

**Bachelorarbeit**  
**im Studiengang Agrarwissenschaften**

**> Kosten und Preise von Mischfutter <**

**vorgelegt von**  
**Jannik Sudmann**

**Erstgutachter: Prof. Dr. Jens-Peter Loy**

**Zweitgutachter: Dr. Volker Saggau**

**Institut für Agrarökonomie**  
**Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät**  
**der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
1. Einleitung .....	1
2. Bestimmung/ Simulation Futterkosten .....	3
2.1. Inhaltsstoffe Futterkomponenten und Mischfutter .....	3
2.2. Datengrundlage Rohstoffpreise .....	5
2.3. Methode Simplex-Verfahren .....	8
3. Betrachtung der empirischen Daten .....	21
3.1. Preise für Futterkomponenten .....	21
3.2. Preise und Kosten für Mischfutter .....	22
4. Test auf Stationarität .....	24
4.1. Stationarität in Zeitreihen .....	24
4.2. Dickey-Fuller-Test/ ADF-Test .....	25
4.3. KPSS-Test .....	28
5. Schätzung der Preisbeziehung .....	31
5.1. Kontemporäres Modell .....	32
5.2. Dynamisches Modell .....	33
5.3. Fehlerkorrekturmodell .....	36
6. Diskussion .....	38
7. Zusammenfassung .....	42
8. Anhang .....	43
8.1. Tabelle Inhaltsstoffe und Gehalte der Futterkomponenten .....	43
8.2. Tabelle Qualitätsparameter Schweine-Endmastfutter .....	43

8.3. Beispieldarstellung für Preisnotierungen.....	44
8.4. Tabelle durchschnittl. Monatspreise der Futterkomponenten (€/t) .....	45
8.5. Grafik der durchschnittlichen Monatspreise Energieträger.....	46
8.6. Grafik der durchschnittlichen Monatspreise Eiweißträger.....	46
8.7. Tabelle Mischfutterkosten (€/t) und Komponenteneinsatz (kg/t).....	47
8.8. Ausschnitt aus dem Microsoft Excel-Modell .....	48
8.9. Herleitung der langfristigen Beziehung zwischen Mischfutterpreis und Futterkosten.....	49
9. Quellenverzeichnis .....	50
10. Erklärung .....	53

## Abkürzungsverzeichnis

BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BV	Basisvariable
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DW	Durbin-Watson-Statistik
$E[ ]$	Erwartungswert
F	Futterkosten
GE	Geldeinheit
GK	Grenzkosten
ISN	Interessengemeinschaft der Schweinehalter Deutschlands
KF	Kostenfunktion
M	Mischfutterpreis
ME	Mengeneinheit
NB	Nebenbedingung
NF	Nichtfutterpreis
P	Marktpreis
RS	rechte Seite (einer Gleichung)
ZF	Zielfunktion

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Mischfutterpreise und berechnete Futterkosten im Zeitraum von 2007 bis 2011 .....	22
Abbildung 2: Preisverlauf Mischfutter (Schweine-Endmast).....	24
Abbildung 3: Kostenverlauf der Futterkomponenten im Mischfutter .....	25

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Preisübersicht und durchschnittliche Verwendungsmengen der Futterkomponenten .....	21
Tabelle 2: Preisübersicht für Mischfutter und Futterkomponenten .....	23

## **1. Einleitung**

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Betrachtung der Preisbeziehung zwischen den Kosten von Futterkomponenten und dem Mischfutterpreis über einen Zeitraum von 2007 bis 2011. Dabei werden beispielhaft die Futterkosten eines Schweine-Mastfutters mit den jeweiligen Marktpreisen für Mischfutter verglichen.

Gerade in Zeiten niedriger Milch- und Fleischnotierungen stehen Landwirte steigenden Mischfutterpreisen kritisch gegenüber, machen sie doch einen Großteil ihrer Produktionskosten aus. Mischfutterwerke verweisen dann lediglich auf Veränderungen an den Rohstoffmärkten. Jedoch bleibt bei vielen die Skepsis, ob Preisveränderungen im Verhältnis 1:1 weitergegeben werden oder ob Mischfutterhersteller Marktmacht ausüben können.

Grundsätzlich wird in der Mischfutterindustrie von vollkommenem Wettbewerb ausgegangen, da Mischfutter ein homogenes Gut darstellt und eine hohe Konkurrenzdicke besteht (Feger, 2000). Der Marktanteil der Top Ten Mischfutterhersteller mit 55 %, was im Vergleich zu anderen Branchen des Agribusiness als kleiner Wert gilt, kann als Indiz für hohen Wettbewerb gedeutet werden (ISN, 2012).

Gemäß der Theorie des vollkommenen Wettbewerbs produzieren einzelne Unternehmen bei einem gegebenen Marktpreis ( $p$ ) so viele Einheiten Mischfutter, bis die gewinnmaximale Situation<sup>1</sup> eintritt, so dass die Grenzkosten dem Marktpreis entsprechen. Dabei werden steigende Grenzkosten angenommen (Mankiw, Taylor, 2012). Unter der Kenntnis der theoretischen Grundlagen soll hier geprüft werden, ob sich für die Mischfutterbranche ähnliche Gesetzmäßigkeiten zeigen lassen. Dazu wird ein Modell geschätzt, welches der gewinnmaximalen Situation unter vollkommenem Wettbewerb entspricht.

Die Grenzkosten der Mischfutterhersteller setzen sich aus Futterkomponenten und Nichtfutterkomponenten wie Gebäuden, Maschinen, Arbeit, Energie und

---

<sup>1</sup> Aussage bezieht sich auf den Deckungsbeitrag. Über Gewinn oder Verlust entscheiden die durchschnittlichen Kosten.

Reparaturen zusammen. Mischfutterhersteller versuchen, die Kosten des Mischfutters unter Verwendung von Softwareprogrammen zu minimieren (Feger, 2000). Dies wurde in dieser Arbeit berücksichtigt, indem mittels linearer Optimierung kostenminimales Mischfutter berechnet wurde, wobei Marktnotierungen die Grundlage gebildet haben. Die Grenzkosten der Nichtfutterkomponenten können jedoch nicht erfasst werden, da die Unternehmen keine Informationen über diesen Kostenfaktor preisgeben. Daher müssen sie geschätzt werden.

Des Weiteren stellt sich die Standortfrage des Mischfutterwerks, was in Bezug auf Konkurrenz und potentielle Kunden als wichtig einzustufen ist. Diese Arbeit simuliert die Berechnungen eines Mischfutterwerks aus Süd-Oldenburg in Niedersachsen. Das Bundesland bietet dabei beste Voraussetzungen, um vollkommenen Wettbewerb darzustellen: Im Wirtschaftsjahr 2010/2011 wurden mit knapp 10 Mio t Mischfutter 43 % der gesamtdeutschen Produktion in Niedersachsen hergestellt. Diese Menge teilte sich auf ca. 100 Hersteller auf, wobei zwei Drittel der Betriebe unter der Jahresproduktion von 100.000 t geblieben sind (BMELV, 2011). Daraus kann auf regen Wettbewerb geschlossen werden. Darüber hinaus gilt es zu erwähnen, dass knapp die Hälfte des deutschen Mischfutters auf die Schweinehaltung entfällt.

Neben einer großen Anzahl an Anbietern ist ein Polypol zudem durch eine große Anzahl an Nachfragern charakterisiert (Mankiw, Taylor, 2012). Niedersachsen gilt in der Schweinehaltung mit Abstand als Spitzenreiter in Deutschland, denn rund ein Drittel der Tiere wird in Niedersachsen gehalten (Statistisches Bundesamt, 2010). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Tiere hauptsächlich mit industriellem Mischfutter versorgt werden (Feger, 2000). Des Weiteren wird eine konstante Nachfrage nach Mischfutter vermutet, da Produktionskapazitäten von Schweinen durch Stallungen kurzfristig fix sind und hier das Szenario ausgeblendet wird, dass Mäster bei niedrigen Fleischnotierungen nicht mehr aufstallen.



## 2. Bestimmung/ Simulation Futterkosten

Im Gegensatz zu den Nichtfutterkomponenten können für die Futterkomponenten deren Kosten und Zusammensetzung erfasst werden. Anhand von relevanten Futterrohstoffen und Annahmen bezüglich deren Inhaltsstoffe kann die Herstellung von Mischfutter simuliert werden. Die Berechnung erfolgt in den Mischfutterwerken über lineare Optimierungsprogramme (Feger, 2000), wobei die Einsatzmengen einzelner Futterkomponenten in Abhängigkeit der jeweiligen Preise gewählt werden. Dabei gilt es, unter Einhaltung der Mischfutter-Qualitätsparameter minimale Kosten zu verursachen.

### 2.1. Inhaltsstoffe Futterkomponenten und Mischfutter

Bevor die kostenminimale Herstellung eines Futtermittels simuliert werden kann, müssen die Qualitätseigenschaften der Futterkomponenten sowie des Endprodukts Schweinemastfutter festgelegt werden.

Die Auswahl der zu verwendenden Futtermittel für das Schweine-Endmastfutter beschränkt sich auf die Energie- sowie Proteinlieferanten, welche in den letzten Jahren auf Grund ihrer Einsatzmenge im Mischfutter die größte Bedeutung besessen haben (BMELV, 2011). So wurden Weizen, Gerste, Roggen, Mais, Triticale, Weizenkleie, HP-Sojaextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen in das Modell mit aufgenommen. In der Mischfutterindustrie werden außerdem einzelne Aminosäuren, Mengen- und Spurenelemente sowie Vitamine hinzugegeben. Da es sich als ziemlich schwierig erweist, für diese Komponenten Preise zu ermitteln, konnten diese im Modell nicht einzeln erfasst werden. Stattdessen wurde einfacherweise ein passendes Mineralfutter mit einbezogen (Schumacher, Höh, 1984). Dieses ist auf die ernährungsphysiologischen Bedürfnisse in der Endmast ausgerichtet und mit Zusatzstoffen wie den Aminosäuren, Calcium und Phosphor gut ausgestattet<sup>2</sup>.

Die Nebenbedingungen des Modells stellen die Anforderungen an ein Endmastfutter für Schweine dar. Sie sollen die Qualitätseigenschaften des Endprodukts Mischfutter sicherstellen. Wichtige Eigenschaften sind dabei v.a. der

---

<sup>2</sup> In Absprache mit der Bergophor Futtermittelfabrik Kulmbach.

Energiegehalt und der Gehalt einzelner Aminosäuren. Um die Qualität des Futterproteins bewerten zu können, ist es wichtig, die Gehalte an essentiellen Aminosäuren zu kennen. Sofern eine essentielle Aminosäure in Relation zum Bedarf des Tieres die geringste Menge im Futterprotein aufweist, gilt sie als limitierend (Kirchgeßner, 1992). Der alleinige Rohproteingehalt ist daher nicht aussagekräftig. Deshalb wurden im Modell neben Lysin noch Methionin-Cystein sowie Threonin berücksichtigt.

Weitere verwendete Qualitätsparameter stellen den Gehalt an Rohfaser, Rohfett, Calcium, Phosphor und Natrium dar. Zudem wurden für einzelne Rohkomponenten Nebenbedingungen aufgestellt. Da das verwendete Mineralfutter für einen Einsatz von 3 % im Mischfutter ausgelegt ist, wurde dieser Anteil für das Modell festgelegt. Ebenso wurde ein fester Wert für das Gewicht einbezogen, so dass die Summe der eingesetzten Komponenten 1.000 kg beträgt. Der Mischfutterpreis wird in dieser Arbeit in €/t angegeben. Des Weiteren wurde ein Mindestwert für Soja von 10% festgelegt, da dieser Wert in der Simulation öfter unterschritten wurde, was nicht praxisnah erscheint. Zusätzlich wurden für Roggen, Rapsextraktionsschrot, Rapskuchen, Mais sowie Weizenkleie Mengengrenzungen eingeführt. Mit erhöhtem Roggeneinsatz steigt die Gefahr, dass das toxisch wirkende Mutterkorn ins Mischfutter gelangt (Jeroch, 1999). Zudem wird in der Praxis von einer schwindenden Schmackhaftigkeit durch Erhöhung des Roggenanteils ausgegangen.

Obwohl heutige Rapsorten nur noch geringfügige Glucosinolatkonzentrationen aufweisen, sollte der Einsatz von Rapsrohstoffen nur in geringfügigem Umfang erfolgen (Jeroch, 1999). Mais kann zu einer „Verfettung“ des Futters führen, was sich auf die Zusammensetzung des Fleischfettes auswirkt (Kirchgeßner, 1992). Weizenkleie ist nicht geeignet für den überhöhten Einsatz in Rationen für Monogastriden, da der Rohfasergehalt sehr hoch ist. Ein erhöhter Einsatz bewirkt zudem eine Abnahme der Energiedichte des Mischfutters (Kirchgeßner, 1992).

Die Inhaltsstoffe und Gehalte der einzelnen Futterkomponenten sind an Futterwerttabellen angelehnt und wurden zudem mit einer Optimierungssoftware zur Rationsgestaltung abgeglichen (Werte und Quellen siehe 8.1). Die Annahmen bezüglich der Qualitätsparameter des Mischfutters beruhen auf der Futtermittelverordnung, Tierernährungsbüchern sowie den Qualitätsangaben eines

niedersächsischen landwirtschaftlichen Wochenblattes (Werte und Quellen siehe 8.2). Bezüglich der Wertangaben und Einsatzbeschränkungen der Futterkomponenten sowie den Qualitätseigenschaften des Mischfutters sind Veränderungen in einzelnen Werten vorbehalten und als Kompromiss zwischen unterschiedlichen Angaben in den Quellen bzw. als Verbesserungsvorschläge aus Gesprächen mit Fachleuten aus der Futtermittelindustrie zu verstehen.

## 2.2. Datengrundlage Rohstoffpreise

Die Rohstoffpreise stellen in dieser Arbeit einen wichtigen Faktor zur Erklärung des Endpreises eines Schweinemast-Alleinfutters dar. Wie sich zeigen wird, machen sie den Großteil der Kosten aus. Somit haben Preisänderungen der Rohstoffpreise einen starken Einfluss auf den Endpreis.

Die Futtermittelmärkte gelten als sehr volatil. Dem wird in dieser Arbeit Rechnung getragen, indem für die Energie- sowie Eiweißträger wöchentliche Notierungen aufgenommen wurden, welche durch einen Makler<sup>3</sup> bereitgestellt wurden. Zusätzlich sind Mineralfutterpreise eines Landhändlers eingeflossen.

Die Mischfutterpreise stammen aus dem niedersächsischen landwirtschaftlichen Wochenblatt „Land und Forst“. Es handelt sich bei diesen um monatliche Abgabepreise an den Landwirt, die als arithmetisches Mittel wöchentlicher Einzelmeldungen zu verstehen sind.

Für den monatlichen Vergleich von Preisen und Kosten wurden ebenfalls arithmetische Mittel aus den wöchentlichen Rohstoffpreisen gebildet. Jedoch gibt es einige Besonderheiten bezüglich der Ermittlung der einzelnen Preise, da die Notierungen des Maklers Marktwerte an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Bezugszeitpunkten beschreiben.

Die Bezeichnung frachtfrei Süd-Oldenburg bedeutet, dass Ware frachtfrei an selbigen Ort geliefert wird. Da der Raum Süd-Oldenburg eine sehr große Schweinedichte aufweist und somit eine hohe Nachfrage vermuten lässt, ergibt es Sinn, das fiktive Mischfutterwerk für das Optimierungsmodell an diesem Standort anzusiedeln. Zudem sind die meisten Notierungen in der Datengrundlage auf den

---

<sup>3</sup> Die Erklärungen der einzelnen Preisbezeichnungen beruhen im Folgenden auf Informationen des Maklers Paschelke aus Pinneberg.

Raum Süd-Oldenburg ausgerichtet. In diesem Fall müssen keine zusätzlichen Frachten berechnet werden. Für Rapsschrot und Rapskuchen lagen jedoch keine Notierungen für den Raum Süd-Oldenburg vor, weshalb die nächstgelegenen Umschlagorte betrachtet werden müssen. Werden Rohstoffe zu Preisen bezogen, die nicht dem Standort des Mischfutterwerks entsprechen, so müssen noch Kosten für den Transport und die Versicherung der Futtermittel berechnet werden. Daher wurde in unserem fiktiven Beispiel Rapsschrot aus Hamburg bezogen. Die dazugehörige Notierung lautet fow (free on wagon) Hamburg, was bedeutet, dass die Ware kostenlos aufgeladen wird. Die Fracht- und Versicherungskosten wurden mit 10 Euro pro geladene Tonne angenommen<sup>4</sup>. Die Notierungen für Rapskuchen bezogen sich größtenteils auf Standorte in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg und nur in wenigen Fällen auf den Raum Süd-Oldenburg. Daher muss auch hier ein Preiszuschlag berechnet werden, der auf 15 Euro<sup>5</sup> je geladene Tonne geschätzt wurde. Aus praktischer Sicht ergeben konstante Frachtaufschläge keinen Sinn, da v.a. die Treibstoffkosten in den letzten Jahren gestiegen sind. Dies wurde aus Gründen der Vereinfachung vernachlässigt. Außer den Rapsnotierungen verstehen sich alle Notierungen der weiteren Futterkomponenten als Preise frei Mischfutterwerk in Süd-Oldenburg.

