



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 98 | Ausgabe 3

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Die Modellierung des Milchangebots in der agrar- ökonomischen Literatur: Ein Überblick

Von Stephan Hoehl

1 Einleitung

Milchviehwirtschaft ist weltweit ein sehr bedeutender und wachsender agrarwirtschaftlicher Betriebszweig. Allein im Jahr 2018 wurden weltweit mehr als 682 Millionen Tonnen Kuhmilch produziert, eine Steigerung um 16,35 % gegenüber 2008 (FAO, 2019). Die Menge und Veränderung des Milchangebots ist dabei für viele Akteure entlang nationaler und internationaler Wertschöpfungsketten von hoher Bedeutung. Aus nationaler Sicht können beispielsweise politische Ziele wie eine hohe Versorgungssicherheit (gemessen in hohem nationalem Selbstversorgungsgrad) oder die Vermeidung von Überproduktionen eng mit der Veränderung des Milchangebotes zusammenhängen.

Molkereien sind häufig an einer hohen Auslastung ihrer Produktionskapazitäten und einem sicheren Bezug des Rohstoffs Milch interessiert. In vielen europäischen Ländern besteht in diesem Zusammenhang eine volle Andienungs- und Abnahmepflicht der angelieferten Milchmenge zwischen Milchviehbetrieben und Molkereien (Petersen und Hess, 2018). Seit Ende der europäischen Milchmengenbegrenzung im Jahr 2015 wird jedoch für Milchviehbetriebe und Molkereien ein möglichst effizientes Mengenmanagement und die Abschätzungen zukünftig angelieferter Milchmengen immer wichtiger.

Empirische Studien zur Quantifizierung des Milchangebots auf einzelbetrieblicher oder regionaler Ebene sind daher in der internationalen agrarökonomischen Literatur seit jeher verbreitet (z.B. Halvorson, 1955; Krenz et al., 1962). Über die Jahrzehnte sind zahlreiche weitere Modellierungsansätze hinzugekommen, die jeweils weiterentwickelt wurden und zu umfangreichen empirischen Untersuchungen führten. Dabei kommt jedoch eine breite Vielfalt an Methoden zum Einsatz. In der Literatur sind Ansätze zur Klassifizierung von landwirtschaftlichen Angebotsfunktionen vorhanden (z.B. Colman, 1983; Just, 1993; Dillon und Anderson, 2012). Diese gehen allerdings nicht explizit auf die Besonderheiten in der Modellierung des Milchangebots ein.

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, diese Lücke zu schließen und einen aktuellen Klassifizierungsansatz bestehender Methoden zur Modellierung des Milchangebots zu präsentieren. Der Begriff „Milchangebot“ ist dabei möglichst weit gefasst und umfasst sowohl die produzierte

Milchmenge direkt, als auch Änderungen der Anzahl an Kühen auf einem Betrieb oder den Milchertrag pro Kuh stellvertretend für kurzfristige Produktionsanpassungen.

Aufgrund der Vielzahl existierender Arbeiten, welche z.T. auch aus sog. Grauer Literatur bestehen oder in schwerer zugänglichen Sprachen als Englisch oder Deutsch vorliegen, erhebt dieser Überblick keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das wird auch dadurch verdeutlicht, dass zu einigen spezielleren methodischen Ansätzen mitunter eigene Reviews existieren (z.B. Mareth et al., 2016). Ziel des vorliegenden Beitrags ist hingegen, einen möglichst leicht zugänglichen Überblick als Orientierungshilfe im Rahmen der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit zu geben. Dabei werden für jede Methodenklasse ausgewählte Studien vorgestellt und diese hinsichtlich ihrer Ergebnisse und benötigter bzw. verwendeter Datengrundlage mit denen anderer Methodenklassen verglichen.

2 Methodeneinteilung

Eine Klassifizierung der unterschiedlichen Methoden zur Modellierung des Milchangebots kann auf mehrere Arten geschehen. DILLON und ANDERSON (2012) schreiben, "there seem to be almost as many schemes for classifying models as there are modelers themselves". So können beispielsweise Methoden danach gruppiert werden, ob sie zeitabhängige Komponenten besitzen oder nicht, stochastische Komponenten besitzen oder nicht, oder auch danach, ob im Modell der Markt oder der einzelne Landwirt über das Angebot bestimmt.

Die im vorliegenden Beitrag gewählte Methodeneinteilung folgt in Grundzügen den Arbeiten von COLMAN (1983) und JUST (1993) und wendet diese auf die Modellierung des Milchangebotes an. In Abbildung 1 werden Methoden anhand der folgenden Klassifikation unterteilt:

Zunächst wird grundsätzlich zwischen *ökonomischen Ansätzen* und *programmiertechnischen Ansätzen* unterschieden. *Ökonomische Ansätze* beruhen auf ökonomischen Modellen und ihre Anpassung an einen bestimmten Datensatz bedarf für eine entsprechende statistische Genauigkeit einer hinreichend großen Datenmenge. *Programmiertechnische Ansätze* hingegen sind Modelle, in denen zugrundeliegende mathematische Funktionsformen nicht statistisch geschätzt sind, sondern meist angenommen werden. Ergebnisse können bei Vorliegen exogener Parameter entweder direkt berechnet werden, oder eine Zielfunktion wird optimiert, welche ein bestimmtes Szenario abbildet.

