise für den Zeitraum Jänner 2007 bis April 2011. Die Daten stammen aus Aufzeichnungen der ARBEITERKAMMER (2010), der BUNDESANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT (2011) und des ÖAMTC (2011). Die Simulation der Risikovariable *TK* (Treibstoffkosten pro Liter) erfolgt mit Hilfe der „*Gleichverteilung*“, wobei für den Minimalwert a=0,93 eingesetzt wird und für den Maximalwert b=1,42.

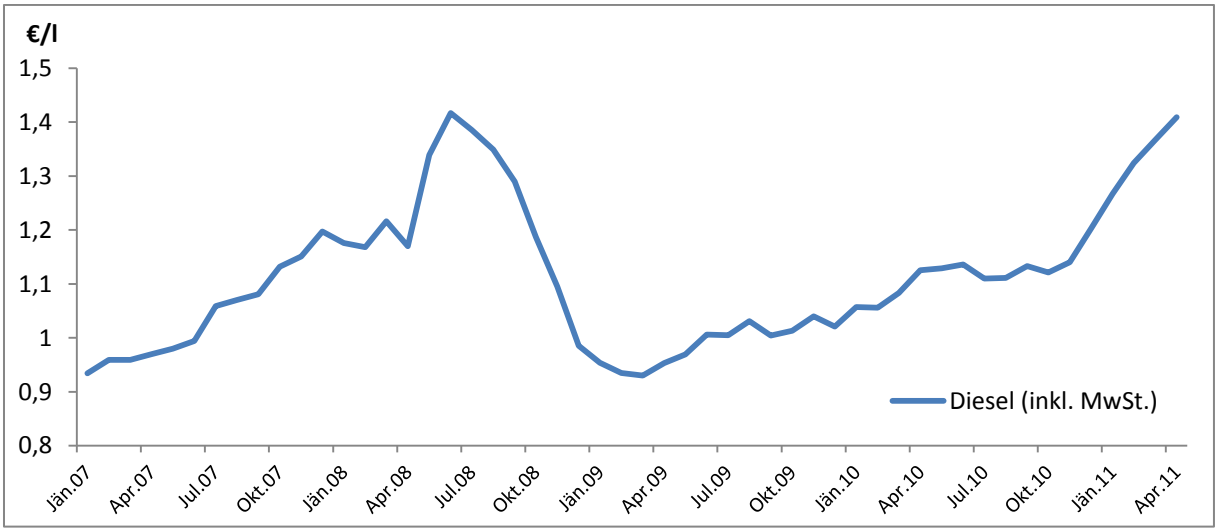

Abbildung 37: Entwicklung der Dieselpreise seit Jänner 2007

Quelle: verändert nach ARBEITERKAMMER (2010); BUNDESANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT (2011); ÖAMTC (2011)

Mit der Novelle des Mineralölsteuergesetzes (BGBl. I Nr. 630/1994 idF BGBl. I Nr. 180/2004), BGBl. I Nr. 57/2004 (Steuerreformgesetz 2005), wurde die Möglichkeit der Steuervergütung für Agrardiesel eingeführt. Damit ist es Land- und Forstwirten möglich, eine Vergütung der zur Bewirtschaftung ihrer Betriebe angefallenen Mineralölsteuer zu beantragen. Erfolgt die Vergütung nach dem Pauschalverfahren, werden für Kartoffeln 130 l/ha rückvergütet (BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN, 2010). Der Vergütungsbetrag je Liter beträgt für das Jahr 2011 29,9 Cent (BMLFUW, 2011a)

3.2.11 Variable Maschinenkosten

Tabelle 11 zeigt die Arbeitsgänge und variablen Maschinenkosten pro Hektar (netto), der zu simulierenden Produktionsverfahren. Grau hinterlegte Zellen bedeuten, dass der jeweilige Arbeitsgang im Anbausystem berücksichtigt wird. Die Kalkulation der variablen Maschinenkosten erfolgt mittels ÖKL Richtwerten. Der Zeitbedarf für die jeweiligen Arbeitsgänge orientiert sich an ÖKL bzw. KTBL Richtwerten und an Erfahrungswerten von Landwirten. Die variablen Maschinenkosten bilden keinen festen Wert, sondern ändern sich in Abhängigkeit vom Ernteertrag, den Treibstoffkosten und den durchgeführten Applikationen. Die in der Tabelle angeführten Werte stellen nur Mittelwerte der jeweiligen Produktionsverfahren dar. Detailliertere Informationen zu den variablen Maschinenkosten sind Punkt 12.5 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 11: Verfahrensübersicht und variable Maschinenkosten in der konventionellen und biologischen Pflanz- und Speisekartoffelproduktion

Arbeitsgang	Häufigkeit	variable Maschinenkosten €/ha (netto)			
		Pflanzkartoffel		Speisekartoffel	
		kon	bio	kon	bio
Pflügen im Herbst	1	54,16	54,16	54,16	54,16
Wirtschaftsdünger ausbringen	1		94,67		94,67
Düngereinkauf	1	6,08		8,95	
Mineraldünger ausbringen	1	4,30		6,39	
Eggen mit Saatbettkombination	2	21,33	21,33	21,33	21,33
Pflanzkartoffeleinkauf	1	14,54	14,54	3,65	3,65
Pflanzkartoffeltransport	1	7,21	7,21	7,21	7,21
Legen von Kartoffeln	1	30,23	30,23	30,23	30,23
Bestandesbonitur	10				
Handhacke	1				
Anhäufeln	3		36,68		36,68
Hacken bzw. Striegeln	2		24,05		24,05
Pflanzenschutz	variabel	57,93	56,25	132,98	63,83
Bereinigung und Anerkennung	3				
Chemische Sikkation	2(1)*	38,62		19,31	
Mechanische Sikkation	1		25,85		25,85
Ernte	1	291,91	291,91	291,91	291,91
Ernte abfahren	1	27,90	20,08	36,84	20,61
Einlagerung	1	9,81	7,09		
Krautverbrennung	1	18,77	18,77	18,77	18,77
Sortierung	1	153,54	113,84	177,50	113,84
Auslagerung	1	80,77	58,02	107,61	58,02

* 2x bei Pflanzkartoffeln/ 1* bei Speisekartoffeln

Quelle: verändert nach KTBL (2008)

3.2.12 Abzüge für Vermarktung und Sonstige Kosten

Bei der Pflanzkartoffelproduktion fallen auch übergroße Knollen an, die nicht als Pflanzgut sondern nur als Konsumware über einen Händler verkauft werden können. Von der gelieferten sortierten Marktware werden im Normalfall aber nur 95% bezahlt (unsortiert 90%).

Darüber hinaus fallen Kosten für Bodenuntersuchungen, Feldanerkennung, Virustestung und phytosanitäre Kontrollen an. Diese Kostenpositionen werden mit 103 €/ha kalkuliert. Bei Speisekartoffeln fallen diese Kosten weg. Dafür müssen pro Hektar 29,50 € Agrarmarketingbeitrag bezahlt werden.

Der Lohnansatz für eine Arbeitskraftstunde wird mit 10 € veranschlagt.

3.3 Festlegung von Korrelationen

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten wurde nach Spearman mit Hilfe des Statistikprogramms *„SAS Enterprise Guide 4“* durchgeführt. Korrelationen, die in Klammern den Stichprobenumfang angeführt haben, entstammen aus eigenen Datenanalysen. Die restlichen Koeffizienten sind der Literatur entnommen. In Tabelle 12 sind die Korrelationen für das jeweilige Produktionsverfahren zusammengefasst. Für die Berechnungen im Modell werden nur signifikante Korrelationen verwendet.

Tabelle 12: Korrelationen zwischen den Risikofaktoren bei konventioneller und biologischer Pflanz- bzw. Speisekartoffelproduktion

Korrelation	Konventionelle Wirtschaftsweise			Biologische Wirtschaftsweise	
	Pflanzkartoffel		Speise-Kartoffel	Pflanzkartoffel	Speise-Kartoffel
	Z	E		Z	
NS-DT	***-0,58****** (148)				
NS-FM	***-0,06**** (1.585)		***0,71+***	***-0,44****** (179)	
NS-AP	0,02 (1.585)			***0,21**** (179)	
NS-ASV	***-0,40****** (1.583)			***-0,46****** (179)	
NS-AAP_F	***0,53****** (85)				
NS-AAP_I	***-0,61**** (33)				
DT-FM	***-0,20****** (1.585)		***-0,35******	***0,52****** (179)	
DT-AP	-0,02 (1.585)			***-0,24**** (179)	
DT-ASV	***0,47****** (1.583)			***0,45****** (179)	
DT-AAP_F	-0,08 (85)				
DT-AAP_I	0,29 (15)				
FM-AP	***-0,28****** (1.649)			***-0,41****** (183)	
FM-AF	***-0,44****** (890)				
FM-ASV	***-0,13****** (1.647)			***0,19**** (183)	
FM-€S	*-0,57* (9)				
FM-PA	***0,83+***				
FM- AAP_F	0,05 (12)				
FM-AAP_I	0,08 (12)				
AP-AF	***0,41****** (890)			***0,41****** (890)	
AP-ASV	-0,02 (1.647)			*-0,16* (183)	
AP-AAP_F	0,21 (12)				
AP-AAP_I	-0,03 (12)				
ASV-AAP_F	-0,19 (11)				
ASV-AAP_I	0,23 (11)				
AAP_F-AAP_I	***-0,53**** (33)				
€P-€S	***0,93****** (16)			***0,93****** (16)	
NPK-TK	***-0,76****** (24)			***-0,75****** (24)	

***** Signifikanzniveau <0,05; ****** Signifikanzniveau <0,01; ******* Signifikanzniveau <0,001; + Annahme aus Literatur

Quelle: Eigene Darstellung

In der biologischen Pflanzkartoffelproduktion sind Niederschlagssumme und Frischmasseertrag negativ korreliert (r_{SP}=-0,44***). Die Niederschläge beeinflussen das Erstauftreten und die Befallsstärke der Krautfäule im Bestand (KÜRZINGER, 2010a). BRUNS et al. (2009) zeigten, dass Phytophthora infestans 19 bis 48% der Ertragsvariation erklärt. Der ermittelte Korrelationskoeffizient wird auch für die biologische Speisekartoffelproduktion übernommen. In der konventionellen Pflanzkartoffelproduktion ist die Korrelation zwischen Niederschlagssumme und Frischmasseertrag sehr schwach ausgeprägt. Hingegen stellte KUNZE (2010) fest, dass Niederschlagssumme und Frischmasseertrag in der konventionellen

Speisekartoffelproduktion positiv korrelieren (r_{SP}=0,71***). SCHUHMANN (2011b) konnte ähnliche Zusammenhänge feststellen.

Niederschlagssumme und Pflanzgutausbeute weisen in der biologischen Pflanzkartoffelproduktion eine positive Korrelation auf (r_{SP}=0,21**). Daten von SCHÖN (2011) zeigen, dass durch geringere Erträge die prozentuellen Ausbeuten in der Sortierung 35-55 mm gesteigert werden können. Die Korrelationen zwischen Frischmasseertrag und Pflanzgutausbeute, Frischmasseertrag und Anteil Futterkartoffeln bzw. Frischmasseertrag und Anteil Speisekartoffeln bestätigen dies.

Zwischen der Niederschlagssumme und dem Anteil an schweren Virosen liegen bei biologischer und konventioneller Pflanzkartoffelproduktion negative Korrelationen vor. In niederschlagsreichen Perioden sinken die Temperaturen meist ab (r_{SP}=-0,58***), wodurch sich nach ALDAMEN und GEROWITT (2010) die Blattlauspopulation zunächst nur verhalten aufbauen kann. Die Anzahl der Fungizidapplikationen sind demnach mit der Niederschlagssumme positiv (r_{SP}=0,53***), die Anzahl der Insektizidapplikationen negativ (r_{SP}=-0,61**) korreliert.

Durchschnittstemperatur und Frischmasseertrag sind in der konventionellen Pflanzkartoffelproduktion negativ korreliert (r_{SP}=-0,20***). KUNZE (2010) stellte für die konventionelle Speisekartoffelproduktion ebenfalls eine negative Korrelation fest (r_{SP}=-0,35***). Das Knollenwachstum wird bei Tagestemperaturen von 15-18 °C gefördert, bei Temperaturen zwischen 25-30 °C jedoch begrenzt (GEISLER, 1983). In der biologischen Pflanzkartoffelproduktion herrscht zwischen Durchschnittstemperatur und Frischmasseertrag eine positive Korrelation vor (r_{SP}=0,52***), da höhere Temperaturen meist in trockeneren Perioden vorherrschen. Durch die geringeren Niederschläge ist der Krautfäuledruck nicht so stark (KÜRZINGER, 2010a), was sich positiv auf den Frischmasseertrag auswirken kann. Dieser Korrelationskoeffizient wird auch für die biologische Speisekartoffelproduktion übernommen.

Durchschnittstemperatur und Pflanzgutausbeute weisen nur bei der biologischen Pflanzkartoffelproduktion eine negative Korrelation auf (r_{SP}=-0,24**). Durch höhere Erträge werden die prozentuellen Ausbeuten in der Sortierung >55 mm gesteigert (SCHÖN, 2011).

Die Durchschnittstemperatur und der Prozentsatz schwerer Virosen weist bei der biologischen und konventionellen Pflanzkartoffelproduktion eine positive Korrelation auf.

Nach KÜRZINGER (2008a) schränkt Trockenheit in Verbindung mit hohen Lufttemperaturen die Wirksamkeit einiger Insektizide ein, wodurch mit einer höheren Virusbelastung zu rechnen ist.

Der Frischmasseertrag und der Anteil schwerer Virosen ist bei der konventionellen Pflanzkartoffelproduktion negativ korreliert (r_{SP}=-0,13***). Ein zunehmender Virusbefall wirkt sich negativ auf den Frischmasseertrag aus. Je nach Sorte, Witterung und Virusstamm sind Ertragsverluste von 20 bis 80% möglich (RADTKE et al., 2000). In der biologischen Pflanzkartoffelproduktion ist dieser Korrelationskoeffizient jedoch positiv (r_{SP}=0,19**). Die genaue Ursache für diesen positiven Zusammenhang ist aber nicht bekannt.

Nach SCHUHMANN (1997a), GEISLER (1983), GÜLLÜOGLU und ARIOGLU (2009) und CARUSO et al. (2010) besteht zwischen Frischmasseertrag und Pflanzknollengewicht eine positive Korrelation. Bei konstanter Pflanzdichte kann auch zwischen dem Pflanzgutaufwand/ha und dem Frischmasseertrag eine positive Korrelation angenommen werden. Der Korrelationskoeffizient (r_{SP}=0,83) wurde aus den Arbeiten von GÜLLÜOGLU und ARIOGLU (2009) und CARUSO et al. (2010) abgeleitet.

Zwischen der Anzahl von Fungizidapplikationen und der Anzahl von Insektizidapplikationen besteht eine negative Korrelation (r_{SP}=-0,53**). Die Daten ergeben, dass bei vermehrtem Einsatz von Fungiziden weniger Insektizide ausgebracht werden. Die Korrelation bestätigt die Korrelationen zwischen Niederschlagssumme, Anzahl von Fungizidapplikationen und Anzahl von Insektizidapplikationen.

Betrachtet man bei Speisekartoffeln die Korrelation zwischen Frischmasseertrag und Erzeugerpreis, zeigt eine durchaus ausgeprägte negative Korrelation (r_{SP}=-0,57). Da dieser Korrelationskoeffizient nicht signifikant ist, wird er im Modell nicht integriert. Der Erzeugerpreis für Speisekartoffeln weist wiederum eine starke positive Korrelation mit dem Erzeugerpreis für Pflanzkartoffeln (r_{SP}=0,93***) auf. Da sich die Erzeugerpreise für Pflanzkartoffeln auf der Erzeugerstufe an den im gleichen Wirtschaftsjahr erzielten Konsum- bzw. Industriekartoffelpreisen orientieren, unterliegen sie denselben mittelfristigen Schwankungen (WEINZIERL, 1989).

Die Treibstoffkosten sind mit den Düngekosten/ha stark negativ korreliert (r_{SP}=-0,76***).

3.4 Umsetzung der Monte Carlo-Simulation

Die Monte-Carlo-Simulation wird mit Hilfe eines selbst entworfenen Excel-Add-Ins durchgeführt, das auch gewünschte Korrelationen zwischen den Risikovariablen erzeugen kann. Die genaue Anleitung zur Benutzung des Programms ist in Punkt 12.6 ersichtlich. Je Produktionsverfahren werden jeweils 5.000 Simulationsdurchläufe durchgeführt. In Punkt 12.7 sind für jedes Produktionsverfahren die verwendeten Verteilungen der Risikovariablen und deren Funktionsargumente aufgelistet.

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Risikoanalyse präsentiert. Die Analyseergebnisse werden in Form von Dichte- und Verteilungsfunktionen grafisch dargestellt. Die grafische Darstellung der Verteilungen wird durch den Minimal- und Maximalwert, sowie durch Erwartungswert und Standardabweichung ergänzt. Zusätzlich wird der Einfluss der einzelnen Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag in Form von Balkendiagrammen dargestellt. Bezugspunkt für die Abweichungen der stellt der Mittelwert der realisierten Deckungsbeiträge dar.

4.1 Konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E

Die durch die Simulation realisierten Korrelationen weichen nur geringfügig von den ursprünglich definierten ab (Punkt 12.8 Tabelle 23). Einzig die Korrelation *NS-ASV* (r_{SP}=-0,40) weist eine größere Abweichung auf. In der Simulation konnte nur ein Korrelationskoeffizient von r_{SP}=-0,19 realisiert werden.

Abbildung 38 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion für den Deckungsbeitrag (€/ha) des Produktionsverfahrens *KPE*. Der Mittelwert der simulierten Deckungsbeiträge liegt bei 2.162 €/ha, wobei der Variationskoeffizient (85%), bedingt durch die hohe Standardabweichung, (1.839 €/ha) relativ groß ist. Ein Deckungsbeitrag von mindesten 2.162 €/ha kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 46,7% erreicht werden. Der Minimalwert liegt bei -2.984 €/ha, der Maximalwert bei 9.779 €/ha. Die beiden Extremwerte werden, wie an der Dichtefunktion zu erkennen ist, nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit erreicht. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% wird ein negativer Deckungsbeitrag erzielt. Zu 90% liegt der Deckungsbeitrag zwischen -578 €/ha und 5.363 €/ha. Ein Deckungsbeitrag von mindestens 2.004 €/ha wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% realisiert.

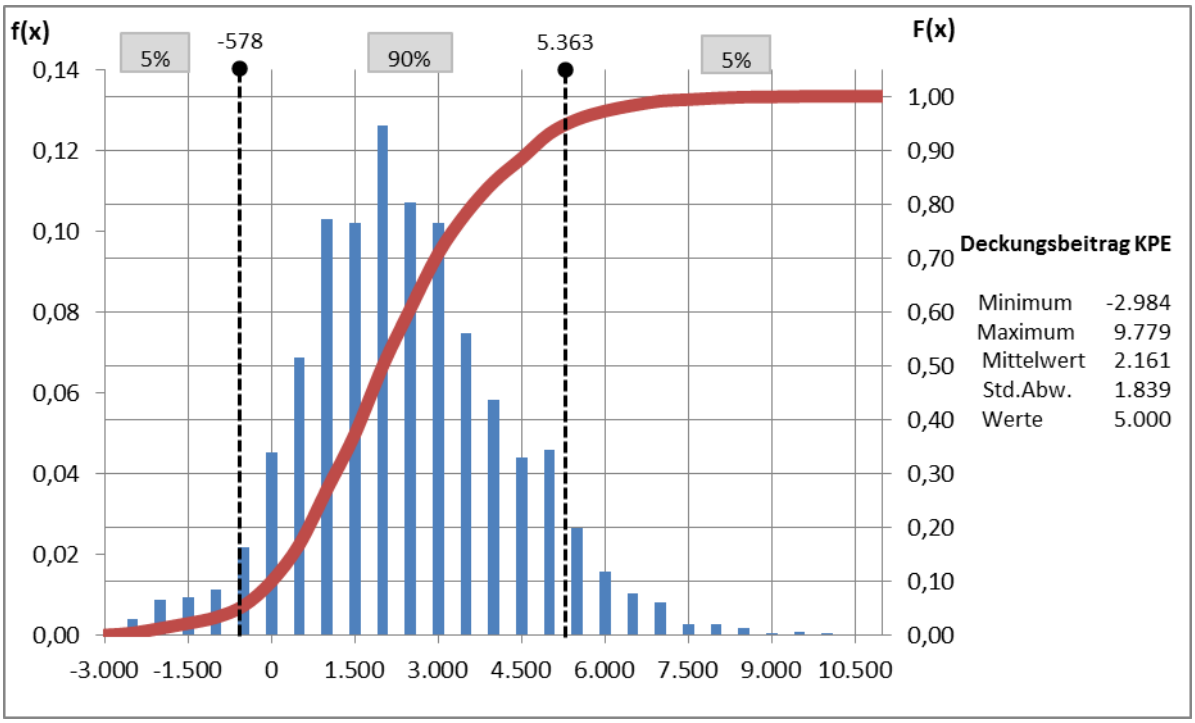

Abbildung 38: Dichte- und Verteilungsfunktion der simulierten Kennzahl Deckungsbeitrag II für das Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E

Quelle: Eigene Darstellung

Um den Einfluss der Einzelvariablen abzuleiten, soll die Bandbreite des Deckungsbeitrags analysiert werden. Dafür wird jeweils nur eine Risikovariable simuliert und die anderen bleiben konstant. Bei den konstant gehaltenen Risikovariablen wird der entsprechende Mittelwert aus der Simulation eingesetzt. Der Einfluss der Risikovariablen ist in Abbildung 39 dargestellt. In diesem Modell ist es nicht sinnvoll, den Einfluss der Risikovariablen *NS* und *DT* monetär zu bewerten, da diese nicht explizit im Deckungsbeitragsmodell enthalten sind, sondern nur über Korrelationskoeffizienten andere Risikovariablen (*FM*, *AP*, *ASV*, AAP_F und AAP_I) beeinflussen. Die Schwankungsbreite der Risikovariablen *NS* und *DT* wäre somit die Gesamtschwankungsbreite der Risikovariablen *FM*, *AP*, *ASV*, AAP_F und AAP_I.

Den größten Einfluss auf den Deckungsbeitrag besitzt der Frischmasseertrag (Schwankungsbreite 13.700 €/ha). Die Risikovariable *€P* besitzt mit einer Schwankungsbreite von knapp 2.000 €/ha, auch einen erheblichen Einfluss auf die Zielgröße Deckungsbeitrag. Werden bei der Beschaffenheitsprüfung auf Virosen mehr als zwei Prozent schwere Virosen festgestellt, kann sich dies ebenfalls negativ auf den Deckungsbeitrag auswirken (Schwankungsbreite 1.300 €/ha). Die Risikovariablen AP_{KP}, PA_P, *€S*, *AF* und *PK* können den Deckungsbeitrag auch um jeweils 550-1.100 €/ha beeinflussen. Die restlichen Variablen

haben nur eine geringe Auswirkung auf die Höhe des Deckungsbeitrags. Bei diesen Einflussgrößen können Pauschalwerte durchaus ausreichend sein.