Des Weiteren muss erläutert werden, dass nicht für jede Woche Preise erhoben werden konnten. Die Notierungen geben immer an, zu welchem Preis und zu welchem Bezugszeitpunkt ein Rohstoff bezogen werden kann. Im Modell resultieren die Mischfutterkosten eines Monats aus den Einkaufspreisen des jeweiligen Monats, sprich die Ware wird theoretisch heute eingekauft, geliefert und sofort verarbeitet. Daher ist es nicht plausibel, Preise von Rohstoffen in den heutigen Mischfutterpreis einfließen zu lassen, wenn das Bezugsdatum dieser Rohstoffe in der Zukunft liegt. Sofern keine aktuellen Notierungen vorgelegen haben, sind also Lücken in den wöchentlichen Preistabellen zu verzeichnen. Der Grund für fehlende Notierungen kann u.a. die begrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen sein, wenn z.B. Ernteauffälle vorherrschen. Für die Berechnung des durchschnittlichen Monatspreises ist das Fehlen von einzelnen Wochenwerten

---

4 Abgeleitet von Notierungen für HP-Sojaextraktionsschrot: Für dieses liegen sowohl für Süd-Oldenburg als auch für Hamburg Notierungen vor. Die Differenz von 10 €/t kann als Kosten für Fracht und Versicherung nach Süd-Oldenburg interpretiert werden.

5 Vereinzelt lagen Rapskuchen-Notierungen für Süd-Oldenburg vor. Aus dem Vergleich mit den Notierungen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern wurde dann eine durchschnittliche Differenz von 15 €/t als Kostenfaktor für Fracht und Versicherung geschätzt.

noch akzeptabel, so lange mindestens ein Preis vorliegt. Obwohl mehrere Wochennotierungen den Monatspreis besser als eine einzelne Notierung repräsentieren, stellt sich auch ein einzelner Preis als ausreichend dar, um einen Anhaltspunkt zu erhalten. Sofern jedoch für einen kompletten Monat keine Wochenpreise verfügbar sind, entstehen Lücken in den monatlichen Preistabellen. In diesem Fall wurden lineare Trendlinien hinzugefügt, um die Preise abschätzen zu können. Dabei wurde der Preisverlauf der nächsten zurückliegenden und folgenden Monate berücksichtigt. Der Zeitraum des Trends sollte jedoch maximal ein halbes Jahr betragen, da gerade in der Agrarbranche Preise häufig Saisonfiguren folgen, was den Trend verzerren würde.

Wie geschildert, können Rohstoffe frachtfrei bezogen werden, oder sie müssen gegen einen Preiszuschlag für Fracht und Versicherung beschafft werden. Ferner gibt es noch Sonderformen in den Notierungen. Die Loko-Notierung ist eine Sonderform für frachtfreie Ware. Wird zu diesem Preis eingekauft, verpflichtet sich der Verkäufer, den Rohstoff innerhalb von drei Tagen zu liefern. Loko-Preise sind i.d.R. höher als Preise für frachtfreie Ware. Außerdem gibt es Notierungen ex Ernte, die Preise während der Ernte beschreiben. Durch die Ernte von Getreide strömt neue Ware auf den Markt, welche den Marktpreis beeinflussen kann.

Die Preise werden in Kapitel 3 genauer beschrieben.

### 2.3. Methode Simplex-Verfahren

Zur Lösung eines linearen Optimierungsproblems wird in dieser Arbeit der Simplex-Algorithmus erklärt. Dieser wird u.a. auch bei der Excel-Funktion „Solver“ verwendet, welche hier die Grundlage für die Mischfutterberechnungen darstellt (Mußhoff, Hirschhauer, 2011). Mischfutterwerke streben die Kostenminimierung an, folglich wird auf das Minimierungsproblem eingegangen. Das Gleichungssystem in dieser Arbeit kann als linear bezeichnet werden, da zwischen den Koeffizienten und Variablen ein linearer Zusammenhang besteht.

#### Aufstellen des Gleichungssystems

Zur Veranschaulichung des Verfahrens werden im Folgenden Beispielgleichungen verwendet, wobei jegliche Zahlenwerte keine Realitätsnähe besitzen. Stellschrauben des Simplexverfahrens im Fall der Mischfutterberechnung sind die Einsatzmengen der einzelnen Futterkomponenten. Diese geben wir als sogenannte Strukturvariablen  $x_i$  (Ellinger et al, 2003) in ME (Mengeneinheiten) aus.

Es wird in Abhängigkeit von den Einsatzmengen der Futterkomponenten  $x_i$  eine Kostenfunktion aufgestellt, wobei die jeweiligen Koeffizienten die Faktorpreise in GE (Geldeinheiten)/ME angeben. In unserem Beispiel stehen drei Rohstoffe zur Auswahl:

$$K = 3 \cdot x_{\text{Weizen}} + 2,5 \cdot x_{\text{Soja}} + 2 \cdot x_{\text{Mais}} \quad (2.3.1)$$

Die Qualitätsparameter werden durch Nebenbedingungen, auch als Restriktionen bezeichnet, sichergestellt. In diesem Beispiel werden dazu drei verschiedene Nebenbedingungen betrachtet, wobei die Minimierungs- und Maximierungsform sowie die einfache Gleichungsform vorliegen:

$$1. \text{ NB: } 3 \cdot x_{\text{Weizen}} + 2,5 \cdot x_{\text{Mais}} + 2 \cdot x_{\text{Soja}} \leq 3000 \quad (2.3.2)$$

$$2. \text{ NB: } 8 \cdot x_{\text{Weizen}} + 6,5 \cdot x_{\text{Mais}} + 6 \cdot x_{\text{Soja}} \geq 6500 \quad (2.3.3)$$

$$3. \text{ NB: } 1 \cdot x_{\text{Weizen}} + 1 \cdot x_{\text{Mais}} + 1 \cdot x_{\text{Soja}} = 1000 \quad (2.3.4)$$

Die Koeffizienten entsprechen den Qualitätseigenschaften der jeweiligen Variablen (z.B. 5 kg Lysin/1000 kg Frischmasse Rohkomponente XY). Die rechte Seite der Gleichungen beschreibt die Menge des jeweiligen Qualitätsparameters in einer Nebenbedingung (z.B. 10 kg Lysin; Lysin- Restriktion). In Kleiner-Gleich-Restriktionen (2.3.2) darf ein Maximalwert nicht überschritten werden, Größer-Gleich-Restriktionen (2.3.3) hingegen streben die Einhaltung eines Mindestwertes an. Gleichheits-Restriktionen (2.3.4) erfordern die exakte Einhaltung eines Wertes.

Des Weiteren gilt für alle verwendeten Variablen die Nichtnegativitätsbedingung (Ellinger et al, 2003), da es keine negativen Einsatzmengen von Rohstoffkomponenten gibt.

Für das Lösen des Simplex-Verfahrens müssen die Restriktionen in Gleichungsform vorliegen. Dazu fügt man den Nebenbedingungen Schlupfvariablen  $y_i$  hinzu, wofür ebenfalls die Nichtnegativitätsbedingung gilt (Ellinger et al, 2003). Die Gleichheits- Restriktion liegt schon als Gleichung vor und ist davon nicht betroffen:

$$1. \text{ NB: } 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} + y_1 = 3000 \quad (2.3.2a)$$

$$2. \text{ NB: } 8 * x_{\text{Weizen}} + 6,5 * x_{\text{Mais}} + 6 * x_{\text{Soja}} - y_2 = 6500 \quad (2.3.3a)$$

$$3. \text{ NB: } 1 * x_{\text{Weizen}} + 1 * x_{\text{Mais}} + 1 * x_{\text{Soja}} = 1000 \quad (2.3.4a)$$

In Kleiner-Gleich-Restriktionen symbolisiert die Schlupfvariable  $y_1$  freie Kapazitäten (Schwarze, 2000), welche nicht durch die Futtervariablen eingenommen werden, sofern der Maximalwert nicht berührt wird. Daher resultiert ein positives Vorzeichen. In Größer-Gleich-Restriktionen stellt die Schlupfvariable  $y_2$  die zusätzlichen Kapazitäten dar, die entstehen, wenn der Mindestwert überschritten wird, was legitim ist. Also steht hier ein negatives Vorzeichen (Ellinger et al, 2003).

Das Gleichungssystem ist jedoch soweit noch nicht optimal, da wir für das Simplex-Verfahren eine Ausgangslösung aufstellen, in der keine Strukturvariablen eingesetzt werden. Dies entspricht dem Szenario, dass kein Mischfutter produziert wird und somit auch keine Kosten anfallen.

Dafür werden alle Strukturvariablen  $x_i$  in den Restriktionen nullgesetzt. Für die Kleiner-Gleich-Restriktion ist dies zulässig,  $y_1$  nimmt den Wert 3000 an. Für die

Größer-Gleich-Restriktion ergibt sich  $y_2 = -6500$ , was die Nichtnegativitätsbedingung verletzt. Die Gleichheits-Restriktion ist durch das Nullsetzen ebenfalls nicht mehr gültig. Also müssen wir den beiden letzteren Restriktionen zusätzlich positive Variablen hinzufügen, so genannte künstliche Variablen  $w_i$  (Ellinger et al, 2003):

$$1. \text{ NB: } 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} + y_1 = 3000 \quad (2.3.2b)$$

$$2. \text{ NB: } 8 * x_{\text{Weizen}} + 6,5 * x_{\text{Mais}} + 6 * x_{\text{Soja}} - y_2 + w_2 = 6500 \quad (2.3.3b)$$

$$3. \text{ NB: } 1 * x_{\text{Weizen}} + 1 * x_{\text{Mais}} + 1 * x_{\text{Soja}} + w_3 = 1000 \quad (2.3.4b)$$

Nun gilt das Gleichungssystem als zulässig. Durch das Nullsetzen von  $x_i$  werden die Nebenbedingungen allein durch die hinzugefügten Variablen  $y_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  erfüllt, weshalb man diese auch als Basisvariablen bezeichnet. Eine Kombination von Basisvariablen stellt eine Basislösung dar (Schwarze, 2000). Die Basislösung der Ausgangssituation lautet dann wie folgt:  $y_1 = 3000$  ME,  $w_2 = 6500$  ME,  $w_3 = 1000$  ME<sup>6</sup>. Wie sich später zeigen wird, werden die Basisvariablen schrittweise ausgetauscht, so dass sich neue Basislösungen bilden.

Bevor wir nun ein Tableau für die oben geschilderte Ausgangslösung aufstellen, muss noch eine Zielfunktion eingefügt werden. Diese sorgt dafür, dass die künstlichen Variablen während des Simplex- Algorithmus eliminiert werden, da im Gegensatz zu Schlupfvariablen, welche freie oder überschüssige Kapazitäten aufzeigen, künstlichen Variablen keine plausible Bedeutung zugesprochen werden kann. Sie werden nur aus mathematischen Gründen in die Gleichungen einbezogen. Daher stellen wir eine Zielfunktion auf, in der wir den Zielwert  $W$  minimieren:

$$W = w_2 + w_3 \quad | \text{ Min. } W \quad (2.3.5)$$

In der Literatur wird der Simplex-Algorithmus vorwiegend am Beispiel einer Maximierungsaufgabe detailliert vorgestellt. Aus Gründen der Einheitlichkeit kann dann eine Minimierungsaufgabe auch als Maximierungsaufgabe dargestellt

---

<sup>6</sup> Löst man die Gleichungen nach den Basisvariablen auf, so ergibt sich für das Ergebnis die Einheit ME, da die rechte Seite durch den Koeffizienten dividiert wird. Basisvariablen besitzen den Koeffizienten Eins.



werden, indem die jeweilige Funktion mit (-1) multipliziert wird<sup>7</sup> (Ellinger et al, 2003). Alternativ kann eine Minimierungsaufgabe auch als Maximierungsaufgabe gelöst werden, indem der Dualitätssatz der linearen Optimierung angewendet wird. Dabei entsprechen die Strukturvariablen der Minimierungsaufgabe den Schlupfvariablen und künstlichen Variablen der Maximierungsaufgabe und umgekehrt (Schwarze, 2000).

In unserem Fall werden Kosten- sowie Zielfunktion durch das Multiplizieren mit dem Faktor (-1) zu einer Maximierungsaufgabe umgeformt:

$$-W = -w_2 - w_3 \quad | \text{Max. } -W \quad (2.3.5a)$$

Durch weiteres Umformen ergibt sich die Gleichung, welche in das Ausgangstableau übertragen wird:

$$-w_2 - w_3 + W = 0 \quad (2.3.5b)$$

Sofern man am Ende des Simplex-Algorithmus eine zulässige Lösung erreicht, wird Zielwert W Null annehmen, was bedeutet, dass  $w_2$  und  $w_3$  selbiges tun.

Auch die Kostenfunktion (KF) (2.3.1) formen wir in eine Maximierungsaufgabe um:

$$-K = -3 \cdot x_{\text{Weizen}} - 2,5 \cdot x_{\text{Soja}} - 2 \cdot x_{\text{Mais}} \quad | \text{Max. } -K \quad (2.3.1a)$$

$$-3 \cdot x_{\text{Weizen}} - 2,5 \cdot x_{\text{Soja}} - 2 \cdot x_{\text{Mais}} + K = 0 \quad (2.3.1b)$$

Negative Koeffizienten bedeuten in diesem Zusammenhang, dass der Einsatz von Futterkomponenten Kosten verursacht. Ergeben sich positive Koeffizienten, was sich im Laufe des Simplex-Verfahrens zeigen wird, sorgen diese dafür, dass die Kosten sinken<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Somit ist das Vorgehen beim Ermitteln der Pivotspalte für Maximierungs- und Minimierungsaufgabe identisch: Es wird jeweils der größte positive Koeffizient ausgewählt.

<sup>8</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass in der Literatur auch Ansätze gezeigt werden, in welchen Kosten- und Zielfunktion die umgekehrten Vorzeichen besitzen. In dem Fall würden negative Koeffizienten sinkende Kosten verursachen.

### Aufstellen des Ausgangstableaus

Da nun alle Restriktionsgleichungen sowie Kosten- und Zielfunktion vorliegen, kann ein Tableau für die Ausgangssituation aufgestellt werden. Ein Tableau bildet während des Simplex-Verfahrens einen festen Rahmen für die Rechenschritte.

<b>Tableau 0</b>	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS
1. NB	$y_1$	3,00	2,50	2,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3000,00</b>
2. NB	$w_2$	8,00	6,50	6,00	0,00	-1,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	<b>6500,00</b>
3. NB	$w_3$	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	<b>1000,00</b>
Kostenfunktion	<b>K</b>	-3,00	-2,50	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	<b>0,00</b>
Zielfunktion	<b>W</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	-1,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>0,00</b>

Quelle: eigene Darstellung

Das Tableau ist so zu interpretieren, dass alle Koeffizienten einer Zeile, die ungleich Null sind, zu der jeweiligen Gleichung gehören. Die rechte Seite der Gleichungen ist in der Spalte RS dargestellt. Erfüllt werden die Gleichungen jeweils durch eine Basisvariable, ersichtlich in der Spalte BV. Eine Basisvariable besitzt den Koeffizienten Eins in der Zeile, welche sie erfüllt. In den übrigen Zeilen der Spalte betragen die Koeffizienten den Wert Null<sup>9</sup>, womit Basisvariablen in ihren jeweiligen Spalten in Form eines Einheitsvektors vorliegen. (Schwarze, 2000). Nichtbasisvariablen gelten in den Gleichungen als nullgesetzt, also hier:  $x_{\text{Weizen}} = x_{\text{Mais}} = x_{\text{Soja}} = y_2 = 0$ . Somit ergeben sich die schon erwähnten Werte für die Gleichungen:

$$1. \text{ NB: } 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} + \mathbf{1} * y_1 = 3000 \quad \rightarrow y_1 = 3000 \text{ ME}$$

$$2. \text{ NB: } 8 * x_{\text{Weizen}} + 6,5 * x_{\text{Mais}} + 6 * x_{\text{Soja}} - y_2 + \mathbf{1} * w_2 = 6500 \quad \rightarrow w_2 = 6500 \text{ ME}$$

$$3. \text{ NB: } 1 * x_{\text{Weizen}} + 1 * x_{\text{Mais}} + 1 * x_{\text{Soja}} + \mathbf{1} * w_3 = 1000 \quad \rightarrow w_3 = 1000 \text{ ME}$$

$$\text{KF: } -3 * x_{\text{Weizen}} - 2,5 * x_{\text{Soja}} - 2 * x_{\text{Mais}} + \mathbf{1} * \mathbf{K} = 0 \quad \rightarrow \mathbf{K} = 0 \text{ GE}$$

$$\text{ZF: } -1 * w_2 - 1 * w_3 + \mathbf{1} * \mathbf{W} = 0 \quad \rightarrow \mathbf{W} = 0 \text{ ME}$$

Jedoch tritt in der Zielfunktion noch ein Fehler auf, der dafür sorgt, dass das Ausgangstableau 0 nicht als zulässige Basislösung gilt, da die künstlichen Variablen als Basisvariablen vorliegen und folgende Werte annehmen:  $w_2 = 6500$  ME,  $w_3 = 1000$  ME. Folglich müssen sich für den Zielwert W 7500 ME ergeben. Man behilft sich hier, indem alle Nebenbedingungen, die eine künstliche Variable

<sup>9</sup> Hier noch nicht der Fall, da Tableau 0 nur eine vorläufige und nicht zulässige Basislösung ist.

$w_i$  besitzen, zu der Zielfunktion addiert werden (Ellinger et al, 2003). So ergibt sich eine neue Zielfunktion:

$$\text{ZF: } 9 * x_{\text{Weizen}} + 7,5 * x_{\text{Mais}} + 7 * x_{\text{Soja}} - 1 * y_2 + 1 * W = 7500 \quad (2.3.5c)$$

$$\rightarrow W = 7500 \text{ ME}$$

Die zweite und dritte Restriktion wurden zu der Zielfunktion addiert, da sie jeweils eine künstliche Variable enthalten.