Modelle in der Klasse der ökonomischen Ansätze werden weiterhin in *ökonomische Produktionsanalyse* und *direkt bestimmte Angebotsfunktionen* unterteilt. Modelle der ersten Gruppe basieren auf mikroökonomischen Modellen der Produktionstheorie. Die geschätzte Funktionsform der Milchangebotsfunktion ist dabei durch das spezifizierte Modell vorgegeben. In Modellen der zweiten Gruppe werden Einflussfaktoren aufgenommen, von denen man Auswirkungen auf das Milchangebot

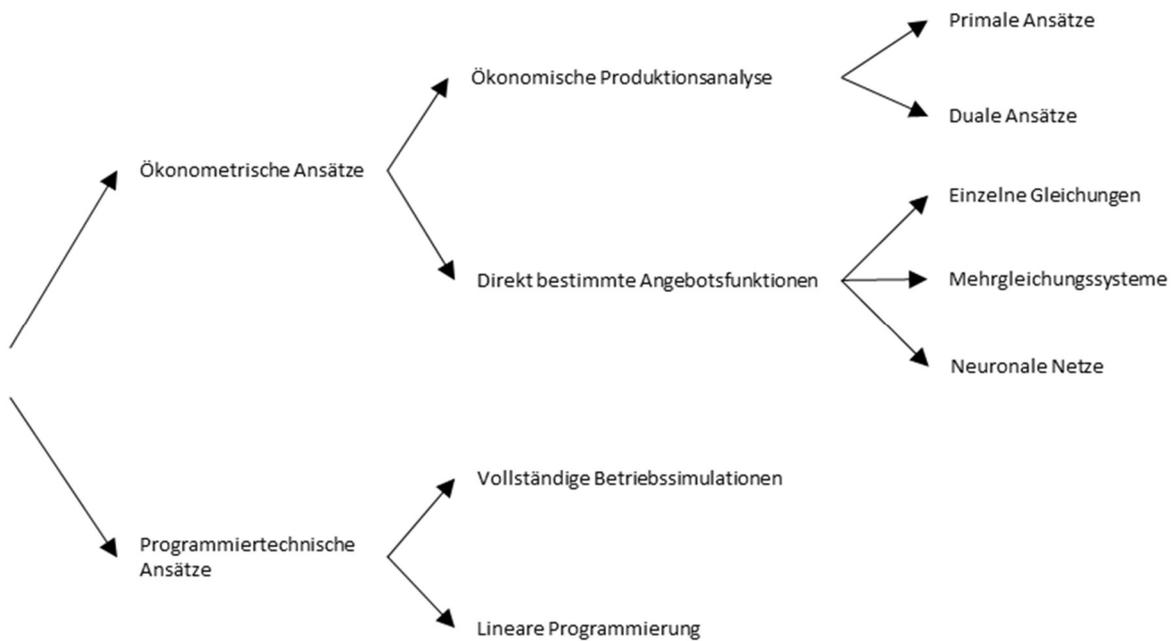


Abbildung 1: Klassifizierungsansatz von Methoden zur Modellierung des Milchangebots. Quelle: Eigene Darstellung.

vermutet. Die geschätzte Funktionsform für das Milchangebot ist nicht fest vorgegeben und in ihrer Ausgestaltung flexibel. Oft ergibt sich die verwendete Funktionsform auch erst im Vergleich mit anderen geschätzten Funktionsformen, wobei diejenige mit der besten Anpassungsgüte an die Daten anhand von Modellselektionskriterien ausgewählt wird.

Modelle aus der Kategorie der ökonomischen Produktionsanalyse können in sogenannte primale Ansätze und duale Ansätze unterteilt werden. In primalen Ansätzen werden mikroökonomische Produktionsfunktionen aufgestellt, in denen der Output eines Betriebes als Funktion ausgewählter Inputs modelliert wird. Durch Schätzung der Regressionskoeffizienten lassen sich Produktionselastizitäten bestimmen, wie z.B. die Produktionselastizität der Arbeit im Hinblick auf die produzierte Milchmenge oder die Produktionselastizität des Kapitals im Hinblick auf die produzierte Milchmenge. Ein Problem beim Aufstellen einer Produktionsfunktion ist, dass diese in der Regel für einen Betrieb nicht bekannt ist und daher auf einer Vielzahl an Annahmen über den Funktionsverlauf beruhen. Oft verwendet in diesem Zusammenhang werden beispielsweise die Cobb-Douglas Produktionsfunktion oder die Translog Produktionsfunktion.

In den dualen Ansätzen wird die mikroökonomische Relation zwischen Outputmengen und Preisen für Inputs und Outputs geschätzt. Als Grundlage dienen indirekte Kosten- oder Profitfunktionen, in denen jeweils Gewinnmaximierung unterstellt wird. Die Dualitätstheorie zeigt dabei den Zusammenhang primärer und dualer Ansätze und ist beispielsweise in Colman (1983) genauer beschrieben.

Modelle der Gruppe der direkt bestimmten Angebotsfunktionen werden ferner unterteilt anhand der Kategorien einzelne Gleichungen, Mehrgleichungssysteme sowie neuronale Netze. Modelle der Gruppe mit einer Gleichung modellieren das Milchangebot über eine Linearkombination mehrerer Variablen einschließlich der Milchangebotsmengen auf Basis von Daten aus der Vergangenheit. Auf gleiche Weise sind Modelle in der Klasse der Mehrgleichungssysteme aufgebaut, wobei das Milchangebot zusammen mit weiteren endogenen Variablen simultan geschätzt wird. Neuronale Netze stellen eine neue Klasse von statistischen Verfahren in der Ökonometrie dar, in denen keine expliziten Annahmen über die Funktionsform getroffen wird (Anders, 1995). Die Funktionsform wird stattdessen implizit durch Festlegung der Netzkomplexität festgelegt. Auf diese Weise können auch nichtlineare Funktionsformen geschätzt werden.

