

Boysen, Ole; Schröder, Carsten

**Working Paper**

## Economies of Scale in der Produktion versus Diseconomies im Transport: Zum Strukturwandel in der Milchindustrie

Diskussionsbeiträge, No. 2005/15

**Provided in Cooperation with:**

Free University Berlin, School of Business & Economics

*Suggested Citation:* Boysen, Ole; Schröder, Carsten (2005) : Economies of Scale in der Produktion versus Diseconomies im Transport: Zum Strukturwandel in der Milchindustrie, Diskussionsbeiträge, No. 2005/15, ISBN 3-938369-14-0, Freie Universität Berlin, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/22145>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Diskussionsbeiträge  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft  
der Freien Universität Berlin

Nr. 2005/15  
VOLKSWIRTSCHAFTLICHE REIHE

**Economies of Scale in der Produktion versus Diseconomies  
im Transport  
Zum Strukturwandel in der Milchindustrie**

Ole Boysen und Carsten Schröder



ISBN 3-938369-14-0

# Economies of Scale in der Produktion versus Diseconomies im Transport: Zum Strukturwandel in der Milchindustrie

Ole Boysen und Carsten Schröder<sup>a</sup>

01. August 2005

## Abstract

In this article, we simulate the concentration process within the German dairy sector employing a sector-wide optimization model. As a result, we get cost minimizing structures of the dairy sector for various time horizons depending on varying levels of transportation costs. We show that the model is capable of describing the current trend characterized by a decrease of the number of dairies while average capacity increases and that – ceteris paribus – this trend is likely to continue. In contrast, the trend may weaken or reverse if transportation costs rise in comparison to other types of costs.

Keywords: Capacitated facility location problem, structural change, transportation  
JEL Classification: C60, L11, Q1, R39, R40

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird der Konzentrationsprozess im deutschen Molkereisektor anhand eines sektoralen Optimierungsmodells simuliert. Ergebnis sind kostenminimale Strukturen des Molkereisektors für verschiedene Zeithorizonte in Abhängigkeit vom unterstellten Transportkostenniveau. Wir zeigen, dass das Modell geeignet ist, den gegenwärtigen Trend hin zu weniger aber größeren Betriebsstätten zu beschreiben, und dass ceteris paribus eine Fortsetzung des Trends zu erwarten ist. Demgegenüber kommt es zu einer Trendabschwächung oder –umkehr, falls sich die Bedeutung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten in der Milchverarbeitung erhöht.

Stichworte: Kapazitiertes Standortplanungsproblem, Strukturwandel, Transport

---

<sup>0</sup> <sup>a</sup> Department of Economics, Free University of Berlin, Boltzmannstr. 20, D-10829 Berlin Germany. E-mail: carsten.schroeder@wiwiss.fu-berlin.de, tel: +49 030 838 52259, fax: +49 030 838 52560. We thank members of the Federal Research Centre for Nutrition and Food in Kiel and some anonymous experts for their research collaboration.

# 1 Einleitung

Die Milchindustrie ist mit einem Umsatz von rund 21 Milliarden Euro und ca. 36.000 Beschäftigten die größte Sparte der deutschen Ernährungsindustrie (DEUTSCHER BAUERNVERBAND, 2004: 147). Die Anzahl der Molkereiunternehmen und -betriebsstätten in Deutschland ist allerdings seit Jahren rückläufig. Dieser Konzentrationsprozess kann als Reaktion auf stagnierende Absatzmengen, eine zunehmend wettbewerbsmäßig ausgerichtete Agrarpolitik, die EU-Osterweiterung und auf eine zunehmende Marktmacht des Handels interpretiert werden. Vor diesem Hintergrund wird auch zukünftig mit einer Fortsetzung des Konzentrationsprozesses gerechnet. So erwartet der Bauernverband, dass von 112 Molkereiunternehmen mit 243 Betriebsstätten im Jahr 2003 im Jahr 2010 noch ca. 30 Molkereiunternehmen bestehen bleiben werden (vgl. DEUTSCHER BAUERNVERBAND, 2004). Gleichzeitig ist ein Trend zu größeren Betriebsstätten zu beobachten, was sich auch in einer veränderten einzel- und gesamtwirtschaftlichen Kostensituation widerspiegelt: Während große Betriebsstätten einerseits von Skalenerträgen in der Verarbeitung profitieren, weisen sie andererseits aufgrund größerer Milcherfassungsgebiete im Vergleich zu kleineren Betriebsstätten höhere durchschnittliche Transportkosten auf.

Im Unterschied zu vielen anderen Sektoren stellen Transportkosten im Agrarsektor eine bedeutsame Kostenkomponente dar. Dies lässt sich damit erklären, dass die Transportmengen bei Agrarprodukten hoch und die Produkte i.d.R. leicht verderblich sind, was *regelmäßige* Transporte in kurzen Abholintervallen in speziellen Fahrzeugen erzwingt (BUTLER ET AL., 2005). Es ist zu erwarten, dass sich die Bedeutung der Transportkosten, z.B. aufgrund steigender Rohölpreise, Autobahnmaut und neuer Regulierungen im Bereich Umwelt (Kyoto-Protokoll, Ökosteuern), zukünftig weiter erhöhen wird.

Welche Struktur des Molkereisektors lässt sich kurz- und langfristig je nach Transportkostenentwicklung erwarten? In welchem Ausmaß sind z.B. kleine oder große Betriebsstätten von einer Änderung der Transportkosten betroffen und welche Auswirkungen hat dies auf deren relative Wettbewerbsfähigkeit? Zur Beantwortung dieser Fragen wird der deutsche Molkereisektor als kapazitiertes und diskretes Standortplanungsproblem oder Capacitated Facility Location Problem (CFLP) modelliert. Methodisch unterscheidet sich das vorliegende Modell von Standard-CFLP-Formulierungen durch die Berücksichtigung (i) variabler Skalenerträge in der Verarbeitung, (ii) zeitlicher Restriktionen (Abholintervalle) und (iii) transporttechnischer Restriktionen (Unteilbarkeit der Fahrzeuge). Als Datenbasis fungieren einzelbetriebliche Daten von 360 Molkereibetriebsstätten und Daten zu Milchaufkommen für insgesamt 316 Regionen in der BR Deutschland. Die Zielfunktion des Modells minimiert

die Summe der betrieblichen Overhead-, Transport- und Verarbeitungskosten über alle Standorte. Wir zeigen, dass das Modell geeignet ist, den vorliegenden Trend hin zu weniger aber größeren Betriebsstätten zu beschreiben. Die Modellergebnisse implizieren ceteris paribus auch zukünftig eine Fortsetzung dieses Trends. Wie eine Szenarioanalyse für verschiedene Transportkostenniveaus zeigt, ist eine Trendumkehr zu erwarten, falls sich die Bedeutung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten, etwa durch steigende Kraftstoffpreise oder technischen Fortschritt in der Milchverarbeitung, erhöht.

Gegen eine gesamtwirtschaftliche Kostenminimierung könnte eingewandt werden, dass diese nicht notwendigerweise gleichbedeutend mit einer Produktion im Betriebsoptimum (Produktion im Minimum der langfristigen Durchschnittskosten) für jede einzelne Betriebsstätte ist. Wir können jedoch zeigen, dass im gesamtwirtschaftlichen Optimum der langen Frist mit frei anpassbaren Produktionskapazitäten eine nahezu vollständige Angleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten für alle Betriebe erfolgt.