Werden Variablen eingesetzt, welche einen positiven Koeffizienten besitzen, so verringert sich der Zielwert  $W$ , was im Simplex-Verfahren angestrebt wird. Bei negativen Koeffizienten würde sich der Zielwert erhöhen, was nicht erwünscht ist.

Tableau I zeigt nun die Ausgangslösung, welches durch die modifizierte Zielfunktion als zulässige Basislösung gilt mit  $y_1=3000$  ME,  $w_2=6500$  ME,  $w_3=1000$  ME,  $K=0$  GE,  $W=7500$  ME:

Tableau I	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS
1. NB	$y_1$	3,00	2,50	2,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3000,00</b>
2. NB	$w_2$	8,00	6,50	6,00	0,00	-1,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	<b>6500,00</b>
3. NB	$w_3$	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	<b>1000,00</b>
Kostenfunktion	<b>K</b>	-3,00	-2,50	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	<b>0,00</b>
Zielfunktion	<b>W</b>	9,00	7,50	7,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>7500,00</b>

Quelle: eigene Darstellung

### 1. Simplex-Phase: 1. Iteration

Nachdem das Ausgangstableau aufgestellt wurde, können die eigentlichen Rechnungsschritte des Minimierungsproblems erfolgen. Grundsätzlich werden schrittweise verschiedene Basislösungen dargestellt, indem jeweils ein Basistausch vollzogen wird. Beim Basistausch tritt eine Basisvariable aus der Basislösung aus und wird durch eine bisherige Nichtbasisvariable ersetzt. Der Basiswechsel wird auch als Iterationsschritt bezeichnet. In der ersten Simplex-Phase werden nun so viele Iterationsschritte durchgeführt, bis für die Zielfunktion einen Zielwert  $W$  von Null erreicht wird (Ellinger et al, 2003). Dies ist die Bedingung dafür, dass letztlich eine optimale Basislösung erreicht werden kann.

Beim Basiswechsel muss zunächst die **eintretende Variable** bestimmt werden. Es wird schließlich diejenige Variable ausgewählt, die in der Zielfunktion den größten positiven Koeffizienten aufweist. Je größer das Produkt aus Koeffizient

und Einsatzmenge  $x_i$  ist, desto kleiner wird schließlich Zielwert  $W$ . Damit wird das 1. Simplex- Kriterium angewendet (Ellinger et al, 2003):

$$\text{ZF: } 9 * x_{\text{Weizen}} + 7,5 * x_{\text{Mais}} + 7 * x_{\text{Soja}} - 1 * y_2 + 1 * W = 7500 \quad (2.3.5c)$$

$$\rightarrow W = 7500 \text{ ME}$$

In Ausgangstableau I wird also Strukturvariable  $x_{\text{Weizen}}$  als eintretende Variable bestimmt. Die jeweilige Spalte wird als Pivotspalte bezeichnet. Im nächsten Schritt muss die **austretende Variable** ermittelt werden. Als austretende Variable kommen damit die bisherigen Basisvariablen  $y_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  in Frage. Beim Basiswechsel wird in einer Nebenbedingung die bisherige Basisvariable durch Nullsetzen eliminiert und durch die neue Basisvariable entsprechend ihres Koeffizienten ersetzt. Der Koeffizient drückt aus, um wie viele Mengeneinheiten die austretende Basisvariable sinkt, wenn eine Einheit der eintretenden Variable hinzugefügt wird. Der Koeffizient kann auch als Substitutionsrate bezeichnet werden (Mußhoff, Hirschhauer, 2011).

Durch Umformen der Gleichung erhält man schließlich die eingesetzte Menge der neuen Basisvariablen. Dies soll anhand der ersten Nebenbedingung dargestellt werden, wobei  $y_1$  aus der Basis ausscheidet und  $x_{\text{Weizen}}$  eintritt (Nichtbasisvariablen= 0):

$$1) 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} + 1 * y_1 = 3000$$

$$\rightarrow y_1 = 3000 \text{ ME}; x_{\text{Weizen}} = 0 \text{ ME}$$

$$2) 3 * x_{\text{Weizen}} + 1 * y_1 = 3000 \quad | \quad y_1 \text{ Nullstellen}$$

$$3) 3 * x_{\text{Weizen}} + 1 * 0 = 3000$$

$$\rightarrow x_{\text{Weizen}} = 1000 \text{ ME}$$

*Basiswechsel in der 1. Nebenbedingung: Es werden nur eintretende und austretende Variablen betrachtet. Die Nicht-Basisvariablen werden nicht berücksichtigt, da sie den Wert Null besitzen.*

Durch Auflösen nach der eintretenden Basisvariablen erhält man also den Funktionswert für die rechte Seite der Gleichung. Diese Berechnung wird für alle Restriktionen durchgeführt. Im Tableau ergibt sich die eingesetzte Menge, indem die rechte Gleichungsseite durch den Koeffizienten der eintretenden Variablen geteilt wird, sprich Spalte RS dividiert durch Pivotspalte  $x_{\text{Weizen}}$  (Mußhoff, Hirschhauer, 2011):

Tableau I	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS	RS/ PS
1. NB	$y_1$	3,00	2,50	2,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3000,00</b>	1000,00
2. NB	$w_2$	8,00	6,50	6,00	0,00	-1,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	<b>6500,00</b>	812,50
3. NB	$w_3$	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	0,00	<b>1000,00</b>	1000,00
Kostenfunktion	<b>K</b>	-3,00	-2,50	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	0,00	<b>0,00</b>	
Zielfunktion	<b>W</b>	9,00	7,50	7,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	<b>1,00</b>	<b>7500,00</b>	

Quelle: eigene Darstellung

Somit wird auf einen Blick deutlich, in welchem Umfang die neue Basisvariable  $x_{\text{Weizen}}$  durch Nullsetzen der austretenden Variablen in den jeweiligen Nebenbedingungen eingesetzt werden könnte ( $y_1 = w_2 = w_3 = 0$ ):

1. NB: **3\***  $x_{\text{Weizen}} + 1* y_1 = 3000 \rightarrow x_{\text{Weizen}} = 1000 \text{ ME}$
2. NB: **8\***  $x_{\text{Weizen}} + 1* w_2 = 6500 \rightarrow x_{\text{Weizen}} = 812,5 \text{ ME}$
3. NB: **1\***  $x_{\text{Weizen}} + 1* w_3 = 1000 \rightarrow x_{\text{Weizen}} = 1000 \text{ ME}$

Die Restriktion, in der sich der niedrigste positive Wert<sup>10</sup> für die eintretende Variable aufzeigt, wird als Pivotzeile bezeichnet. In dieser wird der Basiswechsel vollzogen, d.h. die bisherige Basisvariable dieser Zeile scheidet aus der Basislösung aus. Somit wird das 2. Simplexkriterium angewendet (Ellinger et al, 2003). Würde die Variable  $x_{\text{Weizen}}$  einen Wert größer als 812,5 ME einnehmen, ergibt sich für die zweite Restriktion ein negativer Wert für  $w_2$ . Deshalb kann  $x_{\text{Weizen}}$  weder in der ersten noch in der dritten Nebenbedingung Basisvariable werden. Die Nichtnegativitätsbedingung, welche für alle Variablen gilt, würde in der zweiten Restriktion verletzt werden. Also löst Strukturvariable  $x_{\text{Weizen}}$  die Variable  $w_2$  als Basisvariable in der zweiten Nebenbedingung ab und nimmt 812,5 ME ein.

Zusammengefasst geht es beim Basiswechsel also um die Bestimmung der Pivotspalte und der Pivotzeile, indem der größte positive Koeffizient (1.

<sup>10</sup> Da die rechte Seite positiv ist (es gibt keine negativen Mengen), werden bei der Bestimmung der Pivotzeile also nur Variablen mit einem positiven Koeffizienten berücksichtigt.

Simplexkriterium) bzw. der kleinste positive Quotient (2. Simplexkriterium) ermittelt wird. Ist die Pivotzeile gefunden, weiß man, wie viele ME der neuen Basisvariablen eingesetzt werden. Jedoch müssen daraufhin noch alle Gleichungen des Tableaus an die neue Basisvariable angepasst werden.

Dazu wird zunächst die komplette Pivotzeile modifiziert, um dem Basiswechsel Rechnung zu tragen. Formal wird der Basiswechsel im Tableau umgesetzt, indem die Pivotzeile mit dem Kehrwert des Koeffizienten der eintretenden Basisvariablen multipliziert wird. Dies entspricht dem Rechenschritt zur Bestimmung der Pivotzeile, wobei die austretende Variable nullgesetzt wird und die Gleichung dann nach der eintretenden Variablen aufgelöst wird:

$$1) \underline{8} * x_{\text{Weizen}} + 6,5 * x_{\text{Mais}} + 6 * x_{\text{Soja}} - 1 * y_2 + \mathbf{1} * w_2 = 6500$$

$$\rightarrow \text{BV } w_2 = 6500 \text{ ME}$$

$$2) \mathbf{1} * x_{\text{Weizen}} + 0,81 * x_{\text{Mais}} + 0,75 * x_{\text{Soja}} - 0,13 * y_2 + 0,13 * w_2 = 812,5$$

$$\rightarrow \text{BV } x_{\text{Weizen}} = 812,5 \text{ ME}$$

*Die Pivotzeile 1) wird mit dem Kehrwert von Acht multipliziert, so dass eine modifizierte Pivotzeile 2) gebildet wird. Dieser Basiswechsel von  $w_2$  zu  $x_{\text{Weizen}}$  hat also zur Folge, dass Strukturvariable  $x_{\text{Weizen}}$  den Wert 812,5 ME annimmt.*

Die 812,5 ME an  $x_{\text{Weizen}}$  müssen auch in den anderen Gleichungen berücksichtigt werden. Grundsätzlich geschieht dies, indem dieser Funktionswert in die Gleichungen eingesetzt wird und die Gleichungen nach den jeweiligen Basisvariablen aufgelöst werden (Mußhoff, Hirschhauer, 2011).

Rein formal gelingt dieser Schritt im Tableau, indem von den Gleichungen ein Vielfaches der Pivotzeile, die zuvor wie oben beschrieben modifiziert wurde, subtrahiert wird. So ergeben sich für die Koeffizienten in der Pivotspalte Werte von Null, womit dann in der Spalte die Form eines Einheitsvektors vorliegt. Der Faktor zum Subtrahieren entspricht dabei dem Koeffizienten der Pivotspalte (Ellinger et al, 2003). Bei negativen Koeffizienten wird also addiert. Hier das Beispiel für die erste Restriktion, wobei der Koeffizient der Pivotspalte Drei lautet (Nicht-Basisvariablen wie erwähnt Wert Null):

$$1) \underline{3} * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} + \mathbf{1} * y_1 = 3000$$

$$\rightarrow \text{BV } y_1 = 3000 \text{ ME}$$

$$2) \mathbf{1} * x_{\text{Weizen}} + 0,81 * x_{\text{Mais}} + 0,75 * x_{\text{Soja}} - 0,13 * y_2 + 0,13 * w_2 = 812,5$$

$$\rightarrow \text{BV } x_{\text{Weizen}} = 812,5 \text{ ME}$$

$$3) 0 * x_{\text{Weizen}} + 0,06 * x_{\text{Mais}} - 0,25 * x_{\text{Soja}} + \mathbf{1} * y_1 + 0,38 * y_2 - 0,38 * w_2 = 562,5$$

$$\rightarrow \text{BV } y_1 = 562,5 \text{ ME}$$

*Die modifizierte Pivotzeile 2) wird mit Faktor Drei von der ersten Nebenbedingung 1) subtrahiert. So verändert sich die erste Nebenbedingung unter Berücksichtigung der neuen Basisvariablen  $x_{\text{Weizen}} = 812,5 \text{ ME}$ , so dass sich in 3) für  $y_1$  der Wert von 562,5 ME einstellt.*

Wurden alle Gleichungen in dieser Form an den Funktionswert der neuen Basisvariablen angepasst, gilt der Iterationsschritt bzw. Basiswechsel als abgeschlossen. Spalte  $x_{\text{Weizen}}$  hat nun die Form eines Einheitsvektors. Das Ergebnis der Modifizierung der Pivotzeile ist in der zweiten Nebenbedingung ersichtlich. Die Ergebnisse der Umstellung nach der neuen Basisvariablen sind den anderen Zeilen zu entnehmen. Nun liegt eine neue Basislösung vor mit  $y_1=562,5 \text{ ME}$ ,  $x_{\text{Weizen}}=812,5 \text{ ME}$ ,  $w_3=187,5 \text{ ME}$ ,  $K=2437,5 \text{ GE}$ ,  $W=187,5 \text{ ME}$ :

<b>Tableau II</b>	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS
1. NB	$y_1$	0,00	0,06	-0,25	1,00	0,38	-0,38	0,00	0,00	0,00	<b>562,50</b>
2. NB	$x_{\text{Weizen}}$	1,00	0,81	0,75	0,00	-0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	<b>812,50</b>
3. NB	$w_3$	0,00	0,19	0,25	0,00	0,13	-0,13	1,00	0,00	0,00	<b>187,50</b>
Kostenfunktion	<b>K</b>	0,00	-0,06	0,25	0,00	-0,38	0,38	0,00	1,00	0,00	<b>2437,50</b>
Zielfunktion	<b>W</b>	0,00	0,19	0,25	0,00	0,13	-1,13	0,00	0,00	1,00	<b>187,50</b>

Quelle: eigene Darstellung

### 1. Simplex-Phase: Folge-Iterationen

Durch den ersten Basiswechsel konnte der Zielwert W auf 187,5 ME reduziert werden, wie in Tableau II deutlich wird. Die weiteren Iterationsschritte erfolgen dann ebenfalls durch Bestimmung von eintretender sowie austretender Variablen

und den Anpassungsvorgängen an die neue Basisvariable. Tableau II sagt aus, dass ein Basiswechsel zwischen  $x_{\text{Soja}}$  und  $w_3$  stattfindet:

Tableau II	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS	RS/ PS
1. NB	$y_1$	0,00	0,06	-0,25	1,00	0,38	-0,38	0,00	0,00	0,00	562,50	-2250,00
2. NB	$x_{\text{Weizen}}$	1,00	0,81	0,75	0,00	-0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	812,50	1083,33
3. NB	$w_3$	0,00	0,19	0,25	0,00	0,13	-0,13	1,00	0,00	0,00	187,50	750,00
Kostenfunktion	K	0,00	-0,06	0,25	0,00	-0,38	0,38	0,00	1,00	0,00	2437,50	
Zielfunktion	W	0,00	0,19	0,25	0,00	0,13	-1,13	0,00	0,00	1,00	187,50	

Quelle: eigene Darstellung

Durch den Basiswechsel erhält man in Tableau III die neue Basislösung mit  $y_1=750$  ME,  $x_{\text{Weizen}}=250$  ME,  $x_{\text{Soja}}=750$  ME,  $K=2250$  GE und  $W=0$  ME:

Tableau III	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	$w_2$	$w_3$	K	W	RS
1. NB	$y_1$	0,00	0,25	0,00	1,00	0,50	-0,50	1,00	0,00	0,00	750,00
2. NB	$x_{\text{Weizen}}$	1,00	0,25	0,00	0,00	-0,50	0,50	-3,00	0,00	0,00	250,00
3. NB	$x_{\text{Soja}}$	0,00	0,75	1,00	0,00	0,50	-0,50	4,00	0,00	0,00	750,00
Kostenfunktion	K	0,00	-0,25	0,00	0,00	-0,50	0,50	-1,00	1,00	0,00	2250,00
Zielfunktion	W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	-1,00	0,00	1,00	0,00

Quelle: eigene Darstellung

Die 1. Simplex-Phase ist an dieser Stelle beendet, da neben  $w_2$  auch  $w_3$  als künstliche Variable aus der Basislösung ausgeschieden ist und ein Zielwert W von Null resultiert (Ellinger et al, 2003).

## 2. Simplex-Phase

Da die künstlichen Variablen eliminiert werden konnten, können die Zielfunktion sowie die Variablen  $w_i$  aus dem Tableau entfernt werden, so dass Tableau IV wie folgt aussieht:

Tableau IV	BV	$x_{\text{Weizen}}$	$x_{\text{Mais}}$	$x_{\text{Soja}}$	$y_1$	$y_2$	K	RS
1. NB	$y_1$	0,00	0,25	0,00	<b>1,00</b>	0,50	0,00	750,00
2. NB	$x_{\text{Weizen}}$	<b>1,00</b>	0,25	0,00	0,00	-0,50	0,00	250,00
3. NB	$x_{\text{Soja}}$	0,00	0,75	<b>1,00</b>	0,00	0,50	0,00	750,00
Kostenfunktion	K	0,00	-0,25	0,00	0,00	-0,50	1,00	2250,00

Quelle: eigene Darstellung

In der 2. Simplex-Phase wird nun anstatt der Zielfunktion die Kostenfunktion minimiert. Dafür muss zunächst wieder die eintretende Variable bestimmt werden, indem das 1. Simplex-Kriterium angewendet wird. Aus Gleichung (2.3.5c) ist bekannt, dass Variablen mit einem positiven Koeffizienten den Zielwert vermindern. Die Kostenfunktion ist identisch aufgebaut, nur werden



anstatt des Zielwertes W die Kosten K betrachtet. Da in Tableau IV jedoch keine positiven Koeffizienten in der Kostenfunktion vorkommen, können die Kosten nicht weiter minimiert werden. Negative Koeffizienten würden in diesem Fall für steigende Kosten sorgen. Also liegt hier die optimale Lösung vor und der Simplex-Algorithmus gilt als beendet. Treten in der 2. Simplexphase positive Koeffizienten auf, so führt man so lange Iterationen durch, bis die Kostenfunktion keine positiven Koeffizienten mehr besitzt (Ellinger et al, 2003).