Modelle in der Klasse der programmiertechnischen Ansätze werden in jeweils eine Gruppe vollständiger Betriebssimulationen sowie linearer Programmierung unterteilt. Mittels vollständiger Betriebssimulationen werden sämtliche relevante Handlungen sowie biologische Abläufe eines Milchviehbetriebes mathematisch beschrieben und die Milchproduktion kann, oft neben einer Vielzahl weiterer Parameter, für einen Betrieb bestimmt werden. Bei linearer Programmierung wird eine Zielfunktion unter Beachtung von Nebenbedingungen optimiert. Bei der Zielfunktion handelt es sich häufig um den Gewinn eines Betriebes, der maximiert werden soll oder die Gesamtkosten, die minimiert werden sollen. Nebenbedingungen können Begrenzungen in der Stallkapazität, der Arbeitskraft oder minimale Produktionsvolumen sein. Durch Variation der Inputparameter wie verfügbare Arbeitskraft oder Änderungen in Absatzpreisen kann somit die optimale Produktion des Landwirts bestimmt werden und daraus können Angebotsfunktionen abgeleitet werden.

Die überwiegende Zahl der zuvor gezeigten methodischen Ansätze haben jedoch gemein, dass direkt oder indirekt bestimmt wird, wie sich das Milchangebot an Preisänderungen anpasst. Ein etabliertes Maß stellt dazu die Preiselastizität e dar, welches die relative Angebotsänderung auf eine relative Preisänderung angibt:

$$e = \frac{dq/q}{dp/p} = \frac{dq}{dp} \cdot \frac{p}{q}$$

Dabei bezeichnet q die produzierte Angebotsmenge, p den Absatzpreis und dq bzw. dp die Angebotsänderung bzw. Preisänderung.

3 Einordnung bestehender Literatur

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Studien den einzelnen Kategorien zugeordnet und miteinander verglichen.

3.1 Ökonomische Produktionsanalyse

3.1.1 Ausgewählte Primale Ansätze

TVETERAS et al. (2011) verwenden eine stochastische Multiple-Output Produktionsfunktion von JUST und POPE (1978, 1979) und wenden diese auf ein unbalanciertes Panel norwegischer Milchviehbetriebe von 1993 – 2003 an. Outputs sind, neben der Milchmenge, zusätzlich noch Fleisch sowie aggregierte sonstige Outputs. Die Autoren bestimmen damit die jeweiligen Milchmengen-Produktionselastizitäten von Land, Arbeit, hinzugekauftem Futter, Material, Anzahl an Rindern sowie Maschinenkapital. TAUER (1998) hingegen schätzt eine Cobb-Douglas Produktionsfunktion für jeden der 70 Milchviehbetriebe eines Datensatzes von 1985 – 2003 im US-amerikanischen Bundesstaat New York. Dabei bestimmt er allerdings nicht die klassischen Milchmengen-Produktionselastizitäten, wie zum Beispiel Arbeit, Land oder Kapital, sondern stattdessen Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge. Dazu verwendet er als einzige Inputvariable in der Cobb-Douglas Produktionsfunktion den Milchpreis dividiert durch den Preis aller Inputs jedes Jahres.

Sowohl mit primalen als auch dualen Ansätzen werden Schätzungen zur technischen Effizienz von Milchviehbetrieben durchgeführt. Dabei ist man nicht am durchschnittlichen Output einer Gruppe von Betrieben interessiert, sondern an den Betrieben mit der optimalen Verwendung ihrer Produktionsfaktoren. Dazu wird entweder eine effiziente Produktionsmöglichkeitenkurve über den Ansatz der Stochastic Frontier Analysis geschätzt, oder der ökonometrischen Analyse wird eine Messung der technischen Effizienz durch Data Envelop Analyse (DEA) vorgeschaltet. Das Ziel ist anschließend, die durchschnittliche technische Effizienz (mean technical efficiency, *MTE*) der untersuchten Milchviehbetriebe zu bestimmen. Dieser Wert gibt an, um wie viel Milchviehbetriebe im Durchschnitt vom maximal möglichen Output abweichen. Ein *MTE*-Wert von 0,85 besagt beispielsweise, dass die Milchviehbetriebe in einem Datensatz im Mittel 85% des maximal möglichen Outputs bei entsprechendem Inputeinsatz produzieren. Aktuelle Studien im Bereich der Schätzung technischer Effizienz von Milchviehbetrieben sind zum Beispiel SAUER und LATA CZ-LOHMANN (2015) und ALEM et al. (2019). MARETH et al. (2016) geben einen systematischen Literaturüberblick zu Studien über technische Effizienz auf Milchviehbetrieben. Die Modellierung des Milchangebots ist hingegen nicht das primäre Ziel von Studien zur technischen Effizienzmessung, aber mitunter werden Angebotselastizitäten als Teil der Analyse ausgewiesen.

3.1.2 Ausgewählte duale Ansätze

In den dualen Ansätzen werden mikroökonomische Kosten- oder Profitfunktionen aufgestellt, welche den maximalen Gewinn (oder die niedrigsten Kosten bei gegebener Produktionsmenge) eines Betriebes angeben. Hotellings Lemma besagt, dass die Ableitung der Profitfunktion nach dem

Güterpreis die verkaufte bzw. produzierte Menge angibt. Auf diese Art ist es möglich, Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge zu bestimmen. Wie schon die Produktionsfunktion im primalen Ansatz ist auch die Profitfunktion eines Betriebes nicht bekannt, weshalb empirische Spezifizierungen auf verschiedene Annahmen zurückgreifen müssen. Für die Profitfunktion wird oft eine normalisierte variable Profitfunktion oder normalisierte quadratische Profitfunktion verwendet. BLAYNEY und MITTELHAMMER (1990) verwenden als Profitfunktion eine generalisierte Box-Cox Form und bestimmen damit Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge für den US-amerikanischen Bundesstaat Washington von 1966 –1985.