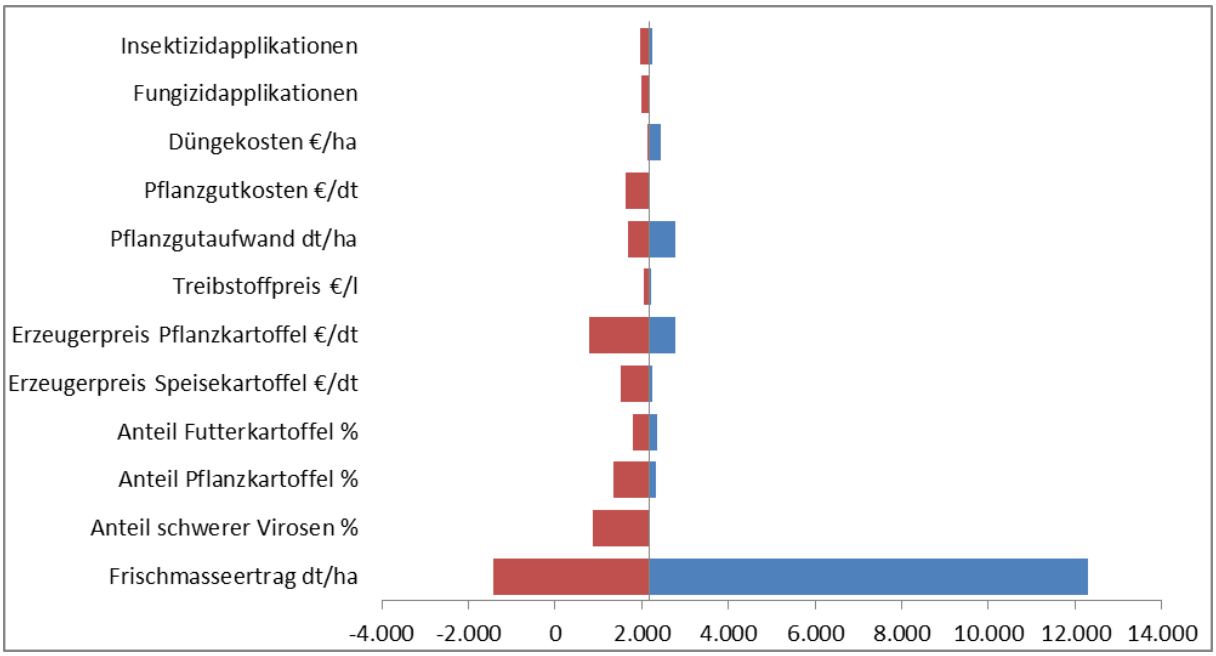

Abbildung 39: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E

4.2 Konventionelle Produktion von zertifiziertem Pflanzgut

Die bei der Simulation realisierten Korrelationen weichen nur geringfügig von den ursprünglich definierten ab. Auch in diesem Modell ist die simulierte Korrelation *NS-ASV* (r_{SP}=-0,23) schwächer ausgeprägt als ursprünglich definiert (r_{SP}=-0,40) (Punkt 12.8 Tabelle 24).

Abbildung 40 zeigt die Simulationsergebnisse des Produktionsverfahrens *KPZ* und *KPE* im Vergleich. Der Vergleich zeigt die relative Vorzüglichkeit der Variante *KPE*, da sich diese weiter rechts befindet. Bei *KPZ* beträgt der Mittelwert der Deckungsbeiträge 1.888 €/ha und liegt somit 274 €/ha unter dem Produktionsverfahren *KPE*. Ein Deckungsbeitrag von mindestens 1.888 €/ha kann bei *KPZ* mit einer Wahrscheinlichkeit von 46,3% erreicht werden. Im Produktionsverfahren *KPE* ist dieser mit einer Wahrscheinlichkeit von 52,9% zu realisieren. Der Variationskoeffizient (99%) ist aufgrund der hohen Standardabweichung (1.863 €/ha) um 14% größer als im Produktionsverfahren *KPE*. Der Minimalwert liegt bei *KPZ* bei -3.004 €/ha, der Maximalwert bei 9.845 €/ha. Die Extremwerte unterscheiden sich somit

nur geringfügig vom Produktionsverfahren *KPE*. Die Wahrscheinlichkeit, bei *KPZ* einen negativen Deckungsbeitrag zu realisieren, liegt bei 13% und ist somit um 3% höher als bei *KPE*. Ein relevantes Kriterium ist das untere 5% Quantil. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% liegt der Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *KPZ* unter -941 €/ha. Im Produktionsverfahren *KPE* beträgt die Wahrscheinlichkeit, unter -941 €/ha zu kommen, nur 3,5%. Zu 90% liegt der Deckungsbeitrag bei KPZ zwischen -941 €/ha und 5.245 €/ha. Bei *KPE* beträgt diese Wahrscheinlichkeit 91%.

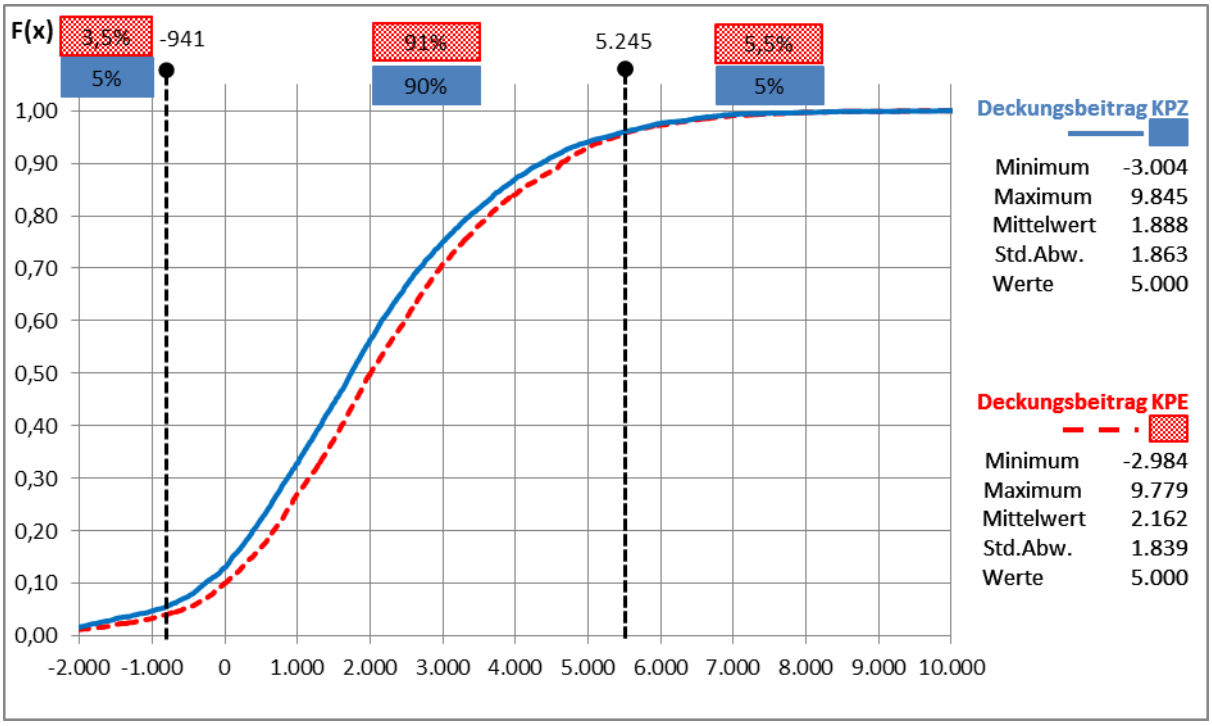

Abbildung 40: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren KPE und KPZ

In Abbildung 41 ist der Einfluss der Risikovariablen für das Produktionsverfahren *KPZ* ersichtlich. Auch bei diesem Produktionsverfahren hat der Frischmasseertrag den größten Einfluss auf den Deckungsbeitrag (Schwankungsbreite 11.800 €/ha), unter der Voraussetzung, dass die Pflanzgutpartie anerkannt ist. Wie schon bei *KPE* besitzt auch hier die Risikovariable *€P* mit einer Schwankungsbreite von 1.950 €/ha einen erheblichen Einfluss auf die Zielgröße Deckungsbeitrag. Werden bei der Beschaffenheitsprüfung mehr als 10% schwere Virosen festgestellt, kann sich der Deckungsbeitrag um bis zu 1.500 €/ha reduzieren. Die Pflanzgutausbeute kann den Deckungsbeitrag ähnlich stark beeinflussen. Die Risikovariablen *€S* und PA_P besitzen eine Schwankungsbreite von 1.100-1.200 €/ha, die Schwankungsbreite der Risikovariablen *AF* und *PK* liegt bei knapp 600 €/ha. Die restlichen

Variablen wirken sich wiederum nur geringfügig auf die Höhe des Deckungsbeitrages aus, wodurch Pauschalwerte für die Kalkulation ausreichend sind.

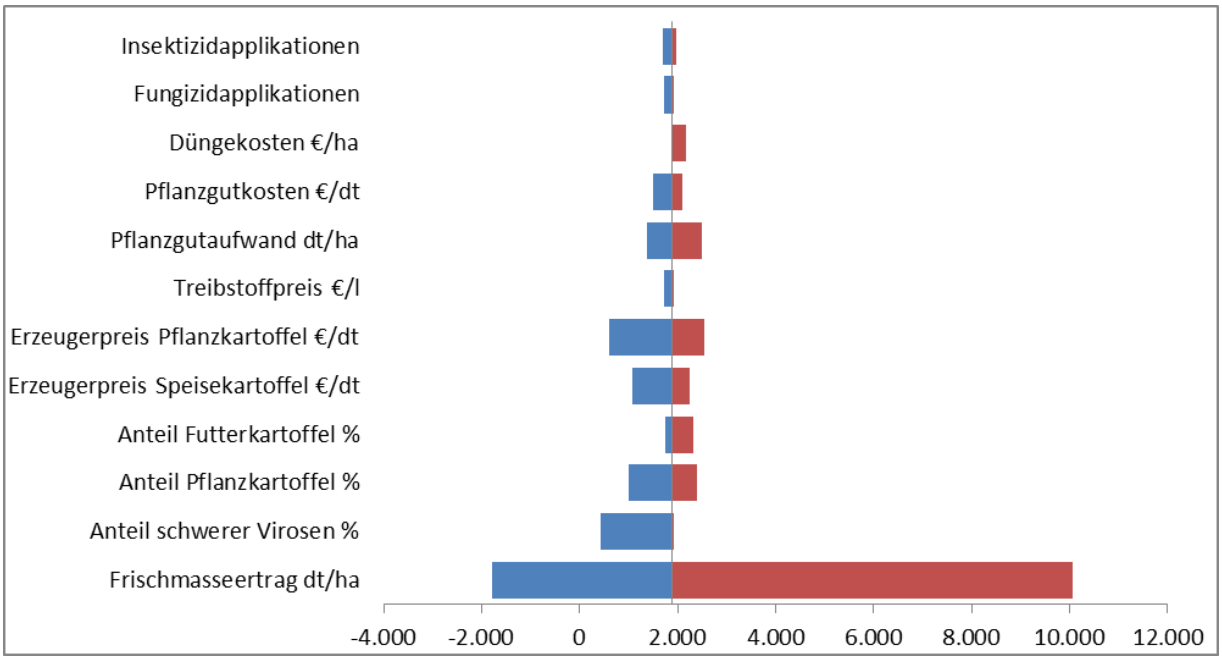

Abbildung 41: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

4.3 Konventionelle Speisekartoffelproduktion

Die bei der Simulation realisierten Korrelationen stimmen zum Großteil mit den ursprünglich definierten überein (Punkt 12.8, Tabelle 25). Bei der Korrelation *FM-PA* konnte der vorgegebene Korrelationskoeffizient (r_{SP}=0,83) nicht verwirklicht werden. Die durch das Modell realisierte Korrelation (r_{SP}=0,14) fiel deutlich schwächer aus. Die Risikovariablen *PA* und *DT* sollten unkorreliert sein, die Simulation erzeugte jedoch eine schwach positive Korrelation (r_{SP}=0,29).

Abbildung 42 zeigt die Simulationsergebnisse der Produktionsverfahren *KS* und *KPZ* im Vergleich. Die Gegenüberstellung zeigt die relative Vorzüglichkeit der Variante *KS*, da sich diese geringfügig weiter rechts befindet. Bei KS beträgt der Mittelwert der Deckungsbeiträge 2.032 €/ha und liegt somit 144 €/ha über dem Produktionsverfahren *KPZ*. Der mittlere Deckungsbeitrag ist aber geringer als beim Produktionsverfahren *KPE* (130 €/ha). Ein Deckungsbeitrag von mindestens 2.032 €/ha kann bei *KS* mit einer Wahrscheinlichkeit von 48,5% erreicht werden. Im Produktionsverfahren KPZ ist dieser Wert mit einer

Wahrscheinlichkeit von nur 43,1% zu realisieren. Bei einer Standardabweichung von 1.755 €/ha ist der Variationskoeffizient (86%) ähnlich hoch wie beim Produktionsverfahren *KPE* und somit um 13% geringer als beim Produktionsverfahren *KPZ*. Der Minimalwert bei *KS* liegt bei -1.652 €/ha, der Maximalwerte bei 7.156 €/ha. Die Extremwerte liegen deutlich enger zusammen als dies im Produktionsverfahren *KPZ* der Fall ist. Es werden weder die Minimal- noch die Maximalwert von *KPZ* erreicht. Die Wahrscheinlichkeit, bei *KS* einen negativen Deckungsbeitrag zu realisieren, liegt bei 13,4% und ist somit ähnlich hoch wie bei *KPZ*. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% liegt der Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *KS* unter -564 €/ha. Im Produktionsverfahren *KPZ* liegt die Wahrscheinlichkeit, einen Deckungsbeitrag unter -564 €/ha zu realisieren, mit 7,1% nur geringfügig höher. Zu 90% liegt der Deckungsbeitrag bei *KS* zwischen -564 €/ha und 5.064 €/ha. Bei *KPZ* liegt der Deckungsbeitrag nur zu 87,3% in diesem Bereich.

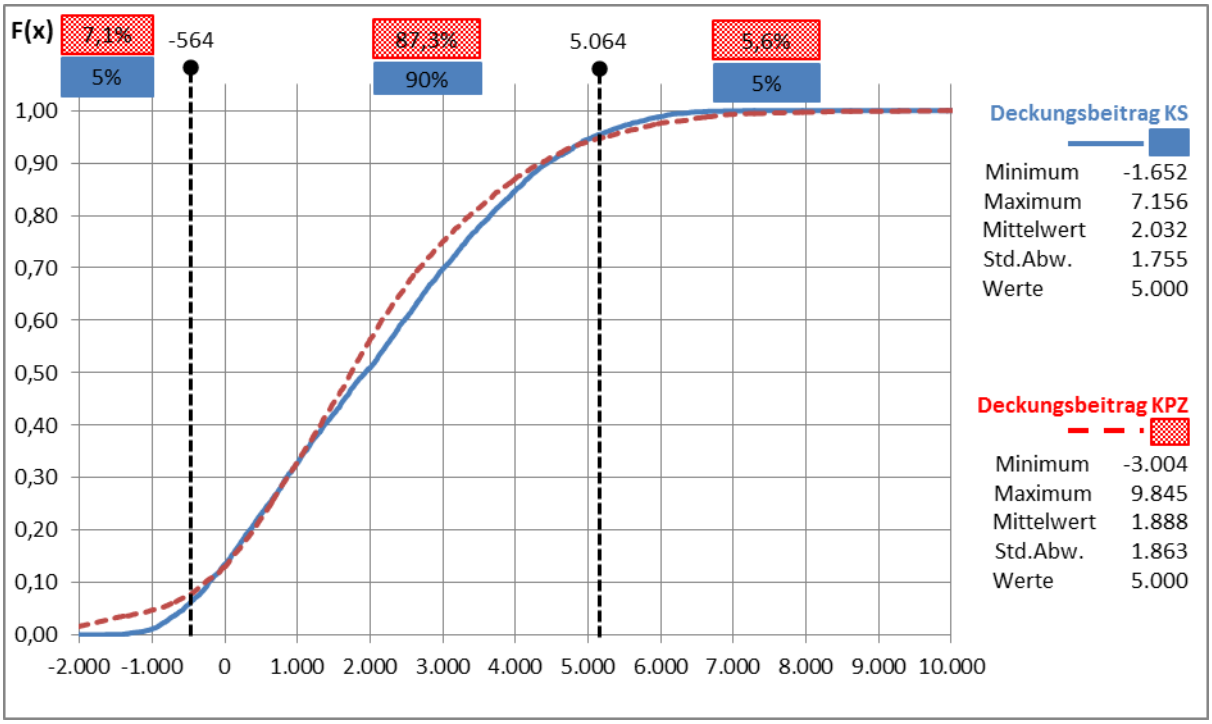

Abbildung 42: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren KS und KPZ

In Abbildung 43 ist der Einfluss der Risikovariablen für das Produktionsverfahren *KS* dargestellt. Die Risikovariable *€S* hat mit einer Schwankungsbreite von 4.850 €/ha den größten Einfluss auf die Zielgröße. Der Einfluss der Risikovariable *FM* ist mit einer Schwankungsbreite von 3.580 €/ha auch sehr hoch, aber wesentlich geringer, als jener von €S. Die Risikovariablen *AF*, PA_S und AAP_F besitzen jeweils eine Schwankungsbreite von 450-

600 €/ha und können den Deckungsbeitrag auch in einem gewissen Umfang beeinflussen. Die übrigen Risikovariablen wirken sich nur geringfügig auf die Zielgröße aus.

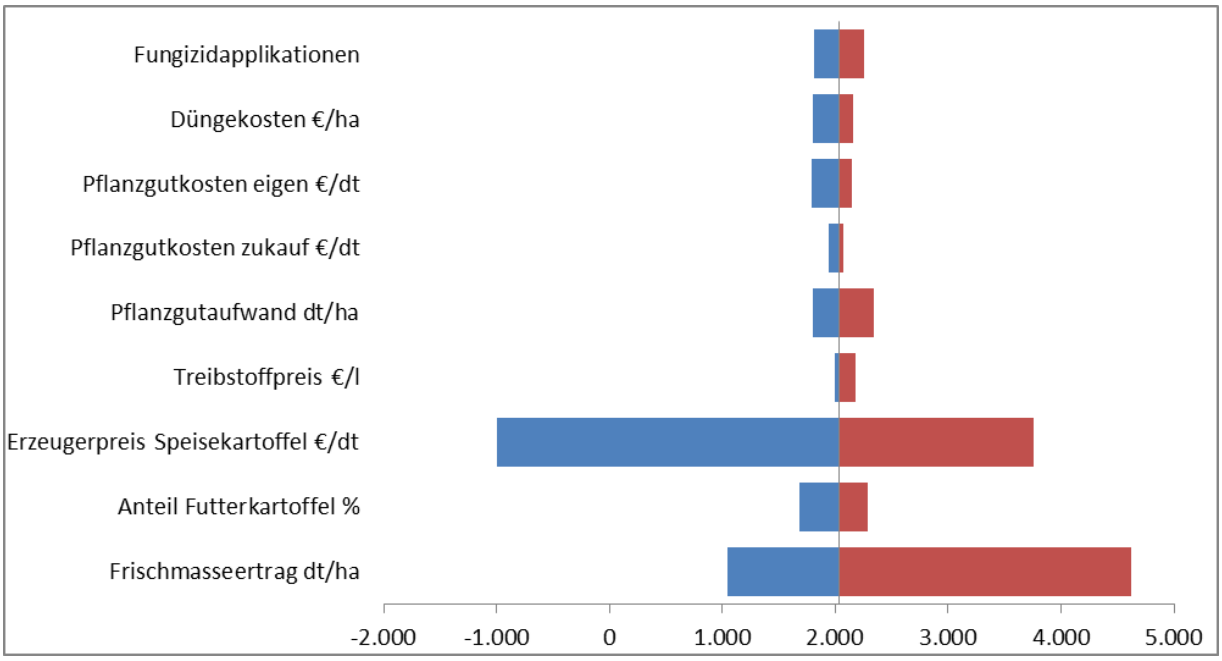

Abbildung 43: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Speisekartoffelerzeugung

4.4 Biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut

Die Modellerstellung für das Produktionsverfahren *BPZ* gestaltete sich sehr schwierig, da es nicht einfach war, ein geeignetes Modell zu entwerfen, das die ursprünglich definierten Korrelationen realisieren konnte (Punkt 12.8, Tabelle 26). Die simulierten Korrelationen *NS-ASV*, *DT-ASV* und *FM-PA* sind deutlich schwächer ausgeprägt als ursprünglich definiert. Zwischen den Risikovariablen *€S* und *NPK* bzw. *€S* und *TK* sollten keine Korrelationen vorherrschen. Bei der Simulation entstanden jedoch leicht positive Korrelationen. Die Korrelation *NPK-TK* sollte negativ korreliert sein, bei den Simulationen konnten jedoch nur positive Korrelationen verwirklicht werden.

Abbildung 44 zeigt die Simulationsergebnisse der Produktionsverfahren *BPZ* und *KPZ* im Vergleich. Ein Vergleich dieser beiden Produktionsverfahren ist nur bedingt zulässig, da der Deckungsbeitrag von BPZ keine Opportunitätskosten für den Kleegrasanbau zur Stickstoffgewinnung beinhaltet. Für einen aussagkräftigen Vergleich müssten diese noch vom Deckungsbeitrag abgezogen werden.

Zu Beginn verlaufen die beiden Verteilungsfunktionen des Deckungsbeitrages etwa parallel. Im positiven Bereich zeigt sich aber die relative Vorzüglichkeit der Variante *BPZ*. Bei *BPZ* beträgt der Mittelwert der Deckungsbeiträge 3.060 €/ha und liegt somit 1.172 €/ha über dem Produktionsverfahren *KPZ*. Ein Deckungsbeitrag von mindestens 3.060 €/ha kann bei *BPZ* mit einer Wahrscheinlichkeit von 46,6% erreicht werden. Im Produktionsverfahren *KPZ* kann dieser Deckungsbeitrag mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 24,1% überschritten werden. Bei einer Standardabweichung von 2.743 €/ha ist der Variationskoeffizient (90%) im Gegensatz zum Produktionsverfahren *KPZ* um 9% geringer. Die Extremwerte liegen bei *BPZ* signifikant weiter auseinander, als dies bei *KPZ* der Fall ist. Der Minimalwert liegt bei *BPZ* bei -4.702 €/ha, der Maximalwert bei 15.926 €/ha. Die Extremwerte von *KPZ* werden bei *BPZ* deutlich überschritten. Die Wahrscheinlichkeit, bei *BPZ* einen negativen Deckungsbeitrag zu realisieren, liegt bei 11,8% und ist überraschenderweise um 1,2% geringer als beim Produktionsverfahren *KPZ*. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% liegt der Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *BPZ* unter -1.003 €/ha. Im Produktionsverfahren *KPZ* liegt die Wahrscheinlichkeit, einen Deckungsbeitrag unter -1.003 €/ha zu realisieren, mit 4,7% geringfügig darunter. Zu 90% liegt der Deckungsbeitrag bei *BPZ* zwischen -1.003 €/ha und 15.926 €/ha. Bei *KPZ* liegt der Deckungsbeitrag zu 95% in diesem Bereich.