Der Artikel gliedert sich wie folgt: Eine Übersicht über die verwendeten Daten, Zielfunktion, Nebenbedingungen und eine Darstellung der Lösungsmethode des Facility Location Problems sind Gegenstand von Kapitel 2. Kapitel 3 stellt die Ergebnisse vor. Eine Zusammenfassung und Diskussion der Resultate erfolgt in Kapitel 4.

## 2 Modellbildung

### 2.1 Abbildung des Molkereisektors

Zur Abbildung der räumlichen Struktur des Molkereisektors wurden insgesamt 360 Betriebsstätten und die geografischen Zentren von 316 Regionen innerhalb Deutschlands im kartesischen Koordinatensystem verortet. Hierüber ließ sich eine  $360 \times 316$ -Entfernungsmatrix zwischen den Betriebsstätten einerseits und den Regionenzentren andererseits bestimmen. Die Fahrstrecke eines Tankwagens setzt sich aus der Distanz zwischen Molkerei und Region zuzüglich einer Strecke innerhalb der Region zusammen. Es ist davon auszugehen, dass diese intraregionale Strecke positiv mit der regionalen *Milchdichte* ( $\frac{\text{Tonnen}}{\text{km}^2}$ ) korreliert ist. Zur Approximation umfährt im Modell daher jeder Tankwagen ein Kreissegment, das proportional zu der zu erfassenden Menge ist. Von Fahrstrecken zwischen Molkereien und Großlagern des Handels wird abstrahiert, da diese Fahrstrecken laut Expertenmeinung als relativ unbedeutend angesehen werden können. Dies erklärt sich v.a. dadurch, dass ein Großteil der Endprodukte (z.B. Käse oder Milchpulver) längere Zeit haltbar ist und Transporte

daher seltener anfallen, und dass das Volumen der Endprodukte im Vergleich zum Vorprodukt (Rohmilch) deutlich geringer ist.

Das über Milchquoten restringierte exogen gegebene Milchaufkommen der 316 Regionen beläuft sich im vorliegenden Datensatz auf insgesamt  $24.395.801t$ , wobei das Milchaufkommen im Median bei  $50.986,5$  Tonnen und die Milchdichte im Median über alle Regionen bei  $58,46 \frac{t}{km^2}$  liegt. Die Gesamtkapazität aller 360 Molkereien beträgt demgegenüber  $33.196.800t$  bei einer Mediankapazität von  $25.000t$ . Die räumliche Verteilung von regionalen Milchaufkommen und Betriebsstätten kann Abbildung 1 entnommen werden.

## ABBILDUNG 1

Die Kosten der Molkereien bestehen aus (a) Overhead-, (b) Verarbeitungs- und (c) Transportkosten. Wir unterstellen einen für alle Molkereien einheitlichen Auszahlungspreis pro Liter Milch an die Bauern, so dass der Rohstoffpreis für Milch für die Optimierung irrelevant ist. Laut Expertenauskunft können für die Overheadkosten als “Daumenregel” 10 Euro pro Tonne Kapazität unterstellt werden. Overhead- oder Fixkosten sind die Kosten, die jährlich für den Betrieb einer Molkerei unabhängig von der Produktionsmenge anfallen. In der Milchverarbeitung weisen empirische Untersuchungen auf steigende Skalenerträge hin. Im Modell wird ein stufenförmiger Kostenverlauf entsprechend Tabelle 1 unterstellt. Dabei musste aufgrund fehlender einzelbetrieblicher Daten davon abstrahiert werden, die Verarbeitungskosten mit dem Produktsortiment zu variieren.<sup>1</sup> Für die Transportkosten pro *Kilometer* wurden 0,5382 Euro unterstellt (vgl. JANZ, 2002: 253). Die Transportkosten pro *Tonne* variieren aber nicht nur mit der Entfernung, sondern auch mit (a) der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, (b) den Kapazitäten der Tankwagen ( $\eta = 9t$ ), (c) deren täglicher Fahrleistung (maximal  $\omega = 480 km$ ) und (d) der Länge der Abholzyklen (mindestens jeden zweiten Tag).

## TABELLE 1

## 2.2 Zielfunktion und Nebenbedingungen

Das gesamtwirtschaftliche Kostenminimierungsproblem im Sinne einer gemischt-ganzzahlig linearen Programmierung (MILP) lässt sich wie folgt formulieren:

---

<sup>1</sup>Bei Verfügbarkeit entsprechender Daten könnten im Modell auch einzelbetriebliche Kostensituationen in Abhängigkeit vom Produktsortiment berücksichtigt werden.

Minimiere

$$F(x, y) = \sum_{d \in D} \left( f_d \cdot \sum_{l \in L_d} y_{dl} + \kappa \cdot \sum_{p \in P} c_{pd} \cdot z_{pd} + \sum_{l \in L_d} s_l \cdot q_{dl} \right) \quad (1)$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{d \in D} x_{pd} = b_p \quad \forall p \in P \quad (2)$$

$$k_d \cdot \sum_{l \in L_d} y_{dl} \geq \sum_{p \in P} x_{pd} \quad \forall d \in D \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L_d} y_{dl} \leq 1 \quad \forall d \in D \quad (4)$$

$$\delta \cdot \eta \cdot z_{pd} \geq x_{pd} \quad \forall p \in P, d \in D \quad (5)$$

$$m_l \cdot y_{dl} \geq q_{dl} \quad \forall d \in D, l \in L_d \quad (6)$$

$$m_{l-1} \cdot y_{dl} < q_{dl} \quad \forall d \in D, l \in L_d \quad (7)$$

$$\sum_{l \in L_d} q_{dl} = \sum_{p \in P} x_{pd} \quad \forall d \in D \quad (8)$$

$$c_{pd} + 2 \cdot \pi \cdot r_p \cdot \frac{x_{pd}}{b_p \cdot z_{pd}} \leq \omega \quad \forall p \in P, d \in D \quad (9)$$

$$x_{pd} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall p \in P, d \in D \quad (10)$$

$$y_{dl} \in \{0, 1\} \quad \forall d \in D \quad (11)$$

$$z_{pd} \in \mathbb{N}_0 \quad \forall p \in P, d \in D \quad (12)$$

$$q_{dl} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall d \in D, l \in L_d \quad (13)$$

mit

$b_p$	Milchaufkommen in $t$ p.a. in Region $p$ ,
$c_{pd}$	Entfernung Region $p$ zu Molkerei $d$ zuzüglich Radius $r_p$ und zurück,
$d = 1, \dots, D$	Molkereien,
$f_d$	jährliche Overheadkosten für den Betrieb der Molkerei $d$ ,
$k_d$	Kapazität der Molkerei $d$ ,
$m_l$	Maximaloutput p.a. auf Produktionsstufe $l$ (vgl. Tabelle 1),
$p = 1, \dots, P$	Regionen,
$q_{dl}$	Produktionsmenge von Molkerei $d$ auf Produktionsstufe $l$ ,
$r_p$	Radius der Region $p$ ,
$s_l$	Produktionskosten pro $t$ auf Produktionsstufe $l$ ,
$x_{pd}$	Transportmenge von Region $p$ zu Molkerei $d$ ,
$y_{dl}$	$\begin{cases} 1 & \text{Molkerei } d \text{ wird auf Produktionsstufe } l \text{ betrieben,} \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases}$
$z_{pd}$	Anzahl der Transporte pro Abholzyklus ( $z_{pd} = \left\lceil \frac{x_{pd}}{\delta \cdot \eta} \right\rceil$ ),
$L_d$	Menge zulässiger Produktionsstufen für Molkerei $d$ gegeben $k_d$ ,

$\delta$	minimale Anzahl von Abholungen pro Jahr ( $\delta = 183$ bei zweitägigem Abholzyklus),
$\kappa$	Transportkosten eines Tankwagens pro $km$ ,
$\eta$	Kapazität eines Tankwagens in $t$ ,
$\omega$	maximale Tagesreichweite eines Tankwagens in $km$ .