TONINI und JONGENEEL (2008) verwenden als Profitfunktion eine normalisierte quadratische Profitfunktion und geben jeweils kurzfristige und mittelfristige Preiselastizitäten der produzierten Milch- und Fleischproduktion auf Basis von Daten aus Polen und Ungarn im Zeitraum 1990 –2002 an. BOUAMRA-MECHEMACHE et al. (2002) und BOUAMRA-MECHEMACHE et al. (2008) verwenden als Profitfunktion ebenfalls eine normalisierte quadratische Profitfunktion. In BOUAMRA-MECHEMACHE et al. (2008) sind ermittelte kurzfristige und mittelfristige Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge für 25 EU-Staaten angegeben, wobei kleinere Ländergruppen zusammengefasst wurden. Die bestimmten Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge verwenden sie anschließend in einem räumlichen Gleichgewichtsmodell des europäischen Milchmarktes, mit welchem sie den Einfluss verschieden starker Anhebungen der Milchquote und Absenkungen der Interventionspreise für Magermilchpulver und Butter zwischen 2003 und 2014 in den einzelnen Ländern simulieren.

HOWARD und SHUMWAY (1988) erweitern die Profitfunktion dahingehend, dass die Inputfaktoren "Anzahl an Milchkühen" und "Arbeitskräfte im Milchviehsektor" voneinander abhängen, anstatt dass diese unabhängig zueinander sind. Dadurch erhält man eine Profitfunktion in Form einer Hamilton-Jacobi Gleichung, deren Ableitung nach dem Preis Gleichungen für Angebotsfunktionen sowie variable und feste Inputs angeben. Die Autoren bestimmen damit Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge auf Basis von Daten aus den USA im Zeitraum von 1951 –1982.

3.2 Direkt bestimmte Angebotsfunktionen

Ein bekannter Vertreter dieser Gruppe ist das Nerlove-Modell (NERLOVE, 1956), in welchem die geschätzte Produktion lediglich abhängig ist vom Preis und der produzierten Menge in der zurückliegenden Periode. ASKARI und CUMMINGS (1977) haben schon früh einen umfangreichen Literaturüberblick über Anwendungen des Nerlove-Modells in Bezug auf die Modellierung von Preis-/Angebotsreaktionen in der Landwirtschaft erstellt. Sie listen für den Bereich der Milchproduktion verschiedene Studien auf, die kurzfristige und langfristige Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge in Zeiträumen zwischen 1924 –1970 für verschiedene Länder bestimmt haben. OSKAM

und OSINGA (1982) haben in einer umfangreichen Arbeit verschiedene Funktionsformen der Milchproduktion auf Daten über den Zeitraum von 1959 – 1979 in den Niederlanden geschätzt. Dabei variieren die aufgestellten Angebotsfunktionen darin, welche Variablen aufgenommen und welche Zeiträume betrachtet wurden. Für zwei Funktionsformen bestimmen die Autoren kurzfristige und langfristige Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge.

PARTON (1992) bestimmt kurzfristige und langfristige Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge zwischen 1968 – 1983 für neun EU Länder. Dazu wählt er zunächst eine Funktionsform aus und entfernt anschließend in den einzelnen Ländern die jeweils nicht signifikanten Variablen aus den Schätzfunktionen. COLMAN et al. (2005) modellieren stellvertretend für kurzfristige Produktionsanpassungen lediglich den Ertrag pro Kuh auf Basis von zwei Panels in England zwischen 1990 – 1995 und bestimmen daraus Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge. CHAVAS und KLEMME (1986) entwickeln ein dynamisches Herdenmodell. Dazu schätzen sie zunächst in einem ersten Schritt (zeitabhängig) die durchschnittliche Anzahl an Kühen auf Milchviehbetrieben in den USA sowie Änderung in den Erträgen von Kühen. Anschließend multiplizieren sie in einem zweiten Schritt diese Werte und erhalten die produzierte Milchmenge in Form einer Gleichung, woraus sie Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge bestimmen. BOZIC et al. (2012) erweitern das Modell, in dem sie die Änderungen in den Erträgen der Kühe quartalsweise (und nicht wie bisher jährlich) modellieren, wodurch Saisonalitäten in der Milchproduktion mitberücksichtigt werden. Auch sie bestimmen mit dem Modell Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge.

Mehrgleichungssysteme unterscheiden sich von Eingleichungssystemen darin, dass das Milchangebot zusammen mit weiteren endogenen Variablen simultan geschätzt wird, wodurch ein System sich gegenseitig beeinflussender Variablen entsteht. Haden und van Tassell (1988) modellieren beispielsweise das Milchangebot als vektorautoregressiven Prozess auf Basis von Daten der Jahre 1975 – 1985 in den USA. Endogene Variablen sind, neben der Anzahl an Milchkühen, noch der Milchpreis, Produktion pro Kuh, Preis für Futter, sowie der Preis von Milchkühen. Anschließend bestimmen sie den zeitlichen Verlauf der Anpassungen aller Variablen im System auf einen Schock im Milchpreis in Höhe einer Standardabweichung.

Über neuronale Netze wird das Milchangebot nicht über eine vorher festgelegte lineare Struktur modelliert. Stattdessen wird die funktionale Form implizit durch Festlegung der Netzkomplexität festgelegt, so dass aufgenommene Variablen auch eine nichtlineare Abhängigkeitsstruktur besitzen können. Das Ziel der Verwendung neuronaler Netze im Kontext der Modellierung des Milchangebotes besteht darin, eine möglichst gute Vorhersage der Milchproduktion zu erzielen. Grzesiak et al. (2006) verwenden ein neuronales Netz zur Vorhersage der täglichen Milchproduktion von Kühen über ihre Laktationszeit. Dazu verwenden sie tägliche Daten der Milchproduktion über drei Laktationen von 320 Milchkühen von April 2000 bis Dezember 2002. Die Milchproduktion von 221 Milchkühen (ca. 69%)

werden als Trainingsdaten des neuronalen Netzes verwendet, die Produktion der verbleibenden 99 Milchkühe als Testdaten. Im Anschluss wird die Vorhersagegüte bestimmt. Murphy et al. (2014) verwenden ein neuronales Netz zur Vorhersage der täglichen Milchproduktion einer Milchherde bestehend aus 140 Milchkühen über ein Milchwirtschaftsjahr. Sie verwenden dazu tägliche Daten der Milchproduktion über drei Milchwirtschaftsjahre in Irland als Trainingsdaten und das anschließende Milchwirtschaftsjahr in 2010 als Testdaten zur Bestimmung der Vorhersagegüte.