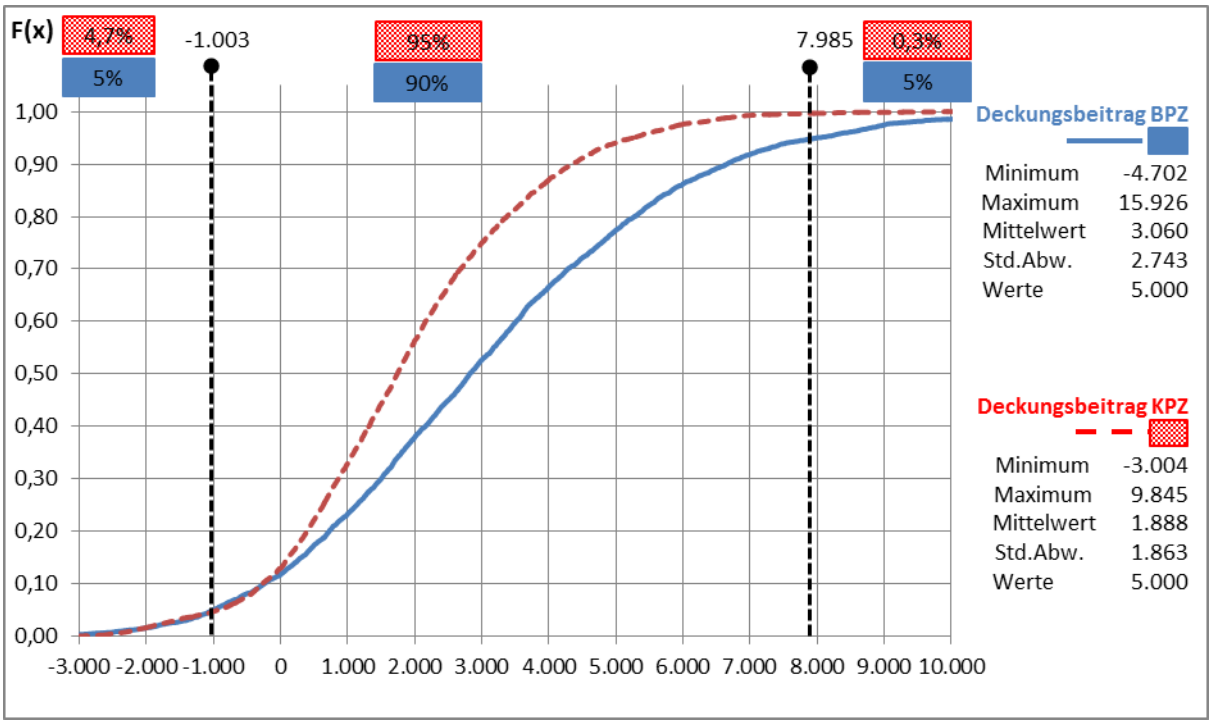

Abbildung 44: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren BPZ und KPZ

In Abbildung 45 ist der Einfluss der Risikovariablen für das Produktionsverfahren *BPZ* dargestellt. Die Risikovariable *FM* hat mit einer Schwankungsbreite von 15.800 €/ha den größten Einfluss auf den Deckungsbeitrag. In Jahren mit ungünstigem Vegetationsverlauf kann es zu totalen Ernteausfällen kommen. Unter günstigen Vegetationsbedingungen sind bei richtiger Bewirtschaftung hohe Frischmasseerträge zu realisieren. Der Erzeugerpreis für Pflanzkartoffeln übt mit einer Schwankungsbreite von 2.700 €/ha ebenfalls einen großen Einfluss auf den Deckungsbeitrag aus. Die Risikovariablen *€S*, PA_P und *PK* können jeweils Deckungsbeitragsschwankungen im Bereich von 1.100-1.500 €/ha bewirken. Der Anteil schwerer Virosen, der Pflanzgutaufwand und die Pflanzgutkosten besitzen jeweils eine Schwankungsbreite von ca. 800 €/ha. Die Risikovariablen *NPK* und *TK* beeinflussen den Deckungsbeitrag kaum.

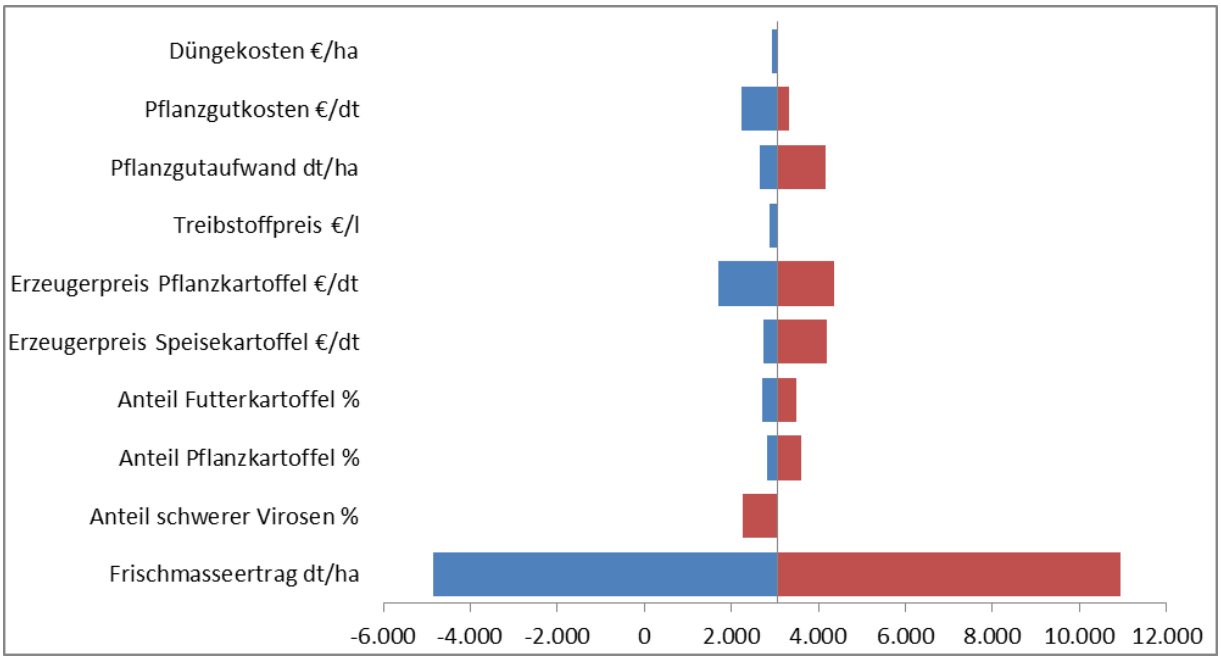

Abbildung 45: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

4.5 Biologische Speisekartoffelproduktion

Um die Abweichungen zwischen den definierten und simulierten Korrelationen gering zu halten, mussten die Risikovariablen *NS* und *DT* aus dem Modell entfernt werden. Der Vergleich in Tabelle 27 (Anhang Punkt 12.8) zeigt, dass durch diese Maßnahme die simulierten Korrelationen fast ident mit den ursprünglich definierten sind.

Der Vergleich der Produktionsverfahren *BS*, *BPZ* und *KS* in Abbildung 44 zeigt, ohne die Beachtung der Opportunitätskosten, die relative Vorzüglichkeit des Produktionsverfahrens *BS*. Bei *BS* beträgt der Mittelwert der Deckungsbeiträge 4.517 €/ha und liegt somit deutlich über den beiden anderen Produktionsverfahren (1.457 €/ha über *BPZ*, 2.485 €/ha über *KS*). Ein Deckungsbeitrag von mindestens 4.517 €/ha kann bei *BS* mit einer Wahrscheinlichkeit von 45,6% erreicht werden. Im Produktionsverfahren *BPZ* kann dieser Deckungsbeitrag mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 27,7% überschritten werden und im Produktionsverfahren *KS* beträgt die Wahrscheinlichkeit, mindestens diesen Deckungsbeitrag zu realisieren, nur 9,3%. Bei einer Standardabweichung von 3.142 €/ha ergibt sich ein Variationskoeffizient von 70%. Dieser Wert ist im Vergleich zu allen anderen Produktionsverfahren am geringsten. Die beiden Extremwerte liegen wiederum auffällig weit auseinander. Der Minimalwert (-3.573 €/ha) ist um 1.129 €/ha höher als im Produktionsverfahren *BPZ*, dafür aber um 1.921 €/ha geringer als im Produktionsverfahren *KS*. Der Maximalwert (19.856 €/ha) ist bei *BS* deutlich höher als in allen anderen Produktionsverfahren. Die Wahrscheinlichkeit, bei *BS* einen negativen Deckungsbeitrag zu realisieren liegt bei 5,2% und ist damit deutlich geringer als in den Produktionsverfahren *BPZ* (11,8%) und *KS* (13,4%). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% liegt der Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *BS* unter -54 €/ha. Im Produktionsverfahren *BPZ* liegt die Wahrscheinlichkeit, einen Deckungsbeitrag unter -54 €/ha zu realisieren, schon bei 11,4% und bei *KS* bei 12,3%. Zu 90% liegt der Deckungsbeitrag bei BS zwischen -54 €/ha und 10.263 €/ha. Bei BPZ liegt der Deckungsbeitrag zu 87,4% in diesem Bereich und bei KS zu 87,7%.

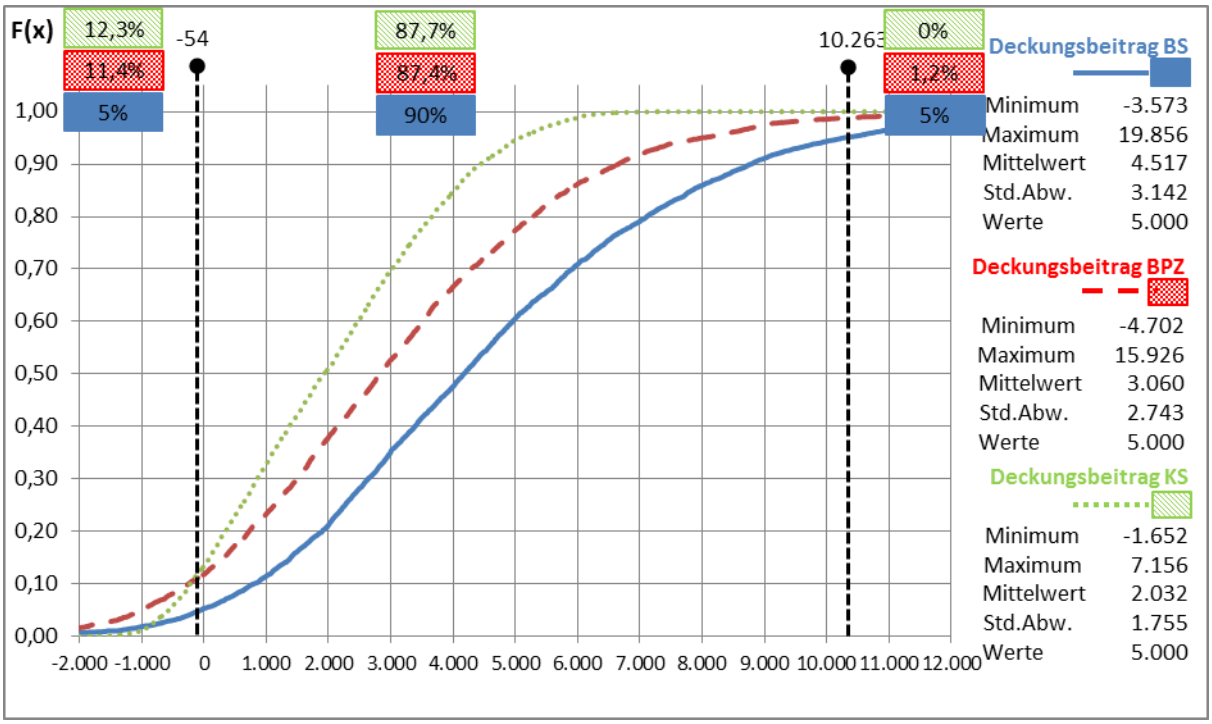

Abbildung 46: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren BS, BPZ und KS

In Abbildung 47 ist der Einfluss der Risikovariablen für das Produktionsverfahren *KS* dargestellt. Die Risikovariable *FM* hat mit einer Schwankungsbreite von 18.300 €/ha den größten Einfluss auf den Deckungsbeitrag. Die Frischmasseerträge können je nach Vegetationsjahr stark schwanken. In Jahren mit ungünstiger Witterung kann es auch zu Totalausfällen im Ertrag kommen. Der Erzeugerpreis für Speisekartoffeln übt mit einer Schwankungsbreite von 5.500 €/ha ebenfalls eine großen Einfluss auf den Deckungsbeitrag aus. Überdies wirkt sich der *€S* im folgenden Anbaujahr auch negativ auf die Kosten für Nachbaupflanzgut aus (Schwankungsbreite 758 €/ha). Die Risikovariablen *AF* und PA_P können jeweils Deckungsbeitragsschwankungen im Bereich von 800-950 €/ha bewirken. Die Pflanzgutkosten für zugekauftes Elitepflanzgut, sowie die Risikovariablen *TK* und *NPK* beeinflussen den Deckungsbeitrag kaum.

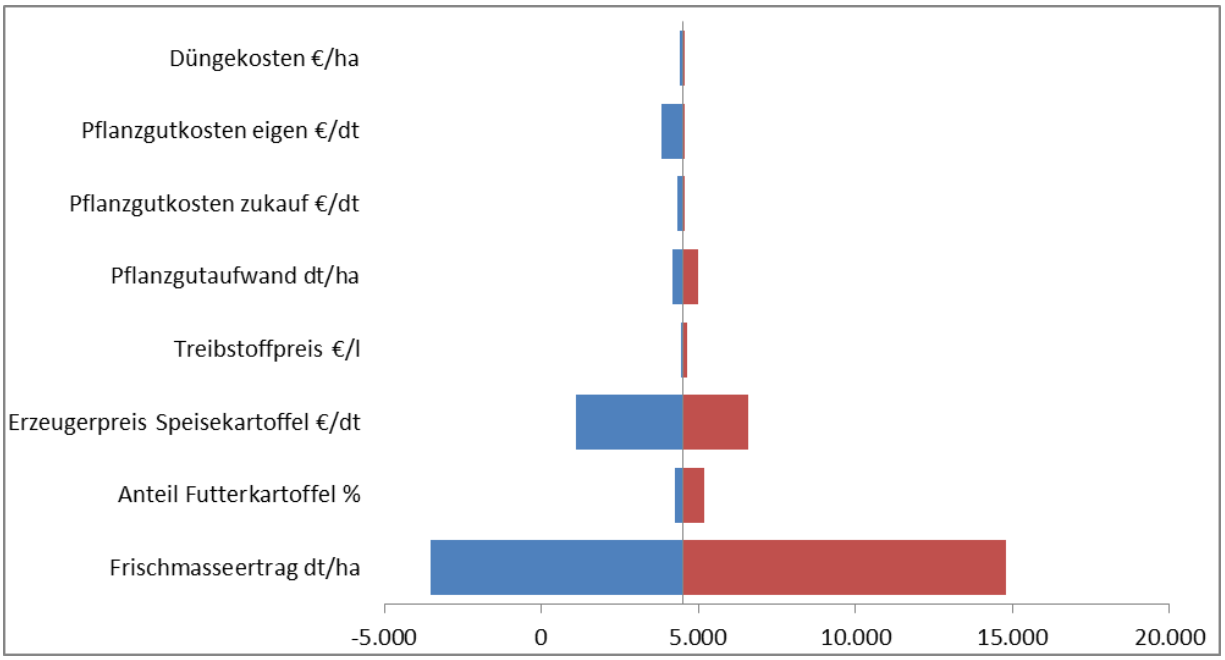

Abbildung 47: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren biologische Speisekartoffelerzeugung

5 Diskussion

5.1 Bewertung der Datengrundlage und der Methode

Ziel der Masterarbeit ist es, das Risiko in der biologischen und konventionellen Pflanz- und Speisekartoffelproduktion anhand des Deckungsbeitrags zu ermitteln, wobei auch der Lohnansatz für nichtentlohne Arbeitszeit berücksichtigt wird. Insgesamt werden fünf Produktionsverfahren miteinander Verglichen (*KPE*, *KPZ*, *BPZ*, *KS* und *BS*). Stärkesorten finden in der Kalkulation keine Berücksichtigung.

Ein Datensatz der Niederösterreichischen Saatbaugenossenschaft, der wichtige Ertragsdaten aller Vermehrungsvorhaben in Österreich der Erntejahre 2007-2009 umfasst, stellt die Grundlage für die Monte Carlo Simulation in der biologischen und konventionellen Pflanzkartoffelproduktion dar. Der Datensatz beinhaltet detaillierte Informationen über Frischmasseerträge, Pflanzgutausbeuten und über die Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Virosen.

Die Erzeugerpreise für Pflanzkartoffeln, sowie die Kosten für Super Elite-, Elite- und Basispflanzgut der Jahre 2004-2010 stammen ebenfalls von Aufzeichnungen der Niederösterreichischen Saatbaugenossenschaft. Da sich die Erzeugerpreise in Herbst und Frühjahrspreise differenzieren, wird für die Simulation ein jährlicher Durchschnittspreis gebildet, der sich zu 25% aus den Herbstpreisen und zu 75% aus den Frühjahrspreisen zusammensetzt.

Übergrößen, die das erlaubte Fraktionsmaß (47-55 mm) überschreiten, können nicht als Pflanzgut vermarktet werden und sind bis auf wenige Ausnahmen als Konsumware zu verkaufen. Die Erzeugerpreise für konventionelle Speisekartoffeln, der Jahre 2005-2010, stammen aus den wöchentlichen Marktberichten der Niederösterreichischen Landwirtschaftskammer und spiegeln den historischen Preisverlauf sehr gut wieder. Bei den Erzeugerpreisen für biologische Speisekartoffeln muss auf Daten aus Deutschland zurückgegriffen werden, da in Österreich keine expliziten Aufzeichnungen vorhanden sind. Nach KAMPTNER (2011) sind die deutschen Erzeugerpreise aber kritisch zu betrachten, da in Jahren mit Kartoffelüberangebot von diesen noch die Transportkosten abgezogen werden müssen. Da die Erzeugerpreise biologischer und konventioneller Speisekartoffeln wöchentlich schwanken, wird wie bei den Pflanzkartoffeln ein Durchschnittspreis gebildet,

der sich zu 75% an den Frühjahrspreisen orientiert.

Die Frischmasseerträge für Speisekartoffeln der Jahre 2000-2010 stammen von der Statistik Austria. Da keine Differenzierung zwischen biologischer und konventioneller Produktionsweise vorliegt, mussten die Parameter der verwendeten Verteilung mit Hilfe von Erfahrungswerten aus der Landwirtschaft korrigiert werden.

Die Anzahl durchgeführter Applikationen und die verwendeten Pflanzenschutzmittel stammen aus den jährlichen Erhebungen des Krautfäule-Informationssystems ISIP, die ebenfalls von der Niederösterreichischen Landwirtschaftskammer zur Verfügung gestellt wurden. Der Datensatz beinhaltet detaillierte, mehrjährige und regional gegliederte Aufzeichnungen über durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen zur Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule. Zusätzlich fließen noch Daten von zehn befragten Landwirten mit ein, wobei davon drei Betriebe biologisch bewirtschaftet werden. Daten über Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen stammen von der Niederösterreichischen Hagelversicherung, welche bezirksweise für die Nieder- und Oberösterreichischen Kartoffelbauregionen aufgegliedert sind.

Die Kosten für N, P_2O_5 und K_2O, sowie die Kosten für Diesel stammen aus Aufzeichnungen des Instituts für Agrarökonomik und spiegeln die historischen Preisverläufe sehr gut wieder.

Kalkulationsdaten für die übrigen Inputparameter stammen aus einschlägiger Fachliteratur bzw. öffentlich verfügbaren Onlinedatenbanken, wobei die Verfügbarkeit und Qualität der Daten nicht immer optimal ist.

Die Korrelationen zwischen den Risikovariablen stammen aus Auswertungen der Datensätze bzw. aus einschlägiger Fachliteratur. Nicht signifikante Korrelationen finden im Simulationsmodell keine Berücksichtigung. Aufgrund der hervorragenden Datenqualität und der verfügbaren Stichprobengröße lassen sich zwischen den Risikovariablen *NS-DT*, *NS-FM*, *NS-AP*, *NS-ASV*, *NS-AAP$_F$*, *NS-AAP$_I$*, *DT-FM*, *DT-AP*, *DT-ASV*, *FM-AP*, *FM-AF*, *FM-ASV* und *AP-AF* teils stark signifikante Zusammenhänge feststellen. Herausragend sind die starken Witterungseinflüsse im biologischen Kartoffelbau. Der Frischmasseertrag ist mit der Niederschlagssumme negativ korreliert (r_{SP}= -0,44***), mit der Durchschnittstemperatur jedoch positiv (r_{SP}= 0,52***). Nach KÜRZINGER (2010a) beeinflussen die Niederschläge das Erstauftreten und die Befallsstärke der Krautfäule im Bestand, was sich auf die Ernteerträge auswirkt. Im konventionellen Kartoffelbau werden bei hohen Niederschlägen verstärkt

Fungizide eingesetzt (r_{SP}= 0,53***), wodurch der Frischmasseertrag mit der Niederschlagssumme positiv korreliert (r_{SP}= 0,71***). Im Pflanzkartoffelbau steigt die Virusbelastung vor allem bei trockener und warmer Witterung stark an (*DT-ASV* r_{SP}= 0,47***). ALDAMEN und GEROWITT (2010) meinen, dass sich die Blattlauspopulation bei niedrigeren Temperaturen nur verhalten aufbaut und so die Virusinfektion im Bestand geringer bleibt.