Die Zielfunktion (1) minimiert die gesamtwirtschaftlichen Gesamtkosten, also die Summe aus Overhead-, Transport- und Verarbeitungskosten, über alle geöffneten Standorte. Bedingung (2) stellt sicher, dass das gesamte Milchaufkommen jeder Region ( $b_p$ ) tatsächlich auch zu den Molkereibetriebsstätten transportiert wird. Bedingung (3) fordert die Einhaltung der Kapazitätsgrenzen der Molkereien ( $k_d$ ) und stellt sicher, dass geschlossene Molkereien nicht beliefert werden. Bedingung (4) sorgt dafür, dass jede Molkerei auf höchstens einer Produktionsstufe  $l$  produziert. Bedingung (5) determiniert die für eine bestimmte Abnahmemenge der Molkerei  $d$  aus Region  $p$  minimal benötigte Anzahl an Tankwagen bei minimaler Anzahl der Abholungen p.a.  $\delta$  und gegebener Fahrzeugkapazität  $\eta$ . Bedingungen (6) und (7) verknüpfen für jede Molkerei über die Binärvariable  $y_{dl}$  die Verarbeitungsmenge mit der entsprechenden Produktionsstufe  $l$  (vgl. Tabelle 1) und legen damit implizit die Verarbeitungskosten je Tonne jeder Molkerei fest. (8) fordert, dass die in einer Molkerei aus allen Regionen insgesamt angelieferte auch der verarbeiteten Milchmenge  $q_{dl}$  entspricht. Bedingung (9) begrenzt die maximale Tagesfahrleistung jedes Fahrzeugs auf  $\omega = 480 km$ . (10), (11), (12) und (13) legen die Wertebereiche für die Variablen fest, wobei  $y_{dl}$  binäre Werte für die Öffnung der Standorte und zur Auswahl der Produktionsstufen annimmt und  $z_{pd}$  eine diskrete Anzahl von Transporten von Region  $p$  zu Molkerei  $d$  pro Abholintervall sicherstellt. Die abhängigen Variablen  $z_{pd}$  und  $q_{dl}$  sind durch die Werte der Entscheidungsvariablen  $x_{pd}$  und  $y_{dl}$  vollständig bestimmt.

## 2.3 Lösungsverfahren

Über ein *Capacitated Facility Location Problem* (CFLP) wird aus der Menge der gegebenen Molkereistandorte diejenige Untermenge bestimmt, die die gesamtwirtschaftlichen Kosten unter Beachtung regelmäßiger und vollständiger Milcherfassung, maximaler Tagesfahrleistungen der Tankfahrzeuge, und maximaler Molkerei- und Fahrzeugkapazitäten minimiert. Im Vergleich zu regulären CFLP erfordert das vorliegende Problem zwei Modellmodifikationen. Zum einen unterstellen reguläre CFLP konstante Verarbeitungskosten je Ausbringungseinheit, was bei Skalenerträgen wie im vorliegenden Fall zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen würde. Zum anderen wird in regulären CFLP-Modellen ein linearer Zusammenhang zwischen Transport-



kosten pro *Tonne* und Fahrstrecke unterstellt. Wie oben ausgeführt, müssen im Molkereisektor jedoch weitere Einflussvariablen (Anzahl, Kapazität und maximale Fahrleistung der Tankwagen sowie Abholzyklen) berücksichtigt werden.

CFLP sind NP-schwer (siehe z.B. GRÜNERT, 2001). Dies bedeutet, dass sich der Rechenaufwand zur Lösung exponentiell mit dem Umfang des Problems erhöht, und daher bei vielen Problemen praxisrelevanter Größe der Einsatz exakter Lösungsverfahren ausgeschlossen ist. Deshalb kommen heuristische Verfahren, die “gute” aber nicht notwendigerweise optimale Lösungen in akzeptabler Rechenzeit liefern, zum Einsatz.<sup>2</sup>

Das hier verwendete Lösungsverfahren ist ein *Genetischer Algorithmus*<sup>3</sup>, der zur Lösung der als Unterprobleme entstehenden Transportprobleme (TPP) hybridisiert wird. Hierzu wird eine Eröffnungslösung des relaxierten TPP mit dem Simplex Algorithmus erzeugt und diese dann mit einem Tabu Search Verfahren ( $TS_{TPP}$ ) verbessert. Genetische Algorithmen bringen — in Analogie zur genetischen Evolution — durch die Mechanismen Selektion, Vererbung (bzw. Rekombination) und Mutation der *Chromosomen* über eine Abfolge von Generationen hinweg hinsichtlich der Zielfunktion angepasstere bzw. bessere Populationen von Lösungen hervor.

Im vorliegenden Fall ist ein Chromosom ein Binärstring, dessen Binärvariablen (*Gene*) anhand ihrer Ausprägung – Null oder Eins – jeden potentiellen Standort entweder als geschlossen (Wert von Null) oder geöffnet (Wert von Eins) kennzeichnen. Die Teilmenge der geöffneten Molkereien  $D^o$  aus allen potenziellen Standorten  $D$  sei  $D^o \subseteq D$ . Eine *Population* besteht aus einer Vielzahl solcher Standortkonstellationen. Um die Population zu bewerten, müssen die gesamtwirtschaftlichen Kosten, die mit jedem Chromosom verbunden sind, bestimmt werden. Da ein Chromosom eine Auswahl der geöffneten Standorte festlegt, sind dadurch die gesamtwirtschaftlichen Overheadkosten bereits direkt determiniert.

Zur Bewertung eines Chromosoms mit  $D^o$  muss zunächst ein Transportproblem gelöst werden: Hierbei werden die regionalen Milchaufkommen so auf  $D^o$  verteilt, dass die Summe aus Verarbeitungs- und Transportkosten unter Beachtung von Nebenbedingungen minimiert wird. Für eine Eröffnungslösung des Transportproblems werden dabei zunächst nur die Bedingungen (2), (3) und (9), also vollständige Abholung der Milchaufkommen, Kapazitäten der Molkereien und Reichweitenbeschränkungen der Tankwagen, berücksichtigt. Dieses reduzierte Problem lässt sich optimal und effizient mit dem Simplex Algorithmus lösen (siehe z.B. CORMEN ET AL., 2001: 790 ff.).

---

<sup>2</sup>Für einen aktuellen Überblick über Modelle und Lösungsverfahren für FLP siehe KLOSE UND DREXL, 2005.

<sup>3</sup>Zu einer detaillierten Einführung in Genetische Algorithmen siehe BEASLEY ET AL., 1993.

Dies ist die Ausgangslösung für das  $TS_{TPP}$ -Verbesserungsverfahren<sup>4</sup>: Das  $TS_{TPP}$  nimmt unter Beachtung der übrigen Nebenbedingungen eine Umverteilung der regionalen Milchaufkommen auf die Molkereien vor, so dass für  $D^o$  die Summe aus Transport- und Verarbeitungskosten minimiert wird.<sup>5</sup>

Nach der Bewertung aller Chromosomen wird eine Teilmenge selektiert, die ihre Gene an Nachfolgechromosome “vererben”. Jedes Gen des Nachfolgechromosoms wird dabei mit gleicher Wahrscheinlichkeit durch das entsprechende Gen eines seiner beiden Elternteile bestimmt. Zusätzlich besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass “Mutation” einzelne Gene willkürlich verändert.