Die optimale Basislösung in Tableau IV besagt, dass  $y_1$  750 ME,  $x_{\text{Weizen}}$  250 ME und  $x_{\text{Soja}}$  750 ME ausmachen. Die Einsatzmengen der Futterkomponenten können nun in die ursprünglichen Nebenbedingungen (2.3.2- 2.3.4) eingesetzt werden:

$$1. \text{ NB: } 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} \leq 3000 \quad (2.3.2)$$

$$\rightarrow 3 * 250 + 2,5 * 0 + 2 * 750 = 2250$$

$$2. \text{ NB: } 8 * x_{\text{Weizen}} + 6,5 * x_{\text{Mais}} + 6 * x_{\text{Soja}} \geq 6500 \quad (2.3.3)$$

$$\rightarrow 8 * 250 + 6,5 * 0 + 6 * 750 = 6500$$

$$3. \text{ NB: } 1 * x_{\text{Weizen}} + 1 * x_{\text{Mais}} + 1 * x_{\text{Soja}} = 1000 \quad (2.3.4)$$

$$\rightarrow 1 * 250 + 1 * 0 + 1 * 750 = 1000$$

Die zweite und dritte Nebenbedingung werden exakt eingehalten. Die erste Restriktion wird hingegen nicht völlig ausgereizt, da die Schlupfvariable  $y_1$  750 ME einnimmt. Des Weiteren halten die Variablen die Nichtnegativitätsbedingung ein, wobei die Nicht-Basisvariablen dem Wert Null entsprechen.

Die Kosten der eingesetzten Futterkomponenten ergeben sich durch Einfügen der Mengen in die Kostenfunktion (2.3.1):

$$K = 3 * x_{\text{Weizen}} + 2,5 * x_{\text{Mais}} + 2 * x_{\text{Soja}} \quad (2.3.1)$$

$$K = 3 * 250 + 2,5 * 0 + 2 * 750 = 2250$$

Unter Einhaltung der Nebenbedingung kann in diesem Beispiel ein kostenminimales Mischfutter hergestellt werden, wenn 250 ME Weizen sowie 750 ME Soja eingesetzt werden. Die Kosten belaufen sich auf 2250 GE.

### Anwendung mittels Software

Zur Berechnung von kostenminimalen Mischfutterpreisen wurde in dieser Arbeit in Microsoft Excel ein lineares Modell aufgestellt, das aus 10 Strukturvariablen sowie 22 Nebenbedingungen besteht, die den Tabellen im Anhang entnommen werden können (8.1, 8.2). Den einzelnen Nebenbedingungen muss dabei zugewiesen werden, ob Minimal- oder Maximalwerte bzw. exakte Werte erreicht werden sollen. Die Zielfunktion wird nicht aufgeführt. Die Kosten ergeben sich als Summenprodukt aus Einsatzmenge und Faktorpreis. Die durchschnittlichen monatlichen Futtermittelpreise werden schließlich jeweils in das Modell eingefügt (ersichtlich aus Tabelle 8.4). Unter Einbeziehung der Nebenbedingungen und Faktorpreise wird dann im Excel-Solver (Mußhoff, Hirschhauer, 2011) festgelegt, dass die Kosten (Summenprodukt) minimiert werden sollen. Aus der Berechnung resultieren schließlich die Kosten des Mischfutters. Dabei gelten die Einsatzmengen der Futtermittel als variable Größen. Eine Abbildung des Modells kann dem Anhang entnommen werden (8.8).

### 3. Betrachtung der empirischen Daten

Hier werden die verwendeten Preisdaten noch einmal kurz vorgestellt sowie die berechneten Futterkosten mit den Mischfutterpreisen verglichen.

#### 3.1. Preise für Futterkomponenten

Aus den wöchentlichen Preisen der zu verwendenden Rohstoffe wurden jeweils die arithmetischen Monatsmittel gebildet, die der folgenden Tabelle zu Grunde liegen (siehe Tabelle 8.4). Die eingesetzten Mengen resultieren aus den Ergebnissen der Optimierungsrechnung (siehe Tabelle 8.7):

Rohstoffe	Einheit	Weizen	Gerste	Roggen	Mais	Triticale	HP Soja- schrot	Raps- schrot	Raps- kuchen	Weizen- kleie	Mineral- futter
Ø Rohstoffpreis	€/Tonne	185,8	173,4	167,3	198,7	179,0	316,3	187,8	201,9	131,8	639,1
max. Rohstoffpreis	€/Tonne	258,1	251,8	241,9	272,0	255,0	374,3	248,5	273,0	188,3	720,0
min. Rohstoffpreis	€/Tonne	120,0	110,0	93,3	136,0	107,5	227,4	128,3	140,0	59,3	540,0
Standardabweichung	€/Tonne	45,7	46,5	45,5	41,6	45,0	37,1	32,1	38,4	36,4	53,4
Ø eingesetzte Menge	kg/t MF	13,9	133,4	190,3	50,8	363,0	100,3	17,0	17,6	83,7	30,0
	Anteil	1%	13%	19%	5%	36%	10%	2%	2%	8%	3%

Tabelle 1: Preisübersicht und durchschnittliche Verwendungsmengen der Futterkomponenten

In den simulierten Berechnungen zur Mischfutterherstellung wurden im Durchschnitt ca. 75 % Getreide eingesetzt (ohne Weizenkleie) sowie knapp 15 % Eiweißträger. Aus Tabelle 1 wird bei Betrachtung der Extremwerte sowie der Standardabweichungen deutlich, wie stark die Preise im Zeitraum von 2007 bis 2011 geschwankt haben. Dabei fallen leichte Unterschiede zwischen den Standardabweichungen der Komponentengruppen auf. Alle Getreidearten, mit Ausnahme von Mais, weisen Werte um 45 €/t auf, Soja- und Rapsschrot hingegen Werte um 37 €/t. Da innerhalb der beiden Gruppen der Energie- und Eiweißträger ziemlich identische Werte für die Standardabweichung auffallen, kann davon ausgegangen werden, dass die Preise jeweils im selben Umfang um ihren Mittelwert streuen. Übersicht (8.5) und (8.6) im Anhang unterstreichen gleichartige Preisverläufe. Die Getreidepreise bewegen sich im Zeitverlauf ziemlich identisch, ebenso wie die Preise für Soja und Raps.

Die Getreidepreise haben ihr Höchstniveau Ende 2007, Anfang 2008 sowie Anfang 2009. Die schwächste Preisphase war im Sommer 2009 zu verzeichnen.

Die Preise für Soja- und Rapsschrot erreichten im Frühjahr 2008 sowie Anfang 2011 Höchstwerte. Die niedrigsten Marktnotierungen wurden Anfang 2007 sowie Ende 2008 verzeichnet.

Aus den Werten der Standardabweichung lässt sich ableiten, dass die Getreidepreise stärker variieren als die Preise für Soja- und Rapsschrot. Da Getreide in den berechneten Mischungen Hauptbestandteil ist, kann angenommen werden, dass deren Preisveränderungen sich am stärksten auf den Mischfutterpreis (excl. Nichtfutterkosten) auswirken.

### 3.2. Preise und Kosten für Mischfutter

Die Werte der Optimierungsrechnung, die den Futterkosten im Mischfutter entsprechen, werden den Mischfutterpreisen, welche als Abgabepreise an den Landwirt zu verstehen sind, gegenübergestellt (eigene Darstellung):

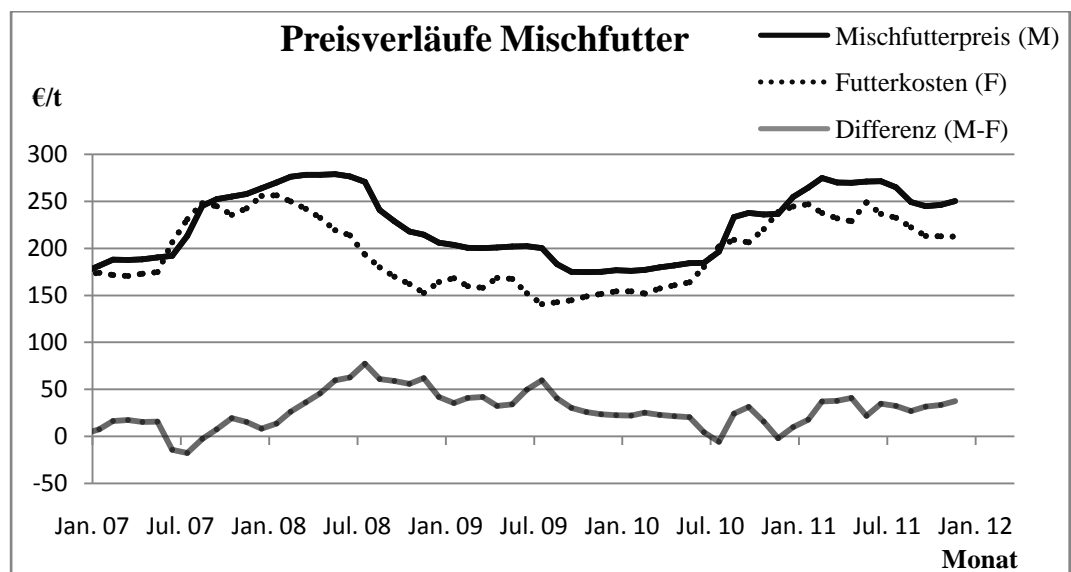


Abbildung 1: Mischfutterpreise und berechnete Futterkosten im Zeitraum von 2007 bis 2011

Die Futterkosten wiesen gegen Ende 2007 sowie Anfang 2011 ihr Höchstniveau bzw. Mitte 2009 ihr tiefstes Niveau auf, weshalb wie erwartet Parallelen zu den Entwicklungen der Komponentenpreise vorliegen.

Beim Vergleich von Futterkosten und Mischfutterpreis scheint es so, dass der Mischfutterpreis verzögert auf Entwicklungen der Futterkosten reagiert. So sind Höchst- und Tiefstwerte jeweils etwas später als bei den Futterkosten zu verzeichnen.

<b>Mischfutter</b>		Mischfutterpreis	Futterkosten	Differenz
Ø Mischfutterpreis	€/Tonne	225,3	197,8	27,4
max. Mischfutterpreis	€/Tonne	279,0	256,6	77,3
min. Mischfutterpreis	€/Tonne	174,7	140,5	-17,8
Standardabweichung	€/Tonne	36,3	36,9	19,6

Tabelle 2: Preisübersicht für Mischfutter und Futterkomponenten

Aus der Preisübersicht (beruht auf Tabelle 8.7) wird deutlich, dass die Standardabweichungen für Futterkosten und Mischfutterpreis nahezu identisch sind, wodurch auch hier gleichartige Preisverläufe unterstellt werden können. Dies geht auch aus Abbildung 1 hervor, wenn auch eine Verzögerung vorhanden ist.

Die Differenz aus beiden Preisen, die wir als Grenzkosten der Nichtfutterkomponenten sowie über den Zeitverlauf als konstant angenommen haben, beträgt im Mittel knapp 30 €/t.

## 4. Test auf Stationarität

Regressionsanalysen beruhen auf der Annahme, dass Zeitreihen stationär sind (Gujarati, 2003). Im Folgenden wird der Begriff der Stationarität erläutert und die entsprechenden Tests auf die Zeitreihen angewendet. Dabei dient die Statistik-Software „gretl“ als Hilfsmittel.

### 4.1. Stationarität in Zeitreihen

Eine Zeitreihe gilt als stationär bzw. schwach stationär, wenn Mittelwert und Varianz der Zufallsvariablen über den betrachteten Zeitraum konstant sind sowie die Kovarianz nicht vom Zeitpunkt sondern vom Zeitabstand zwischen zwei Werten der Zufallsvariablen abhängt (Gujarati, 2003):

$$\text{Mittelwert: } E(Y_t) = \mu \quad (4.1.1)$$

$$\text{Varianz: } \text{Var}(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (4.1.2)$$

$$\text{Kovarianz: } \text{Cov}(Y_t, Y_{t+k}) = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] \quad (4.1.3)$$

Sofern in Zeitreihendaten ein Trend beobachtbar ist, wird davon ausgegangen, dass sie nichtstationär sind (Rüdel, 1989). In nichtstationären Zeitreihen können sowohl der Mittelwert als auch die Varianz in Abhängigkeit vom Zeitpunkt schwanken (Gujarati, 2003). Bevor Tests auf Stationarität angewendet werden, ist es ratsam, die Zeitreihen jeweils grafisch darzustellen (eigene Darstellungen):

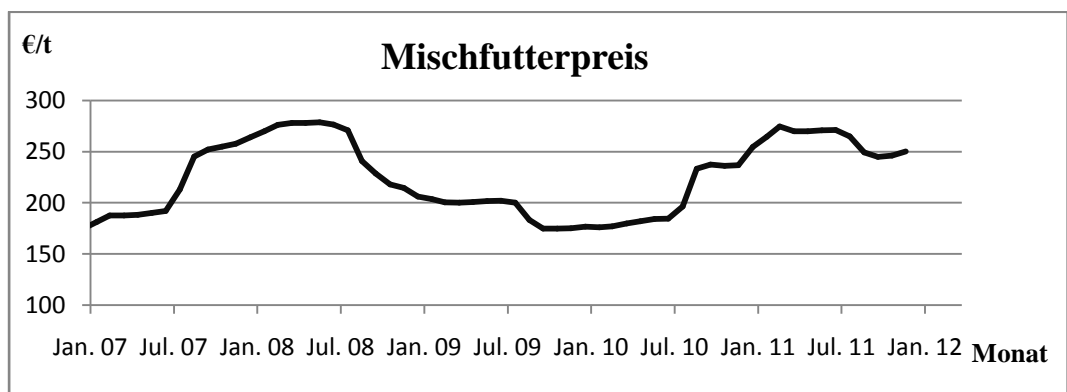


Abbildung 2: Preisverlauf Mischfutter (Schweine-Endmast)

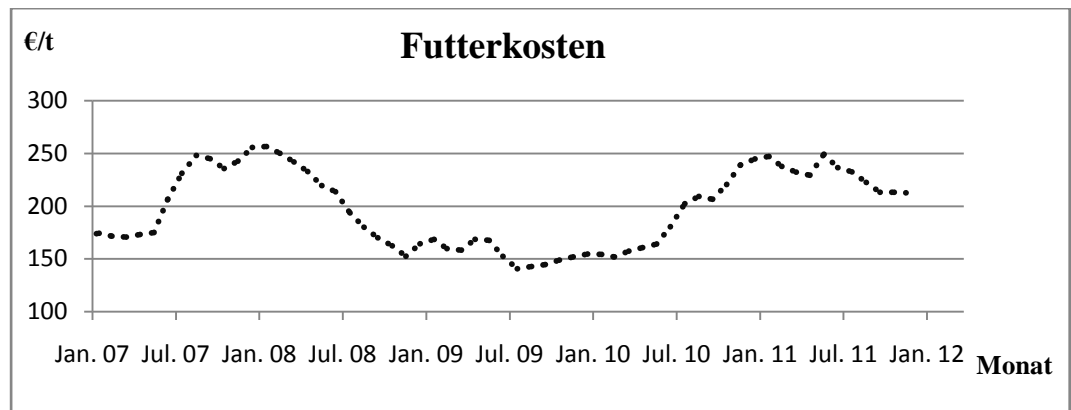


Abbildung 3: Kostenverlauf der Futterkomponenten im Mischfutter

Auf den ersten Blick kann vermutet werden, dass beide Zeitreihen langfristig um einen konstanten Mittelwert schwanken. Für den Mischfutterpreis wäre dies beim Preis von ca. 225 €/t und bei den Futterkosten bei ca. 200 €/t. Für den Test auf Stationarität ist es später wichtig, das Verhaltensmuster der Zeitreihen einordnen zu können.

Nichtstationären Zeitreihen wird nachgesagt, dass sie dem Verhaltensmuster eines Random Walks folgen, sprich der Wert von  $Y_t$  wird durch den Wert der Vorperiode,  $Y_{t-1}$ , sowie den Störterm  $u_t$  beeinflusst (Gujarati, 2003). Somit ist Zufallsvariable  $Y_t$  abhängig von der Zeit (Franz, 2005). Der Störterm ist als weißes Rauschen charakterisiert und hat somit einen Mittelwert von Null sowie eine konstante Varianz, was stationäre Eigenschaften sind:

$$Y_t = Y_{t-1} + u_t \quad (4.1.4)$$

Durch den Einfluss von  $Y_{t-1}$  gilt (4.1.4) nicht als stationär. Bildet man in (4.1.5) die erste Differenz von  $Y_t$ , verschwindet  $Y_{t-1}$  auf der rechten Seite. Die erste Differenz entspricht dann dem Störterm und ist gemäß den erwähnten Eigenschaften des weißen Rauschens stationär (Gujarati, 2003):

$$\Delta Y_t = u_t \quad (4.1.5)$$

## 4.2. Dickey-Fuller-Test/ ADF-Test

Stationarität kann durch den Einheitswurzeltest nach Dickey und Fuller ermittelt werden, indem untersucht wird, ob eine Zeitreihe den Eigenschaften eines

Random Walks folgt. Die Nullhypothese besagt, dass eine Zeitreihe sich wie ein Random Walk verhält und damit nichtstationär ist (Gujarati, 2003).