Bei den übrigen Korrelationsanalysen in Tabelle 12 musste mit geringeren Stichprobengrößen gearbeitet werden, wodurch die ermittelten Korrelationskoeffizienten teils kritisch zu betrachten sind. So zeigen die Risikovariablen FM und €S zwar einen negativen Zusammenhang (r_{SP}=-0,57), der Korrelationskoeffizient besitzt jedoch keine statistische Signifikanz. Nach WEINZIERL (1989) übt neben den Erntemengen im Inland, auch das Exportvolumen der Hauptanbaugebiete einen wichtigen Einfluss auf die Erzeugerpreise aus. Die Preisschwankungen bei Speisekartoffeln dürften also nicht nur von den Hektarerträgen, sondern auch von der nationalen Anbaufläche und dem Exportvolumen abhängig sein. Diese Parameter finden im Modell jedoch keine Berücksichtigung.

Das Verfahren der statischen Deckungsbeitragsrechnung betrachtet nur die Kosten und Leistungen einer durchschnittlichen Planungsperiode. Die Durchschnittswerte sind aber meist starken Schwankungen unterworfen (GEIß, 2007). Da die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Durchschnittszenario sehr gering ist, wird in der Praxis neben dem wahrscheinlichsten Deckungsbeitrag oft auch das Worst- und Best-Case-Szenario untersucht (MAYERHOFER, 2011). Es ist aber nicht realistisch, dass alle Kosten und Leistungen zugleich den schlechtesten Wert aufweisen, da die Inputgrößen meist bestimmte Zusammenhänge besitzen (BESSER, 2010). Mit Hilfe der stochastischen Simulation können die Schwankungen der Inputgrößen und deren Zusammenhänge realitätsnaher erfasst werden (KNECHT, 2005). Die Monte Carlo Simulation ermöglicht es, die Interdependenzen zwischen Witterung, Ertragskomponenten, Virusbelastung, Erzeugerpreisen, Pflanzenschutzmaßnahmen und sonstigen Produktionskosten verzerrungsfrei zu modellieren und simulieren.

Es sollen aber nur Risikovariablen ausgewählt werden, die entscheidend für das Produktionsverfahren sind. Je mehr Risikovariable verwendet werden, umso wahrscheinlicher entstehen inkonsistente Szenarien, weil die vordefinierten Korrelationen zwischen den Variablen nur noch schwer zu erfüllen sind (SAVVIDES, 1994).

Insgesamt werden 5.000 Simulationsdurchläufe unter Variation der Risikovariablen durchgeführt. Die daraus resultierenden Ergebnisse geben Auskunft über alle realisierbaren Deckungsbeiträge und deren Verteilungen. Durch die grafische Aufbereitung der Ergebnisse in Form von Dichte- und Verteilungsfunktionen kann einfach festgestellt werden, mit welcher Auftrittswahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ergebnis realisierbar ist bzw. ein negativer Deckungsbeitrag erreicht wird.

Die Simulation erfolgt nicht mit einem kommerziell erwerblichen, sondern mit einem selbst entworfenen Add-In, das unter Microsoft Excel läuft. Das Programm soll eine einfache und kostengünstige Alternative zu den professionellen und teuren Simulationsprogrammen darstellen, um einfache Fragestellungen in der landwirtschaftlichen Praxis zu simulieren. Es eignet sich aber keinesfalls für sehr komplexe Modelle, die eine hohe Präzision verlangen.

Zur Simulation der Zielgröße Deckungsbeitrag wird bei den Inputgrößen zwischen fixen, variablen und abhängig variablen Inputgrößen unterschieden. Die verwendeten Werte sollen einen durchschnittlich österreichischen Betrieb repräsentieren und sind daher nicht auf jeden Betrieb übertragbar, da in der Kulturführung und Mechanisierung teils erhebliche Unterschiede vorhanden sind.

Als variable Inputgrößen im Deckungsbeitragsmodell werden diskret verteilte, dreiecksverteilte, gammaverteilte, gleichverteilte, normalverteilte und weibullverteilte Zufallsvariablen verwendet. Zur Simulation der Risikovariablen *Niederschlagssumme*, *Anteil schwerer Virosen*, *Fungizidapplikationen* und *Insektizidapplikationen* wird die diskrete Verteilung verwendet, da die Häufigkeitsverteilungen dieser Risikovariablen mit anderen Verteilungen sehr schwer zu realisieren sind bzw. es sich um diskrete Daten handelt. Mit Hilfe der Gammaverteilung wird der *Frischmasseertrag für konventionell produziertes Pflanzgut* simuliert. Die Gammaverteilung kann sehr exakt an die reale Verteilung angepasst werden. Um die Verteilung der Risikovariablen *Frischmasseertrag biologisch produziertes Pflanzgut* nachzubilden, wird die Normalverteilung gewählt. Da im biologischen Pflanzkartoffelbau der Datenumfang geringer ist, kann die Verteilung nicht 100%-ig an die reale Verteilung angepasst werden. Die Frischmasseerträge im oberen Bereich werden von der Verteilung geringfügig unterschätzt. Zur Simulation der Risikovariablen *Frischmasseertrag biologisch produzierte Speisekartoffeln* wird die gleiche Verteilung herangezogen, da in der biologischen Produktion kaum höhere Erträge realisierbar sind. Die Weibullverteilung passt sich am besten an die Daten der Risikovariablen *Ausbeute Pflanzgut*

konventionell an. Nur bei prozentuell höheren Ausbeuten kommt es zu einer geringfügigen Unterschätzung der realen Verteilung. Die Erzeugerpreise für Pflanz- und Speisekartoffeln, sowie die Kosten für Düngung und Treibstoff werden mit Hilfe der Gleichverteilung simuliert, da diese Risikovariablen in der Vergangenheit immer wieder von starken Preisausschlägen geprägt waren. Zur Simulation der Risikovariablen *Durchschnittstemperatur*, *Frischmasseertrag konventionell produzierte Speisekartoffeln*, *Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch*, *Anteil Futterkartoffeln und Pflanzgutbedarf* wird die Dreiecksverteilung verwendet. Die Häufigkeitsverteilungen der Risikovariablen *Durchschnittstemperatur* und *Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch* zeigen typische Dreiecksverteilungen auf. Um die Verteilungsfunktionen besser an die realen Daten anzupassen, müssen die Modalwerte geringfügig nach oben bzw. nach unten korrigiert werden. Ohne diese Maßnahme wäre es zu Verzerrungen in der Ergebnisdarstellung gekommen. Bei den übrigen dreiecksverteilten Risikovariablen kann aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit keine explizite Verteilung festgestellt werden. Die Risikovariablen müssen deshalb mit Hilfe von Literaturangaben und praktischen Erfahrungswerten so gut wie möglich geschätzt werden.

Die Risikovariablen Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur sind in der Deckungsbeitragskalkulation nicht explizit enthalten. Jedoch beeinflussen sie über festgelegte Korrelationen die Risikovariablen *Frischmasseertrag*, *Anteil schwerer Virosen*, *Ausbeute Pflanzkartoffeln,* sowie die Anzahl der *Fungizid*- und *Insektizidapplikationen*. Aus diesem Grund ist es bei diesen zwei Risikovariablen auch nicht möglich, den Einfluss auf die Deckungsbeitragsschwankungen monetär zu bewerten.

5.2 Bewertung der Ergebnisse

Die mittleren Deckungsbeiträge der konventionellen Produktionsverfahren *KPE*, *KPZ* und *KS* liegen sehr nahe zusammen. Der Vergleich der Produktionsverfahren *KPE* und *KPZ* zeigt die relative Vorzüglichkeit von *KPE*. Bei diesem Produktionsverfahren wird in der Simulation ein mittlerer Deckungsbeitrag in der Höhe von 1.839 €/ha realisiert, der somit um 274 €/ha über dem Produktionsverfahren *KPZ* liegt. Ein Vergleich mit den Standarddeckungsbeiträgen des BMLFUW (2008) ist schwierig, da die Deckungsbeiträge verschiedene Kalkulationsschemen besitzen. Das Ergebnis der vorliegenden Kalkulationen stimmt jedoch annähernd mit den Standarddeckungsbeiträgen überein. Die Verteilungsfunktionen der beiden Produktionsverfahren verlaufen annähernd parallel, wobei sich die Verteilungsfunktion von *KPE* weiter rechts befindet. Da sich die beiden Produktionsverfahren im Modellaufbau kaum unterscheiden, wird die Vorzüglichkeit von *KPE* primär durch die höheren Pflanzguterzeugerpreise aber auch durch die höhere Anerkennungsrate erklärt. Die Auswertung der Daten zeigt bei *KPE* einen tendenziell geringeren Anteil schwerer Virosen und somit höhere Anerkennungsraten. Werden bei einem Vermehrungsvorhaben von Basispflanzgut der Klasse E mehr als zwei und nicht mehr als zehn Prozent schwere Virosen festgestellt, kann diese Pflanzgutpartie noch immer als zertifiziertes Pflanzgut verkauft werden. Wird hingegen ein Vermehrungsvorhaben für zertifiziertes Pflanzgut im Rahmen der Beschaffenheitsprüfung aberkannt, ist dieses nur noch als Konsumware zu verkaufen. Infolge der höheren Anerkennungsraten reduziert sich bei *KPE* die Streuung der Ergebnisse. Die Extremwerte liegen geringfügig dichter zusammen als bei *KPZ*. Weiter ist der Variationskoeffizient bei *KPE* mit 85% um 14% geringer als bei *KPZ*.

Überraschenderweise liegt der mittlere Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *KS* trotz höherer Erzeugerpreisvolatilitäten mit 2.032 €/ha geringfügig (144 €/ha) über jenem von *KPZ*, aber um 130 €/ha unter *KPE*. Die geringen Differenzen in den Deckungsbeiträgen stehen auf dem ersten Blick im Widerspruch zu den veröffentlichten Standarddeckungsbeiträgen des BMLFUW (2008), da hier in der Pflanzkartoffelproduktion deutlich höhere Deckungsbeiträge pro Hektar erzielt werden. Hauptgrund dafür sind die geringen Pflanzgutkosten im Produktionsverfahren *KS*. In der vorliegenden Arbeit wird nicht wie in den Kalkulationen des BMLFUW (2008) 75% Originalpflanzgut verwendet, sondern nur 25%. Das restliche Pflanzgut stellt Nachbaupflanzgut aus dem eigenen Betrieb dar, das mit dem Erzeugerpreis für Speisekartoffeln des Vorjahres bewertet wird. Zusätzlich wird bei *KS*

die Pflanzdichte verringert, wodurch der Pflanzgutaufwand pro Hektar sinkt und sich die Pflanzgutkosten nochmals reduzieren. Der Vergleich zeigt, dass die durchschnittlichen Pflanzgutkosten im Produktionsverfahren *KPZ* mit 1.895 €/ha um 1.264 €/ha höher sind als bei *KS*. Diese enormen Kostenunterschiede können auch nicht durch die höheren Erlöse bei *KPZ* kompensiert werden. Bei vermehrtem Einsatz von Originalpflanzgut würde der mittlere Deckungsbeitrag von *KS* unter jenen von *KPZ* fallen.

Der Variationskoeffizient bei *KS* ist mit (86%) ähnlich hoch wie bei *KPE* und um 13% geringer als bei *KPZ*. Auch liegen die Extremwerte bei KS deutlich enger zusammen. Dies zeigt sich auch beim Vergleich des 5% und 95% Quantils, das bei *KS* am geringsten und bei *KPZ* am höchsten ist. Es bleibt festzuhalten, dass das Produktionsrisiko aufgrund der höheren Ergebnisstreuung bei *KPZ* am höchsten ist. Die Produktionsverfahren *KPE* und *KS* weisen trotz der volatilen Erzeugerpreise bei KS nur geringe Unterschiede in den Streuungsparametern auf. Dies dürfte durch das fehlende Aberkennungsrisiko bei KS kompensiert werden.

Wie in den Standarddeckungsbeiträgen des BMLFUW (2008), zeigen die Simulationsergebnisse der biologischen Produktionsverfahren *BPZ* und *BS,* im Gegensatz zu den konventionellen Verfahren deutlich höhere mittlere Deckungsbeiträge. Es ist aber anzumerken, dass ein Vergleich von biologischen und konventionellen Produktionsverfahren in diesem Fall nur bedingt zulässig ist, da der Deckungsbeitrag der biologischen Produktionsverfahren keine Opportunitätskosten für den Kleegrasanbau zur Stickstoffgewinnung beinhaltet. Für einen aussagekräftigen Vergleich müssten diese noch vom Deckungsbeitrag abgezogen werden. Der mittlere Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens *BPZ* beträgt 3.060 €/ha und liegt somit um 1.172 €/ha über dem Produktionsverfahren *KPZ*. Die höheren mittleren Deckungsbeiträge können vor allem durch die durchschnittlich höheren Erlöse aufgrund der höheren Erzeugerpreise realisiert werden. Es ist aber zu beachten, dass die Konsumware mit Erzeugerpreisen aus Deutschland bewertet wird und die diese auch deutlich über den Erzeugerpreisen für biologisch produziertes Pflanzgut liegen.

Die Verteilungsfunktionen der biologischen Produktionsverfahren verlaufen aufgrund der größeren Streuung aber deutlich flacher. Obwohl die relative Streuung in Form des Variationskoeffizienten bei den biologischen Verfahren (*BPZ* 90%, *BS* 70%) geringer ist, liegen sowohl die Extremwerte als auch das 5% und 95% Quantil viel weiter auseinander als

in den konventionellen. Primär dürften die hohen witterungsabhängigen Ertragsschwankungen für das erhöhte Produktionsrisiko verantwortlich sein. Zusätzlich erhöhen die volatilen Erzeugerpreise für Speisekartoffeln das Risiko, wobei aber nicht klar ist, ob in Österreich identische Volatilitäten wie in Deutschland vorherrschen. Das Ertrags- und Preisrisiko kann durch die höheren Anerkennungsraten auf Bioflächen (PURRMANN, 1997) nicht kompensiert werden. Die Beobachtung von PURRMANN (1997) kann bestätigt werden. Im biologischen Landbau lagen die Anerkennungsraten (in der identen Vermehrungsstufe) immer über jenen des konventionellen Kartoffelbaus.

In der biologischen Speisekartoffelproduktion kann der simulierte mittlere Deckungsbeitrag nochmals gesteigert werden. Dieser liegt um beachtliche 1.456 €/ha über dem Produktionsverfahren *BPZ*. Kein anderes Produktionsverfahren kann diesen Mittelwert übertreffen. Hauptfaktoren für die Deckungsbeitragssteigerung sind die höheren Erzeugerpreise für biologische Speisekartoffeln und die geringeren Pflanzgutkosten aufgrund des Einsatzes von Nachbaupflanzgut und der geringeren Pflanzdichte. Trotz der hohen Ertrags- und Preisvolatilitäten wird nur in 5,2% der Fälle ein negativer Deckungsbeitrag realisiert. In allen anderen Produktionsverfahren liegt die Wahrscheinlichkeit zwischen 10 und 13%.

Die Analyse der einzelnen Risikovariablen erfolgt in den einzelnen Produktionsverfahren mit Szenarien, die den mittleren Deckungsbeitrag in der Simulation realisieren können. Ausgehend von diesem Szenario wird untersucht, welchen Einfluss die einzelnen Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag ausüben. Bei der Analyse ist jedoch zu beachten, dass die einzelnen Risikovariablen über Korrelationen zusammenhängen. Schwankungen einzelner Risikovariablen können sich auf andere Risikovariablen auswirken und somit die Schwankungsbreite des Deckungsbeitrages noch vergrößern oder verkleinern. Diese Zusammenhänge können in der Analyse der Risikovariablen nicht berücksichtigt werden.

Nach WEINZIERL (1989) wird die Konkurrenzfähigkeit der Pflanzgutvermehrung entscheidend vom potenziellen Pflanzgutertrag und den Erzeugerpreisen bestimmt. Die Analyse der einzelnen Risikovariablen zeigt, dass die Frischmasseerträge (entscheidende Größe für den Pflanzgutertrag) und die Erzeugerpreise sowohl in der Pflanzgutvermehrung als auch in der Speisekartoffelproduktion ein wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit darstellen. Im konventionellen Pflanzkartoffelbau beträgt die Schwankungsbreite der Risikovariable *Frischmasseertrag* 11.800 (*KPZ*) bzw. 13.700 (*KPE*) €/ha, im biologischen Pflanzkartoffelbau ist diese mit 15.800 €/ha aufgrund der höheren Witterungsabhängigkeit des Ertrags deutlicher ausgeprägt. Dies gilt auch für den biologischen Speisekartoffelbau (18.000 €/ha). In der konventionellen Speisekartoffelproduktion zeigen sich bei der Risikovariable *Frischmasseertrag* relativ geringe Deckungsbeitragsschwankungen (3.800 €/ha). Die Erzeugerpreise verursachen im konventionellen Pflanzkartoffelbau Deckungsbeitragsschwankungen von 2.700-3.100 €/ha, im biologischen Pflanzkartoffelbau 4.100 €/ha. Im Speisekartoffelbau sind die durch die Erzeugerpreise verursachten Deckungsbeitragsschwankungen deutlicher ausgeprägt (konventionell 4.700 €/ha, biologisch 5.500 €/ha). Nach WEINZIERL (1989) unterliegt die Preisbildung am Speisekartoffelmarkt dem freien Spiel von Angebot und Nachfrage. Die wichtigsten Ursachen für die jährlichen Preisdifferenzen sind die unterschiedlich hohen Erntemengen im Inland, das Exportvolumen aus den Hauptanbaugebieten und die weitgehend preisunelastische Nachfrage. Wie schon in Punkt 5.1 erwähnt, wurde keine signifikante Korrelation zwischen Hektarerträgen und Erzeugerpreisen für Speisekartoffeln gefunden. Würde man den nicht signifikanten Korrelationskoeffizienten in die Modelle integrieren, würden sich die mittleren Deckungsbeiträge und deren Standardabweichungen geringfügig reduzieren. Die Reihung der Deckungsbeiträge würde sich aber nicht ändern. Es würden dieselben Feststellungen wie oben gelten.

Die Erzeugerpreise für Pflanzgut orientieren sich an den im gleichen Wirtschaftsjahr geltenden Konsum- bzw. Industriekartoffelpreisen und unterliegen somit denselben mittelfristigen Schwankungen, wobei die Erzeugerpreise für Pflanzkartoffeln aber eine höhere Stabilität aufweisen (WEINZIERL, 1989). Die Preisausschläge im Pflanzkartoffelbau fielen im Zeitraum 2005-2010 viel geringer aus als in der Speisekartoffelproduktion. Zudem wurde zwischen den Erzeugerpreisen für Pflanz- und Speisekartoffeln ein Korrelationskoeffizient von 0,93*** festgestellt, was auf einen deutlichen Zusammenhang

der beiden Preise hindeutet. In der Pflanzkartoffelproduktion darf in diesem Zusammenhang die Pflanzgutausbeute nicht vernachlässigt werden. Im konventionellen Pflanzkartoffelbau werden Deckungsbeitragsschwankungen von 1.000-1.400 €/ha festgestellt, im biologischen jedoch nur 800 €/ha. PIENZ (1997) meint, dass die Zunahme des Gesamtertrages vor allem durch die Zunahme des Übergrößenanteils verursacht wird. Der Ertrag in der Fraktion 30/35-50/55 mm bleibt jedoch relativ konstant, aber ihr Anteil am Gesamtertrag geht zurück (PIENZ, 1997). Die Korrelationsanalysen in Punkt 3.3 belegen die Aussage von PIENZ (1997). In Jahren, in denen bei Speisekartoffeln höhere Erzeugerpreise zu erwarten sind, kann es durchaus sinnvoll sein, den Sikkationszeitpunkt nach hinten zu verlagern. Die steigenden Transport-, Lagerungs- und Aufbereitungskosten müssen in der Kalkulation aber Beachtung finden (PIENZ, 1997).

Den Ergebnissen der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten kommt in der Pflanzkartoffelproduktion ebenfalls eine zentrale Bedeutung zu. Werden die Grenzwerte bei den schweren und leichten Virosen überschritten, können die Pflanzkartoffeln nicht mehr stufengerecht bzw. nur mehr als Konsumware verkauft werden. Die Analyse der Risikovariable *Anteil schwerer Virosen* zeigt, dass die Deckungsbeitragseinbußen im konventionellen Pflanzkartoffelbau (1.300-1.500 €/ha) deutlich ausgeprägter sein können als im biologischen (800 €/ha). Die Höhe der Einbußen ist aber immer von den aktuellen Erzeugerpreisen abhängig.

Nach PIENZ (1997) spielt auch das Absatzrisiko eine große Rolle für die Wirtschaftlichkeit in der Pflanzkartoffelproduktion. In den vorliegenden Kalkulationen kann dieses Risiko ausgeschlossen werden, da bei der Niederösterreichischen Saatbaugenossenschaft eine Abnahmegarantie zu den festgelegten Pflanzguterzeugerpreisen vorliegt.

Innerhalb der verschiedenen Aufwandspositionen nehmen die Pflanzgutkosten eine vorrangige Stellung ein (WEINZIERL, 1989). Die Ergebnisse zeigen, dass die Pflanzgutkosten in Abhängigkeit vom Bezugspreis und der mittleren Knollengröße stark schwanken können. Die Risikovariable Pflanzgutaufwand pro Hektar übt den größten Einfluss auf die Pflanzgutkosten aus. Betrachtet man die Risikovariablen Pflanzgutaufwand pro Hektar und die Pflanzgutkosten pro Dezitonne gemeinsam, verursachen diese im konventionellen Pflanzkartoffelbau Kostenschwankungen von 1.700 €/ha und im biologischen Pflanzkartoffelbau 2.600 €/ha. Die höheren Schwankungen im biologischen Pflanzkartoffelbau resultieren aus den höheren Pflanzgutkosten. Im Speisekartoffelbau sind

die Deckungsbeitragsschwankungen deutlich geringer, da hier mit dem kostengünstigeren eigenen Nachbau kalkuliert wird und die Pflanzdichte nicht so hoch ist wie im Pflanzkartoffelbau. Die restlichen Risikovariablen (Dünge- Pflanzenschutz- und Treibstoffkosten) verursachen bei einzelner Betrachtung nur relativ geringe Schwankungen im Deckungsbeitrag. In zukünftigen Modellen können bei diesen Risikovariablen Pauschalwerte durchaus ausreichend sein.