Der beschriebene zweistufige Prozess von Bewertung und Fortpflanzung wiederholt sich und endet nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationen. Standortkonstellationen werden in diesem Prozess zunehmend durch bessere Standortkonstellationen ersetzt.

### 3 Ergebnisse

Im so genannten *Referenzszenario* erfolgt zunächst eine gesamtwirtschaftliche Kostenminimierung unter der Bedingung, dass alle 360 Standorte bei gleicher Kapazitätsauslastung ( $\frac{24.395.801t}{33.196.800t} = 73,5\%$ ) produzieren. Die so bestimmte Lösung dient zur näherungsweise Beschreibung der Situation *vor* Einsetzen des Konzentrationsprozesses.

Das Referenzszenario dient als Vergleichslösung für zwei verschiedene Typen von Alternativszenarien. Im Szenario der “kurzen” Frist können Betriebsstätten geschlossen werden, und es sind unterschiedliche Kapazitätsauslastungen der geöffneten Betriebsstätten möglich. Dagegen sei die Anpassung der Betriebsstättenkapazitäten erst in der “langen” Frist möglich. Sowohl für die “kurze” als auch für die “lange” Frist werden gesamtwirtschaftliche Optima für verschiedene Transportkostenniveaus bestimmt.

Da nicht sichergestellt ist, dass die verwendete Heuristik in jedem Fall Optima generiert, wurden für jedes Szenario 100 Lösungen generiert.<sup>6,7</sup> Aus diesen 100

---

<sup>4</sup>Für eine Einführung in die allgemeine Vorgehensweise von Tabu Search siehe z.B. GLOVER, 1989 und 1990.

<sup>5</sup>Existiert für  $D^o$  keine zulässige Lösung, kann das  $TS_{TPP}$  das Chromosom in eine zulässige Lösung überführen.

<sup>6</sup>Für das Referenzszenario ist eine solche Überprüfung nicht nötig, da hier *per definitionem* alle Standorte mit identischer Kapazitätsauslastung betrieben werden und — nach der Zuordnung der regionalen Milchaufkommen auf die Molkereien mittels des Simplex Algorithmus — die Zuordnung unausgelasteter Tankwagen als einziger optimierbarer Kostenfaktor verbleibt.

<sup>7</sup>Einen Anhaltspunkt für die Qualität der gefundenen Lösungen können *untere Schranken* für die einzelnen Kostenarten vermitteln. Zur Bestimmung der unteren Schranke einer Kostenart wurden jeweils sämtliche anderen Nebenbedingungen vernachlässigt. Die Schranke für die Transportkosten

Lösungen wurden Medianlösungen bestimmt, um verlässlichere Vergleiche *zwischen* den Szenarien zu ermöglichen.

### 3.1 Referenzszenario

Für das Referenzszenario ergeben sich im Optimum gesamtwirtschaftliche Kosten von 2637,133 Mio. Euro p.a. Diese teilen sich auf in Overheadkosten in Höhe von 331,968 Mio. Euro, Produktionskosten von 2039,697 Mio. Euro, sowie Transportkosten von 265,169 Mio. Euro. Hiermit verbunden ist eine jährliche Gesamtfahrleistung von 493,252 Mio.  $km$  ( $20,22 \frac{km}{t}$ ), wobei die Tankwagen durchschnittlich zu 97,1% ausgelastet sind.

Die Molkereistandorte wurden entsprechend ihrer Kapazitäten in drei Größenklassen (GK) eingeteilt:  $GK_I$ :  $0 t \leq k \leq 25.000 t$ ,  $GK_{II}$ :  $25.000 t < k \leq 125.000 t$ ,  $GK_{III}$ :  $k > 125.000 t$ . Von den 360 Molkereien des Basisdatensatzes entfallen 182 auf  $GK_I$ , 108 auf  $GK_{II}$  und 70 auf  $GK_{III}$ . Die Medianbetriebsgröße beträgt dabei 25.000 Tonnen. 25% (5%) des Milchaufkommens werden in Betriebsstätten mit einer Kapazität von maximal 125.000 (25.000) Tonnen und 75% (95%) in Betriebsstätten mit maximal 250.000 (550.000) Tonnen verarbeitet. Der Bereich zwischen 25% und 75% (5% und 95%) vermittelt einen Eindruck davon, welche "typischen" Molkereibetriebsgrößen für 50% (90%) der Milchproduktion verantwortlich sind.

Tabelle 2 beschreibt die Kostensituationen für die drei im Referenzszenario. Für jede Größenklasse einzeln und aggregiert ( $\Sigma GK$ ) enthält die Tabelle Angaben über die durchschnittlichen Overhead- ( $K_O$ ), Produktions- ( $K_P$ ) und Transportkosten ( $K_T$ ) sowie Gesamtkosten pro Tonne ( $\Sigma K$ ). Ferner sind für jede Größenklasse relative Anteile der Kostenarten  $i \in \{O, P, T\}$  an den Gesamtkosten ( $\frac{K_i}{\Sigma K}$ ) angegeben. Die Gesamtkosten betragen durchschnittlich 108,10 Euro pro Tonne. Dabei sind die Overheadkosten pro Tonne für alle Größenklassen identisch. Dies resultiert aus der Annahme identischer Molkereiauslastungen und proportional kapazitätsabhängiger Overheadkosten. Da die Produktionskosten aufgrund starker Economies of Scale in der Produktion (Kostensparnis pro Tonne von 25,65% zwischen der niedrigsten und der höchsten Produktionsstufe, vgl. Tabelle 1) die Transportkostenunterschiede zwischen den Größenklassen ( $< 11,1\%$ ) absolut überwiegen, lässt sich mit steigender Molkereikapazität ein Absinken der Gesamtkosten pro Tonne beobachten: Der Gesamtkostenvorteil pro Tonne gegenüber kleinen Molkereien beträgt 17,35%. Der Variationskoeffizient der Durchschnittskosten pro Tonne über alle Molkereien kann als Maß für die Angleichung bzw. Variabilität der Gesamtkosten pro Tonne

---

wurde durch die kapazitätsgerechte Verteilung der Milchaufkommen auf sämtliche Molkereien mit dem Simplex Algorithmus bestimmt.

interpretiert werden und beträgt im Referenzszenario 8,8%. Somit bestehen zwischen den Molkereien relativ hohe Unterschiede in den Durchschnittskosten, was auf gesamtwirtschaftliche Ineffizienzen hindeutet. Daher ist zu erwarten, dass es in der “kurzen” und “langen” Frist über Standortschließungen und Kapazitätsanpassungen zu einer weitgehenden Durchschnittskostenanpassung zwischen den Betrieben kommt.

TABELLE 2

### 3.2 Szenarien der “kurzen” Frist

Im Gegensatz zum Referenzszenario sind in der “kurzen” Frist die Kapazitätsauslastungen frei bestimmbar und Molkereistandorte können geschlossen werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass – ähnlich der realen Entwicklung der vergangenen Jahre – keine neuen Standorte geöffnet werden. Mittels der Heuristik werden Optimallösungen für verschiedene Transportkostenniveaus bei gegebener Verarbeitungstechnik bestimmt. Dazu werden die Transportkosten pro Kilometer mit verschiedenen Faktoren  $\tau = 1, 2, 4, 6, 10$  multipliziert, wobei  $\tau = 1$  das aktuelle Kostenniveau darstellt.<sup>8</sup>

Betrachten wir zunächst den Fall unveränderter Transportkosten. Im Vergleich zum Referenzszenario verringert sich die Summe der gesamtwirtschaftlichen Kosten um ca. 11% von 2637,133 Mio. Euro auf 2343,145 Mio. Euro. Die Aufteilung auf die Kostenarten sowie deren Abweichungen von deren unteren Schranken ist in Tabelle 3 dargestellt.