3.3 Vollständige Betriebssimulationen

Über vollständige Betriebssimulationen werden sämtliche relevante Handlungen sowie biologische Abläufe eines Milchviehbetriebes mathematisch beschrieben. Durch die hohe Anzahl an Input-Größen, Output-Größen, modellierten Zusammenhängen sowie Entscheidungsmöglichkeiten entstehen auf diese Weise sehr komplexe Programme. VAYSSIÈRES et al. (2009) haben beispielsweise ein solches Modell auf Grundlage umfangreicher Literatur zu den biophysikalischen Abläufen, die auf einem Milchviehbetrieb vorkommen, entwickelt. Ihr Ziel ist es, mit dem Modell Milchviehbetriebe in ausgewählten Managemententscheidungen zu unterstützen, welche die Autoren in das Modell integriert haben. Dabei gehen sie insbesondere auf Nachhaltigkeitsindikatoren, wie beispielsweise die Stickstoffbilanz eines Betriebes, ein. Eine zusätzliche Output-Größe stellt die simulierte Milchproduktion dar. Zur Demonstration und Validität passen sie ihr Modell für ausgewählte Milchviehbetriebe an halbmonatliche Daten von 2004 –2006 an.

3.4 Lineare Programmierung

Mittels linearer Programmierung wird eine lineare Zielfunktion unter Beachtung von linearen Nebenbedingungen optimiert. Bei der Zielfunktion handelt es sich in der Literatur zur Bestimmung des Milchangebots häufig um den Gewinn eines Betriebes, der maximiert werden soll oder die Gesamtkosten eines Betriebes, die minimiert werden sollen. Nebenbedingungen können Begrenzungen in der Stallkapazität oder Arbeitskraft sein, aber auch eine Angabe minimaler Stallbelegung oder Milcherzeugung. Durch Variation der Inputparameter, wie verfügbare Arbeitskraft oder Änderungen in Absatzpreisen, können neben der optimalen Produktion des Landwirts außerdem Angebotsfunktionen abgeleitet werden. KRENZ et al. (1962) haben beispielsweise für einen zur damaligen Zeit typischen Betrieb mit ca. 65 Hektar (160 Acre) mit Schweinen, Hühnern und Milchkühen im US-amerikanischen Bundesstaat Iowa eine Angebotsfunktion optimiert. Dabei haben die Autoren in unterschiedlichen Optimierungen verschiedene Milchpreise angenommen und so zu jedem Milchpreis die optimale Kuhanzahl und damit die Milchproduktion des Betriebes bestimmt. Auch KILLEN

und KEANE (1978) haben sich der Methode der linearen Programmierung bedient. In ihrem Modell werden die Produktionskosten für Milch unter der Nebenbedingung einer Mindestmilchproduktion minimiert, als dessen Ergebnis die Autoren eine optimale Verteilung der Abkalbungszeiten erhalten. Dieses Optimierungsproblem ist relevant, da Futterkosten im Laufe eines Jahres unterschiedlich verlaufen und die Laktationskurven von Milchkühen keinen linearen Verlauf haben. Anhand von Daten aus dem Vereinigten Königreich zeigen sie ein Beispiel ihrer Berechnungen und Ergebnisse.

Die Bestimmung technischer Effizienz (vgl. Abschnitt 3.1.1) kann ebenfalls über lineare Programmierung erfolgen. Dazu wird die effiziente Produktionsmöglichkeitenkurve über ein lineares Optimierungsproblem deterministisch bestimmt und über diese die durchschnittliche technische Effizienz der untersuchten Milchviehbetriebe berechnet. Die Bestimmung der effizienten Produktionsmöglichkeitenkurve über den Ansatz linearer Programmierung wird auch Data Envelop Analyse bezeichnet. Aktuelle Studien im Bereich der Schätzung technischer Effizienz von Milchviehbetrieben mit diesem Ansatz sind beispielsweise KELLY et al. (2012) und STEENEVELD (2012).

4 Vergleichbarkeit von Methoden und Studien

Die zuvor betrachteten Methoden unterscheiden sich grundlegend in ihren theoretischen Annahmen, Ergebnismaßen, benötigter Datengrundlage sowie Komplexität. Doch auch Studien innerhalb einer Methodengruppe weisen teilweise große Unterschiede zueinander auf. Tabelle 1 zeigt Ergebnismaß, untersuchtes Land, Zeitraum sowie verwendete Datenfrequenz der untersuchten Studien in einem Überblick. Das Ergebnismaß bezieht sich dabei ausschließlich auf die Quantifizierung der Milchproduktion; weitere, zusätzlich bestimmte Ergebnismaße in den Studien sind nicht mit aufgeführt.

Tabelle 2 präsentiert einen Vergleich der Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge aus den zuvor verglichenen Studien. Dabei zeigt sich, dass das Milchangebot unelastisch ist, was bedeutet, dass ein Preisanstieg (Preisabstieg) nur eine sehr geringe Angebotsausweitung (Angebotsrückgang) zur Folge hat. Auffallend ist, dass bestimmte Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge in seltenen Fällen auch negativ sind, was bedeutet, dass ein Preisanstieg zu einem Angebotsrückgang führt.