Im Rahmen der Arbeit ist es gelungen, ein eigenständiges Monte-Carlo-Simulationsprogramm zu entwerfen, indem sechs verschiedene Verteilungen zur Auswahl stehen. Zusätzlich können zwischen den angelegten Risikovariablen Korrelationen definiert werden, die das Programm im Rahmen der Simulation reproduziert. Die Arbeit beinhaltet detaillierte Verteilungsanalysen der verwendeten Risikovariablen. Mögliche Zusammenhänge zwischen den Risikovariablen werden über Korrelationsanalysen ermittelt. Es bleibt aber festzuhalten, dass einzelne Korrelationen aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit und Qualität kritisch zu betrachten sind. Das Deckungsbeitragsmodell ist so aufgebaut, dass die definierten Korrelationen in der Simulation so gut wie möglich realisiert werden können. Für zukünftige Simulationen empfiehlt es sich aber, für die Risikovariablen *Treibstoffkosten, Fungizidapplikationen* und *Insektizidapplikationen* Standardwerte einzusetzen, da diese nur einen geringen Einfluss auf den Deckungsbeitrag besitzen. Zusätzlich werden bei der Simulation die definierten Korrelationen noch exakter realisiert. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass unter gewissen Umständen in der Speisekartoffelproduktion höhere mittlere Deckungsbeiträge realisierbar sind und aufgrund des fehlenden Aberkennungsrisikos die Ergebnisstreuung verringert ist. Die biologischen Produktionsverfahren realisieren in der Simulation deutlich höhere mittlere Deckungsbeiträge (ohne Beachtung von Opportunitätskosten), weisen aber aufgrund der stärkeren Ertragsvolatilitäten eine höhere Ergebnisstreuung auf, wodurch das Produktionsrisiko steigt. Die Frischmasseerträge und Erzeugerpreise sind entscheidende Risikogrößen in den Produktionsverfahren.

6 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit ist es, das Risiko mit Hilfe der Monte Carlo Simulation in der biologischen und konventionellen Pflanz- und Speisekartoffelproduktion anhand des Deckungsbeitrags zu ermitteln. Es soll abgeschätzt werden, mit welchen Wahrscheinlichkeiten bestimmte Deckungsbeiträge überschritten werden und welche Risikovariablen dafür primär ausschlaggebend sind. Die Simulation erfolgt anhand von fünf Produktionsverfahren: konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E, konventionelle und biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut und konventionelle und biologische Speisekartoffelproduktion. Für die Simulation soll ein selbständig entwickeltes Simulationsprogramm verwendet werden.

Im ersten Teil der Masterarbeit werden die wirtschaftlich wichtigsten Risikofaktoren der Kartoffelproduktion erläutert (Witterung, Ertragskomponenten, Erzeugerpreise,…). Weiter werden grundlegende Informationen über Ablauf und Methodik der Monte Carlo Simulation zusammengefasst. Mit Hilfe dieser Informationen wird ein Simulationsprogramm als Excel-Add-In entworfen, das Korrelationen zwischen den Risikovariablen berücksichtigen kann.

Es wird das Deckungsbeitragsmodell erstellt und die dazu benötigten Inputgrößen detailliert beschrieben. Zur Simulation der verschiedenen Produktionsverfahren werden insgesamt 25 Risikovariablen definiert, wobei Gleichverteilungen, Normalverteilungen, Dreiecksverteilungen, Gammaverteilungen, Weibullverteilungen und Diskrete Verteilungen Verwendung finden. Die Zusammenhänge zwischen den Risikovariablen werden mittels Korrelationen definiert. Diese stammen aus selbständig durchgeführten Datenanalysen und aus der Literatur. Neben den Risikovariablen beinhaltet die Deckungsbeitragskalkulation zusätzlich noch abhängig variable und fixe Inputgrößen. Die Inputgrößen und Korrelationen werden dem jeweiligen Produktionsverfahren angepasst.

Die biologischen Produktionsverfahren können in der Simulation deutlich höher mittlere Deckungsbeiträge realisieren (*KPE* 2.162 €/ha, *KPZ* 1.888 €/ha, *KS* 2.032 €/ha, *BPZ* 3.060 €/ha, BS 4.517 €/ha), wobei die Opportunitätskosten in der Kalkulation keine Berücksichtigung finden. Die Verteilungsfunktionen der biologischen Produktionsverfahren verlaufen aufgrund der größeren Deckungsbeitragsstreuung deutlich flacher. Sowohl die Extremwerte (*KPZ* -3.004 bis 9.845 €/ha, *BPZ* -4.702 bis 15.926 €/ha) als auch das 5% und 95% Quantil liegen deutlich weiter auseinander als in den konventionelle Verfahren. Primär

werden die starken witterungsabhängigen Ertragsschwankungen dafür verantwortlich gemacht, was sich deutlich in der Korrelation *NS-FM* (r_{SP}=-0,44***) äußert.

In den konventionellen Produktionsverfahren liegen die Deckungsbeiträge sehr nahe zusammen. Hauptgrund dafür sind die reduzierten Pflanzgutkosten in der Speisekartoffelproduktion, die durch die Erlöse in der Pflanzgutproduktion nur schwer kompensiert werden können. Aufgrund der geringeren *KPZ* Pflanzguterzeugerpreise (bei *KPE* geringfügig höher) und des höheren Aberkennungsrisikos (bei *KPE* geringer), liegt der mittlere Deckungsbeitrag von *KPZ* unter jenen von *KS (*jener von *KPE* liegt darüber). Das Risiko einer wahrscheinlicheren Aberkennung äußert sich in Form einer größeren Standardabweichung der Deckungsbeiträge. In den biologischen Produktionsverfahren ist die Speisekartoffelproduktion aufgrund der geringeren Pflanzgutkosten und der hohen Erzeugerpreise deutlich überlegen, die Streuung der Extremwerte ist aber signifikant höher (*BS* -3.573 bis 19.856 €/ha)

Mit Ausnahme von *KS* (3.580 €/ha) werden die größten Deckungsbeitragsschwankungen vor allem durch die Risikovariable Frischmasseertrag verursacht, wobei die Schwankungen bei *KPE* (11.800 €/ha) und *KPZ* (13.700 €/ha) geringer ausfallen als bei *BPZ* (15.800 €/ha) und *BS* (18.300 €/ha). In der Pflanzkartoffelproduktion übt die Risikovariable *€P* mit einer Schwankungsbreite von 2.000 €/ha (konventionell) bzw. 2.700 €/ha (biologisch) einen wichtigen Einfluss auf den Deckungsbeitrag aus. Der *€S* verursacht hingegen „nur“ Deckungsbeitragsschwankungen in der Höhe von rund 1.100 €/ha. Im Speisekartoffelbau hat diese Risikovariable deutlich mehr Einfluss auf den Deckungsbeitrag. Hier sind Deckungsbeitragsschwankungen von rund 5.000 €/ha möglich. Innerhalb der verschiedenen Aufwandspositionen nehmen die Pflanzgutkosten eine vorrangige Stellung ein. Je nach Produktionsverfahren können bei den Deckungsbeiträgen Schwankungen in der Höhe von 1.700-2.600 €/ha verursacht werden.

Es ist gelungen, ein selbst entworfenes Monte-Carlo-Simulationsprogramm zu programmieren, das Korrelationen zwischen den Risikovariablen berücksichtigen kann. Der Aufbau des Deckungsbeitragsmodells erfolgt so, dass die definierten Korrelationen zwischen den Risikovariablen in der Simulation realisiert werden können. Die Ergebnisse belegen, dass unter gewissen Umständen, die Deckungsbeiträge in der Pflanzkartoffelproduktion unter jenen der Speisekartoffelproduktion liegen und aufgrund des Aberkennungsrisikos eine höhere Ergebnisstreuung aufweisen können. Die biologischen Produktionsverfahren realisieren in der Simulation deutlich höhere mittlere Deckungsbeiträge (ohne Beachtung von Opportunitätskosten), weisen aber aufgrund der stärkeren Ertragsvolatilitäten eine absolut höhere Ergebnisstreuung auf, wodurch sich das Produktionsrisiko erhöht. Die Frischmasseerträge und Erzeugerpreise sind entscheidende Risikogrößen in den simulierten Produktionsverfahren.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tendenzieller Einfluss von Temperatur und Wasserversorgung während der Vegetation auf ausgewählte Wachstumsmerkmale bei Kartoffeln 5
Abbildung 2: Tendenzieller Einfluss der Pflanzknollenmasse und des Legeabstandes auf ausgewählte Ertragsmerkmale 8
Abbildung 3: Einzelschritte der Monte-Carlos-Simulation 19
Abbildung 4: Deckungsbeitrag als Vorhersagemodell 19
Abbildung 5: Die Beziehung zwischen Dichtefunktion und Verteilungsfunktion im Intervall [a,b] anhand der Normalverteilung 22
Abbildung 6: Dichte- und Verteilungsfunktion einer kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [a; b] 23
Abbildung 7: Dichtefunktion und Verteilungsfunktion der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b] 25
Abbildung 8: Dichte- und Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung im Intervall [0; 60] 26
Abbildung 9: Dichtefunktionen von ausgewählten Weibullverteilungen im Intervall [0; 3] ... 27
Abbildung 10: Dichtefunktionen von ausgewählten Gammaverteilungen im Intervall [0; 1,5] 28
Abbildung 11: Dichtefunktion und Verteilungsfunktion einer diskreten Verteilung im Intervall [2; 9] 29
Abbildung 12: Erzeugung von Zufallszahlen beliebiger Verteilung, aus gleichverteilten Zufallszahlen [0; 1] mit Hilfe der inversen Verteilungsfunktion 33
Abbildung 13: Algorithmus der Cholesky-Zerlegung 36
Abbildung 14: Transponierte Matrix der unabhängigen Zufallszahlen der Größe nach geordnet 38
Abbildung 15: Schema für die Erzeugung der Startmatrix M^{m*n} 39
Abbildung 16: Ableitung korrelierter Zufallszahle für die Ausgangsmatrix X 40
Abbildung 17: Vergleich der Ausgangsmatrix A mit den Korrelationen XK der IC-Methode .. 40
Abbildung 18: Schema der Deckungsbeitragskalkulation 45
Abbildung 19: Durchschnittstemperaturen und durchschnittliche Niederschlagssummen der Erntejahre 2007 bis 2009 47
Abbildung 20: Dichtefunktion der Risikovariable Niederschlagssumme (mm) 48
Abbildung 21: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Durchschnittstemperatur

(°C) 48
Abbildung 22: Durchschnittliche Hektarerträge für biologisches und konventionelles B- und Z-Pflanzgut, im Zeitraum 2007- 2009 49
Abbildung 23: Durchschnittliche Hektarerträge im konventionellen Speisekartoffelbau, im Zeitraum 2000 bis 2010 50
Abbildung 24: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Frischmasseertrag konventionell produziertes Pflanzgut (t/ha) der Kategorie E und Z 50
Abbildung 25: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Frischmasseertrag biologisch produziertes Pflanzgut (t/ha) bzw. Frischmasseertrag biologisch produzierte Speisekartoffeln (t/ha) 51
Abbildung 26: Dichtefunktion der Risikovariable Frischmasseertrag konventionell produzierte Speisekartoffeln (t/ha) 52
Abbildung 27: Vermarktungsfähige Pflanzkartoffeln für biologisches und konventionelles V-, B- und Z-Pflanzgut, der Jahre 2008 und 2009 52
Abbildung 28: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Ausbeute Pflanzkartoffeln konventionell (%), der Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E und Z 53
Abbildung 29: Dichte- und Verteilungsfunktion der Risikovariable Ausbeute Pflanzkartoffeln biologisch (%) 54
Abbildung 30: Dichtefunktion der Risikovariable Anteil Futterkartoffeln (%) für alle simulierten Produktionsverfahren 55
Abbildung 31: Erzeugerpreise für biologisches und konventionelles Z-Pflanzgut von Früh- und Speisesorten und Verarbeitungs- und Stärkesorten, im Zeitraum 2004 bis 2010 56
Abbildung 32: Bruttoerzeugerpreise für biologische und konventionelle Speisekartoffeln, im Zeitraum 2005 bis 2011 56
Abbildung 33: Dichtefunktion der Risikovariable Anteil schwerer Virosen (%) der Produktionsverfahren KPE, KPZ und BPZ 59
Abbildung 34: Dreiecksverteilungen des Pflanzgutaufwandes für biologische und konventionelle Pflanz- und Speisekartoffeln 60
Abbildung 35: Reinnährstoffkosten in €/kg für Stickstoff, Phosphor und Kalium 61
Abbildung 36: Dichtefunktion der Risikovariable Pflanzenschutzmittelapplikationen Fungizid (Anzahl) bzw. Pflanzenschutzmittelapplikationen Insektizid (Anzahl) der

Produktionsverfahren KPE, KPZ und KS 64
Abbildung 37: Entwicklung der Dieselpreise seit Jänner 2007 66
Abbildung 38: Dichte- und Verteilungsfunktion der simulierten Kennzahl Deckungsbeitrag II für das Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E..... 74
Abbildung 39: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E..... 75
Abbildung 40: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren KPE und KPZ..... 76
Abbildung 41: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z..... 77
Abbildung 42: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren KS und KPZ..... 78
Abbildung 43: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren konventionelle Speisekartoffelerzeugung 79
Abbildung 44: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren BPZ und KPZ..... 80
Abbildung 45: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z..... 81
Abbildung 46: Vergleich der simulierten Deckungsbeiträge II der Produktionsverfahren BS, BPZ und KS..... 83
Abbildung 47: Einfluss einzelner Risikovariablen auf den Deckungsbeitrag im Produktionsverfahren biologische Speisekartoffelerzeugung..... 84
Abbildung 48: Erstellung (oben), Anpassung (links unten) und Löschung (rechts unten) der Risikovariablen 125
Abbildung 49: Erstellung der Koeffizientenmatrix (oben) und Kontrolle der simulierten Risikovariablen (unten) 126
Abbildung 50: Risikovariablen im Modell zuweisen (oben) und Erstellung der Zielgröße (unten)..... 127

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an den Befall mit Viruskrankheiten in Abhängigkeit von den Kategorien im Zuge der Pflanzkartoffelanerkennung 4
Tabelle 2: Nährstoffentzüge von Kraut und Knolle der Kartoffel bei Versorgungsstufe C 6
Tabelle 3: Optimaler Pflanzgutaufwand für Kartoffeln bei 160.000 - 185.000 Stängel/ha für Konsumkartoffeln und 190.000 - 215.000 Stängel/ha für Pflanzkartoffeln 7
Tabelle 4: Richtwerte für den bei der Lagerung auftretenden natürlichen Schwund, sowie Kennwerte der Wärme- und Stoffabgabe von Kartoffeln 16
Tabelle 5: Erzeugung einer diskreten Verteilung im Intervall [0; 1] 35
Tabelle 6: Inputgrößen im Deckungsbeitragsmodell 44
Tabelle 7: Minimal- und Maximalwerte der Gleichverteilungen für die Bruttoerzeugerpreise von biologischen und konventionellen Pflanz- und Speisekartoffeln 57
Tabelle 8: Ergebnisse der Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten bei konventionellen und biologischen Pflanzkartoffeln der Kategorien B/SE, B/E und Z 58
Tabelle 9: Nährstoffentzüge pro Hektar bei gegebenem Zielertrag für ausgewählte Produktionsrichtungen 62
Tabelle 10: Minimal- und Maximalwerte der Gleichverteilungen für die Risikovariable Düngekosten pro Hektar (€) der Produktionsverfahren KPE, KPZ, KS, BPZ, BS 62
Tabelle 11: Verfahrensübersicht und variable Maschinenkosten in der konventionellen und biologischen Pflanz- und Speisekartoffelproduktion 67
Tabelle 12: Korrelationen zwischen den Risikofaktoren bei konventioneller und biologischer Pflanz- bzw. Speisekartoffelproduktion 69
Tabelle 13: Beizmittel zur Pflanzgutbehandlung bei Kartoffeln 113
Tabelle 14: Überblick über häufig verwendete Fungizide im Kartoffelbau 114
Tabelle 15: Überblick über häufig verwendete Insektizide 115
Tabelle 16: Überblick über Sikkationsmittel bei der chemischen Krautbekämpfung 115
Tabelle 17: Schema zur Berechnung der variablen Maschinenkosten für die konventionelle Kartoffelproduktion 122
Tabelle 18: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E 128
Tabelle 19: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der

Kategorie Z..... 129
Tabelle 20: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Speisekartoffelproduktion 130
Tabelle 21: Verwendete Risikovariablen für die biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z..... 131
Tabelle 22: Verwendete Risikovariablen für die biologische Speisekartoffelproduktion..... 132
Tabelle 23: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E 133
Tabelle 24: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z 134
Tabelle 25: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Speisekartoffelproduktion 135
Tabelle 26: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z 136
Tabelle 27: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die biologische Speisekartoffelproduktion 136

9 Formelverzeichnis

Formel 2-1: Erwartungswert E(x) und Varianz Var(x) der kontinuierlichen Gleichverteilung . 22
Formel 2-2: Dichtefunktion einer kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [a; b] 23
Formel 2-3: Verteilungsfunktion der kontinuierlichen Gleichverteilung im Intervall [0; 1] 23
Formel 2-4: Dichtefunktion der Normalverteilung 24
Formel 2-5: Verteilungsfunktion der Normalverteilung 24
Formel 2-6: Erwartungswert und Varianz der Dreiecksverteilung 24
Formel 2-7: Dichtefunktion f(x) der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b]..... 24
Formel 2-8: Verteilungsfunktion F(x) der Dreiecksverteilung im Intervall [a; b] 25
Formel 2-9: Erwartungswert und Varianz der Exponentialverteilung 26
Formel 2-10: Dichtefunktion der Exponentialverteilung 26
Formel 2-11: Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung 26
Formel 2-12: Dichtefunktion der Weibullverteilung Wei(b,T) 27
Formel 2-13: Verteilungsfunktion der Weibullverteilung Wei(b,T) 27
Formel 2-14: Dichtefunktion der Gammaverteilung GA (α,ß) 28
Formel 2-15: Verteilungsfunktion der Gammaverteilung GA(α,ß) 28
Formel 2-16: Dichtefunktion der diskreten Verteilung..... 29
Formel 2-17: Verteilungsfunktion der diskreten Verteilung..... 29
Formel 2-18: Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson für zwei Zufallszahlen..... 30
Formel 2-19: Korrelationskoeffizient nach Spearman für zwei Rangzahlen..... 31
Formel 2-20: Inverse Verteilungsfunktion der Gleichverteilung im Intervall [0; 1]..... 33
Formel 2-21: Inverse Verteilungsfunktion der Dreiecksverteilung im Intervall [0; 1] 34
Formel 2-22: Inverse Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung im Intervall [0; 1]..... 34
Formel 2-23: Inverse Verteilungsfunktion der Weibullverteilung im Intervall [0; 1] 34
Formel 2-24: Cholesky-Zerlegung für i,j Elemente..... 37
Formel 2-25: Berechnung der T Matrix mit Hilfe der Cholesky zerlegten Matrizen C und C_T^{-1} und der Matrix M 39

10 Abkürzungsverzeichnis

Symbolverzeichnis

AAP	Anzahl Pflanzenschutzapplikationen
AF	Anteil Futterkartoffeln
AP	Ausbeute Pflanzgut
ASV	Anteil schwerer Virosen
B/E	Basispflanzgut der Klasse Elite
BP	Biologische Pflanzkartoffelproduktion
BPZ	Biologische Produktion von zertifiziertem Pflanzgut
BS	Biologische Speisekartoffelproduktion
B/SE	Basispflanzgut der Klasse Superelite
dt	Dezitonne
DT	Durchschnittstemperatur
E(X)	Erwartungswert
E(λ)	Exponentialverteilung
€P	Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln
€S	Erzeugerpreis Speisekartoffeln
FM	Frischmasseertrag
i	Zinssatz
KP	Konventionelle Pflanzkartoffelproduktion
KPE	Konventionelle Produktion von Basispflanzgut der Klasse E
KPZ	Konventionelle Produktion von zertifiziertem Pflanzgut
KS	Konventionelle Speisekartoffelproduktion
l, lt	Liter
MCS	Monte-Carlo-Simulation
Mk	Variable Maschinenkosten
NÖS	Niederösterreichische Saatbaugenossenschaft
NPK	Düngekosten
NS	Niederschlagssumme
PA	Pflanzgutaufwand
PLRV	Kartoffelblattrollvirus

PVA	Kartoffel A-Virus
PVM	Kartoffel M-Virus
PVY	Kartoffel Y-Virus
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
r_{SP}	Korrelationskoeffizient nach Spearman
TK	Treibstoffkosten
U, u	Pseudozufallszahl zwischen 0 und 1
UBAG	Umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen
Var(X)	Varianz
X, x	Zufallsvariable bzw. Pseudozufallszahl
Z	Zertifiziertes Pflanzgut

11 Literaturverzeichnis

AELF (2010): Kartoffelfax 5/2010. Online: http://www.alf-au.bayern.de/pflanzenbau/18262/linkurl_0_83.pdf (14.2.2011)

AGES (2011): Normen und Verfahren zur Anerkennung von Kartoffelpflanzgut. Online: http://www.baes.gv.at/uploads/media/Methoden_Kartoffel_2011.pdf (2.5.2011)

AGRIA CHEMICALS POLAND (2010): Preisliste Dezember 2010. Sosnowiec: Eigenverlag.

ALDAMEN, H.; GEROWITT, B. (2010): Blattlausbefall an verschiedenen Kartoffelsorten unter Freilandbedingungen. Kartoffelbau 61: 248 - 250.

ARBEITERKAMMER (2010): Treibstoffanalyse der Erhebung von 13. - 14. September 2010. Online: www.arbeiterkammer.at/bilder/d125/**Treibstoffpreise_September2010**.pdf (26.4.2011)

AUMANN, H. (2008): Kartoffeln in der Kiste lagern? Kartoffelbau 59: 244 - 247.

BAUERNZEITUNG (2009): Markt Niederösterreich. BAUERNZEITUNG. Wien, Herold Druck und Verlag AG.

BECK, W. (2009): Insektizideinsatz zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers 2009. Kartoffelbau 60: 172 - 176.

BERGER, L. et al. (1994): ARGE Pflanzenbau 2. Graz, Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.

BESSER, S. (2010): Anwendung der Monte Carlo Simulation in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung am Beispiel des Weinbaus. Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Wien, Universität für Bodenkultur.

BEYER, H.; GERINGHAUSEN, G. (2009): Kartoffeln perfekt einlagern - so geht's. Top Agrar 9/2009: 68 - 71.

BIO AUSTRIA (2010): Produktionsrichtlinien Fassung September 2010. Wien: Selbstverlag.

BMLFUW (2008): Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008. Online: http://publikationen.lebensministerium.at (28.7.2011)

BMLFUW (2011a): Agrardieselvergütung. Online: http://www.lfrz.at/article/articleview/29068/1/5459 (26.4.2011)

BMLFUW (2011b): In der IP-Erdäpfel (Kartoffeln) gemäss ÖPUL zulässige Pflanzenschutzmittel im Jahr 2011. Online: http://www.landnet.at/article/articleview/18782/1/5197/ (14.2.2011)

BOSCH, K. (2007): Statistik für Nichtstatistiker - Zufall und Wahrscheinlichkeit. 5., Aufl., Oldenbourg: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

BRANDT, S. (1999): Datenanalyse. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

BRENDLER, F. (1997): Phytophthora-Prognosemodelle. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

BRUNS, C. et al. (2009): Kupferminimierungsstrategien im ökologischen Kartoffelbau. Kartoffelbau 60: 160 - 166.