TABELLE 3

Wie die Angaben in der ersten Zeile von Tabelle 4 zeigen, ergibt sich für die “kurze” Frist ein Rückgang geöffneter Betriebsstätten von 360 (Referenzszenario)

---

<sup>8</sup>Für die relativ hohen Aufschlagsfaktoren können verschiedene Argumente angeführt werden. Erstens ist seit mehreren Jahren ein Transportkostenanstieg, beispielsweise durch steigende Preise für Treibstoff oder die Einführung der Autobahnmaut, zu beobachten. Zweitens dürfte die im Modell vorgenommene Bestimmung der Distanzen zwischen Molkereien und Regionen über Luftlinien sowie die Approximation intraregionaler Fahrstrecken zu einer deutlichen Unterschätzung der Transportkosten führen. Drittens werden im Modell keine Kapazitätsreserven bei den Tankfahrzeugen für mögliche Schwankungen im täglichen Milchaufkommen berücksichtigt. Viertens lassen sich die Aufschläge als eine Internalisierung negativer externer Effekte des Transports interpretieren. Solch eine Internalisierung wird z.B. durch die Einführung handelbarer Umweltnutzungsrechte angestrebt. Fünftens ist ein Kostenrückgang aufgrund technischen Fortschritts in der Produktionstechnik zu erwarten, wodurch sich die Bedeutung der Transportkosten relativ zu den anderen Kostenarten erhöht und damit Transporte als Kostenfaktor an Relevanz gewinnen.

auf 155-158, wobei sich insbesondere die Zahl kleinerer Molkereien verringert (von 108 auf 18-21).

Tabelle 5 enthält die Gesamtkosten pro Tonne für jede der drei Größenklassen sowie über alle Größenklassen. Angegeben sind die Statistiken für den 25% und 75% Quartilswert sowie für den Median über alle 100 Durchläufe. Gemessen an den Gesamtkosten pro Tonne ( $\Sigma K$ ) erhöht sich im Vergleich zum Referenzszenario die Wettbewerbsfähigkeit der Standorte: So ist ein Gesamtkostenrückgang von 108,10 Euro auf 96,05 Euro je Tonne zu beobachten. Die Unterschiede in den Gesamtkosten zwischen den Betriebsstätten sind dabei durchweg niedrig: Der Variationskoeffizient der Gesamtkosten pro Tonne beträgt jetzt 4,9% gegenüber 8,8% im Referenzszenario. Bei den in der Optimallösung der "kurzen" Frist verbleibenden Betrieben ist es also zu einer Angleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten gekommen. Wir können also die eingangs aufgestellte These verwerfen, dass die gesamtwirtschaftliche Kostenminimierung möglicherweise nicht mit einzelbetrieblichen Durchschnittskostenminima einhergehe.

Wie im Referenzszenario bleibt jedoch ein relativer Wettbewerbsvorteil großer gegenüber mittleren und mittlerer gegenüber kleineren Betriebsstätten erhalten. Während sich die Gesamtkosten je Tonne bei großen Betriebsstätten auf 95,07 Euro belaufen, steigen diese für Betriebe mittlerer Größe auf 96,80 und für kleine Betriebe auf 115,45 Euro je Tonne. Dieser Wettbewerbsvorteil (17,6% niedrigere Durchschnittskosten pro  $t$  für  $GK_{III}$  gegenüber  $GK_I$ ) entsteht aus Skalenerträgen in der Verarbeitung. Dieser Wettbewerbsvorteil bleibt in der "kurzen" Frist bestehen, da per Annahme erst in der "langen" Frist Kapazitätsanpassungen möglich sind.

Welches Bild ergibt sich für die verschiedenen Kostenarten? Im Vergleich zum Referenzszenario gehen die Transportkosten je Tonne von 10,88 Euro auf 8,02 Euro (vgl. Tabelle 6, Spalte  $K_T$ ) sowie die Fahrleistung pro Tonne (um ca. 26% von 20,22  $km$  auf 14,90  $km$ ) zurück. Im Unterschied zum Referenzszenario, in dem die Transportkosten nicht systematisch mit der Molkereigröße variieren, besteht nun ein eindeutiger Zusammenhang: Die Transportkosten steigen mit der Molkereigröße von 6,74 Euro je Tonne für kleine Betriebsstätten um 0,22 Euro für mittlere bzw. 1,87 Euro für große Betriebsstätten. Durch die bessere Auslastung der Molkereien sinken unabhängig von der Molkereigröße auch die Overheadkosten, durchschnittlich von 13,61 auf 10,01 Euro pro Tonne, was eine fast Vollausslastung der Betriebe impliziert (vgl. Tabelle 6, Spalte  $K_O$ ). Die Schließung relativ kleiner sowie die bessere Auslastung der verbleibenden Standorte führen auch zu einem Absinken der Verarbeitungskosten um 5,60 Euro auf jetzt 78,01 Euro je Tonne (vgl. Tabelle 6, Spalte  $K_P$ ).

Wie wirkt sich eine Vervielfachung der Transportkosten je Kilometer auf die ge-

samtwirtschaftlich optimale Molkereistruktur und die relative Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Größenklassen in der “kurzen” Frist aus? Ein Transportkostenanstieg schlägt sich in einem Anstieg der durchschnittlichen Gesamtkosten pro Tonne nieder (vgl. Tabelle 5,  $\Sigma GK$ -Spalte). Der relative Anstieg der Gesamtkosten ist dabei positiv mit der Molkereigröße korreliert (vgl. Tabelle 5, Spalten  $\Delta\%$ ). Während sich für  $\tau = 1$  und  $\tau = 2$  die Wettbewerbsfähigkeit gemessen an den Durchschnittskosten pro Tonne noch eindeutig mit steigender Betriebsgröße erhöht, weisen für  $\tau = 4$  mittlere und große Betriebsstätten nunmehr vergleichbare Gesamtkosten pro Tonne auf (vgl. Tabelle 5, Zeile 3). Für  $\tau > 4$  ergeben sich dann eindeutige Kostenvorteile der Größenklasse  $GK_{II}$  gegenüber  $GK_{III}$ . Kleine Betriebsstätten weisen zwar in jedem Fall die höchsten Gesamtkosten auf, allerdings verringert sich dieser Wettbewerbsnachteil mit steigenden Transportkosten sowohl absolut als auch relativ.

Der Variationskoeffizient der durchschnittlichen Gesamtkosten steigt dabei von 4,9% für  $\tau = 1$  auf maximal 19,9% für  $\tau = 10$ . Die Gesamtkosten pro Tonne variieren also um so stärker zwischen den Molkereien, je höher der unterstellte Transportkostenaufschlag ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Betriebe mit großen Erfassungsgebieten und/oder in schlechter Lage bei hinreichend hohen Transportkostenaufschlägen die relativ hohen Transportkosten nicht mehr (voll) durch Economies of Scale kompensieren können. Zunehmend wird daher die gegebene räumliche Lage des Betriebes und nicht die mit der Kapazitätsausstattung verbundenen Skalenerträge für die Standortentscheidung relevant. Mitunter kann dann auch der Betrieb von Molkereien mit höheren Durchschnittskosten vorteilhaft sein, weil die Alternative, nämlich die Schließung des Standorts und die damit verbundenen zusätzlichen Transportkilometer zu weiter entlegenen Molkereien, zu gesamtwirtschaftlich höheren Kosten führen würde.