Der Random Walk (4.1.4) wird um zwei Parameter erweitert. Für  $Y_{t-1}$  wird der Koeffizient  $a$  eingeführt. Zudem wird eine Konstante  $\beta$  eingefügt, da durch die Betrachtung der Zeitreihen (Abbildung 2+ 3) vermutet wird, dass die Werte sich um einen konstanten Mittelwert bewegen<sup>11</sup>:

$$Y_t = \beta + a \cdot Y_{t-1} + u_t \quad (4.2.1)$$

Koeffizient  $a$  zeigt auf, welchen Einfluss  $Y_{t-1}$  auf den Funktionswert  $Y_t$  besitzt. Unter der Nullhypothese beträgt der Koeffizient  $a$  Eins. Auch in Hinblick auf Gleichung (4.1.5) muss der Koeffizient berücksichtigt werden, indem wir  $Y_{t-1}$  von (4.2.1) subtrahieren. Für die Differenz  $(a-1)$  wird der Koeffizient  $d$  eingeführt:

$$\Delta Y_t = \beta + (a-1) \cdot Y_{t-1} + u_t \quad (4.2.2)$$

$$\Delta Y_t = \beta + d Y_{t-1} + u_t \quad (4.2.3)$$

Der Dickey-Fuller-Test (DF-Test) betrachtet jeweils die erste Differenz. Ergibt sich in der Gleichung (4.2.3) für  $d$  ein Wert von Null, so ist  $a$  Eins. Aus Gleichung (4.2.1) wissen wir in dem Fall, dass für die Zeitreihe  $Y_t$  Nichtstationarität nicht abzulehnen ist.

Ist hingegen  $d$  kleiner als Null, so muss  $a$  einen Wert kleiner als Eins besitzen. Je nachdem, wie stark  $a$  von Eins abweicht, gehen wir dann von schwacher Stationarität der Zeitreihe  $Y_t$  aus. Die Zufallsvariable  $Y_t$  ist dann nicht mehr so stark abhängig vom Zeitpunkt  $t-1$ . Ist  $d=-1$  und somit  $a=0$ , so liegt strenge Stationarität vor, wobei die Zufallsvariable komplett unabhängig ist von vorherigen Werten (Franz, 2005).

Somit lautet die Nullhypothese  $d=0$  (also  $a=1$ ), wobei die Zeitreihe  $Y_t$  als nichtstationär gilt. Diese lehnen wir ab, sobald  $d$  signifikant Null unterschreitet (Gujarati, 2003).

---

<sup>11</sup> Wird ein Random Walk mit Trend vermutet, wird zusätzlich eine Zeitvariable eingeführt.



Da beim Test nach Dickey und Fuller das Problem der Autokorrelation der Residuen auftreten kann, wurde der DF-Test erweitert. Um Autokorrelation zu verringern, werden im so genannten ADF-Test zusätzlich die verzögerten Werte der abhängigen Variable  $\Delta Y_t$  mit einbezogen (Gujarati, 2003):

$$\Delta Y_t = \beta + d * Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m a_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (4.2.4)$$

Angewandt auf die beschriebenen Zeitreihen für den Mischfutterpreis und die Futterkosten wurde der ursprüngliche DF-Test nicht berücksichtigt, da die Autokorrelationskoeffizienten erster Ordnung mit Werten um 0,5 deutlich von Null abweichen, womit Autokorrelation der Residuen vermutet werden kann.

Daraufhin wurde der ADF-Test herangezogen.

Beim ADF-Test, aber auch anderen Tests, muss man sich für die Anzahl der Lags entscheiden, welche berücksichtigt werden sollen. Wird eine zu geringe Anzahl gewählt, kann es sein, dass das Test-Modell nicht richtig spezifiziert ist. Werden andernfalls zu viele Lags miteinbezogen, wirkt sich dies auf den F-Test der Gesamtsignifikanz<sup>12</sup> aus und kann Multikollinearität<sup>13</sup> verursachen (Gujarati, 2003). Als Richtwerte für die optimale Anzahl an Lags kann das Akaike-Informationskriterium oder das Schwarz-Kriterium dienen. Beide Kriterien sollen das Hinzufügen eines weiteren Lags bestrafen, sofern dieses keinen Beitrag zur Erklärung des Modells liefert. Wenn ein Lag hinzugefügt wird und die Summe der Quadratresiduen sich nicht verringert, wächst der Wert für die Kriterien im Vergleich zum vorherigen Lag. Schließlich sollte das Modell gewählt werden, das die geringsten Werte für die Kriterien-Werte aufweist (Gujarati, 2003).

Beim ADF-Test konnten die Werte für das Akaike-Informationskriterium oder das Schwarz-Kriterium durch Hinzufügen von Lags kontinuierlich verringert werden, bis sogar die Hypothese der Gesamtsignifikanz der Lags verworfen werden musste. Daher scheint die Bewertung anhand der Kriterien-Werte hier nicht unbedingt sinnvoll. Stattdessen wurde die Lag-Anzahl beider Zeitreihen bestimmt, indem jeweils von der maximalen Lag-Ordnung<sup>14</sup> herunter getestet wurde, bis man auf ein signifikantes Lag gestoßen ist.

---

12 Die Zähler- Freiheitsgrade wachsen und die Nenner- Freiheitsgrade sinken, woraus ein steigender kritischer F-Wert resultiert.

13 Multikollinearität ist nicht erwünscht und liegt vor, wenn die verwendeten Exogene untereinander korreliert sind.

14 Wird die maximale Lag-Ordnung überschritten, liegen mehr Parameter als Beobachtungen vor, so dass nicht getestet werden kann.

Der ADF-Test wurde schließlich mit vier verzögerten Variablen für die Mischfutterpreise sowie für die Futterkosten mit sechs verzögerten Variablen geschätzt. Getestet wurde das Modell mit Konstante, womit es Gleichung (4.2.4) entspricht:

$$\begin{array}{llll} \Delta \widehat{M}_t(4): & \hat{d} = -0,09 & p\text{-Wert} = 0,076 & \text{Autokorr.-Koeff.} = -0,045^{15} \\ \Delta \widehat{F}_t(6): & \hat{d} = -0,11 & p\text{-Wert} = 0,043 & \text{Autokorr.-Koeff.} = -0,094 \end{array}$$

Für die Mischfutterpreise und die Futterkosten kann die Nullhypothese unter einem Signifikanzniveau von 10 % abgelehnt werden, da die p- Werte das Signifikanzniveau unterschreiten. Damit sind beide Zeitreihen als stationär einzustufen. Da die Schätzer von d jedoch nur leicht von Null abweichen, handelt es sich hier um schwache Stationarität.

### 4.3. KPSS-Test

Um die Frage der Stationarität mit größerer Gewissheit beurteilen zu können, wurde hier mit dem Test nach Kwiatkowski, Phillips, Schmidt und Shin ein weiteres Prüfverfahren berücksichtigt. Im Gegensatz zum Test nach Dickey und Fuller wird dabei in der Nullhypothese Stationarität angenommen. Die Alternativhypothese besagt dann Nichtstationarität (Hassler, 2001).

Wir gehen zu Beginn davon aus, dass die Werte der Zeitreihe von einem Random Walk  $\mu_t$  sowie einem Störterm  $u_t$  resultieren, wobei der Störterm durch weißes Rauschen charakterisiert ist (Mittelwert= 0, konstante Varianz):

$$x_t = \mu_t + u_t \quad | \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4.3.1)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + v_t \quad (4.3.2)$$

In der Nullhypothese wird bezüglich des Random Walks (4.3.2) die Annahme getroffen, dass die Varianz der Residuen  $v_t$  Null entspricht, womit sich über den gesamten Zeitablauf konstante Werte für die Residuen ergeben. Bei einem Mittelwert von Null existieren somit keine Residuen im Random Walk. Dies bedeutet, dass sich für den Random Walk ein konstanter Wert einstellt<sup>16</sup>. Die

---

<sup>15</sup> Autokorrelationskoeffizient 1. Ordnung für die Residuen.

Variabel  $\mu_t$  ist nicht mehr zeitabhängig und wird daraufhin als Konstante  $\mu_0$  berücksichtigt (Hassler, 2001):

$$x_t = \mu_0 + u_t \quad (4.3.1a)$$

Mit der Gleichung (4.3.1a) liegt Stationarität vor, wobei  $x_t$  sich um den Mittelwert  $\mu_0$  bewegt. Abweichungen vom Mittelwert  $\mu_0$  bewirken das Auftreten von Residuen.

Der KPSS- Test basiert auf der Quadratsumme der kumulierten Residuen  $S_t$  der Zeitreihe (4.3.1a), welche eine große Bedeutung für die empirische Prüfgröße  $\eta$  der Teststatistik besitzt (Hassler, 2001):

$$\eta = \frac{1}{T^2 * w^2} * \sum_{t=1}^T S_t^2 \quad (4.3.3)$$

Es ist offensichtlich, dass das Auftreten von Residuen in (4.3.1a) sich durch  $S_t$  in der Höhe des Wertes der Prüfgröße auswirkt. Wert T entspricht der Anzahl an Beobachtungen und  $w^2$  der so genannten Langfristvarianz. Die Langfristvarianz ergibt sich als Produkt aus Varianz der Residuen und Kovarianz der Residuen<sup>17</sup>.

Wie bekannt, wird hier mit der Nullhypothese unterstellt, dass eine Zeitreihe keine Random Walk-Eigenschaften besitzt und Stationarität aufweist. Ist die jeweilige Zeitvariable jedoch nichtstationär, wird sich die jeweilige Zufallsvariable in größerem Umfang vom „unterstellten“ Mittelwert entfernen, wodurch höhere Residuen entstehen. Diese sorgen dann für einen hohen empirischen Wert der Prüfgröße. Die empirische Prüfgröße wird mit den kritischen Werten des KPSS- Tests verglichen. Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn der empirische Wert den tabellarischen Wert überschreitet. Wird also eine Zeitreihe fälschlicherweise als stationär eingestuft, schlägt sich dies in Form von erhöhten Residualwerten in der Prüfgröße nieder, was zur Ablehnung der Nullhypothese führt. Die Zeitreihe gilt dann als integriert vom Grade Eins (Hassler, 2001).

Auch im KPSS- Test muss man sich für die Anzahl der Lags entscheiden, mit der getestet werden soll. Dabei wird die Lag-Ordnung in der Langfristvarianz berücksichtigt. Die Bewertung der Lag-Ordnung, in diesem Fall auch Bandbreite

---

<sup>16</sup>  $\mu_t$  entspricht dann  $\mu_{t-1}$ .

<sup>17</sup> Für Details siehe U. Hassler (2001) S. 13.

genannt, ist jedoch sehr komplex und wurde hier nicht berücksichtigt (Hassler, 2001). Es konnte lediglich beobachtet werden, dass die empirische Prüfgröße mit steigender Anzahl an Lags jeweils gesunken ist:

$$\begin{array}{lll} \eta(\widehat{M}_t; 1) = 0,375 & \eta(\widehat{M}_t; 2) = 0,258 & \eta(\widehat{M}_t; 3) = 0,200 \\ \eta(\widehat{F}_t; 1) = 0,438 & \eta(\widehat{F}_t; 2) = 0,300 & \eta(\widehat{F}_t; 3) = 0,232 \end{array}$$

Bei einem Lag und einem Signifikanzniveau von 10 %, was einem kritischen Wert von 0,351 entspricht, wird die Nullhypothese jeweils abgelehnt. Durch die Erhöhung der Lags kann die Nullhypothese unter dem gleichen Signifikanzniveau jedoch nicht mehr abgelehnt werden. Da die Nullhypothese lediglich für die Lag-Anzahl Eins, aber nicht in den folgenden Lag-Ordnungen, verworfen wurde, wird die Stationarität der Zeitreihen hier als wahrscheinlich angesehen.

## 5. Schätzung der Preisbeziehung

Da für beide Zeitreihen Stationarität angenommen wurde, kann die OLS-Methode<sup>18</sup> bedenkenlos angewendet werden und eine langfristige Beziehung zwischen den Variablen Futterkosten und Mischfutterpreis geschätzt werden<sup>19</sup>. Da wir prüfen wollen, ob vollkommener Wettbewerb vorliegt, ziehen wir hier das gewinnmaximale Kriterium „Marktpreis=Grenzkosten“ heran, jedoch müssen noch weitere Annahmen getroffen werden:

Wir gehen davon aus, dass die Futterkosten sich nicht mit dem Umfang der Mischfutterproduktion ändern. Somit ergeben sich konstante Grenzkosten für die Futterkomponenten. Sind die Grenzkosten konstant, so gilt durchgehend der Faktorpreis der Futterkomponenten:  $GK\text{-Futterkomponenten} = \text{Futterkosten (F)}$ .

Die Nichtfutterkosten bzw. deren Grenzkosten sind nicht erfassbar (Feger, 2000) und müssen geschätzt werden. Grundsätzlich kann vermutet werden, dass die Grenzkosten ab einem gewissen Produktionsumfang ansteigen, wenn beispielsweise Verschleiß und Reparaturen zunehmen. Zur Vereinfachung unseres Modells nehmen wir an, dass während des gesamten Beobachtungszeitraums die gleichen Grenzkosten für Nichtfutterkomponenten anfallen. Dann können diese Grenzkosten als Konstante ins Modell eingehen:  $GK\text{-Nichtfutterkomponenten} = \text{Konstante}$ .

Somit ergibt sich für die Situation  $p=GK$  in diesem Beispiel folgendes Modell, wobei der Mischfutterpreis (M) dem Marktpreis (p) entspricht:

$$M_t = \text{const.} + \beta_1 * F_t \quad (5)$$

Nach der Vorstellung des vollkommenen Wettbewerbs sollte sich in der Schätzung für  $\beta_1$  ein Koeffizient um Eins ergeben, was besagt, dass Futterkosten im Verhältnis 1:1 im Mischfutterpreis berücksichtigt werden.

---

18 Kleinstquadrat-Schätzung.

19 Die Berechnungen werden wieder mit Hilfe der Statistik-Software „gretl“ durchgeführt.

## 5.1. Kontemporäres Modell

Im einfachen Fall werden eine oder mehrere gegenwärtige Exogene gegen eine Endogene regressiert (Gujarati, 2003). In unserem Fall soll geprüft werden, ob die Futterkosten den Mischfutterpreis beeinflussen, woraus sich folgendes Modell ergibt:

$$M_t = \beta_0 + \beta_1 * F_t + u_t \quad (5.1.1)$$

Unter Anwendung der OLS- Methode ergeben sich folgende Ergebnisse:

$$\widehat{M}_t = 57,236 + 0,851 * F_t \quad (5.1.2)$$

(4,258)    (12,67)\*\*\*<sup>20</sup>

$$\bar{R}^2 = 0,7301 \quad DW = 0,2899$$

Der geschätzte Parameter von  $F_t$  ist signifikant verschieden von Null. Eine Steigerung der Futterkosten um 1 €/t hat somit ceteris paribus eine Erhöhung des Mischfutterpreises um 85 Cent/t zur Folge. Bei sinkenden Futterkosten gilt selbiges in die andere Richtung. Die Grenzkosten der Nichtfutterkomponenten belaufen sich laut Modell auf 57,24 €/t.

Wenn eine statistische Korrelationsbeziehung vorliegt, sollte man diese auch noch auf ihre Kausalität sowie die Richtung des Einflusses prüfen (Gujarati, 2003). Zudem ist ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß von 0,73 ein Indikator dafür, dass das Modell noch nicht richtig spezifiziert ist. Daher wird dieses Ergebnis noch nicht zur endgültigen Interpretation des Preiszusammenhangs herangezogen.

---

<sup>20</sup> \*sind im Zusammenhang mit dem p-Wert und dem Signifikanzniveau, zu welchem eine Nullhypothese abgelehnt wird, zu verstehen: \*=10 %, \*\*= 5 %, \*\*\* 1 %.

## 5.2. Dynamisches Modell

Nach Koop können Werte, die in der Vergangenheit aufgetreten sind, einen Einfluss auf heutige Werte ausüben (Gujarati, 2003). Dies wird in der Modellspezifikation berücksichtigt, indem verzögerte Zeitreihenwerte, so genannte Lags, in die Schätzung miteinbezogen werden. In dynamischen Modellen werden dabei sowohl für die Exogene als auch für die Endogene Lags eingebracht (Gujarati, 2003), was für den Fall Lag-Ordnung von Eins folgendes Modell hervorbringt:

$$M_t = \beta_0 + \beta_1 * F_t + \beta_2 * F_{t-1} + \beta_3 * M_{t-1} + u_t \quad (5.2.1)$$

### Granger- Kausalitätstest

Es muss noch geklärt werden, ob die Exogene Einfluss auf die Endogene besitzt oder es sich um Scheinkorrelation handelt. Zusätzlich kann auf Grund einer Korrelationsbeziehung auch unterstellt werden, dass eine Exogene durch die Endogene erklärt wird, sprich die Exogene zur Endogenen wird (Gujarati, 2003).

Um diese Fragen zu klären, wird der Kausalitätstest nach Granger benutzt. Dabei werden jeweils beide Variablen als Endogene betrachtet. Als Exogene dienen wie in (5.2.1) die Lags beider Variablen, jedoch kann auf die kontemporäre Exogene ( $F_t$  bzw.  $M_t$ ) verzichtet werden. So ergeben sich für  $n$  Lags folgenden Regressionsgleichungen (Gujarati, 2003):

$$M_t = \sum_{i=1}^n a_i * F_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j * M_{t-j} + u_{1t} \quad (5.2.2)$$

$$F_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i * F_{t-i} + \sum_{j=1}^n \delta_j * M_{t-j} + u_{2t} \quad (5.2.3)$$

Die Nullhypothese besagt, dass die eigentliche Exogene keinen Einfluss bezüglich der Endogenen besitzt, womit die Koeffizienten  $a_i$  bzw.  $\delta_i$  jeweils Null entsprechen (Gujarati, 2003). Die Alternativhypothese lautet, dass mindestens ein Koeffizient der Exogenen signifikant von Null verschieden ist.