BRÖTER, A. C. (2007): Betriebszweigabrechnung im ökologischen Ackerbau. Frankfurt am Main: DLG Verlag.

BUNDESANSTALT FÜR AGRARWIRTSCHAFT (2011): Betriebsmittel. Online: http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=betriebsmittel (5.3.2011)

BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN (2010): Merkblatt Agrardieselverordnung - Vergütung der Mineralölsteuer. Online: (26.4.2011)

CARUSO, G.; CARPUTO, D.; FRUSCIANTE, L. (2010): Research on potato seed-use practices: planting times and seed tuber weight in relation to cultivar. Advances in Horticultural Science 24: 149 - 153.

CRONE, S. F. (2010): Neuronale Netze zur Prognose und Disposition im Handel. Hamburg: Gabler Verlag.

DANNENBERG, H. (2009): Berücksichtigung von Abhängigkeiten im Risikomanagement. Controller Magazin 2009: 63 - 70.

DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2010): DBV-Öko-Report. 1/2010. Online: http://www.bauernverbandsh.de/index.php?id=143 (5.4.2011)

DIE ÖSTERREICHISCHE HAGELVERSICHERUNG (2010): Wetterservice.

DIEPENBROCK, W.; ELLMER, F.; LÉON, J. (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, UTB Grundwissen Bachelor. . Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

ERBE, G. (1997): Gesetzliche Grundlagen. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

ERBE, G. (2008): Selektion kranker Pflanzen. Kartoffelbau 59: 178 - 181.

ESCHENMOSER, D.; SCHWITTER, M. (2009): Zufallszahlen: Mersenne- Twister. Online: http://www.fh-htwchur.ch/uploads/media/Bericht_57.pdf (6.3.2011)

FREY, H.; NIEßEN, G. (2004): Monte Carlo Simulation - Quantitative Risikoanalyse für die Versicherungsindustrie. München: Gerling Akademie Verlag.

GEISLER, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.

GEIß, M. (2007): Wirtschaftlichkeit regenerativer Energie am Beispiel Bioethanol. Hamburg, Fachhochschule Ludwigshafen.

GÜLLÜOGLU, L.; ARIOGLU, H. (2009): Effects of seed size and in-row spacing on growth and yield of erarly potato in a mediterranean-type environment in Turkey. African Journal of Agricultural Research 4: 535 - 541.

HAMMERSLEY, J. M.; HANDSCOMB, D. C. (1964): Monte Carlo Methods. London: Fletcher & Son Ltd, Norwich.

HARDACKER, J. B.; HUIRNE, R. B. M.; ANDERSON, J. R. (1997): Coping with Risk in Agriculture. Wallingford, Oxon: C.A.B. International.

HATZINGER, R.; NAGEL, H. (2009): PASW Statistics Statistische Methoden und Fallbeispiele. München: Pearson Education Deutschland GmbH.

HENKING, A.; BLUHM, C.; FAHRMEIR, L. (2006): Kreditrisikomessung: Statistische Grundlagen, Methoden und Modellierung. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

HERTZ, D. B. (1964): Risk Analysis in Capital Investments. Harvard Business Review 42: 95 - 106.

INCONA (2008): Newsletter Nr. 36 vom 1.4.2008. Online: http://www.effizientduengen.de/download/Newsletter_36.pdf (4.2.2011)

INFOXGEN (2010): Betriebsmittelkatalog 2010. Online: http://www.infoxgen.com/betriebsmittelkatalog.html (17.2.2011)

JULIUS KÜHN-INSTITUT (2010): Fachausschuss Pflanzenschutzmittelresistenz - Insektizide, Akarizide Strategie zur Verringerung eines Resistenzrisikos von Kartoffelkäfer und Blattläusen in Kartoffeln gegen Neonicotinoide für das Jahr 2010. Online: http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_A/resistenz/insektizide_akarizide/2010%20Strategie%20zur%20Verringerung%20des%20Resistenzrisikos%20von%20Kartoffelk%C3%A4fern%20und%20Blattl%C3%A4usen%20in%20Kartoffeln%20gegen%20Neonicotinoide.pdf (18.2.2011)

KAMPTNER, A. (2011): Erzeugerpreise biologische Speisekartoffel.

KIRNER, L. et al. (2006): Kostenrechnung im landwirtschaftlichen Betrieb - Verrechnung aller Leistungen und Kosten auf die Betriebszweige. Online: http://agraroekonomik.at/fileadmin/download/Handbuch_Kostenrechnung_im_land

wirtschaftlichen_Betrieb.pdf (20.12.2010)
KLEIN, M. (2010): Add-In basierte Softwaretools zur stochastischen Unternehmensbewertung. Online: www.econstor.eu/bitstream/10419/36702/1/631127364.pdf (1.7.2010)
KLOCKENBUSCH, H. (2008): Intelligentes Insektizidmanagement. Kartoffelbau 59: 170 - 176.
KNECHT, T. (2005): Risikoanalyse von IT-Investitionen. Norderstedt, GRIN Verlag.
KOLANOSKI, H. (2008): Statistische Methoden der Datenanalyse. Vorlesung im Sommersemester 2008. Berlin.
KOLONKO, M. (2008): Stochastische Simulation - Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen. 1., Aufl., Wiesbaden: Springer Science+Business Media.
KRÖBER, M. et al. (2008): Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des Energieholzanbaus in Kurzumtriebsplantagen - Risikoanalyse mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation. Online: http://www.ilr1.uni-bonn.de/gewisola08/downloads/Beitraege/Kr%C3%B6ber.pdf (26.11.2008)
KTBL (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/2009. 21., Aufl., Darmstadt: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag.
KUNZE, T. (2010): Beziehung zwischen Witterung und Kartoffelertrag. Kartoffelbau 61: 475 - 479.
KÜHLMEYER, M. (2001): Statistische Auswertungsmethoden für Ingenieure mit Praxisbeispielen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
KÜHN, W. (2006): Digitale Fabrik - Fabriksimulation für Produktionsplaner. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
KÜRZINGER, W. (1997a): Fungizideinsatz. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.
KÜRZINGER, W. (1997b): Insektizideinsatz. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.
KÜRZINGER, W. (1997c): Selektion. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.
KÜRZINGER, W. (1997a): Beschaffenheitsprüfung auf Viruskrankheiten. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.
KÜRZINGER, W. (2008): Pflanzkartoffeln müssen gesund bleiben. Kartoffelbau 59: 182 - 187.
KÜRZINGER, W. (2008a): Pflanzenschutz-Rückblick 2008 aus west-, ost-, nord- und süddeutscher Sicht. Kartoffelbau 59: 482 - 487.
KÜRZINGER, W. (2008b): Pflanzkartoffeln müssen gesund bleiben. Kartoffelbau 59: 182 - 187.
KÜRZINGER, W. (2009): Knollen sicher in die Zwangsruhe schicken. Top Agrar 9/2009: 72 - 74.
KÜRZINGER, W. (2010a): Kraut- und Braunfäule - ein zu lösendes Problem. Kartoffelbau 61: 228 - 232.
KÜRZINGER, W. (2010b): Schadinsekten und ihre Bekämpfung im Kartoffelbau. Kartoffelbau 61: 182 - 186.
KÜRZINGER, W. (2011): Beize: Erleichtern Sie Ihren Knollen den Kaltstart. Top Agrar 3/2011: 72 - 75.
LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM (2008): Rhizoctoniabekämpfung in Kartoffeln - Die Beizung von Pflanzkartoffeln. Online: http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1115924_l1/LTZ_Rhizoctoniabekaempfung%20Kartoffeln.pdf (12.2.2011)

LFI (2007): Düngung im ÖPUL 2007. Online: (8.4.2011)

LFL (2010a): Infos zum Kartoffelbau - Sikkation und Lagerung. Online: http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/03484/linkurl_0_35_0_6.pdf (22.2.2011)

LFL (2010b): Pflanzenschutzmittel in Kartoffeln - Anwendungshinweise und Wirkungseinstufungen. Online: http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/24399/index.php (16.2.2011)

LFL (2011): LFL - Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Speisekartoffel. Online: https://www.stmelf.bayern.de/idb/speisekartoffeln.html (16.8.2011)

LINß, G. (2006): Statistiktraining im Qualitätsmanagement. München, Wien: Carl Hanser Verlag.

MAYERHOFER, J. (2011): Risiokanalyse im Zuckerrübenanbau mit der Monte Carlo Simulation am Beispiel einer Mehrgefahrenversicherung. Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Wien, Universität für Bodenkultur.

MAYKUß, F. (1997a): Herbizideinsatz in Kartoffeln. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

MAYKUß, F. (1997b): Knollenbeizung gegen Rhizoctoia. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

MECHTLER, K. (2002): Einflussnahme auf die Sortierung der Ernteware bei Kartoffel. Online: http://www.alva.at/upload/Publikationen/alva2002/tagung/mechtler.pdf (30.3.2011)

MILDENHALL, S. J. (2005): Correlation and Aggregate Loss Distributions With An Emphasis On The Iman-Conover Methode. Online: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.132.324 (23.11.2010)

MUßHOFF, O.; HIRSCHAUER, N. (2011): Modernes Agrarmanagement. München: Vahlen.

NIEDERÖSTERREICHISCHE SAATBAUGENOSSENSCHAFT (2010): Hektarerträge und Saatgutausbeuten der Jahre 2007 bis 2009.

NÖS (2009): Sortenkatalog 2010. Meires: Selbstverlag.

PETERS, R. (1997a): Aufbereitung. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

PETERS, R. (1997b): Erntevorbereitung. Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

PIENZ, G. (1997): Düngung. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

PRECHT, M.; KRAFT, R. (1992): Biostatistik 1. 5., völlig überarb. Aufl., München, Wien: Oldenbourg Verlag.

PRECHT, M.; KRAFT, R.; BACHMAIER, M. (1999): Angewandte Statistik 1. 6., vollst. überarb. Aufl., München, Wien: Oldenbourg Verlag.

PURRMANN, B. (1997): Ökologischer Pflanzkartoffelbau. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

RADTKE, W.; RIECKMANN, W.; BRENDLER, F. (2000): Kartoffel - Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Gelsenkirchen: Th. Mann.

RAIFFEISEN (2010): Pflanzenschutzmanager. Online: http://www.raiffeisen.com/pflanzen/psm-manager/splitParams/3/H/f/0/ (12.2.20011)

RAUH, S. (2006): Risikoanalyse für Biogasanlagen mit der Monte-Carlo-Simulation. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt. München, Technische Universität München.

RUNGE, M. (1997): Mechanische Pflege. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

SAVVIDES, S. C. (1994): Risk Analysis in Investment Appraisal. Project Appraisal 9: 3 - 18.

SCHIELEK, A.; KRÜGEL, S. (2005): Pseudozufallszahlen. Online: www.stephankruegel.de/documents/seminararbeit_**pseudozufallszahlen**.pdf (1.2.2011)

SCHIESSENDOPPLER, E.; CATE, P. (1976): Wichtige Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel. Wien: Verlag Jugend & Volk Ges. m.b.H.

SCHILDBÖCK, M. (2011): Marktinformationen Kartoffeln. Online: http://www.bauernzeitung.at/index.php?id=2500%2C%2C2152%2C%2CeF9LRVlXT1JEX0FbMF09MTMwJm5wZl9jb3VudGVyW2NvbnRlbnRdPTIzNSZucGZfc2V0X3Bvc1tjb250ZW50XT0x (5.4.2011)

SCHINDLER, M. (2010): Kartoffellagerung - nicht nur mehr ein Kostenfaktor? Kartoffelbau 61: 306 - 309.

SCHLITTGEN, R. (2003): Einführung in die Statistik Analyse und Modellierung von Daten. 10., Aufl., München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH.

SCHMIEDL, J.; KÖPPL, H.; KLUG, P. (2011): Pflanzenschutzmittel im Ackerbau für 2001. Online: www.agrarnet.info/netautor/napro4/wrapper/media.php?id (17.2.2011)

SCHUHMANN, P. (1997a): Bestellung. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Planzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

SCHUHMANN, P. (1997b): Biologische Abläufe in der Knolle. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

SCHUHMANN, P. (1997c): Klimaansprüche und Temperaturgrenzen. IN SCHUHMANN, P. (Ed.) Die Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag.

SCHUHMANN, P. (2009b): Die Lebensprozesse der biologisch aktiven Knolle. Kartoffelbau 60: 195 - 200.

SCHUHMANN, P. (2011a): Aktuelle Pflanzenschutzprobleme im Kartoffelbau. Online: http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_LLFG/dokumente/Acker_und_Pflanzenbau/Produktionstechnik/Bernburger_Agrarberichte/08_1_schuhmann.pdf (20.6.2011)

SCHUHMANN, P. (2011b): Einflussgrößen auf die Kartoffelqualität beim Feldanbau. Kartoffelbau Jg. 62: 13 - 17.

SCHWARZ, H. R.; KÖCKLER, N. (2006): Numerische Mathematik. 6., überarb. Aufl., Wiesbaden: Teubner.

SCHÖN, T. (2011): Schwarzbeinigkeit bei der Kartoffel - Einfluss ausgewählter Faktoren auf die Bestandesentwicklung und den Ertrag. Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und

Pflanzenbiotechnologie. Wien, Universität für Bodenkultur.

SPRINGER, J. (2011): Mündliche Mitteilung vom 1.3.2011.

STATISTIK AUSTRIA (2011): Feldfruchtproduktion ab 1970. Online: http://sdb.statistik.at/superwebguest/login.do?guest=guest&db=depflfeld (30.3.2011)

STEINHOFF, C. (2008): Quantifizierung operationeller Risiken in Kreditinstituten. Göttingen: Cuvillier Verlag.

STÄHLER AUSTRIA (2010): Kartoffel-Info Dezember 2010. Graz: Selbstverlag.

VIERTL, R. (2003): Einführung in die Stochastik. 3., überarb., erw. Aufl., Wien: Springer

Verlag.
WEINZIERL, A. (1989): Ökonomik des Kartoffelanbaues in Bayern. Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues. München, Technische Universität München in Weihenstephan.
WEIß, C.; RZANY, B. (2010): Basiswissen Medizinische Statistik. 5., Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
WOOLDRIDGE, J. (2000): Introductory Econometrics. A Modern Approach. 2, Cincinnati, Ohio: South-Western College Publ. .
WÖLFEL, S. et al. (2010): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Kartoffeln. 4., Aufl., Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
ZUCCHINI, W. et al. (2009): Statistik für Bachelor- und Masterstudenten. Berlin, Heidelberg: Springer Science+Business Media.
ÖAMTC (2011): Entwicklung der Kraftstoffpreise. Online: (26.4.2011)

12 Anhang

12.1 Übersichtstabellen zum Pflanzenschutz

Tabelle 13: Beizmittel zur Pflanzgutbehandlung bei Kartoffeln

Mittel	Aufwand-menge	ca. Preise/ha (netto) bei 25 dt/ha Pflanzgut in €	Bemerkung
1. Flüssigbeizen			
Monceren Flüssigbeize	60 ml/dt	56,--	gegen Rhizoctonia, im Sprühverfahren nach dem Sortieren/Auslagern oder beim Legen mit 60 bis 80 lt/ha Wasser
MonCut	20 ml/dt	48,--	
Risolex flüssig	80 ml/dt	58,--	
Monceren G*	60 ml/dt	111,--	gegen Rhizoctonia, Blattläuse als Virusvektoren und Kartoffelkäfer
Rovral Aquaflo	20 ml/dt	30,--	kurz vor oder beim Legen
Cuprozin flüssig	0,4 lt/ha	10,--	Zur Befallsminderung bei Schwarzbeinigkeit beim Legen (80 lt Wasser/ha); Kombipack mit Risolex
Magnate 100 SL	10 ml/dt	12,--	gegen Silberschorf und Tüpfelfleckenkrankheit vor dem Legen
2. Trockenbeizen			
Dantop	12 g/dt	78,--	Gegen Blattläuse als Virusvektoren
Dithane M-45	0,2 kg/dt	33,--	Beim Pflanzen
Penncozeb DG	0,2 kg/dt	29,--	
Risolex	0,2 kg/dt	86,--	
3. Biologisch wirksame Präparate			
Cuprozin flüssig	0,4 lt/ha	10,--	Befallsminderung gegen Erwinia carotovora
FZB 24	0,2 kg/dt	73,--	allgemeine Förderung der Widerstands-fähigkeit gegenüber bodenbürtigen Erregern; FZB 24 WG bzw. Proradix und SanaTerra im Sprühverfahren (60-80 lt/ha Wasser)
FZB 24 WG	250 g/ha	50,--	
Proradix WG	40-60 g/ha	53–79,--	
Sana Terra	0,5 lt/ha	40,--	

Quelle: verändert nach AELF (2010), AGRIA CHEMICALS POLAND(2010), BMLFUW (2011b); INFOXGEN (2010); KÜRZINGER (2011); RAIFFEISEN (2010)

Tabelle 14: Überblick über häufig verwendete Fungizide im Kartoffelbau

Präparat	Aufwand-menge	Kosten (netto) €/ha	Anwendung
Kontaktmittel (2-4 x)			
Canvas	0,5 lt/ha	27,0	Hauptwachstumsphase
Dithane M 45	2-2,5 kg/ha	13,3 - 16,6	Gesamte Vegetationszeit
Dithane Neo-Tec	1,8 kg/ha	12,5	
Electis	1,8 kg/ha	28,2	
Vondac DG	2 kg/ha	13,8	
Penncozep 80 WB	2 kg/ha	11,7	
Winner	0,4 lt/ha	25,4	Hauptwachstumsphase bis Abreife
Lokalsystemische Mittel (1-2 x)			
Acrobat Plus WG	2 kg/ha	24,8	Hauptwachstumsphase
Curzate M WG	2,5kg/ha	23,2	
Revus	0,6 lt/ha	22,4	
Tanos	0,7 lt/ha	28,1	
Valbon	1,6 kg/ha	23,7	
Vollsystemische Mittel (2 x)			
Axidor	2,5 lt/ha	---	
Epok	0,5 lt/ha	32,1	Beginn der Spritzfolge
Fantic M	2,5 kg/ha	38,6	
Infinito	1,5 lt/ha	28,0	
Ridomil Gold MZ	2,5 kg/ha	37,3	
Präparate gegen Alternaria			
Ortiva	0,5 lt/ha	23,1	Tankmischungen
Signum	0,25 kg/ha	13,7	
Biologischer Landbau			
Cuprozin flüssig	2 lt/ha	60,6	gegen Schwarzbeinigkeit und Kraut- und Knollenfäule
Cuprofor flüssig	3-4 lt/ha	24,2 – 32,3	

Quelle: verändert nach AGRIA CHEMICALS POLAND(2010), LFL (2010b); INFOXGEN (2010); RAIFFEISEN (2010); STÄHLER AUSTRIA

Tabelle 15: Überblick über häufig verwendete Insektizide

Präparat	Wirkstoffgruppe	Aufwand-menge	Kartoffel-Käfer	Blattlaus	Kosten (netto) €/ha
Kontakt- und Fraßmittel					
Karate Zeon	Pyrethroide	75 ml/ha	X	X[1)]	7,2
Alverde	Metaflumizone	0,25 lt/ha	X		12,2
Biscaya	Neonicotinoide	0,3 lt/ha	X	X	16,5
Decis flüssig	Pyrethroide	0,2 lt/ha	X		4,7
Mospilan 20 SG	Neonicotinoide	0,25 kg/ha		X	33,9
Sumicidin Super	Pyrethroide	0,2 lt/ha		X[1)]	3,4
Talstar	Pyrethroide	125 ml/ha		X[1)]	9,4
Kontakt- und Dampfphase					
Pirimor DG	Pirimicarb	0,3-0,45 kg/ha		X[1)]	11,9–17,9
Kontakt- und systemische Mittel					
Plenum 50 WG	Pymetrozin	0,3 kg/ha		X[1)]	37,7
Systemische Mittel					
Actara	Neonicotinoide	80 g/ha	X	X[1)]	13,5
Teppeki	Flonicamid	160 g/ha		X[1)]	29,5
Biologische Mittel					
Novodor FC	B.t.t.	3-5 Lt/ha	X		
NeemAzal- T/S	Azadirachtin (Neem)	2,5 Lt/ha	X		127,9
[1)] Blattlaus als Virusüberträger					

Quelle: verändert nach AGRIA CHEMICALS POLAND(2010); INFOXGEN (2010); JULIUS KÜHN-INSTITUT (2010); RAIFFEISEN (2010); STÄHLER AUSTRIA (2010)

Tabelle 16: Überblick über Sikkationsmittel bei der chemischen Krautbekämpfung

Einsatzgebiet	Präparat	Aufwand-menge	Kosten €/ha	Bemerkung
Krautabtötung	Reglone	5 lt/ha	74,1	Wasseraufwandmenge mindestens 400 l/ha. Splittingverfahren mit 2x 2,5 l/ha im Abstand von 3-4 Tagen sinnvoll. Verminderung der Virenabwanderung in die Knollen.
Ernteerleichterung und Krautabtötung	Basta	2,5 lt/ha	56,5	Bei beginnender natürlicher Abreife. Nicht in Pflanzkartoffeln.
	Quickdown + FHS	0,8 lt/ha + 2 lt/ha	___	In abreifende Bestände. Shark und Quickdown kann in grünen Beständen nur nach mechanischer oder chemischer Vorbehandlung (Reglone) eingesetzt werden. Bei Quickdown ist eine zweimalige Anwendung im Splittingverfahren möglich.
	Reglone	2,5 lt/ha	37,1	
	Shark	1 lt/ha	50,1	

Quelle: verändert nach LFL (2010a)

12.2 Inverse Verteilungsfunktionen

12.2.1 Gleichverteilung

```
Function GLEICHINV(Zufallszahl As Single, Minimum As Single, Maximum As Single) As
Single
GLEICHINV = Zufallszahl * (Maximum - Minimum) + Minimum
End Function
```

12.2.2 Dreiecksverteilung

```
Function DREIECKINV(Zufallszahl As Single, a As Single, m As Single, b As Single)
As Single
Dim T, Tk, Tg, EW As Single
T = (m - a) / (b - a)
Tk = a + (Zufallszahl * (b - a) * (m - a)) ^ 0.5
Tg = b - ((b - a) * (b - m) * (1 - Zufallszahl)) ^ 0.5
If Zufallszahl <= T Then
    DREIECKINV = Tk
Else
    DREIECKINV = Tg
End If
End Function
```

12.2.3 Exponentialverteilung

```
Function EXPONINV(Zufallszahl As Double, Lambda As Double) As Double
Dim a As Double
a = Application.WorksheetFunction.Ln(1 - Zufallszahl)
EXPONINV = -(1 / Lambda) * a
End Function
```

12.2.4 Weibullverteilung

```
Function WEIBULLINV(Zufallszahl As Double, b As Double, T As Double) As Double
Dim a As Double
a = -(Application.WorksheetFunction.Ln(1 - Zufallszahl))
WEIBULLINV = T * a ^ (1 / b)
End Function
```