Aufgrund der verbesserten Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittlerer Betriebsstättengrößen steigt auch ihre Anzahl in der Optimallösung. So erhöht sich die Zahl kleiner Betriebsstätten für  $\tau = 10$  gegenüber  $\tau = 1$  um rund 76, was nahezu einer Vervielfachung (387, 18%) entspricht, und auch die Zahl mittlerer Betriebsstätten steigt um 9. Demgegenüber geht die Zahl großer Betriebsstätten leicht von 62,5 auf 57 zurück. Insgesamt kommt es damit zu einem stetigen Anstieg der Zahl geöffneter Betriebsstätten von 156 für  $\tau = 1$  auf 237 für  $\tau = 10$  (vgl. Tabelle 4, Spalte  $\Sigma GK$ ). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch SONESSON UND BERLIN (2003: 261) für Schweden.

Wie verteilt sich das Milchaufkommen auf die verschiedenen Betriebsgrößen? Für  $\tau = 1$  werden 25% (5%) der Milch in Betriebsstätten mit einer Kapazität von maximal 125.000 (80.000) und 75% (95%) in Betriebsstätten mit maximal 281.000

(557.000) Tonnen verarbeitet. Mit steigenden Transportkosten verschiebt sich dieser Bereich hin zu kleineren Betriebsstätten zwischen 125.000 und 250.000 (25.000 und 507.000) Tonnen Kapazität für  $\tau = 10$ . Dabei liegt die Mediangröße der geöffneten Standorte bei 125.000 Tonnen für  $\tau = 1$  und 90.000 Tonnen für  $\tau = 10$ .

Die Veränderungen der verschiedenen Kostenarten pro Tonne mit  $\tau$  können Tabelle 6 entnommen werden. Der Anstieg der Overheadkosten pro Tonne um 5,22% für  $\tau = 10$  beispielsweise zeigt, dass die Auslastung der Molkereikapazitäten mit steigenden Transportkosten leicht abnimmt. Die schlechtere Auslastung sowie die mit steigenden Transportkosten durch Öffnung weiterer kleinerer Betriebsstätten sinkende durchschnittliche Molkereigröße führen auch zu einem Anstieg der Verarbeitungskosten je Tonne um 2,7%. Im Gegenzug bewirkt die Öffnung weiterer (kleinerer) Standorte, dass die Transportkosten nur unterproportional zu  $\tau$  steigen. Die Transportkilometer pro Tonne sinken durch zusätzliche Standortöffnungen von 14,9 km um 10,6% auf 13,32 km.

TABELLE 4

TABELLE 5

TABELLE 6

### 3.3 Szenarien der “langen” Frist

Während die Standortkapazitäten in der “kurzen” Frist exogen vorgegeben waren, stellen diese in der “langen” Frist, in der alle Produktionsfaktoren variabel sind, eine endogene Entscheidungsvariable dar. Welche Änderungen ergeben sich hieraus im Vergleich zu den beiden anderen Szenarien?

Zunächst soll wiederum der Fall unveränderter Transportkosten betrachtet werden. Im Vergleich zum Referenzszenario und dem der “kurzen” Frist verringert sich die Summe der gesamtwirtschaftlichen Kosten nochmals um ca. 16,4% bzw. 5,9% von 2637,133 bzw. 2343,145 auf nunmehr 2204,534 Mio. Euro. Die Anzahl der geöffneten Betriebsstätten geht von 150-162 in der “kurzen” Frist auf 63-66 zurück (vgl. Tabelle 7, Spalte  $\Sigma GK$ ). Die Kapazitätsanpassung zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen rentable Betriebsgrößen bei feststehender räumlicher Struktur langfristig *ausschließlich* im Bereich mittlerer und großer Betriebsstätten liegen (vgl. Tabelle 7).

Die Gesamtkosten je Tonne sinken um 5,76 Euro von 96,05 Euro in der “kurzen”

Frist auf jetzt 90,37 Euro (vgl. Tabelle 8, Spalte  $\Sigma K$ ). Die Varianz der Gesamtkosten pro Tonne über alle Betriebsstätten ist dabei deutlich niedriger als in der “kurzen” Frist. Insgesamt beträgt der Variationskoeffizient der Gesamtkosten pro Tonne in der “langen” Frist nur noch 2,0%, was eine nochmalige Angleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten im Vergleich zur “kurzen” Frist anzeigt. Dies bedeutet auch, dass der Betrieb von Molkereien mit höheren Durchschnittskosten in der “langen” Frist kaum noch vorteilhaft ist. Der Rückgang der Gesamtkosten geht einher sowohl mit einem Rückgang der Verarbeitungs- als auch der Transportkosten (vgl. Tabelle 8, Spalten  $K_P$  und  $K_T$ ). Die Fahrleistung pro Tonne reduziert sich durch die Kapazitätsanpassung transportgünstig gelegener Standorte von 14,90 *km* in der “kurzen” Frist auf jetzt 10,34 *km*.

Wie wirkt ein Transportkostenanstieg in der “langen” Frist? Die Gesamtkosten je Tonne über alle Molkereien sowie die Verteilung der Gesamtkosten auf die verschiedenen Kostenarten können ebenfalls Tabelle 8 entnommen werden. Dabei steigt der Variationskoeffizient der gesamten Durchschnittskosten wie in der “kurzen” Frist mit dem Transportkostenniveau an. Jedoch ist der Anstieg jetzt wesentlich schwächer. Stieg der Variationskoeffizient in der “kurzen” Frist noch von 4,9% für  $\tau = 1$  auf maximal 19,9% für  $\tau = 10$ , betragen die entsprechenden Werte in der “langen” Frist nur noch 2,0% bzw. 9,5%: Die durch die räumliche Anordnung bedingten Unterschiede in den Durchschnittskosten pro Tonne können also teilweise über Kapazitätsanpassungen ausgeglichen werden. Doch auch hier zeigt der Anstieg des Variationskoeffizienten, dass bei steigenden Transportkosten Standortentscheidungen zunehmend aufgrund der räumlichen Lage erfolgen.

Bei einem Vergleich des prozentualen Anstiegs der Gesamtkosten je Tonne bei  $\tau$ -Variationen in der “langen” und der “kurzen” Frist zeigt sich, dass der Anstieg in der “langen” Frist schwächer ausfällt. Während der relative Kostenanstieg in der “kurzen” Frist beispielsweise für  $\tau = 4$  23,74% beträgt, liegt der entsprechende Wert der “langen” Frist bei nur 17,26% und dies bei einem insgesamt niedrigeren Kostenniveau. Der geringere Anstieg ergibt sich dadurch, dass, im Unterschied zu den exogen gegebenen Kapazitäten der “kurzen” Frist, transportgünstig gelegene Standorte langfristig mit Kapazitätsausweitungen reagieren können.

## ABBILDUNG 2

Die Gesamtkosten pro Tonne in Abhängigkeit von Molkereikapazität und Transportkostenniveau zeigt Abbildung 2. Während für einen Anstieg der Betriebsstättengröße von 25.000 bis 225.000 Tonnen p.a. einheitlich ein Rückgang der Gesamtkosten zu beobachten ist, ergibt sich bei weiterem Kapazitätsanstieg nur für  $\tau = 1, 2, 4$  ein



leicht sinkender Trend. Für  $\tau = 6, 10$  ist kein klarer Trend festzustellen: Für das Intervall von 125.000 bis 425.000 Tonnen steigen die Durchschnittskosten sogar systematisch an. Eine plausible Interpretation dieses Ergebnisses ist, dass Transportkosten bei steigendem  $\tau$  relativ zu den anderen Kostenarten eine solche Bedeutung gewinnen, dass bei gegebener räumlicher Verteilung der Molkereien und Regionen keine weitere Angleichung der Durchschnittskosten über Kapazitätsanpassung möglich ist. Diese Interpretation wird dadurch gestützt, dass für  $\tau = 10$  in der "langen" Frist die Gesamtfahrleistung lediglich um 2,46% von der unteren Schranke (von 218,918 Mio. auf 213,670 Mio. *km*) abweicht.