Zur Überprüfung der Hypothesen wird ein F-Test verwendet, wobei die Summe der Residuenquadrate für ein restringiertes und ein unrestringiertes Modell eingebracht werden:

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_{UR}) / m}{RSS_{UR} / (n-k)} \quad (5.2.4)$$

Das unrestringierte Modell enthält sowohl exogene als auch endogene Lags, das restringierte Modell hingegen nur die endogenen Lags. Sofern eine Variable allein von endogenen Lags abhängt, sollte sich die Summe der Residuenquadrate beim restringierten Modell ( $RSS_R$ ) gegenüber dem unrestringierten Modell ( $RSS_{UR}$ ) kaum negativ verändern. Veränderungen der Summe der Residuenquadrate drücken sich schließlich im F-Wert aus. Die Freiheitsgrade werden durch  $m$  und  $(n-k)$  in der Formel berücksichtigt. Wird zwischen Regressionen mit einer unterschiedlichen Zahl an Lags verglichen, kann wieder das Akaike-Informations-Kriterium oder das Schwarz-Kriterium herangezogen werden (Gujarati, 2003).

Bei der Anwendung des Granger- Kausalitätstest auf den Mischfutterpreis sowie die Futterkosten wurde bei der Endogenen „Mischfutterpreis“ schon bei drei Lags ein minimaler Wert für das Schwarzkriterium gefunden, so dass schließlich beide Modelle mit drei Lags getestet wurden:

$$F \rightarrow M \quad F_{emp} = 9,92 \quad (5.2.5)$$

$$M \rightarrow F \quad F_{emp} = 2,58 \quad (5.2.6)$$

Unter dem Signifikanzniveau von 5 % beträgt der kritische F-Wert (3, 50) 3,39, womit die Nullhypothese für Regression (5.2.5) abgelehnt werden muss, da der empirische F-Wert größer ist. Dies bedeutet, dass die Futterkosten den Mischfutterpreis beeinflussen (Gujarati, 2003). Im Gegensatz dazu kann die Hypothese verworfen werden, dass der Mischfutterpreis die Futterkosten erklären kann. Durch den Kausalitätstest ist nun geklärt, dass einseitige Kausalität in Richtung des Mischfutterpreises sowie signifikanter Einfluss der exogenen Futterkosten besteht.

#### Erweiterung des kontemporären Modells

Wie der Kausalitätstest gezeigt hat, besteht einseitige Kausalität in Richtung des Mischfutterpreises und die exogenen Futterkosten sind signifikant. Somit kann die



Modellspezifikation aus (5.1.1) grundsätzlich nicht verworfen werden. Jedoch weist die OLS-Schätzung (5.1.2) nur ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß von 0,73 auf. Da auch Werte der Vergangenheit den aktuellen Wert beeinflussen können, wurde gemäß (5.2.1) ein dynamisches Modell geschätzt, wobei die Wahl durch das Schwarz-Kriterium wieder auf drei Lags gefallen ist:

$$\widehat{M}_t = 4,745 + 0,049 * F_t + 0,45 * F_{t-1} - 0,138 * F_{t-2} - 0,061 * F_{t-3} + \quad (5.2.7)$$

(0,77) (0,55) (3,00)\*\*\* (-0,84) (-0,49)

$$0,848 * M_{t-1} - 0,284 * M_{t-2} + 0,158 * M_{t-3}$$

(6,03)\*\*\* (-1,60) (1,68)\*

$$\bar{R}^2 = 0,976 \quad F(7,49) = 325,18*** \quad DW = 2,04$$

Das korrigierte Bestimmtheitsmaß beschreibt eine Anpassung, die fast perfekt ist. Obwohl lediglich die Koeffizienten von  $F_{t-1}$ ,  $M_{t-1}$  und  $M_{t-2}$  individuelle Signifikanz aufweisen, kann die Hypothese der Gesamtsignifikanz wegen des sehr hohen F-Wertes nicht abgelehnt werden.

Eine besonders große Signifikanz weisen die Variablen bei Lag-Ordnung Eins auf. Erhöht sich der Mischfutterpreis um 1 €/t, so wird ceteris paribus der Mischfutterpreis im nächsten Monat um 0,85 €/t steigen. Verteuern sich die Futterkomponenten um 1€/t, so wird ceteris paribus der Mischfutterpreis im Folgemonat um 0,45 €/t ansteigen.

Im langfristigen Gleichgewicht wird davon ausgegangen, dass die Preise und Kosten sich nicht verändern, so dass gilt:  $M_t = M_{t-1}$  sowie  $F_t = F_{t-1}$  (Maddala, Kim, 1998). Damit wir im dynamischen Modell also den langfristigen Einfluss der Futterkosten auf den Mischfutterpreis erhalten, werden für beide Zeitreihen in Modell (5.2.7) die Erwartungswerte eingesetzt, woraus dann resultiert (Herleitung siehe im Anhang 8.9):

$$E[M] = 17,068 + 1,079 * E[F] \quad (5.2.8)$$

Im langfristigen Gleichgewicht gilt somit, dass eine Änderung der Futterkosten um 1 €/t ceteris paribus eine Veränderung des Mischfutterpreises um 1,08 €/t zur Folge hat, was sowohl für steigende als auch für fallende Futterkosten gilt. Die Grenzkosten der Nichtfutterkomponenten, welche über den Zeitverlauf als konstant angenommen wurden, betragen dann 17,07 €/t.

### 5.3. Fehlerkorrekturmodell

Die Langfristbeziehung zwischen Futterkosten und Mischfutterpreis ist durch Gleichung (5.2.8) gegeben. Jedoch kann es vorkommen, dass der Mischfutterpreis kurzfristig vom unterstellten Gleichgewicht abweicht, d.h. kurzfristig nicht der Langfristbeziehung folgt. Jedoch wird ein solches Ungleichgewicht mit der Zeit wieder ausgeglichen, was anhand des Fehlerkorrekturmodells nach Engle und Granger erklärt werden kann (Gujarati, 2003). Das Modell ist auf das Mischfutterbeispiel angewandt, wobei Variable  $u_{t-1}$  die verzögerten Residuen aus (5.2.7) darstellt:

$$\Delta M_t = \beta_0 + \beta_1 * \Delta F_t + \beta_2 * u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.3.1)$$

Das Modell besagt, dass marginale Preisänderungen des Mischfutters von marginalen Änderungen der Futterkosten sowie den verzögerten Residuen der Gleichgewichtsbeziehung aus (5.2.7) abhängen. Die verzögerten Residuen zeigen an, ob in der Vorperiode ein Ungleichgewicht vorgelegen hat (Maddala, Kim, 1998). In einem Fehlerkorrekturmodell ergibt sich für die verzögerten Residuen ein negativer Koeffizient, welcher dafür sorgt, dass das Gleichgewicht wieder eintreten kann. Ist beispielsweise zum Zeitpunkt  $t-1$  ein positives Residuum aufgetreten, lag der Mischfutterpreis oberhalb des Gleichgewichts. Dies wird im Fehlerkorrekturmodell dadurch bestraft, dass der Residualwert der Vorperiode von  $\Delta M_t$  subtrahiert wird. Somit wird jede marginale positive Preisänderung eingeschränkt, sofern das Gleichgewicht verlassen wurde. Gleiches gilt für Unterschreitungen des Gleichgewichts, wobei der Residualwert der Vorperiode dann addiert wird. Der Koeffizient  $\beta_2$  besagt, mit welcher Geschwindigkeit das Gleichgewicht wieder hergestellt wird (Gujarati, 2003).

Das Fehlerkorrekturmodell für die Mischfutterpreise sieht wie folgt aus:

$$\Delta M_t = 0,812 + 0,390 * \Delta F_t - 0,143 * u_{t-1} \quad (5.3.2)$$

(0,648) (3,362)\*\*\* (-0,601)

$$\bar{R}^2 = 0,15 \quad DW = 1,353$$

Gemäß den Eigenschaften eines Fehlerkorrekturmodells tritt ein negativer Koeffizient für die verzögerten Residuen auf. Dieser ist jedoch nicht signifikant. Zudem ist das korrigierte Bestimmtheitsmaß ziemlich gering.

Aufbauend auf Modell (5.3.2) können zusätzlich noch verzögerte Werte der Differenzen beider Variablen eingefügt werden (Franz, 2005). Der niedrigste Wert für das Schwarz-Kriterium ergab sich dabei für eine Lag-Ordnung von Eins:

$$\Delta M_t = 0,167 + 0,092 * \Delta F_t + 0,466 * \Delta F_{t-1} + 0,474 * \Delta M_{t-1} - 0,647 * u_{t-1} \quad (5.3.3)$$

(0,212) (1,115) (4,996)\*\*\* (4,517)\*\*\* (-3,553)\*\*\*

$$\bar{R}^2 = 0,669 \quad DW = 1,895$$

Die verzögerten Differenzen beider Variablen weisen einen signifikanten Einfluss auf die Preisänderungen des Mischfutters auf, die kontemporären Änderungen der Futterkosten hingegen nicht. Die Differenzen zeigen auf, ob Preise gesunken oder gestiegen sind. Marginale Änderungen der Futterkosten und der Mischfutterpreise der Vorperiode um 1 % sorgen ceteris paribus jeweils dafür, dass die kontemporären marginalen Änderungen im Mischfutterpreis um 0,47 % steigen bzw. sinken.

Das Fehlerkorrekturmodell besitzt ferner die richtige Form, da der Korrekturterm ein negatives Vorzeichen besitzt, wodurch Abweichungen vom langfristigen Gleichgewicht effektiv bereinigt werden. Der Koeffizient von -0,65 besagt, dass eine Abweichung des Mischfutterpreises vom langfristigen Gleichgewicht um 1 €/t eine Preisanpassung von 0,65 €/t zur Folge hat. Dieser Wert kann als starker Anpassungsfaktor interpretiert werden, was bedeutet, dass das Gleichgewicht relativ schnell wiederhergestellt wird.

## 6. Diskussion

In dieser Arbeit galt es, die Preisbeziehung zwischen den Futterkosten und dem Mischfutterpreis zu ermitteln. Dazu wurde folgendes Modell geschätzt:

$$M_t = \beta_0 + \beta_1 * F_t$$

Anhand der Ergebnisse aus (5.2.8) wissen wir nun, dass sich im langfristigen Gleichgewicht für die Konstante, also den Grenzkosten der Nichtfutterkomponenten, ein Wert von 17,03 €/t ergibt. Dieser Wert soll uns jedoch nicht weiter beschäftigen, da kaum Informationen über die Zusammensetzung der Nichtfutterkosten vorliegen.

Von großem Interesse ist dagegen der Steigungsparameter  $\beta_1$ , welcher den Wert 1,08 besitzt. Dieser besagt, laut des geschätzten Modells, dass die Futterkosten im langfristigen Gleichgewicht mit einem Faktor von 1,08 und nicht im Verhältnis 1:1 im Mischfutterpreis berücksichtigt werden, so dass der Preis letztlich immer etwas größer ist als die vorliegenden Grenzkosten. Die empirischen Ergebnisse kommen jedoch sehr nah an den Koeffizienten von Eins heran, womit die Annahme des vollkommenen Wettbewerbs grundsätzlich nicht abgelehnt werden sollte.

Zudem wurde deutlich, dass heutige Futterkosten und Mischfutterpreise einen starken signifikanten Einfluss auf den Mischfutterpreis des nächsten Monats besitzen<sup>21</sup>, wohingegen den kontemporären Futterkosten kaum ein Einfluss auf den Mischfutterpreis nachgesagt werden kann (siehe 5.2.7). Ähnlich verhält es sich im Fehlerkorrekturmodell (5.3.3), wo heutige marginale Preisveränderungen einen signifikanten Einfluss auf die marginalen Veränderungen des Mischfutterpreises im Folgemonat besitzen. Zudem ist der Korrekturterm stark signifikant und lässt auf eine rasche Anpassung an das Gleichgewicht schließen.

Die geschilderten Umstände des Einflusses von Futterkosten sind insofern plausibel, da vom Kauf der Futterkomponenten über die Verarbeitung zu Mischfutter bis zur Auslieferung eine gewisse Zeit verstreicht. Futterkomponenten, welche heute gekauft werden, können nicht am selben Tag

---

<sup>21</sup> Bzw.: Die Kosten und Preise des Vormonats besitzen signifikanten Einfluss auf den kontemporären Mischfutterpreis.

als fertiges Mischfutter zum Kunden gelangen. Also ist es wahrscheinlich, dass heutige Kosten mit in die Folgemonate übertragen werden. Dies konnte auch schon bei Betrachtung von Abbildung 1 vermutet werden. Außerdem scheint sich der kontemporäre Mischfutterpreis an dem vorausgegangenen Mischfutterpreis zu orientieren.

Wie die empirischen Ergebnisse gezeigt haben, weicht der Parameter für die Futterkosten geringfügig von Eins ab, womit die Situation des vollkommenen Wettbewerbs nicht perfekt beschrieben werden kann. Ein möglicher Grund für die geringfügige Abweichung kann darin liegen, dass nicht die korrekten Preise verwendet wurden. Zur Berechnung der Futterkosten wurden immer aktuelle Marktnotierungen herangezogen, jedoch konnte nicht genau berücksichtigt werden, ob Mischfutterwerke sich vielleicht schon im Voraus und zu anderen Preiskonditionen mit Futterrohstoffen eingedeckt haben. Im Modell wurden zwar die verzögerten Futterkosten der letzten drei Monate miteinbezogen, doch müssen diese nicht zwangsläufig den tatsächlichen Komponentenpreisen entsprechen.

Die Mischfutterpreise gleichen auch nicht notwendigerweise den realen Abgabepreisen an die Landwirtschaft, da in der Agribusiness-Branche viele Verkaufsgeschäfte über langfristige Kontrakte abgeschlossen werden, deren Preise und Mengen hier nicht bekannt sind. Des Weiteren ist das Gebiet in Niedersachsen, in welchem die Mischfutterpreise erhoben wurden, nicht genau spezifiziert. Es besteht die Möglichkeit, dass auf Grund regionaler Unterschiede in der Kunden- und Wettbewerberzahl sowie der Anbindung zu Rohstoffmärkten und der Länge der Transportwege zum Kunden verschiedene Preise auftreten.

Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Annahme, dass alle Rohstoffe unbegrenzt greifbar sind. Die Berechnungen des Zeitraumes von 2007 bis 2011 besagen, dass im simulierten Beispiel Triticale ca. 50 % des Getreideeinsatzes ausgemacht hat. Es erscheint jedoch als unrealistisch, dass solche Mengen verfügbar sind, da Triticale eine eher untergeordnete Rolle im Anbau einnimmt. So machte Triticale im Wirtschaftsjahr 2010/ 2011 in Deutschland nicht einmal 5 % der Ackerfläche aus (Statistisches Bundesamt, 2010). Der Grund für die Verwendung im Modell liegt wahrscheinlich darin, dass Triticale den Qualitätseigenschaften von Weizen sehr nahe kommt und somit als Substitut angesehen werden kann, wenn die

Weizenpreise höher sind. Die Berechnung der Futterkosten beruht zudem auf durchschnittlichen Werten für die Qualitätsparameter, wobei die Inhaltsstoffe je nach Erntejahr jedoch schwanken können.

Es muss außerdem festgehalten werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit nicht den gesamten Mischfuttermarkt abbilden können, da hier nur auf eine Mischfuttersorte eingegangen wurde. Außerdem können die individuellen Mischfutterrezepturen bzw. Qualitätsparameter der Mischfutterwerke von den Annahmen abweichen, welche zu Beginn der Arbeit getroffen wurden (Winterling, 1988).

Unter der Betrachtung von steigenden Preisindizes, u.a. für Diesel und Strom (Statistisches Bundesamt, 2012), liegt ein steigender Trend der Nichtfutterkosten nahe, was in dem geschätzten Modell nicht berücksichtigt wurde. Dennoch könnte man den Einfluss der Grenzkosten der Nichtfutterfaktoren beispielsweise prüfen, indem ein Schätzer, basierend auf Preisindizes für Energie, Lohn etc., in das Modell eingefügt wird. Die Bewertung der Nichtfutterkosten bleibt aber schwierig, da ihre Zusammensetzung nicht bekannt ist.

Des Weiteren sind die Annahmen der Stationarität und Kausalität sowie Korrelation mit einer gewissen Irrtumswahrscheinlichkeit behaftet und müssen nicht die Realität widerspiegeln.

Sofern der Mischfuttermarkt bzw. der Markt für Schweine-Endmastfutter auf Grund der empirischen Ergebnisse mit einem Steigungskoeffizienten  $\beta_1$  größer Eins nicht als vollkommener Wettbewerb angesehen wird, besteht die Möglichkeit, auf Marktmacht zu testen. Dabei wurde in mehreren Untersuchungen der Zusammenhang zwischen der Preisspanne, also Preis-Grenzkosten, und Eintrittsbarrieren sowie Käufer- und Verkäuferkonzentration geprüft, wobei sich die Ergebnisse nicht ganz eindeutig darstellen (Carlton, 2000). Moderne Versuche zur Messung von Marktmacht beruhen auf Annahmen bezüglich der Nachfrage und der Grenzkosten, wobei der Lerner-Index eingesetzt wird:  $(\text{Preis-Grenzkosten})/\text{Preis}$ . Ergibt sich für den Lerner-Index ein Wert von Null, wird dies dem vollkommenen Wettbewerb zugeordnet, wohingegen der theoretische Wert von Eins dem Monopol entspricht (Carlton, 2000).