Dennoch ist ein Vergleich der Ergebnisse in Tab. 2 nur bedingt möglich. Das liegt zum einen daran, dass Preiselastizitäten teilweise unterschiedlich bestimmt werden. Während Methoden in der Klasse der ökonomischen Produktionsanalyse ausschließlich Punktschätzer sind, besitzen Methoden in der Klasse der direkt bestimmten Angebotsfunktionen oft eine zeitliche Komponente. Das führt dazu, dass Preiselastizitäten eine unterschiedliche Bedeutung haben können, nämlich eine Auswirkung des Angebots auf den Preis als direkte Folge im gleichen Jahr oder versetzt in den folgenden Jahren. Zum anderen führt die Auswahl unterschiedlicher erklärender Variablen zu nicht mehr in jedem Fall

vergleichbaren Modellen. Am ehesten lassen sich daher solche Preiselastizitäten vergleichen, welche innerhalb einer Studie gemacht wurden, wie beispielsweise von Parton (1992), Bouamra-Mechemache et al. (2008) und Tonini und Jongeneel (2008).

Tabelle 1:
Ergebnismaße bezüglich Milchproduktion

	Ergebnismaß	Land	Zeitraum	Datengrundlage
Ökonomische Produktionsanalyse				
<i>Primale Ansätze</i>				
TVETARAS et al. (2011)	Produktionselastizität	Norwegen	1993 – 2003	jährliche Daten
TAUER (1998)	Preiselastizität	USA	1985 – 1993	jährliche Daten
MARETH et al. (2016)	Technische Effizienz	<i>Literaturüberblick</i>		
SAUER und LATACZ-LOHMANN (2015)	Technische Effizienz	Deutschland	1996 – 2010	jährliche Daten
ALEM et al. (2019)	Technische Effizienz	Norwegen	1991 – 2014	jährliche Daten
<i>Duale Ansätze</i>				
BAYNEY und MITTELHAMMER (1990)	Preiselastizität	USA	1966 – 1985	jährliche Daten
TONINI und JONGENEEL (2008)	Preiselastizität	Ungarn, Polen	1990 – 2002	jährliche Daten
HOWARD und SHUMWAY (1988)	Preiselastizität	USA	1951 – 1982	jährliche Daten
BOUAMRA-MECHEMACHE et al. (2008)	Preiselastizität	verschiedene EU Staaten	unterschiedlich	jährliche Daten
Direkt bestimmte Angebotsfunktionen				
<i>Einzelne Gleichungen</i>				
ASKARI und CUMMINGS (1977)	Preiselastizität	<i>Literaturüberblick</i>		
OSKAM und OSINGA (1982)	Preiselastizität	Niederlande	1959 – 1979	jährliche Daten
PARTON (1992)	Preiselastizität	verschiedene EU Staaten	1968 – 1983	jährliche Daten
COLMAN et al. (2005)	Preiselastizität	England	1990 – 1995	jährliche Daten
CHAVAS und KLEMME (1986)	Preiselastizität	USA	1960 – 1982	jährliche Daten
BOZIC et al. (2012)	Preiselastizität	USA	1975 – 2010	vierteljährliche und jährliche Daten
<i>Mehrgleichungssysteme</i>				
HADEN und VAN TASSELL (1988)	Produktionsverlauf nach Preisschock	USA	1975 – 1985	jährliche Daten
<i>Neuronale Netze</i>				
GRZESIAK et al. (2006)	Produktions-Vorhersage	a)	a)	tägliche Daten
MURPHY et al. (2014)	Produktions-Vorhersage	a)	a)	tägliche Daten
Vollständige Betriebssimulationen				
VAYSSIÈRES et al. (2009)	Produktions-Vorhersage	a)	a)	halbmonatliche Daten
Lineare Programmierung				
KRENZ (1962)	Optimale betriebsindividuelle Milchangebotsfunktion	a)	a)	jährliche Daten
KILLEN und KEANE (1978)	Optimale Abkalbungszeiten	a)	a)	monatliche Daten
KELLY et al. (2012)	Technische Effizienz	Irland	2008	jährliche Daten
STEENEVELD et al. (2012)	Technische Effizienz	Niederlande	2010	jährliche Daten

Quelle: Eigene Darstellung. a) in diesen Studien werden keine Ergebnisse explizit für bestimmte Länder über einen ausgewählten Zeitraum bestimmt

Tabelle 2:
Preiselastizitäten der Milchproduktion im Vergleich

	Preiselastizität	Land	Jahre seit Preisänderung
Ökonomische Produktionsanalyse			
<i>Primale Ansätze</i>			
TAUER (1998)	0,38 a)	USA	direkte Mengenanpassung
<i>Duale Ansätze</i>			
BAYNEY und MITTELHAMMER (1990)	0,89	USA	direkte Mengenanpassung
TININI und JONGENEEL (2008)	0,11 bis 0,21 -0,12 bis 0,08	Ungarn Polen	direkte Mengenanpassung
BOUAMRA-MECHEMACHE et al. (2008)	0,225 0,240 0,253 0,240 0,205 0,249 0,261 0,217 0,274 0,196 0,267 0,290 0,313 0,246 0,273 0,292 0,292 0,284	Belgien/Luxemburg Dänemark Deutschland Griechenland Spanien Frankreich Irland Italien Niederlande Österreich Portugal Finnland Schweden Vereinigtes Königreich Tschechische Republik Ungarn Polen Verbleibende EU Staaten	direkte Mengenanpassung
HOWARD und SHUMWAY (1988)	-0,08 bis 0,05	USA	direkte Mengenanpassung
Direkt bestimmte Angebotsfunktionen			
<i>Einzelne Gleichungen</i>			
OSKAM und OSINGA (1982)	0,29 bis 0,40	Niederlande	Mengenanpassung ein Jahr nach Preisänderung
PARTON (1992)	0,46 0,03 0,00 0,08 - 0,13 0,00 0,23 0,29 0,56	Vereinigtes Königreich Deutschland Frankreich Niederlande Italien Belgien Luxemburg Dänemark Irland	Mengenanpassung ein Jahr nach Preisänderung
COLMAN et al. (2005)	0,27 bis 0,36	England	direkte Mengenanpassung
CHAVAS und KLEMME (1986)	0,11	USA	direkte Mengenanpassung
BOZIC et al. (2012)	0,06 bis 0,09	USA	Mengenanpassung ein Jahr nach Preisänderung