Die Veränderungen der verschiedenen Kostenarten mit  $\tau$  zeigt ebenfalls Tabelle 8. Im Unterschied zur "kurzen" Frist bleiben in der "langen" Frist die Overheadkosten pro Tonne annahmegemäß konstant, weil sich die Kapazitäten optimal an die Verarbeitungsmengen anpassen können. Wie in der "kurzen" Frist kommt es zu einem Anstieg der Verarbeitungskosten je Tonne und zu einem unterproportionalen Transportkostenanstieg mit  $\tau$ . Die Transportkilometer pro Tonne sinken von 10,32 *km* für  $\tau = 1$  um 13,2% auf 8,97 *km* für  $\tau = 10$ .

### ABBILDUNG 3

Eine Übersicht über die geöffneten Betriebsstätten geben Tabelle 7 und Abbildung 3. Wie in der "kurzen" Frist ergibt sich auch hier ein struktureller Wandel des Molkereisektors. So erhöht sich mit steigenden Transportkosten die Zahl kleiner und mittlerer Betriebsstätten mit einer eindeutigen Häufung im Bereich von 25.000 bis 225.000 Tonnen Kapazität. Die steigende Zahl kleinerer Betriebe lässt sich durch die räumliche Struktur der Milcherzeugerregionen erklären: Kleinere Betriebsstätten sind häufig in der Peripherie angesiedelt, insbesondere im Südwesten. Ihr Betrieb lohnt vor allem bei hohen Transportkosten. Im Unterschied zur "kurzen" erhöht sich in der "langen" Frist aber auch die Zahl größerer Betriebsstätten. Diese entstehen typischerweise in der Nähe hoher regionaler Milchaufkommen, so dass diese Betriebe sowohl von Economies of Scale in der Produktion als auch von relativ niedrigen Transportkosten profitieren. Dies wirkt sich auch auf die Kostensituation in Abhängigkeit von der Molkereigröße aus. Während sich in der "kurzen" Frist für  $\tau > 4$  eine relative Vorteilhaftigkeit mittlerer Betriebsstättengrößen ergibt, bleibt in der "langen" Frist der relative Wettbewerbsvorteil größerer Betriebsgrößen weitgehend erhalten. Jedoch sind der Betriebsgröße nach wie vor durch die räumliche Verteilung der Milchaufkommen Grenzen gesetzt, so dass sich Betriebsstättengrößen mit zunehmenden Transportkosten im Bereich von 25.000 bis 325.000 Tonnen konzentrieren. Die Medianbetriebsgröße sinkt von 327.501 Tonnen für  $\tau = 1$  um 55,37%

auf 146.110 Tonnen für  $\tau = 10$ . Für  $\tau = 1$  werden dabei 25% (5%) des Milchaufkommens in Betriebsstätten mit einer Kapazität von maximal 318.802 (122.454) Tonnen und 75% (95%) in Betriebsstätten mit maximal 681.541 (912.403) Tonnen verarbeitet. Bei  $\tau = 10$  verschiebt sich dieser Bereich hin zu kleineren Betriebsstätten mit 151.410 bis 390.792 (89.251 und 565.010) Tonnen Kapazität.

TABELLE 7

TABELLE 8

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Welche Strukturanpassungen lassen sich ausgehend von der Ist-Situation zukünftig für den deutschen Molkereisektor erwarten? Wie viele Molkereien bleiben bestehen, lassen sich unterschiedliche Trends für unterschiedliche Molkereigrößen feststellen, und wie sensitiv sind die Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen Transportkostenentwicklung? Aufbauend auf repräsentativen Daten zu regionalen Milchaufkommen in Deutschland, sowie Kosten- und Kapazitätsinformationen von Molkereien versuchen wir diese Fragen über eine Simulationsstudie im Rahmen eines kapazitierten Standortplanungsproblems zu beantworten.

Mit Hilfe des Modells wird unter Beachtung von Nebenbedingungen eine gesamtwirtschaftlich optimale Struktur des Sektors für drei Szenarien bestimmt. Im so genannten Referenzszenario wird angenommen, dass alle Molkereistandorte bei identischer Auslastung erhalten bleiben. Eine Optimierung im Sinne einer Transportkostenminimierung ist hier allein über die Alloziierung der regionalen Milchaufkommen auf die Molkereien möglich. Im Szenario der “kurzen” Frist können zudem Standorte geschlossen und die verbleibenden geöffneten Molkereien mit unterschiedlichen Kapazitätsauslastungen betrieben werden. Zusätzlich können in der “langen” Frist Anpassungen der Molkereikapazitäten vorgenommen werden. Von Greenfield-Investitionen wird in allen Szenarien abstrahiert.

Im Vergleich zum Referenzszenario, das von Überkapazitäten und hohen Transportkosten charakterisiert ist, ergibt sich in der “kurzen” Frist über Standortschließungen ein Abbau von Überkapazitäten und über eine bessere Auslastung von transportgünstig positionierten Molkereien ein deutlicher Rückgang der benötigten Transportkilometer. Die Modellergebnisse korrespondieren mit dem in den letzten Jahren beobachtbaren empirischen Trend hin zu weniger Betriebsstätten bei gleichzeitiger Zunahme der durchschnittlichen Betriebsstättengröße. Die Ergebnisse variieren da-

bei in Abhängigkeit von der erwarteten zukünftigen Transportkostenentwicklung. Sind die Transportkostensteigerungen hinreichend, kann der beschriebene Trend abgebremst oder umgekehrt werden. Insbesondere die Zahl kleiner Molkereien ist positiv mit dem unterstellten Transportkostenniveau korreliert. Qualitativ ähnliche Ergebnisse ergeben sich auch für die “lange” Frist, wobei die Zahl an Standortschließungen noch höher ist. Ein Anstieg der durchschnittlichen Molkereikapazität ergibt sich hier nicht nur über die Schließung vormals kleiner Standorte, sondern auch über einzelbetriebliche Kapazitätserweiterungen. Wie in der “kurzen” Frist ergibt sich mit steigenden Transportkosten ein Trend hin zu Betriebsgrößen im Bereich mittlerer Kapazitäten.

Die Optima der “kurzen” und “langen” Frist sind weiterhin durch eine Angleichung der durchschnittlichen Kosten pro Tonne zwischen den Molkereien charakterisiert. In der “kurzen” Frist kommt es zu einer starken, in der “langen” zu einer nahezu vollkommenen Angleichung. Die verbleibenden Differenzen lassen sich auf die angenommene Immobilität der Produktionsfaktoren und Markteintrittsbarrieren (keine Greenfield-Investitionen) zurückführen. Diese Restriktionen gewinnen mit steigenden Transportkosten an Bedeutung und führen zu einer höheren Variabilität der Durchschnittskosten zwischen den einzelnen Betrieben. Der Konzentrationsprozess endet aufgrund der feststehenden räumlichen Strukturen noch vor der vollkommenen Angleichung der einzelbetrieblichen Durchschnittskosten.