Des Weiteren sollte man sich mit asymmetrischer Preistransmission beschäftigen, welche unter Marktmacht auftreten kann, sofern diese vermutet wird. Liegt asymmetrische Preistransmission vor, so werden steigende Inputpreise in größerem Umfang an den Endpreis weitergegeben als sinkende Inputpreise. Untersuchungen belegen, dass auch auf Märkten, welchen vollkommener Wettbewerb nachgesagt wird, asymmetrische Preistransmissionen stattfinden können (Peltzmann, 2007).

## **7. Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde der Preiszusammenhang zwischen Futterkosten und Mischfutterpreis geprüft, wobei die Futterkosten basierend auf Marktnotierungen berechnet wurden. Es galt, in Abhängigkeit der Faktorpreise der einzelnen Futterkomponenten, die Herstellung eines kostenminimalen Mischfutters für den Zeitraum 2007 bis 2011 zu simulieren. In Anlehnung an das Handeln von Mischfutterwerken, welche zur Kostenminimierung Optimierungsprogramme verwenden, wurde in dieser Arbeit der Simplex-Algorithmus herangezogen, um das Optimierungsproblem zu lösen.

Um die Mischfutterbranche möglichst gut zu repräsentieren, wurde mit einem Schweinemischfutter die Kategorie gewählt, welche knapp 50 % der gesamtdeutschen Mischfutterproduktion ausmacht. Der Standort für das „simulierte“ Mischfutterwerk wurde in Niedersachsen gewählt, da hier fast 50% des deutschen Mischfutters produziert werden und somit hoher Wettbewerbsdruck angenommen wird.

Für den langfristigen Preiszusammenhang hat sich ergeben, dass die Kosten der Futterkomponenten mit dem Faktor 1,08 an den Mischfutterpreis weitergegeben werden, womit die Annahme des vollkommenen Wettbewerbs nicht grundsätzlich abgelehnt werden muss. Jedoch ist das Modell zur Schätzung des Preiszusammenhangs nicht vollständig spezifiziert, da die Grenzkosten für Nichtfutterkomponenten wie Energie, Lohn und Maschinen, die ebenfalls Bestandteil der Mischfutterkosten sind, in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden.



## 8. Anhang

### 8.1. Tabelle Inhaltsstoffe und Gehalte der Futterkomponenten

Parameter	Einheit	Weizen	Gerste	Roggen	Mais	Triticale	HP Soja- schrot	Raps- schrot	Raps- kuchen	Weizen- kleie	Mineral- futter
Gewicht	kg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ME-Schwein	MJ/kg	13,70	12,60	13,40	14,10	13,70	14,30	9,90	12,25	8,30	0,00
Rohprotein	g/kg	121,00	109,00	99,00	93,00	128,00	488,00	355,00	334,00	141,00	70,00
Lysin	g/kg	3,23	3,96	3,99	2,73	4,62	30,58	19,80	17,70	5,73	60,00
Met+Cys	g/kg	4,57	4,34	4,29	3,96	5,41	14,39	16,00	13,70	5,34	5,00
Threonin	g/kg	3,47	3,73	3,53	3,37	4,27	19,41	15,70	14,70	4,73	5,00
Rohfaser	g/kg	26,00	50,00	24,00	23,00	25,00	35,00	115,00	115,00	118,00	0,00
Rohfett	g/kg	18,00	24,00	16,00	40,00	16,00	12,00	20,00	80,00	38,00	0,00
Calcium	g/kg	0,62	0,70	0,79	0,35	0,60	3,03	6,60	6,30	1,58	220,00
Phosphor	g/kg	3,34	3,43	2,90	2,82	3,80	7,18	11,70	10,80	11,44	25,00
Natrium	g/kg	0,15	0,28	0,23	0,23	0,18	0,16	0,10	0,12	0,48	50,00

Quelle: (DLG, 1991). Abgeglichen mit dem Rohstofflexikon der Deutschen Tiernahrung Cremer (www.deuka.de → Rohstofflexikon) und der Software Feedbase der Unternehmensberatung Dr. Karb GmbH. Veränderungen vorbehalten.

### 8.2. Tabelle Qualitätsparameter Schweine-Endmastfutter

Parameter	Einheit	Mindestgehalt	Maximalgehalt
Gewicht	kg	1000	1000
ME-Schwein	MJ/kg	12,6	13,4
Rohprotein	g/kg	150	170
Lysin	g/kg	9	10
Met+Cys	g/kg	5,5	-
Threonin	g/kg	5,5	-
Rohfaser	g/kg	35	70
Rohfett	g/kg	-	100
Calcium	g/kg	7	-
Phosphor	g/kg	4,5	6
Natrium	g/kg	1,5	-
HP Sojaschrot	kg/t MF	100	-
Mais	kg/t MF	-	400
Roggen	kg/t MF	-	200
Rapsschrot	kg/t MF	-	150
Rapskuchen	kg/t MF	-	150
Weizenkleie	kg/t MF	-	100

Quellen: (Jeroch, 1999), (Kirchgeßner, 1992), (Sülflohn, 2011), (Land und Forst, 2011). Abgleichungen und Veränderungen gemäß Gesprächen mit Fachleuten der Tierernährungsbranche vorbehalten.

### 8.3. Beispieldarstellung für Preisnotierungen

13.00 Uhr  
 freibleibende Notierungen vom 30.09.2008 €/\$ : 1,4336  
 - \$/€ : 0,69754

Weizen	ffr Süd-Oldbg			9	155,-	10-12	158,-	1-6	163,-
Gerste	ffr Süd-Oldbg			9	145,-	10-12	147,-	1-6	152,-
Futterroggen	ffr Süd-Oldbg			9	138,-	10-12	138,-	1-6	143,-
Mais	ffr Süd-Oldbg			9	170,-			10-12	155,-
Triticale	ffr Süd-Oldbg			9	150,-	10-12	153,-	1-6	158,-
Hafer	ffr Süd-Oldbg	07 /08 53/54	190,-ffr			50/51	185,-		
Erbesen	ffr Süd-Oldbg		10	230,-					
Sojaschrot	ffr Süd-Oldbg			9	273,-	10	273,-	11-4	280,-
Oelag	fow Hbg			9	263	10	263,-	11-4	270,-
HP Oelag	fow Hbg			9	280,-	10	280,-	11-4	287,-
	ffr Süd-Oldbg			9	290,-	10	290,-	11-4	297,-
arg Pellets	Oldbg			9-10	280,-	11-1	277,-	2-4	275,-
	Schweringen			9-10	282,-	11-1	279,-	2-4	277,-
brasil.Pellets	Oldbg			9-10	286,-	11-1	287,-	2-4	286,-
gmo-frei	Oldbg							5-10	276,-
Sojaschal-P	ffr Süd-Oldbg			9	150,-	10	150,-	11-4	158,-
	fow Hbg			9	149,-	10	149,-	11-4	154,-
	fow Oldbg			8	142,-			9-10	142,-
Palm-Exp.	Oldbg/Weser			9	133,-	10	133,-	11-4	133,-
Rapsschrot	Bramsche	9	135,-	10	135,-	11-4	142,-	5-7	143,-
11,5 H20	Salzgitter	9	128,-	10	128,-	11-4	129,-	5-7	132,-
	Hamm	9	127,-	10	127,-	11-4	129,-	5-7	131,-
	Hbg	9	129,-	10	129,-	11-4	134,50	5-7	134,50
	Oldbg	9	138,-	10	138,-	11-4	144,-	5-7	145,-
Rapsexpeller	Falkenhagen/Kyritz/Malchin							8-10	144,-
	ffr S-O	auf Anfr	Fal/Mal etc.	9	135,-	10	135,-	11-1	148,-
			Magdgb/Minden						
Leinschrot			ab Neuss			9 + 10	315,-	11-1	315,-
Sonne 34%	Oldbg			9	158,-	10	158,-	11	158,-
Mel.Schn.-P	Niedersachsen						K 08/145,-		
Grünmehl-P	ffr Süd-Oldbg	holt	9	auf Anfr	dtsh 8 195,-	dtsh	190,-		
Haferschälkl	ffr Süd-Oldbg	Pellets			kann preiswert etwas liefern				
	lose	ffr.							
Weizenkleie	ffr Süd-Oldbg	loko 85,-		9	100,-	11-12	108,-	1-7	114,-
WK-Pellets	Ruhrgebiet	9-12 110,-	1-6	115,-					
WK-Pellets	ffr Süd-Oldbg	loko 115,-	9	115,-	10-12	120,-	1-7	122,-	
	Hi/BR				loko 105,-	9	105,-	10-12	105,-
Weizennachmehl 38 %	ab Nds	9-12 125,-							
Weizenfuttermehl	ab Nds	9-12 110,-							
Roggenkleie	ffr SO								
Rübenmelasse					fow Nds			10-12	140,-
Rohrnelasse	Bremen		9	120,-	10-12	125,-	1-9	130,-	

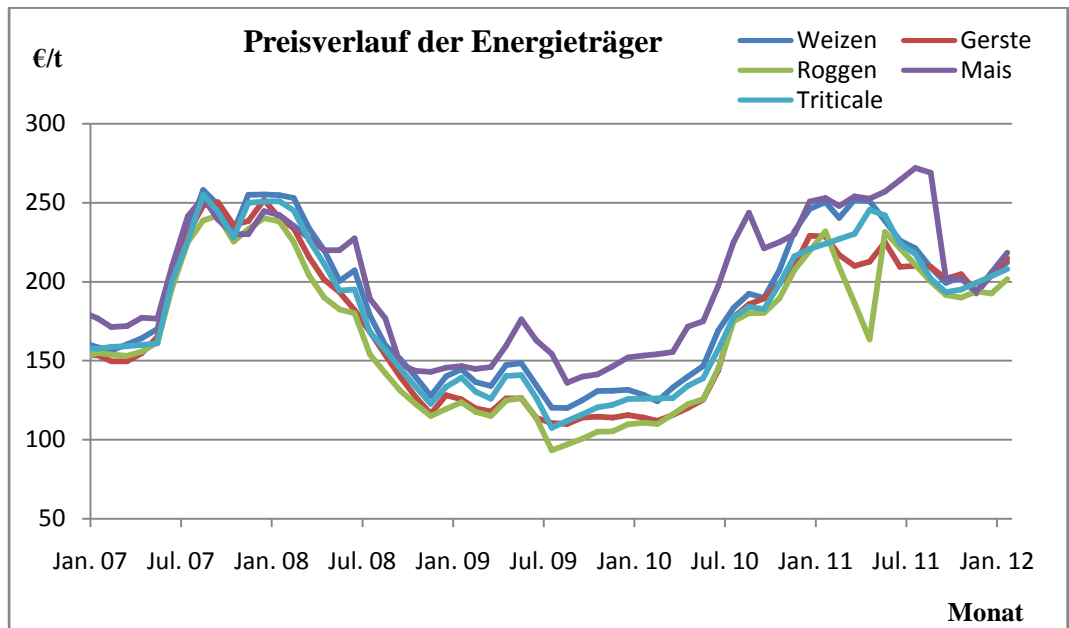
Quelle: Paschelke Pinneberg, Makler für Getreide und Futtermittel

## 8.4. Tabelle durchschnittl. Monatspreise der Futterkomponenten (€/t)

Monat	Weizen	Gerste	Roggen	Mais	Triticale	HP Soja- schrot	Raps- schrot	Raps- kuchen	Weizen- kleie	Mineral- futter
Jan. 07	161,6	153	151,6	181,0	157,5	227,4	145,2	555,0	135,2	540,0
Feb. 07	158,5	153,5	155,0	176,8	157,5	238,5	147,5	555,0	137,5	540,0
Mrz. 07	156,3	149,7	153,9	171,3	158,7	235,8	133,5	555,0	123,5	540,0
Apr. 07	160,3	149,7	153,0	172,0	159,2	228,3	137,5	555,0	127,5	540,0
Mai. 07	164,2	154,6	155,8	177,2	160,0	230,0	138,2	555,0	128,2	540,0
Jun. 07	170,0	165,0	161,5	176,5	161,0	232,8	136,3	555,0	126,3	540,0
Jul. 07	205,4	199,6	196,0	210,0	200,5	239,5	160,0	570,0	150,0	555,0
Aug. 07	231,5	230,0	225,0	241,5	226,0	260,5	182,5	570,0	172,5	555,0
Sep. 07	258,1	248,3	238,8	253,3	255,0	288,3	187,3	570,0	177,3	555,0
Okt. 07	248,6	250,4	241,9	239,4	244,2	314,8	178,0	570,0	168,0	555,0
Nov. 07	232,0	236,0	225,5	230,0	228,0	310,5	171,3	570,0	161,3	555,0
Dez. 07	255,0	238,3	233,3	230,0	250,0	324,0	198,3	570,0	188,3	555,0
Jan. 08	255,3	251,8	240,1	244,8	250,8	339,0	198,1	582,4	188,1	567,4
Feb. 08	254,8	240,5	238,3	242,3	251,0	347,5	188,0	605,0	178,0	590,0
Mrz. 08	253,0	233,8	225,0	235,3	245,0	333,3	186,8	640,5	176,8	625,5
Apr. 08	233,8	215,5	204,0	227,5	226,3	366,3	184,0	655,0	174,0	640,0
Mai. 08	220,0	201,3	190,0	220,0	211,3	374,3	191,0	669,7	181,0	654,7
Jun. 08	200,5	193,5	182,5	220,0	194,5	357,0	167,5	690,0	157,5	675,0
Jul. 08	207,2	182,1	180,0	227,4	195,0	352,0	134,3	690,0	124,3	675,0
Aug. 08	178,7	168,4	153,9	189,2	168,0	325,8	138,5	735,0	128,5	720,0
Sep. 08	159,8	153,6	142,2	176,8	156,8	308,4	109,0	735,0	99,0	720,0
Okt. 08	151,0	139,7	131,0	147,7	145,0	302,0	110,0	735,0	100,0	720,0
Nov. 08	139,8	127,0	122,5	143,5	133,5	307,5	109,3	735,0	99,3	720,0
Dez. 08	127,8	116,3	115,0	143,0	122,6	284,7	112,5	726,8	102,5	711,8
Jan. 09	140,2	128,1	119,4	145,7	133,3	318,5	125,8	720,0	115,8	705,0
Feb. 09	144,5	125,5	123,8	146,5	139,3	341,3	115,5	708,4	105,5	693,4
Mrz. 09	136,4	119,8	117,6	144,8	130,4	318,8	108,2	695,0	98,2	680,0
Apr. 09	134,0	117,8	115,0	146,0	126,0	340,0	101,5	684,3	91,5	669,3
Mai. 09	147,1	126,1	124,6	159,4	140,3	355,5	102,8	669,4	92,8	654,4
Jun. 09	148,5	126,2	126,5	176,3	141,0	351,8	97,2	650,0	87,2	635,0
Jul. 09	134,5	113,8	113,5	162,8	126,3	336,0	69,3	650,0	59,3	635,0
Aug. 09	120,3	110,5	93,3	154,3	107,5	346,8	75,8	650,0	65,8	635,0
Sep. 09	120,0	110,0	97,0	136,0	112,0	337,0	76,7	650,0	66,7	635,0
Okt. 09	125,0	114,0	100,5	140,0	116,0	324,5	78,3	650,0	68,3	635,0
Nov. 09	130,8	114,5	105,0	141,3	120,5	318,5	94,8	650,0	84,8	635,0
Dez. 09	131,0	114,0	105,3	146,3	122,0	327,0	105,5	650,0	95,5	635,0
Jan. 10	131,5	115,7	109,7	152,0	125,7	325,2	111,7	650,0	101,7	635,0
Feb. 10	128,3	114,0	110,7	153,3	126,0	321,0	100,3	665,0	90,3	650,0
Mrz. 10	124,3	112,0	110,0	154,0	126,2	314,3	91,7	665,0	81,7	650,0
Apr. 10	133,0	115,5	116,0	155,5	126,3	343,0	100,7	650,0	90,7	635,0
Mai. 10	140,0	120,0	122,5	171,5	134,0	322,8	113,5	650,0	103,5	635,0
Jun. 10	146,6	125,4	125,8	175,0	138,8	316,0	107,4	650,0	97,4	635,0
Jul. 10	169,0	143,7	145,0	197,3	157,2	319,0	121,7	659,7	111,7	644,7
Aug. 10	183,5	177,5	175,0	225,0	177,5	342,0	130,0	665,0	120,0	650,0
Sep. 10	192,3	185,7	180,0	243,6	184,0	347,2	148,0	665,0	138,0	650,0
Okt. 10	189,8	189,3	180,3	221,3	182,8	329,8	143,8	665,0	133,8	650,0
Nov. 10	207,3	198,8	189,4	225,0	198,5	345,5	162,0	665,0	152,0	650,0
Dez. 10	232,0	210,0	207,3	230,0	216,0	363,5	198,3	665,0	188,3	650,0
Jan. 11	246,0	229,0	219,5	250,7	220,7	373,3	186,7	675,0	176,7	660,0
Feb. 11	250,3	228,7	232,0	253,0	223,9	363,7	193,7	675,0	183,7	660,0
Mrz. 11	240,5	217,0	209,3	248,0	227,1	337,4	150,0	675,0	140,0	660,0
Apr. 11	252,0	210,0	186,6	254,0	230,3	314,8	150,0	688,5	140,0	673,5
Mai. 11	251,0	212,7	163,3	252,7	245,5	307,0	166,7	695,0	156,7	680,0
Jun. 11	238,6	225,0	231,5	257,0	242,0	302,0	179,6	695,0	169,6	680,0
Jul. 11	226,0	209,5	221,1	264,3	224,0	310,0	162,7	695,0	152,7	680,0
Aug. 11	221,1	210,0	210,7	272,0	217,6	314,0	168,4	695,0	158,4	680,0
Sep. 11	209,0	209,3	200,0	269,0	202,0	316,7	165,5	695,0	155,5	680,0
Okt. 11	199,3	202,0	191,5	202,3	193,5	305,8	147,0	695,0	137,0	680,0
Nov. 11	203,0	204,7	190,0	202,0	195,0	293,3	158,0	695,0	148,0	680,0
Dez. 11	192,7	193,7	193,9	193,7	199,3	294,5	160,7	695,0	150,7	680,0