12.2.5 Kumulativ-Funktion

```
Function Kumulativ(Zufallszahl As Double, pi As Variant, xi As Variant) As Variant
Dim Sp, Sx() As Variant
Dim i, j As Integer
Dim x As Variant
'Matrixelemente Zählen und Größe der Matrix zuweisen
For Each x In pi
    j = j + 1
Next x
ReDim Sx(1 To j) As Variant
'Kontrolle ob Zufallszahl größer als Wert der Verteilungsfunktion ist
For Each x In pi
   i = i + 1
   Sp = x
   If Zufallszahl > Sp Then
   Else
   GoTo v
   End If
Next x
'Zuweisung des entsprechenden x-Wertes
v: j = 1
For Each x In xi
    Sx(j) = x
    j = j + 1
Next x
Kumulativ = Sx(i)
End Function
```

12.3 Cholesky-Funktion

```
Function CHOLESKY(mat As Range)
Dim a, L() As Double, s As Double
Dim n, m, j, k, i As Integer
a = mat
n = mat.Rows.Count
m = mat.Columns.Count
If n <> m Then
    CHOLESKY = "?"
    Exit Function
End If

ReDim L(1 To n, 1 To n)
For j = 1 To n
    s = 0
    For k = 1 To j - 1
        s = s + L(j, k) ^ 2
    Next k
    L(j, j) = a(j, j) - s
    If L(j, j) <= 0 Then Exit For
    L(j, j) = Sqr(L(j, j))

    For i = j + 1 To n
        s = 0
        For k = 1 To j - 1
            s = s + L(i, k) * L(j, k)
        Next k
        L(i, j) = (a(i, j) - s) / L(j, j)
    Next i
Next j
CHOLESKY = L
End Function
```

12.4 Iman-Conover-Methode

```
Sub Iman_Conover()
' AgW...Ausgangswerte
' norAGW...normierte Ausgangswerte

Dim n, v, i, j, s, z As Long
Dim x, y As Range
Dim Agw(), norAgW(), zz(), ZZRang(), m(), KorrM(), T(), TRang(), Sim(), Xkorr(),
KorrX() As Double
Dim Stabw As Double
Dim a As String
Application.ScreenUpdating = False

'Vorbereitung der Rechentabellen
Sheets("H").Visible = True
Sheets("H").Select
Cells.Select
Selection.ClearContents
Range("A1").Select
Sheets("HH").Visible = True
Sheets("HH").Select
Cells.Select
Selection.ClearContents
Range("A1").Select

' Werte festlegen
a = InputBox("Wie viele Simulationsläufe sollen durchgeführt werden?", "Simulation
starten")
n = CLng(a)
'Variabeln zählen
Sheets("Variablen").Select
Range("P3").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
Range("P1").Select
v = 0
Do Until ActiveCell = ""
    ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
    v = v + 1
Loop

'normierte Ausgangswerte erstellen
ReDim Agw(1 To n), norAgW(1 To n), zz(1 To n, 1 To v - 1), _
ZZRang(1 To n, 1 To v - 1), m(1 To n, 1 To v), KorrM(1 To v - 1, 1 To v - 1), _
Sim(1 To n, 1 To v), T(1 To n, 1 To v), TRang(1 To n, 1 To v), _
Xkorr(1 To n, 1 To v), KorrX(1 To v - 1, 1 To v - 1) As Double

For i = 1 To n
    Agw(i) = Application.WorksheetFunction.NormSInv(CDbl(i / (n + 1)))
Next i
Stabw = Application.WorksheetFunction.StDev(Agw())
Sheets("H").Select
Range("A1").Select
For i = 1 To n
norAgW(i) = Agw(i) / Stabw
ActiveCell = norAgW(i)
ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
Next i

'Rang der Zufallszahlen
Range("B1").Select
For j = 1 To v - 1
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MTRAND()"
    ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
Next j
```

```
Range(Cells(1, 2), Cells(1, 1 + v - 1)).Select
Selection.AutoFill Destination:=Range(Cells(1, 2), Cells(n, 1 + v - 1))
Range(Cells(1, 2), Cells(n, 1 + v - 1)).Select
Calculate
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Range("B1").Select
For i = 1 To n
    For j = 1 To v - 1
      zz(i, j) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
    Next j
    ActiveCell.Offset(1, -(v - 1)).Activate
Next i
Cells(1, 1 + v).Select
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To n
        Set x = ActiveWorkbook.Sheets("H").Range(Cells(1, j + 1), Cells(n, j + 1))
        ZZRang(i, j) = Application.WorksheetFunction.Rank(zz(i, j), x)
        ActiveCell = ZZRang(i, j)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j

' Matrix M erzeugen
Cells(1, 2 + 2 * (v - 1)).Select
For i = 1 To n
    m(i, 1) = norAgW(i)
    ActiveCell = m(i, 1)
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
Next i
ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To n
        s = ZZRang(i, j)
        m(i, j + 1) = norAgW(s)
        ActiveCell = m(i, j + 1)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j

'Erzeugung der inversen transponierten Cholesky-Tabelle aus Matrix-M
For j = 1 To v
    For i = 1 To v - j
        Set x = ActiveWorkbook.Sheets("H").Range(Cells(1, 1 + 2 * (v - 1) + j),
        Cells(n, 1 + 2 * (v - 1) + j))
        Set y = ActiveWorkbook.Sheets("H").Range(Cells(1, 1 + 2 * (v - 1) + i + j),
        Cells(n, 1 + 2 * (v - 1) + i + j))
        KorrM(i, j) = Application.WorksheetFunction.Correl(x, y)
    Next i
Next j
Sheets("Korrelation").Select
Range(Cells(3, 1), Cells(4 + v, 1 + v)).Select
Selection.Copy
Cells(3, 3 + v).Select
ActiveSheet.Paste
Cells(3, 3 + v).Select
ActiveCell = "Korrelationstabelle für M-Matrix [AM]"
Cells(5, 5 + v).Select
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To v - j
        ActiveCell = KorrM(i, j)
        ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(1, (-(v - j - 1))).Activate
Next j
```

```
Cells(6, 4 + v).Select
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To v - j
        ActiveCell = KorrM(i, j)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset((-(v - j - 1)), 1).Activate
Next j
Range(Cells(3, 3 + v), Cells(4 + v, 3 + 2 * v)).Select
Selection.Copy
Cells(6 + v, 3 + v).Select
ActiveSheet.Paste
Cells(6 + v, 3 + v).Select
ActiveCell = "Inverse-transponierte-Cholesky-Tabelle für Matrix-M [CM]"
Range(Cells(5, 4 + v), Cells(4 + v, 3 + 2 * v)).Select
ActiveWorkbook.Names.Add Name:="ArrayAM", RefersTo:=Selection
Range(Cells(8 + v, 4 + v), Cells(7 + 2 * v, 3 + 2 * v)).Select
Selection.FormulaArray = "=MINVERSE(TRANSPOSE(cholesky(ArrayAM)))"
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
ActiveWorkbook.Names.Add Name:="ArrayCM", RefersTo:=Selection
ActiveWorkbook.Names("ArrayAM").Delete
Sheets("H").Select

' Erstellung der T-Matrix
Range(Cells(1, 2 + 2 * (v - 1)), Cells(n, 1 + 2 * (v - 1) + v)).Select
ActiveWorkbook.Names.Add Name:="ArrayM", RefersTo:=Selection
Range(Cells(1, 2 + 2 * (v - 1) + v), Cells(n, 1 + 2 * (v - 1) + 2 * v)).Select
Selection.FormulaArray = "=MMULT(MMULT(ArrayM,ArrayCM),ArrayC)"
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

Cells(1, 2 + 2 * (v - 1) + v).Select
For j = 1 To v
    For i = 1 To n
        T(i, j) = ActiveCell
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j
Cells(1, 2 + (2 * (v - 1) + 2 * v)).Select

'Ränge der T-Matrix erstellen
For j = 1 To v
    For i = 1 To n
        Set x = ActiveWorkbook.Sheets("H").Range(Cells(1, 1 + 2 * (v - 1) + v + j),
        Cells(n, 1 + 2 * (v - 1) + v + j))
        TRang(i, j) = Application.WorksheetFunction.Rank(T(i, j), x, 1)
        ActiveCell = TRang(i, j)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j

'Variabeln durch Simulation erzeugen
Sheets("Variablen").Select
Range(Cells(2, 16), Cells(2, 15 + v)).Select
Sheets("HH").Select
Range("A1").Select
For i = 1 To n
    Sheets("Variablen").Select
    Selection.Copy
    Sheets("HH").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Calculate
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
Next i
```

```
' Daten Sortieren und als Matrix übernehmen
For j = 1 To v
    Range(Cells(1, j), Cells(n, j)).Select
    ActiveWorkbook.Names.Add Name:="Sortierung", RefersTo:=Selection
    ActiveWorkbook.Worksheets("HH").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("HH").Sort.SortFields.Add Key:=Range("Sortierung"), _
        SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("HH").Sort
        .SetRange Range("Sortierung")
        .Header = xlGuess
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With
Next j
Range("A1").Select
For j = 1 To v
    For i = 1 To n
        Sim(i, j) = ActiveCell
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j

'korrelierte Variabeln erstellen
Sheets("Variablen").Select
Cells(1, 2) = 2
Range("P3").Select
z = 0
For j = 1 To v
    For i = 1 To n
        s = TRang(i, j)
        Xkorr(i, j) = Sim(s, j)
        ActiveCell = Xkorr(i, j)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(-n, 1).Activate
Next j
Range(Cells(1, 16), Cells(1 + n + 1, 15 + v)).Select
ActiveWorkbook.Names.Add Name:="ModellDaten", RefersTo:=Selection
Range("A1").Select

'Korrelationstabelle zur Kontrolle erstellen
For j = 1 To v
    For i = 1 To v - j
        Set x = ActiveWorkbook.Sheets("Variablen").Range(Cells(3, 15 + j),
        Cells(3 + n - 1, 15 + j))
        Set y = ActiveWorkbook.Sheets("Variablen").Range(Cells(3, 15 + i + j),
        Cells(3 + n - 1, 15 + i + j))
        KorrX(i, j) = Application.WorksheetFunction.Correl(x, y)
    Next i
Next j
Sheets("Korrelation").Select
Range(Cells(3, 3 + v), Cells(4 + v, 3 + 2 * v)).Select
Selection.Copy
Cells(9 + 2 * v, 3 + v).Select
ActiveSheet.Paste
Cells(9 + 2 * v, 3 + v).Select
ActiveCell = "Korrelationstabelle für Kontrolle"
Cells(11 + 2 * v, 5 + v).Select
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To v - j
        ActiveCell = KorrX(i, j)
        ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset(1, (-(v - j - 1))).Activate
Next j
Cells(12 + 2 * v, 4 + v).Select
```

```
For j = 1 To v - 1
    For i = 1 To v - j
        ActiveCell = KorrX(i, j)
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
    Next i
    ActiveCell.Offset((-(v - j - 1)), 1).Activate
Next j
Cells.Select
Cells.EntireColumn.AutoFit

Sheets("H").Visible = False
Sheets("HH").Visible = False
Range("A1").Select
End Sub
```

12.5 Variable Maschinenkosten

Tabelle 17 zeigt einen Überblick über die variablen Maschinenkosten (Mk) aller Arbeitsgänge. Felder mit grauer Hinterlegung stellen fixe Inputfaktoren dar, die sich je nach Produktionsverfahren ändern, während Felder mit roter Hinterlegung Risikovariablen darstellen, die sich nach jeder Einzelsimulation ändern. Überdies sind nicht alle Arbeitsgänge bei jedem Produktionsverfahren inkludiert (Tabelle 11). Dadurch können sich die variablen Maschinenkosten je Hektar in Abhängigkeit des Produktionsverfahrens und der Produktionsintensität verändern. Die Maschinenkosten sind als Nettowerte mit einem Treibstoffpreis von 1,1 €/lt (netto) kalkuliert. Die Arbeitszeit errechnet sich in Abhängigkeit der einzelnen Arbeitsschritte, wobei fünf Prozent Rüstzeit einkalkuliert sind.

Tabelle 17: Schema zur Berechnung der variablen Maschinenkosten für die konventionelle Kartoffelproduktion

Arbeitsgang	Maschinen/Geräte	Häufig-keit	Menge		h/EH	Arbeitszeit h/ha	variable Mk €/ha
Pflügen	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	1				1,88	36,87
	Anbaudrehpflug 4scharig	1				1,88	13,54
	Steinsicherung hydraulisch	1				1,88	10,15
	Arbeitszeit	1	1	Ak		1,97	
Wirtschafts-Dünger ausbringen	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1	20	t	0,15	3,00	38,79
	Frontlader mit Mistgabel 1,6m	1	20	t	0,15	3,00	2,46
	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	1	20	t	0,13	2,60	50,98
	Miststreuer 5,0 t Nutzlast	1	20	t	0,13	2,60	21,45
	Arbeitszeit	1	1	Ak		5,88	
Dünger-Einkauf	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	1	1,35	t	0,21	0,28	5,56
	Einachskipper 25 km/h 6,0 t	1	1,35	t	0,21	0,28	0,43
	Hubstapler 1,5 t	1	1,35	t	0,07	0,09	1,22
	Arbeitszeit	1	1,00	Ak		0,40	
Grund-Düngung	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1	1,35	t	0,27	0,36	4,71
	Schleuderstreuer 800 l - 12 m	1	1,35	t	0,27	0,36	0,44
	Arbeitszeit mit Befüllung	1	1	Ak		0,38	
Saatbett-Bereitung	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	2		ha	0,51	1,02	20,00
	Saatbettkombinationen 500 cm	2		ha	0,51	1,02	4,79
	Arbeitszeit	2	1	Ak	0,54	1,07	
Pflanzkartoffel-	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1				1,00	12,93

Arbeitsgang	Maschinen/Geräte	Häufig-keit	Menge		h/EH	Arbeitszeit h/ha	variable Mk €/ha
Bezug	Einachskipper 25 km/h 6,0 t	1				1,00	1,52
	Hubstapler 1,5 t	1	3,1	t	0,07	0,21	2,76
	Arbeitszeit	1	1	Ak		1,27	
Pflanzkartoffel-Transport	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	1				0,27	5,29
	Einachskipper 25 km/h 6,0 t	1				0,27	0,41
	Hubstapler 1,5 t	1	3,1	t	0,07	0,21	2,76
	Arbeitszeit	1	1	Ak		0,51	
Legen von Kartoffeln	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1				1,19	15,39
	Kartoffellegemaschine 4reihig	1				1,19	6,78
	Granulatstreuer - 4reihig	1				1,19	1,14
	Hubstapler 1,5 t	1	3,1	t	0,28	0,85	11,06
	Arbeitszeit	1	2	Ak		3,40	
Bestandes-Bonitur	Arbeitszeit	10	1	Ak	0,14	1,37	
Handhacke	Arbeitszeit	1	2	Ak	6	12	
Anhäufeln	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	3			1	3,00	38,79
	Kartoffelvielfachgerät 4reihig	3			1	3,00	6,30
	Arbeitszeit	3	1	Ak	1,05	3,15	
Hacken bzw. Striegeln	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	2			0,7	1,40	18,10
	Hackstriegel 600 cm	2			0,7	1,40	9,87
	Arbeitszeit	2	1	Ak	0,74	1,47	
Pflanzenschutz	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	8			1,2	9,60	124,12
	Feldspritze 800 l - 12 m	8			1,2	9,60	52,80
	Arbeitszeit	8	1	Ak	1,79	140,28	
Bereinigung und Anerkennung	Bereinigung	3	3	Ak	1	9,00	
	Feldanerkennung	2	2	Ak	0,25	1,00	
	Kartoffelanerkennung	1	2	Ak	0,25	0,50	
Kraut Schlägeln	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1				2,00	25,86
	Schlegelhäcksler 160 cm	1				2,00	5,60
	Arbeitszeit	1	1	Ak		2,10	
Chemische Sikkation	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	2			1,2	2,40	31,03
	Feldspritze 800 l - 12 m	2			1,2	2,40	13,20
	Arbeitszeit	2	1	Ak	1,79	3,57	
Ernte	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1			10	10,00	129,29
	Kartoffelvollernter 4 t 1reihig	1			10	10,00	186,00
	Arbeitszeit	1	3	Ak	10,5	31,50	
Ernte abfahren	Allradtraktor 80 kW (109 PS)	2,9		Fu	0,5	1,47	28,83
	Zweiachsanhänger 25 km/h 10t	2,9		Fu	0,5	1,47	4,17
	Arbeitszeit	2,9	1	Ak	0,53	1,54	
Einlagerung	Hubstapler 1,5 t	1	29	t	0,03	0,88	11,41
	Arbeitszeit	1	1	Ak	1,54	1,54	
Kraut-Beseitigung	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1				1,5	19,39
	Ackerschleppe 400 cm	1				1,5	2,88
	Arbeitszeit	1	2	Ak	1,58	3,15	
Sortierung	Sortieranlage mittel	1	29	t	0,25	7,35	121,27
	Hubstapler 1,5 t	1	29	t	0,1	2,94	38,03
	Arbeitszeit	1	3	Ak	10,8	32,54	
Auslagerung	Allradtraktor 55 kW (75 PS)	1	29	t	0,2	5,88	76,02
	Einachskipper 25 km/h 6,0 t	1	29	t	0,2	5,88	8,94
	Hubstapler 1,5 t	1	29	t	0,03	0,9	11,41
	Arbeitszeit	1	1	Ak		7,1	

12.6 Anleitung zur Benutzung des Programms

Die Monte-Carlo-Simulation wurde mit Hilfe eines selbst entworfenen Excel Programms durchgeführt. Damit das Programm funktioniert, müssen zuerst die Add-In „*MTrand*“ und „*Inverse_Verteilungen“* aktiviert werden.

Nach dem Öffnen der Datei, muss das Simulationsmodell im *Tabellenblatt Modell* entworfen werden. Verknüpfungen zu neuen Tabellenblättern sind möglich, wobei die Risikovariablen aber vorher im *Tabellenblatt Modell* eingefügt werden müssen. Damit die Funktionsfähigkeit des Programms erhalten bleibt, dürfen die Tabellenblätter nicht umbenannt werden. Für den Modellentwurf im *Tabellenblatt Modell* stehen nur die Spalten *A* bis *J* zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Deckungsbeitrag für die verschiedenen Produktionsverfahren errechnet.

Nachdem das Modell erstellt wurde, müssen den Risikovariablen im Tabellenblatt *„Variablen“* die entsprechenden Verteilungen zugeordnet werden. Um eine neue Variable zu definieren, muss auf den Button „Neue Variable“ geklickt werden, um im Anschluss die Parameter der gewünschten Verteilung eingeben zu können (Abbildung 48). Insgesamt stehen sieben Verteilungen zur Verfügung (siehe Punkt 2.2.3). Mit dem Button *„Speichern“* wird die Variable angelegt. Müssen Parameter der Verteilung geändert werden, einfach in der Bearbeitungsleiste auf das Symbol „*fx*“ klicken und die gewünschten Änderungen vornehmen. Das Löschen angelegter variablen erfolgt mit dem Button „Ɵ“. Dazu muss die gewünschte Variable aber vorher angeklickt werden.

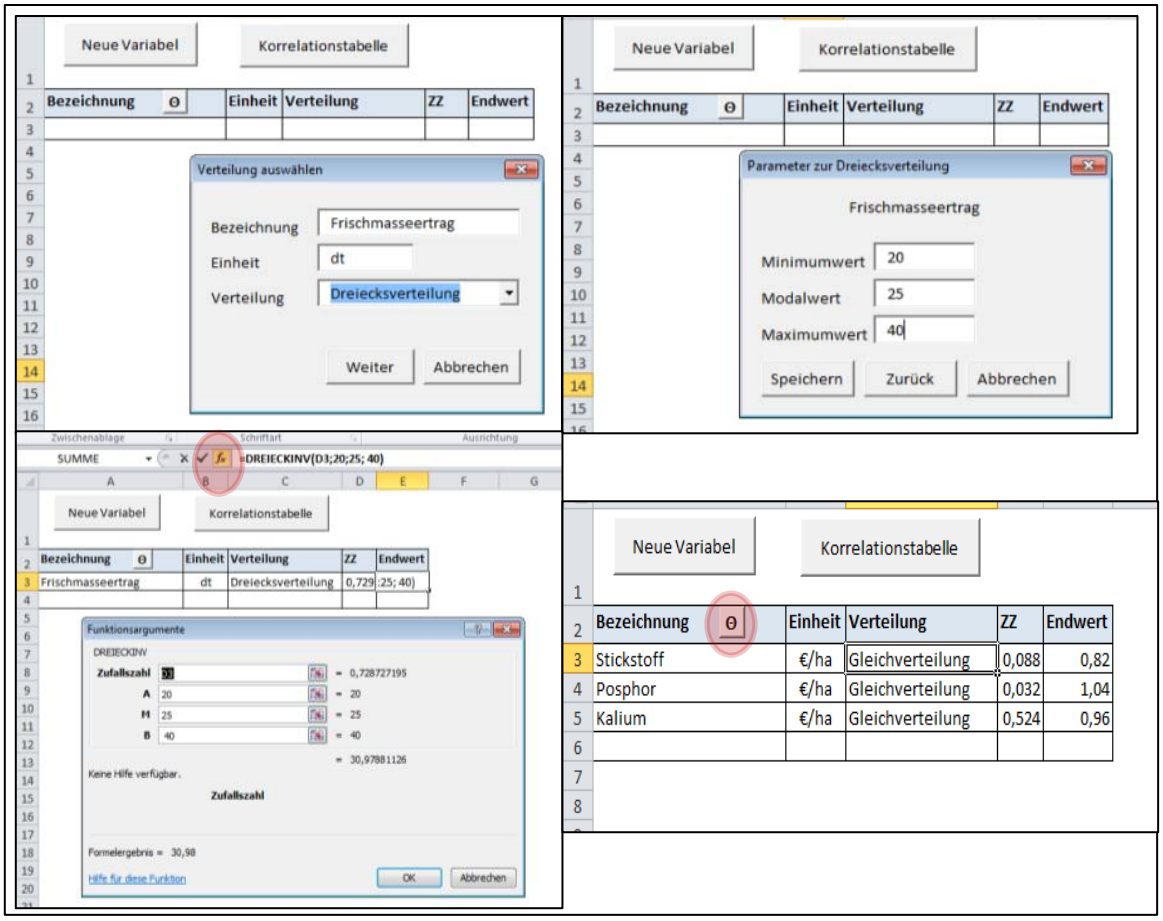

Abbildung 48: Erstellung (oben), Anpassung (links unten) und Löschung (rechts unten) der Risikovariablen

Sind alle Risikovariablen angelegt, müssen die Korrelationen definiert werden. Dazu muss auf den Button *„Korrelationstabelle“* geklickt werden. In der erzeugten Tabelle müssen nun die ermittelten Korrelationen zwischen den Risikovariablen definiert werden. Damit die nachfolgenden Simulationen funktionieren, muss die Koeffizientenmatrix symmetrisch sein. Ist dies der Fall, muss auf den Button *„Korrelation erstellen“* geklickt werden. Mit diesem Befehl wird die Cholesky-Zerlegung durchgeführt und eine weitere Tabelle erstellt. Im Anschluss muss auf den Button „IC-Simulation“ geklickt werden, um die Iman-Conover-Methode zu starten. Die Anzahl gewünschter Durchgänge muss per Hand eingegeben werden. Nach Abschluss der Simulation entstehen drei neue Tabellen, wobei nur die Tabelle *„Korrelationstabelle für Kontrolle“* relevant ist. Mit Hilfe dieser Tabelle kann kontrolliert werden, ob die anfangs festgelegten Korrelationen auch realisiert wurden. Bei zu großen Abweichungen muss man entweder die Simulation mit mehr Durchläufen wiederholen oder das Modell adaptieren (Abbildung 49).