Quelle: Eigene Darstellung. Es werden nur kurzfristige Preiselastizitäten aufgeführt, d.h. direkte Mengenanpassungen nach Preisänderung oder Mengenanpassungen ein Jahr nach Preisänderung. a) von Tauer (1998) berechneter Mittelwert über 70 betriebliche Einzelelastizitäten von -2,77 bis 1,84

5 Fazit

Die Zunahme und Weiterentwicklung von Methoden zur Modellierung des Milchangebots erfordern eine systematische Übersicht. Dazu wurde in diesem Beitrag ein Klassifizierungsansatz in Form einer Baumstruktur erstellt, in welcher die einzelnen Methoden mit zunehmender Verästelung weiter ausdifferenziert wurden. Für jede Gruppe wurden anschließend beispielhaft verschiedene Studien aufgeführt.

Die meisten Methoden zur Modellierung des Milchangebots bestimmen dabei die Auswirkungen einer Preisänderung auf die Milchproduktion. Dies kann durch Bestimmung von Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge, dem Verlauf des Milchangebots nach einem Preisschock oder betriebsindividueller Optimierung des Gewinns unter einem neuen Preisszenario geschehen. Aber auch andere Ergebnismaße bilden das Milchangebot ab. Hier sind Produktionselastizitäten oder Auswirkungen von Entscheidungsprozessen auf einem Betrieb auf die produzierte Milchmenge zu nennen.

Eine Zusammenstellung ermittelter Preiselastizitäten der produzierten Milchmenge zeigt ein überwiegend unelastisches Angebotsverhalten. Es hat sich allerdings gezeigt, dass ein expliziter Vergleich der ermittelten Werte nur schwer möglich ist, da sich alle Studien in ihren Modellen zu sehr unterscheiden. Auch Modelle dergleichen Gruppe können sich zum Beispiel stark - alleine durch eine andere Auswahl aufgenommener Variablen - unterscheiden.

Zusammenfassung

Die Modellierung des Milchangebots in der agrarökonomischen Literatur: Ein Überblick

Vor dem Hintergrund volatiler Weltmarktpreise für Milchprodukte und dem Ende der europäischen Milchquote wird ein genaueres Verständnis des Milchangebotsverhaltens von Landwirten immer wichtiger. In der agrarökonomischen Literatur existieren vielfältige methodische Ansätze zur Bestimmung der Milchproduktionsänderung als Folge einer Änderung des Milchpreises. Diese methodischen Ansätze werden im vorliegenden Beitrag systematisiert und anhand exemplarisch ausgewählter Studien verglichen. Ergebnisse zeigen, dass das Milchangebot in den meisten Teilen der Welt Preis-unelastisch reagiert, d.h. eine Milchpreissenkung führt nur zu einer unterproportionalen Reduktion der Milchproduktion.

Summary

Modelling Milk Supply in Agricultural Economics Literature: An overview

With increasingly volatile world market prices for dairy products and the end of the European milk quota, a better and more precise understanding of the milk supply behaviour of farmers is increasingly relevant for market participants and policy makers. In the agricultural economics literature, various methodological approaches exist that have been used to determine the change in milk production as a consequence of a change in the milk price. This article presents a systematic overview of these methodological approaches and compares selected results from typical studies. Results show that in most parts of the world, milk supply tends to react relatively inelastic to price changes, i. e. a reduction in milk prices leads only to a disproportionately low reduction in milk production.

Literatur

1. ALEM, H., LIEN, G., HARDAKER, J. B., GUTTORMSEN, A. (2019): Regional differences in technical efficiency and technological gap of Norwegian dairy farms: a stochastic meta-frontier model. *Applied Economics*, 51(4), 409-421. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1502867>
2. ANDERS, U. (1995): Neuronale Netzwerke in der Ökonometrie: Die Entmythologisierung ihrer Anwendung, ZEW Discussion Papers, No. 95-26, Mannheim. <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp9526.pdf>. Abruf: 02.01.2020.
3. ASKARI, H., CUMMINGS, J. T. (1977): Estimating Agricultural Supply Response with the Nerlove Model: A Survey. *International economic review*, 257-292. <https://doi.org/10.2307/2525749>
4. BLAYNEY, D. P., MITTELHAMMER, R. C. (1990): Decomposition of Milk Supply Response into Technology and Price-Induced Effects. *American Journal of Agricultural Economics*, 72(4), 864-872. <https://doi.org/10.2307/1242618>
5. BOUAMRA-MECHAMACHE, Z., BURRELL, A. M., GUYOMARD, H., JONGENEEL, R., RÉQUILLART, V. (2002): The INRA-Wageningen simulation system for the EU dairy sector. In 10th EAAE Congress.
6. BOUAMRA-MECHAMACHE, Z., JONGENEEL, R., RÉQUILLART, V. (2008): Impact of a gradual increase in milk quotas on the EU dairy sector. *European review of agricultural economics*, 35(4), 461-491. <https://doi.org/10.1093/erae/jbn044>
7. BOZIC, M., KANTER, C. A., GOULD, B. W. (2012): Tracing the evolution of the aggregate US milk supply elasticity using a herd dynamics model. *Agricultural Economics*, 43(5), 515-530. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00600.x>
8. CHAVAS, J. P., KLEMME, R. M. (1986): Aggregate Milk Supply Response and Investment Behavior on U.S. dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics*, 68(1), 55-66. <https://doi.org/10.2307/1241649>
9. COLMAN, D. R. (1983): A review of the arts of supply response analysis. *Review of marketing and agricultural economics*, 51(430-2016-31267), 201-230.
10. COLMAN, D., SOLOMON, A., GILL, L. (2005): Supply response of U.K. milk producers. *Agricultural Economics*, 32(3), 239-251. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2005.00092.x>
11. DILLON, J. L., ANDERSON, J. G. (2012): *The analysis of response in crop and livestock production*. Elsevier.
12. FAO (2019): Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