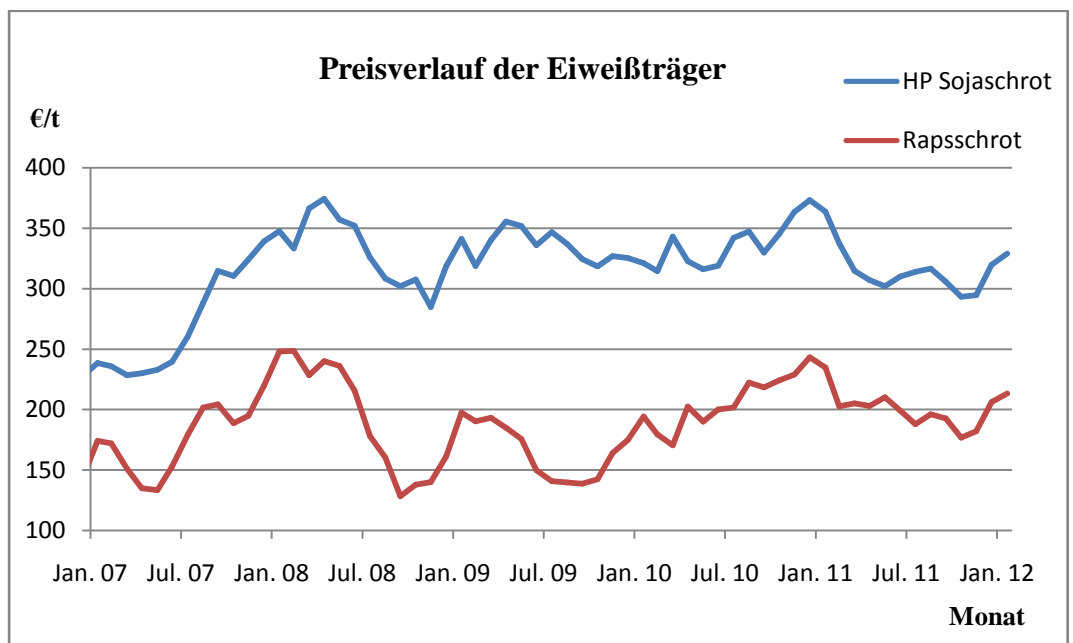
Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von Marktnotierungen. Preise wurden zur Verfügung gestellt durch Paschelke GmbH (Pinneberg, Makler für Getreide und Futtermittel) und Landhandel Sudmann (Sulingen, Vertrieb von Spezialfuttermitteln).

## 8.5. Grafik der durchschnittlichen Monatspreise Energieträger



Quelle: eigene Darstellung; basierend auf Tabelle 8.4.

## 8.6. Grafik der durchschnittlichen Monatspreise Eiweißträger



Quelle: eigene Darstellung; Darstellung basiert auf Tabelle 8.4.

## 8.7. Tabelle Mischfutterkosten (€/t) und Komponenteneinsatz (kg/t)

Monat	Mischfutterpreis*	Futterkosten**	Weizen	Gerste	Roggen	Mais	Triticale	HP Soja-schrot	Raps-schrot	Raps-kuchen	Weizen-kleie	Mineral-futter
Jan. 07	175	172	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Feb. 07	182	174	0	114	200	0	440	100	0	16	100	30
Mrz. 07	188	172	61	556	200	0	0	100	0	53	0	30
Apr. 07	188	171	0	564	200	0	59	100	0	47	0	30
Mai. 07	188	173	0	51	200	0	455	100	0	64	100	30
Jun. 07	190	175	0	0	200	0	513	100	29	28	100	30
Jul. 07	192	206	0	51	200	0	455	100	0	64	100	30
Aug. 07	213	231	0	51	200	0	455	100	0	64	100	30
Sep. 07	245	248	0	94	200	348	0	100	0	127	100	30
Okt. 07	252	245	0	0	200	400	43	100	0	127	100	30
Nov. 07	255	236	0	0	200	400	48	100	56	65	100	30
Dez. 07	258	242	0	42	200	400	0	100	33	95	100	30
Jan. 08	264	256	0	0	200	400	48	100	56	65	100	30
Feb. 08	270	257	0	67	200	400	41	100	62	0	100	30
Mrz. 08	276	250	0	67	200	400	41	100	62	0	100	30
Apr. 08	278	242	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Mai. 08	278	233	0	495	200	0	137	100	38	0	0	30
Jun. 08	279	219	0	0	200	0	559	100	0	11	100	30
Jul. 08	277	214	0	114	200	0	440	100	0	16	100	30
Aug. 08	271	194	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Sep. 08	241	180	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Okt. 08	229	170	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Nov. 08	218	162	0	114	200	0	440	100	0	16	100	30
Dez. 08	215	153	0	495	200	0	137	100	38	0	0	30
Jan. 09	206	164	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Feb. 09	204	168	0	495	200	0	137	100	38	0	0	30
Mrz. 09	201	160	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Apr. 09	200	158	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Mai. 09	201	169	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Jun. 09	202	168	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Jul. 09	202	152	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Aug. 09	200	141	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Sep. 09	183	143	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Okt. 09	175	145	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Nov. 09	175	149	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Dez. 09	175	152	0	114	200	0	440	100	0	16	100	30
Jan. 10	177	154	0	564	200	0	59	100	0	47	0	30
Feb. 10	176	154	0	114	200	0	440	100	0	16	100	30
Mrz. 10	177	152	0	564	200	0	59	100	0	47	0	30
Apr. 10	180	157	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Mai. 10	182	161	0	564	200	0	59	100	0	47	0	30
Jun. 10	184	164	0	564	200	0	59	100	0	47	0	30
Jul. 10	185	180	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Aug. 10	196	202	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Sep. 10	233	209	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Okt. 10	238	206	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Nov. 10	236	221	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Dez. 10	237	239	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Jan. 11	255	245	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30
Feb. 11	265	247	0	0	0	0	765	100	5	0	100	30
Mrz. 11	275	238	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Apr. 11	270	232	0	91	200	0	466	100	13	0	100	30
Mai. 11	270	229	0	625	200	0	15	121	0	10	0	30
Jun. 11	271	249	525	0	200	0	0	100	58	0	87	30
Jul. 11	271	237	0	163	0	0	599	100	8	0	100	30
Aug. 11	265	233	0	0	200	0	531	100	39	0	100	30
Sep. 11	249	223	0	0	200	0	531	100	39	0	100	30
Okt. 11	245	213	0	0	200	0	531	100	39	0	100	30
Nov. 11	246	213	0	0	200	0	531	100	39	0	100	30
Dez. 11	250	213	273	0	0	400	0	100	97	0	100	30

Quellen: Eigene Darstellung beruhend auf Preisdaten und Qualitätsparametern für Futterkomponenten und Endmastfutter.

\* : Mischfutterpreis entspricht Abgabepreis an den Landwirt; Quelle: Land und Forst

\*\* : Futterkosten entsprechen den Kosten der verwendeten Futterkomponenten exklusive der Nichtfutterkosten; Berechnung mittels Simplex-Verfahren und Tabelle 8.4.

## 8.8. Ausschnitt aus dem Microsoft Excel-Modell

Beispiel: Oktober 2010:

		Einheit	Weizen	Gerste	Roggen	Mais	Triticale	HP Soja- schrot	Raps- schrot	Raps- kuchen	Weizen- kleie	Mineral- futter		
<b>LP- Lösung</b>														
	Preis	€/Tonne	189,8	189,3	180,3	221,3	182,8	329,8	218,3	232,8	133,8	650,0	<b>206,4 €/ Tonne MF</b>	
	Anteil	kg/ Tonne	0,00	0,00	0,20	0,00	0,56	0,10	0,01	0,00	0,10	0,03		
	Menge	kg	0	0	200	0	561	100	9	0	100	30		
<b>Restriktionen</b>													<b>Soll/ Tonne MF</b>	<b>Ist/ Tonne MF</b>
<b>min=max</b>	Gewicht	kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1000	1000
	Mineralfutter	kg											30	30
<b>min</b>	ME-Schwein	MJ/kg	13,7	12,6	13,4	14,1	13,7	14,3	9,9	12,25	8,3	0	12600	12715
	Rohprotein	g/kg	121	109	99	93	128	488	355	334	141	70	150000	159818
	Lysin	g/kg	3,23	3,96	3,99	2,73	4,62	30,58	19,8	17,7	5,73	60	9000	9000
	Met+Cys	g/kg	4,57	4,34	4,29	3,96	5,41	14,39	16	13,7	5,34	5	5500	6161
	Theonin	g/kg	3,47	3,73	3,53	3,37	4,27	19,41	15,7	14,7	4,73	5	5500	5808
	Rohfaser	g/kg	26	50	24	23	25	35	115	115	118	0	35000	35166
	Calcium	g/kg	0,62	0,7	0,79	0,35	0,6	3,03	6,6	6,3	1,58	220	7000	7615
	Phosphor	g/kg	3,34	3,43	2,9	2,82	3,8	7,18	11,7	10,8	11,44	25	4500	5430
	Natrium	g/kg	0,15	0,28	0,23	0,23	0,18	0,16	0,1	0,12	0,48	50	1500	1712
	Soja	kg											100	100
<b>max</b>	Rohfaser	g/kg	26	50	24	23	25	35	115	115	118	0	70000	35166
	Rohfett	g/kg	18	24	16	40	16	12	20	80	38	0	100000	17356
	Mais	kg											400	0
	Roggen	kg											200	200
	Raps	kg											150	9
	Weizenkleie	kg											100	100
	Phosphor	g/kg	3,34	3,43	2,9	2,82	3,8	7,18	11,7	10,8	11,44	25	6000	5430
	ME-Schwein	MJ/kg	13,7	12,6	13,4	14,1	13,7	14,3	9,9	12,25	8,3	0	13400	12715
	Lysin	g/kg	3,23	3,96	3,99	2,73	4,62	30,58	19,8	17,7	5,73	60	10000	9000
	Rohprotein	g/kg	121	109	99	93	128	488	355	334	141	70	170000	159818

Quelle: Eigene Darstellung beruhend auf vorherigen Tabellen.

## 8.9. Herleitung der langfristigen Beziehung zwischen Mischfutterpreis und Futterkosten

$$\widehat{M}_t = 4,745 + 0,049 * F_t + 0,45 * F_{t-1} - 0,138 * F_{t-2} - 0,061 * F_{t-3} + \quad (5.2.7) \\ 0,848 * M_{t-1} - 0,284 * M_{t-2} + 0,158 * M_{t-3}$$

→ Einsetzen der Erwartungswerte für Mischfutterpreis M und Futterkosten F:

- $E[M] = 4,745 + 0,049 * E[F] + 0,45 * E[F] - 0,138 * E[F] - 0,061 * E[F] + 0,848 * E[M] - 0,284 * E[M] + 0,158 * E[M]$
- $E[M] = 4,745 + (0,049 + 0,45 - 0,138 - 0,061) * E[F] + (0,848 - 0,284 + 0,158) * E[M]$
- $E[M] = 4,745 + 0,3 * E[F] + 0,722 * E[M]$
- $(1 - 0,722) * E[M] = 4,745 + 0,3 * E[F]$
- $E[M] = 4,745 / (1 - 0,722) + 0,3 / (1 - 0,722) * E[F]$
- **$E[M] = 17,068 + 1,079 * E[F]$**

## 9. Quellenverzeichnis

- BMELV. (2011). *Struktur der Mischfutterhersteller 2011*. Abgerufen am 3. August 2012 von BMELV- Statistik und Berichte: <http://berichte.bmelv-statistik.de/SBB-0100000-2011.pdf>
- Carlton, D. (2000). *Modern industrial organization- 3.ed.* Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- DLG. (1991). *DLG- Futterwerttabellen- Schweine; 6. Auflage.* Frankfurt a. M.: DLG-Verlag.
- Ellinger et al. (2003). *Operations Research; Band 6: Eine Einführung.* Berlin: Springer.
- Feger, F. (2000). *A Behavioral Model of the German Compound Feed Industry; Dissertation.* Hochschulschrift Universität Göttingen.
- Franz, S. (2005). *Kointegration und Fehlerkorrekturmodelle.* Abgerufen am 28. August 2012 von Lehrstuhl für Statistik und Ökonometrie Uni Potsdam: [http://stat.wiso.uni-potsdam.de/documents/seminarWS2005/Silke%20Franz\\_Kointegration%20und%20Fehlerkorrekturmodelle.pdf](http://stat.wiso.uni-potsdam.de/documents/seminarWS2005/Silke%20Franz_Kointegration%20und%20Fehlerkorrekturmodelle.pdf)
- Gujarati, D. (2003). *Basic Econometrics; 4.ed.* Boston: McGraw-Hill.
- Hassler, U. (2001). *Leitfaden zum Testen und Schätzen von Kointegration.* Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Freien Universität Berlin.
- ISN. (Juli 2012). *ISN- Analyse: Futterpreise auf Rekordniveau - Top Ten Schweinemischfutterhersteller auf Wachstums- und Fusionskurs.* Abgerufen am 3. August 2012 von ISN: [http://www.schweine.net/isn\\_analyse\\_futterpreise\\_auf\\_rekordniveau\\_\\_\\_top\\_te.html](http://www.schweine.net/isn_analyse_futterpreise_auf_rekordniveau___top_te.html)
- Jeroch, H. (1999). *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere: Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung.* Stuttgart: Ulmer.
- Kirchgeßner, M. (1992). *Tierernährung- Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis; 8. Auflage.* Frankfurt a. M.: DLG- Verlag.
- Land und Forst. (Oktober 2011). *Marktnotizen- Futtermittel- Mischfutter für Schweine. Land und Forst- Ausgabe 41*, S. 90. Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Maddala, Kim. (1998). *Unit Roots, Cointegration, and Structural Change.* Cambridge: Cambridge University Press.



- Mankiw, Taylor. (2012). *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre; 5. Auflage*. Stuttgart: Schäffer- Poeschel.
- Mußhoff, Hirschhauer. (2011). *Modernes Agrarmanagement: betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren; 2. Auflage*. München: Vahlen.
- Peltzmann, S. (2007). Prices Rise Faster than They Fall. In Waldmann, *Pricing Tactics, Strategies and Outcomes; Volume II*. Cheltenham: Elgar.
- Rüdel, T. (1989). *Kointegration und Fehlerkorrekturmodelle*. Heidelberg: Physica-Verlag .
- Schulze, P. (2004). *Granger- Kausalitätsprüfung- Eine anwendungsorientierte Darstellung*. Abgerufen am 10. September 2012 von Institut für Statistik und Ökonometrie der Johannes Gutenberg Universität Mainz:  
[http://www.statoek.vwl.uni-mainz.de/Dateien/Arbeitspapier\\_Nr\\_28\\_Granger-Kausalitaetspruefung.pdf](http://www.statoek.vwl.uni-mainz.de/Dateien/Arbeitspapier_Nr_28_Granger-Kausalitaetspruefung.pdf)
- Schumacher, Höh. (1984). Zur Ermittlung kostenminimaler Futtermischungen für Mastschweine bei unterschiedlichen Preisen für einzelne Komponenten. *Kraftfutter: Europäische Zeitschrift für die Futtermittel- und Getreidewirtschaft; Ausgabe 3* .
- Schwarze, J. (2000). *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler; Band 3: Lineare Algebra, Lineare Optimierung und Graphentheorie*. Herne: Verlag Neue Wirtschaftsbrieft.
- Statistisches Bundesamt. (2010). *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Viehhaltung der Betriebe; Landwirtschaftszählung/ Agrarstrukturerhebung*. Abgerufen am 6. August 2012 von Statistisches Bundesamt:  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehhaltung2030213109004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehhaltung2030213109004.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt. (2012). *Preise- Daten zur Energiepreisentwicklung*. Abgerufen am 28. August 2012 von Statistisches Bundesamt:  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF\\_5619001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt. (2011). *Spezielle Bodennutzung und Ernte*. Abgerufen am 12. September 2012 von Statistisches Bundesamt:  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/Tabellen/AckerlandHauptfruchtgruppenFruchtarten.html>

Sülflohn, K. (2011). *Das geltende Futtermittelrecht: Aktuelle Gesetze und Verordnungen aus Bundes- und Gemeinschaftsrecht; 23. Neuauflage*. Rheinbach: Allround Media Service.

Winterling, H. J. (1988). Eine LP- gestützte Analyse der Tapiokanachfrage der Mischfutterindustrie der BR Deutschland. *Agrarwirtschaft; Band 37* .

## **10. Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Die eingereichte schriftliche Fassung der Arbeit entspricht der auf dem elektrischen Speichermedium.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch nicht als Abschlussarbeit an anderer Stelle vorgelegen hat.

.....