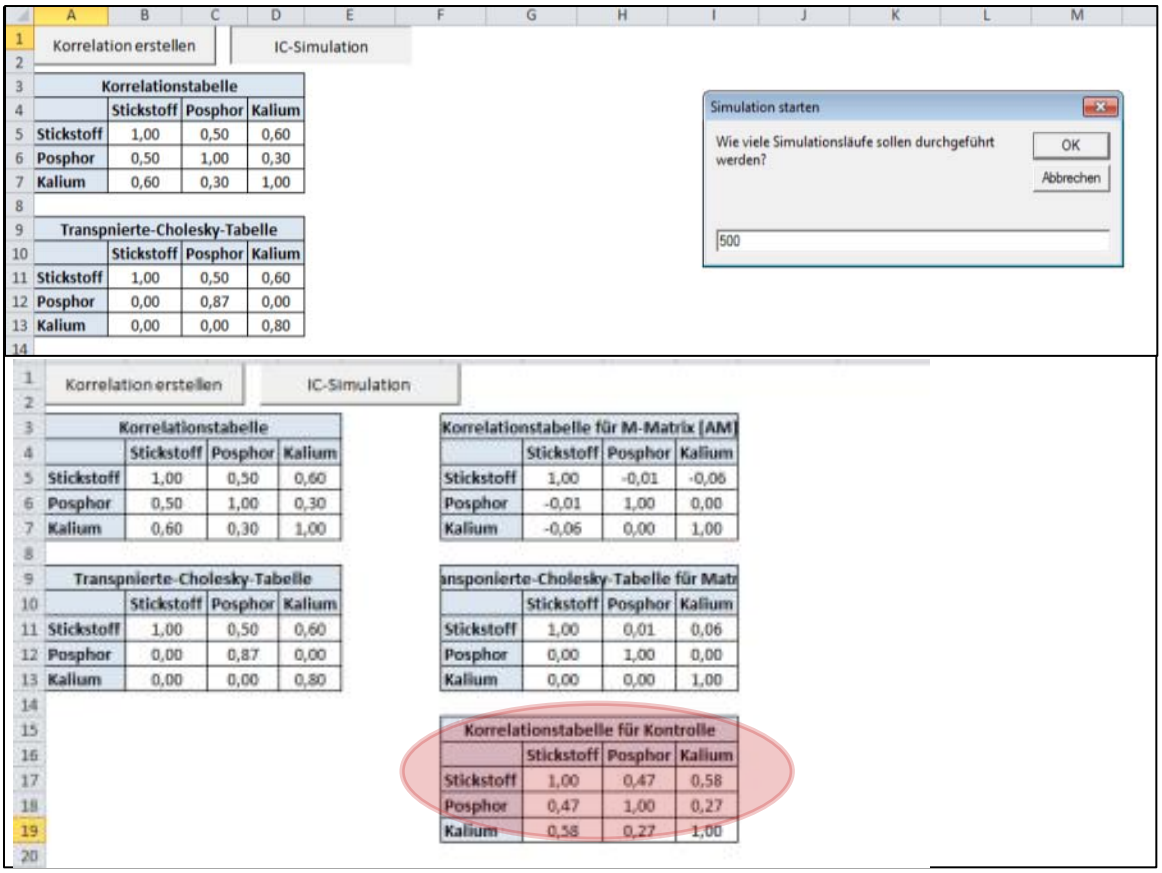

Abbildung 49: Erstellung der Koeffizientenmatrix (oben) und Kontrolle der simulierten Risikovariablen (unten)

Stimmen die realisierten Korrelationen mit den ursprünglich definierten überein, müssen die Risikovariablen in das Simulationsmodell (*Tabellenblatt „Modell“*) eingebettet werden. Dazu muss auf den Button *„Modell erstellen“* geklickt werden. Es erscheint ein neues Fenster, auf dem nochmals alle Risikovariablen aufgelistet sind. Diese müssen nun den entsprechenden Zielzellen zugewiesen werden. Dafür ist die gewünschte Zelle anzuklicken und die entsprechende Variable im Fenster *„Modell erstellen“* auszuwählen (Abbildung 50). Wurden alle Risikovariablen dem Modell zugewiesen, müssen noch die Zielgrößen definiert werden. Dazu die entsprechende Zelle anklicken, den Button *„Variable einfügen“* auswählen und mit *„OK“* bestätigen. Zum Schluss muss auf den Button *„Werte Berechnen“* geklickt werden. In Spalte N erscheinen nun die Kalkulationsergebnisse des Simulationsmodells. Für eine weitere Aufbereitung der Werte sind keine Funktionen vorhanden.

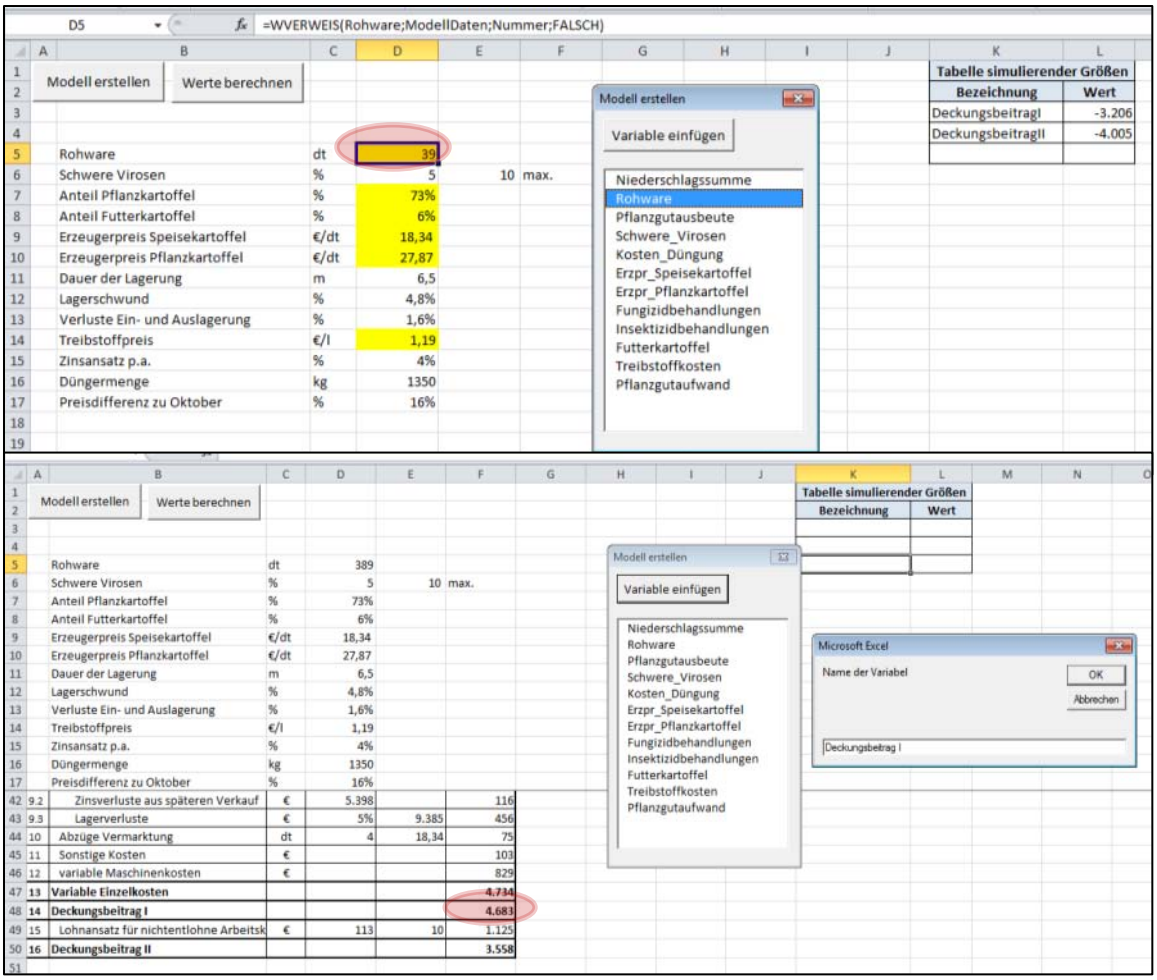

Abbildung 50: Risikovariablen im Modell zuweisen (oben) und Erstellung der Zielgröße (unten)

12.7 Parameter der variablen Inputvariablen

In den nachfolgenden Tabellen werden noch einmal die Verteilungen und Funktionsargumente der Risikovariablen zusammengefasst. Beim Modell *KPE* (Tabelle 18), musste die Risikovariable *DT* entfernt werden, da die in der Simulation realisierten Korrelationen zu weit von den ursprünglich definierten abwichen.

Tabelle 18: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E

Bezeichnung	Verteilung	Parameter
Niederschlagssumme (mm)	Diskrete Verteilung	***x***=[100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 340 360 380 400] ***p***=[0,01 0,07 0,18 0,32 0,47 0,59 0,64 0,74 0,82 0,87 0,91 0,95 0,96 0,99 1]
Frischmasse (t/ha)	Gammaverteilung	***α***=18 ***β***=1,8
Ausbeute Pflanzkartoffeln (%)	Weibullverteilung	***B***=12,3 ***T***=69,4
Ausbeute Futterkartoffeln (%)	Dreiecksverteilung	***a***=2 ***m***=5 ***b***=12
Anteil schwerer Virosen (%)	Diskrete Verteilung	***x***=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20 30 100] ***p***=[0,44 0,65 0,75 0,82 0,85 0,87 0,88 0,9 0,92 0,93 0,95 0,97 0,99 1]
Erzeugerpreis Speisekartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=10 ***b***=27,50
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=24,88 ***b***=35,88
Pflanzgutaufwand (dt/ha)	Dreiecksverteilung	***a***=20 ***m***=35 ***b***=40
Kosten Düngung (€/ha)	Gleichverteilung	***a***=330 ***b***=630
Fungizidbehandlungen (Stk)	Diskrete Verteilung	***x***=[2 3 4 5 6] ***p***=[0,02 0,23 0,59 0,9 1]
Insektizidbehandlungen (Stk)	Diskrete Verteilung	***x***=[2 3 4 5 6 7] ***p***=[0,33 0,35 0,65 0,85 0,99 1]
Treibstoffkosten (€/l)	Gleichverteilung	***a***=0,93 ***b***=1,42

Tabelle 19 zeigt die Risikovariablen für das Produktionsverfahren *KPZ*. In diesem Modell werden nur die Funktionsargumente der Risikovariablen *ASV* und *€P* geändert.

Tabelle 19: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

Bezeichnung	Verteilung	Parameter
Niederschlagssumme (mm)	Diskrete Verteilung	***x***=[100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 340 360 380 400] ***p***=[0,01 0,07 0,18 0,32 0,47 0,59 0,64 0,74 0,82 0,87 0,91 0,95 0,96 0,99 1]
Frischmasse (t/ha)	Gammaverteilung	***α***=18 ***β***=1,8
Ausbeute Pflanzkartoffeln (%)	Weibullverteilung	***B***=12,3 ***T***=69,4
Ausbeute Futterkartoffeln (%)	Dreiecksverteilung	***a***=2 ***m***=5 ***b***=12
Anteil schwerer Virosen (%)	Diskrete Verteilung	***x***=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20 30 100] ***p***=[0,31 0,47 0,59 0,66 0,71 0,75 0,79 0,82 0,83 0,85 0,88 0,9 0,95 0,98 1]
Erzeugerpreis Speisekartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=10 ***b***=27,50
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=23,20 ***b***=34,20
Pflanzgutaufwand (dt/ha)	Dreiecksverteilung	***a***=20 ***m***=35 ***b***=40
Kosten Düngung (€/ha)	Gleichverteilung	***a***=330 ***b***=630
Fungizidbehandlungen (Stk)	Diskrete Verteilung	***x***=[2 3 4 5 6] ***p***=[0,02 0,23 0,59 0,9 1]
Insektizidbehandlungen (Stk)	Diskrete Verteilung	***x***=[2 3 4 5 6 7] ***p***=[0,33 0,35 0,65 0,85 0,99 1]
Treibstoffkosten (€/l)	Gleichverteilung	***a***=0,93 ***b***=1,42

Beim Produktionsverfahren *KS* (Tabelle 20) kann die Risikovariable *DT* in das Modell integriert werden, da die realisierten Korrelationen nur geringfügig von den ursprünglich definierten abweichen. Die Risikovariablen *AP*, *ASV* und AAP_I werden bei der konventionellen Speisekartoffelproduktion nicht mehr benötigt. Zudem müssen die Funktionsargumente der Risikovariablen *FM*, *PA*, *NPK* und AAP_F geändert werden.

Tabelle 20: Verwendete Risikovariablen für die konventionelle Speisekartoffelproduktion

Bezeichnung	Verteilung	Parameter
Niederschlagssumme (mm)	Diskrete Verteilung	***x***=[100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 340 360 380 400] ***p***=[0,01 0,07 0,18 0,32 0,47 0,59 0,64 0,74 0,82 0,87 0,91 0,95 0,96 0,99 1]
Durchschnittstemperatur (°C)	Dreieckverteilung	***a***=15 ***m***=17 ***b***=22
Frischmasse (t/ha)	Dreieckverteilung	***a***=26 ***m***=38 ***b***=50
Ausbeute Futterkartoffel (%)	Dreiecksverteilung	***a***=2 ***m***=5 ***b***=12
Erzeugerpreis Speisekartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=10 ***b***=27,50
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=23,20 ***b***=34,20
Pflanzgutaufwand (dt/ha)	Dreiecksverteilung	***a***=17 ***m***=28 ***b***=35
Kosten Düngung (€/ha)	Gleichverteilung	***a***=390 ***b***=740
Fungizidbehandlungen (Stk)	Diskrete Verteilung	***x***=[2 3 4 5 6 7 8] ***p***=[0,01 0,12 0,29 0,69 0,81 0,9 1]
Treibstoffkosten (€/l)	Gleichverteilung	***a***=0,93 ***b***=1,42

Tabelle 21 zeigt die Risikovariablen für das Produktionsverfahren *BPZ*. Im Gegensatz zu dem Produktionsverfahren *KPZ* wird auch die Risikovariable *DT* im Modell verwendet. Den Risikovariablen *FM*, *AP*, *ASV*, *€S*, *€P* und *NPK* werden neue Verteilungen bzw. Funktionsargumente zugeordnet.

Tabelle 21: Verwendete Risikovariablen für die biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

Bezeichnung	Verteilung	Parameter
Niederschlagssumme (mm)	Diskrete Verteilung	***x***=[100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 340 360 380 400] ***p***=[0,01 0,07 0,18 0,32 0,47 0,59 0,64 0,74 0,82 0,87 0,91 0,95 0,96 0,99 1]
Durchschnittstemperatur (°C)	Dreieckverteilung	***a***=15 ***m***=17 ***b***=22
Frischmasse (t/ha)	Normalverteilung	***μ***=21 **σ**=6,5
Ausbeute Pflanzkartoffeln (%)	Dreiecksverteilung	***a***=55 ***m***=70 ***b***=95
Ausbeute Futterkartoffeln (%)	Dreiecksverteilung	***a***=2 ***m***=5 ***b***=12
Anteil schwere Virosen (%)	Diskrete Verteilung	***x***=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20 100] ***p***=[0,33 0,5 0,64 0,73 0,8 0,84 0,87 0,91 0,93 0,94 0,95 0,97 0,99 1]
Erzeugerpreis Speisekartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=33 ***b***=68,7
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	***a***=37 ***b***=55,40
Pflanzgutaufwand (dt/ha)	Dreiecksverteilung	***a***=20 ***m***=35 ***b***=40
Kosten Düngung (€/ha)	Gleichverteilung	***a***=360 ***b***=480
Treibstoffkosten (€/l)	Gleichverteilung	***a***=0,93 ***b***=1,42

Zur Modellierung des Produktionsverfahrens *BS* (Tabelle 22), werden die Risikovariablen *ASV* und *AP* nicht mehr benötigt. Zudem müssen die Risikovariablen *NS* und *DT* aus dem Modell entfernt werden, da ansonsten die realisierten Korrelationen zu stark von den ursprünglich definierten abweichen. Bei der Risikovariablen *PA* werden die Funktionsargumente verändert.

Tabelle 22: Verwendete Risikovariablen für die biologische Speisekartoffelproduktion

Bezeichnung	Verteilung	Parameter
Frischmasse (t/ha)	Normalverteilung	$\boldsymbol{\mu}$=21 $\boldsymbol{\sigma}$=6,5
Ausbeute Futterkartoffeln (%)	Dreiecksverteilung	$\boldsymbol{a}$=2 $\boldsymbol{m}$=5 $\boldsymbol{b}$=12
Erzeugerpreis Speisekartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	$\boldsymbol{a}$=33 $\boldsymbol{b}$=68,7
Erzeugerpreis Pflanzkartoffeln (€/dt)	Gleichverteilung	$\boldsymbol{a}$=37 $\boldsymbol{b}$=55,40
Pflanzgutaufwand (dt/ha)	Dreiecksverteilung	$\boldsymbol{a}$=17 $\boldsymbol{m}$=28 $\boldsymbol{b}$=35
Kosten Düngung (€/ha)	Gleichverteilung	$\boldsymbol{a}$=360 $\boldsymbol{b}$=480
Treibstoffkosten (€/l)	Gleichverteilung	$\boldsymbol{a}$=0,93 $\boldsymbol{b}$=1,42

12.8 Vergleich der definierten und simulierten Korrelationen

Tabelle 23: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie E

	NS	FM	AP	ASV	NPK	€S	€P	AAP_F	AAP_I	AF	TK	PA
NS	1,00 (1,00)	-0,06 (-0,06)	0,00 (0,00)	-0,40 (-0,19)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,53 (0,48)	-0,61 (-0,54)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
FM		1,00 (1,00)	-0,28 (-0,28)	-0,13 (-0,07)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,44 (-0,43)	0,00 (0,00)	0,83 (0,81)
AP			1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,41 (0,40)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
ASV				1,00 (1,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)
NPK					1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	-0,76 (-0,75)	0,00 (0,00)
€S						1,00 (1,00)	0,93 (0,92)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)
€P							1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AAP_F								1,00 (1,00)	-0,53 (-0,47)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AAP_I									1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AF										1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
TK											1,00 (1,00)	0,00 (0,00)
PA												1,00 (1,00)

Wert in Klammer stellt den durch Simulation erzeugten Korrelationskoeffizienten dar

Tabelle 24: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

	NS	FM	AP	ASV	NPK	€S	€P	AAP_F	AAP_I	AF	TK	PA
NS	1,00 (1,00)	-0,06 (-0,06)	0,00 (0,00)	-0,40 (-0,23)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,53 (0,47)	-0,61 (-0,54)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)
FM		1,00 (1,00)	-0,28 (-0,27)	-0,13 (-0,08)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,44 (-0,43)	0,00 (-0,01)	0,83 (0,80)
AP			1,00 (1,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,41 (0,40)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
ASV				1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (-0,02)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,01)	0,00 (-0,01)
NPK					1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	-0,76 (-0,74)	0,00 (0,00)
€S						1,00 (1,00)	0,93 (0,92)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
€P							1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AAP_F								1,00 (1,00)	-0,53 (-0,46)	0,00 (0,01)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)
AAP_I									1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AF										1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
TK											1,00 (1,00)	0,00 (0,00)
PA												1,00 (1,00)

Wert in Klammer stellt den durch Simulation erzeugten Korrelationskoeffizienten dar

Tabelle 25: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die konventionelle Speisekartoffelproduktion

	NS	FM	NPK	€S	€P	AAP_F	AF	TK	PA	DT
NS	1,00 (1,00)	0,71 (0,69)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,53 (0,49)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,58 (-0,57)
FM		1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,44 (-0,44)	0,00 (0,00)	0,83 (0,14)	-0,35 (-0,36)
NPK			1,00 (1,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,76 (-0,75)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
€S				1,00 (1,00)	0,93 (0,92)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
€P					1,00 (1,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AAP_F						1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AF							1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
TK								1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)
PA									1,00 (1,00)	0,00 (0,29)
DT										1,00 (1,00)

Wert in Klammer stellt den durch Simulation erzeugten Korrelationskoeffizienten dar

Tabelle 26: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die biologische Pflanzkartoffelproduktion der Kategorie Z

	NS	DT	FM	AP	ASV	€S	€P	AF	PA	NPK	TK
NS	1,00 (1,00)	-0,58 (-0,55)	-0,44 (-0,43)	0,21 (0,21)	-0,46 (-0,21)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (-0,01)
DT		1,00 (1,00)	0,52 (0,51)	-0,24 (-0,23)	0,45 (0,24)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
FM			1,00 (1,00)	-0,41 (-0,41)	0,19 (0,10)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,44 (-0,44)	0,83 (0,65)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AP				1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,41 (0,41)	0,00 (0,00)	0,00 (-0,01)	0,00 (-0,01)
ASV					1,00 (1,00)	0,00 (0,02)	0,00 (0,02)	0,00 (-0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,01)
€S						1,00 (1,00)	0,93 (0,92)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,01 (0,35)	0,01 (0,35)
€P							1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
AF								1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
PA									1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
NPK										1,00 (1,00)	-0,75 (1,00)
TK											1,00 (1,00)

Wert in Klammer stellt den durch Simulation erzeugten Korrelationskoeffizienten dar

Tabelle 27: Vergleich zwischen definierten und simulierten Korrelationen für die biologische Speisekartoffelproduktion

	FM	€S	€P	AF	PA	NPK	TK
FM	1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	-0,44 (-0,44)	0,83 (0,82)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
€S		1,00 (1,00)	0,93 (0,92)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)
€P			1,00 (1,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)
AF				1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,00 (0,00)
PA					1,00 (1,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)
NPK						1,00 (1,00)	-0,75 (-0,73)
TK							1,00 (1,00)

Wert in Klammer stellt den durch Simulation erzeugten Korrelationskoeffizienten dar