13. GRZESIAK, W., BŁASZCZYK, P., LACROIX, R. (2006): Methods of predicting milk yield in dairy cows—Predictive capabilities of Wood's lactation curve and artificial neural networks (ANNs): Computers and electronics in agriculture, 54(2), 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2006.08.004>
14. HADEN, K. L., VAN TASSELL, L. W. (1988): Application of Vector Autoregression to Dynamic Relationships within the U.S. Dairy Sector. Applied Economic Perspectives and Policy, 10(2), 209-216. <https://doi.org/10.1093/aep/10.2.209>
15. HALVORSON, H. W. (1955): The Supply Elasticity for Milk in the Short Run. Journal of Farm Economics, 37(5), 1186-1197. <https://doi.org/10.2307/1234013>
16. HOWARD, W. H., SHUMWAY, C. R. (1988): Dynamic Adjustment in the U.S. Dairy Industry. American Journal of Agricultural Economics, 70(4), 837-847. <https://doi.org/10.2307/1241925>
17. JUST, R. E. (1993): Discovering Production and Supply Relationships: Present Status and Future Opportunities. Review of Marketing and Agricultural Economics, 61(430-2016-31665), 11-40. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.10322>
18. JUST, R. E., POPE, R. D. (1978): Stochastic specification of production functions and economic implications. Journal of econometrics, 7(1), 67-86. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(78\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(78)90006-4)
19. JUST, R. E., POPE, R. D. (1979): Production Function Estimation and Related Risk Considerations. American Journal of Agricultural Economics, 61(2), 276-284. <https://doi.org/10.2307/1239732>
20. KELLY, E., SHALLOO, L., GEARY, U., KINSELLA, A., WALLACE, M. (2012): Application of data envelopment analysis to measure technical efficiency on a sample of Irish dairy farms. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 63-77. <https://www.jstor.org/stable/41756846>
21. KILLEN, L., KEANE, M. (1978): A Linear Programming Model of Seasonality in Milk Production. Journal of the Operational Research Society, 29(7), 625-631. <https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1978.138>
22. KRENZ, R. D., BAUMANN, R. W., HEADY, E. O. (1962): Normative Supply Functions by Linear Programming. Agricultural Economics Research, 13.
23. MARETH, T., THOMÉ, A. M. T., OLIVEIRA, F. L. C., SCAVARDA, L. F. (2016): Systematic review and meta-regression analysis of technical efficiency in dairy farms. International Journal of Productivity and Performance Management. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2015-0027>
24. MURPHY, M. D., O'MAHONY, M. J., SHALLOO, L., FRENCH, P., UPTON, J. (2014): Comparison of modelling techniques for milk-production forecasting. Journal of dairy science, 97(6), 3352-3363. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7451>
25. NERLOVE, M. (1956): Estimates of the Elasticities of Supply of Selected Agricultural Commodities. Journal of Farm Economics, 38(2), 496-509. <https://doi.org/10.2307/1234389>
26. OSKAM, A. J., OSINGA, E. (1982): Analysis of Demand and Supply in the Dairy Sector of the Netherlands. European Review of Agricultural Economics, 9(4), 365-413. <https://doi.org/10.1093/erae/9.4.365>
27. PARTON, K. A. (1992): EC dairy policy: An integrated supply and policy analysis. Food Policy, 17(3), 187-200. [https://doi.org/10.1016/0306-9192\(92\)90027-U](https://doi.org/10.1016/0306-9192(92)90027-U)
28. PETERSEN, J., HESS, S. (2018): Die Zukunft der Milch-Lieferbeziehungen aus Sicht deutscher Landwirte. German Journal of Agricultural Economics, 2018, 67 (2), S. 80-94. <https://www.gjae-online.de/de/articles/die-zukunft-der-milch-lieferbeziehungen-aus-sicht-deutscher-landwirte/>
29. SAUER, J., LATA CZ-LOHMANN, U. (2015): Investment, technical change and efficiency: empirical evidence from German dairy production. European Review of Agricultural Economics, 42(1), 151-175. <https://doi.org/10.1093/erae/jbu015>
30. STEENEVELD, W., TAUER, L. W., HOGEVEEN, H., LANSINK, A. O. (2012): Comparing technical efficiency of farms with an automatic milking system and a conventional milking system. Journal of dairy science, 95(12), 7391-7398. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5482>
31. TAUER, L. W. (1998): Estimates of Individual Dairy Farm Supply Elasticities. Working Paper, Department of Agriculture, Resource, and Managerial Economics, Cornell University, New York.
32. TONINI, A., JONGENEEL, R. (2008): Modelling dairy supply for Hungary and Poland by generalised maximum entropy using prior information. European Review of Agricultural Economics, 35(2), 219-246. <https://doi.org/10.1093/erae/jbn018>

33. TVETERAS, R., FLATEN, O., LIEN, G. (2011): Production risk in multi-output industries: estimates from Norwegian dairy farms. *Applied Economics*, 43(28), 4403-4414. <https://doi.org/10.1080/00036846.2010.491461>
34. VAYSSIÈRES, J., GUERRIN, F., PAILLAT, J. M., LECOMTE, P. (2009): GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I – Whole-farm dynamic model. *Agricultural Systems*, 101(3), 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.001>

Anschrift der Autoren

Stephan Hoehl

Institut für Agrarökonomie

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Wilhelm-Seelig-Platz 6, 24118 Kiel

E-Mail: shoehl@ae.uni-kiel.de