Ursache des Strukturwandels sind Unterschiede in den einzelbetrieblichen Durchschnittskosten. So zeigen sich für die “kurze” Frist bei aktuell herrschenden Transportkosten Wettbewerbsvorteile großer Betriebsstätten gegenüber kleinen und mittleren. Kleine Molkereien sind deshalb darauf angewiesen, sich durch weiche Faktoren (z.B. Kunden- oder Zuliefererbindungen) oder die Produktion von besonderen Produkten (z.B. Spezialitäten- oder Regionalvermarktung) dem Wettbewerbsdruck zu entziehen. Andererseits kann sich eine relative Vorteilhaftigkeit kleinerer, insbesondere aber mittlerer Betriebsstätten dann ergeben, wenn die Bedeutung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten zunimmt, z.B. aufgrund eines direkten Anstiegs der Transportkosten oder kostensenkenden technischen Fortschritts in der Milchverarbeitung. In der “langen” Frist bleiben auch Wettbewerbsvorteile, die auf Economies of Scale in der Produktion beruhen, nicht bestehen: Die Molkereien können ihre Kapazitäten an die veränderten Erfordernisse anpassen, so dass schließlich allein die räumliche Lage zu den Milchregionen als entscheidender Wettbewerbsfaktor verbleibt.

Durch eine verbesserte Datenlage, z.B. über einzelbetriebliche Produktsortimente und Kostenfunktionen, könnte die Aussagekraft des Modells weiter erhöht werden. Auch könnten verschiedene Modellprämissen durch realitätsnähere Annahmen

ersetzt werden. Hier zu nennen sind beispielsweise die Annahme kürzester Entfernungen (Luftlinien) zwischen Molkereien und der Verzicht auf die Modellierung verschiedener Straßentypen und die damit verbundene Annahme identischer Tagesreichweiten unabhängig vom Straßentyp. Trotz der vereinfachenden Annahmen sind wir davon überzeugt, dass die vorgelegten Ergebnisse eine gute Approximation für die zu erwartende Entwicklung im deutschen Molkereisektor zulassen.

Eine interessante Erweiterung des Modells wäre die Berücksichtigung externer Effekte des Transports und im Milchverarbeitungsprozess. Aber es sind auch Anwendungen in anderen Sektoren vorstellbar, in denen es zu Trade-Offs zwischen verschiedenen Kostenarten kommt, und in denen Produktion und (Weiter-) Verarbeitung räumlich divergieren. Hierzu zählen viele Bereiche gerade des Agrarsektors.

## Literatur

- BEASLEY, D., D.R. BULL und R.R. MARTIN (1993). An overview of genetic algorithms: Part 1, Fundamentals. *University Computing*, 15(2):58–69.
- BUTLER, M., P. HERLIHY und P.B. KEENAN (2005). Integrating information technology and operational research in the management of milk collection. *Journal of Food Engineering*. In Druck.
- CORMEN, T.H., C. STEIN, R.L. RIVEST und C.E. LEISERSON (2001). *Introduction to Algorithms*. The MIT Press, 2nd Ed.
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2004). *Situationsbericht 2005. Trends und Fakten zur Landwirtschaft*.
- GLOVER, F. (1989). Tabu Search - Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1:190–206.
- GLOVER, F. (1990). Tabu Search - Part II. *ORSA Journal on Computing*, 2:4–32.
- GRÜNERT, T. (2001). *Lagrangian Tabu Search*, In: Ribeiro, C. und P. Hansen (Hrsg.): *Essays and Surveys in Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, 21–39.
- JANZ, C. U. (2002). *Unternehmenszusammenschlüsse in der Milch- und Zuckerindustrie unter wettbewerbsrechtlichen und ökonomischen Gesichtspunkten*. Dissertation, Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- KLOSE, A. und A. DREXL (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1):4–29.

SONESSON, U. und J. BERLIN (2003). Environmental impact of future milk supply chains in Sweden: a scenario study. *Journal of Cleaner Production*, 11:253–266.

**Tabelle 1:** Verarbeitungskosten.

Produktions- stufe	Mengenober- grenze in $t$	Verarbeitungs- kosten in $\frac{Euro}{t}$
0	0	—
1	50.000	98,68
2	100.000	85,39
3	200.000	78,74
4	300.000	76,49
5	400.000	75,36
6	500.000	74,70
7	600.000	74,29
8	700.000	73,98
9	800.000	73,73
10	900.000	73,52
11	$\infty$	73,37

Quelle: JANZ, 2002: 268.

**Tabelle 2:** Referenzszenario. Kosten pro Tonne.

	$GK_I$		$GK_{II}$		$GK_{III}$		$\Sigma GK$	
	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i}{\Sigma K} \times 100$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i}{\Sigma K} \times 100$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i}{\Sigma K} \times 100$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i}{\Sigma K} \times 100$
$K_O$	13,61	11,00	13,61	12,49	13,61	13,31	13,61	12,59
$K_P$	98,68	79,76	85,07	78,06	77,33	75,63	83,61	77,35
$K_T$	11,44	9,25	10,30	9,45	11,31	11,06	10,88	10,06
$\Sigma K$	123,72		108,98		102,25		108,10	

Kosten pro Tonne für die verschiedenen Größenklassen  $GK_I$ - $GK_{III}$  und insgesamt ( $\Sigma GK$ ) sowie deren Verteilung auf die Kostenarten.

**Tabelle 3:** "Kurze" Frist. Abweichung der Kostenmediane von unteren Schranken.

$\tau$	$K_O$	$\Delta\%$	$K_P$	$\Delta\%$	$K_T$	$km$	$\Delta\%$	$\Sigma K$	$\Delta\%$
$\underline{K}$	243,958		1879,566		170,385	316,58		2293,908	
1	244,133	0,07	1903,152	1,25	195,656	363,54	14,83	2343,145	2,14
2	246,606	1,09	1914,148	1,84	372,367	345,94	9,27	2533,236	2,31
4	249,837	2,41	1928,926	2,63	720,607	334,73	5,73	2899,292	2,83
6	252,678	3,57	1939,305	3,18	1065,754	330,04	4,25	3257,603	3,30
10	256,884	5,30	1954,602	3,99	1748,949	324,96	2,65	3960,429	4,03

$\underline{K}$  bezeichnet untere Schranken.  $\Delta\%$  ist die prozentuale Abweichung von der unteren Schranke, wobei für  $\Sigma K$  die prozentuale Abweichung als  $\frac{K_0 + K_P + 0,5382 \cdot km}{2293,908}$  bestimmt wurde. Alle Kostenangaben in Mio. Euro p.a.

**Tabelle 4:** "Kurze" Frist. Anzahl geöffneter Betriebsstätten.

$\tau$	$GK_I$			$GK_{II}$			$GK_{III}$			$\Sigma GK$			
	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$\Delta\%$
1	18,00	19,50	21,00	73,00	74,00	75,00	62,00	62,50	63,00	155,00	156,00	158,00	
2	33,00	34,00	36,00	74,36	78,00	79,00	5,41	60,00	61,00	-4,00	171,00	173,00	10,90
4	55,00	56,50	59,00	189,74	80,00	81,00	8,11	58,00	58,00	-7,20	194,00	195,00	25,00
6	72,00	74,00	76,00	279,49	81,75	82,00	10,81	56,00	57,00	-8,80	211,00	213,00	36,54
10	92,00	95,00	97,00	387,18	85,00	86,00	14,86	56,00	57,00	-8,80	234,00	237,00	51,92

Anzahl für jede Größenklasse  $GK_I - GK_{III}$  und insgesamt  $\Sigma GK$ .  $\Delta\%$  gibt die Änderung des Medianwertes  $n_{0,50}$  gegenüber  $\tau = 1$  an.

**Tabelle 5:** "Kurze" Frist. Gesamtkosten pro Tonne.

$\tau$	$GK_I$			$GK_{II}$			$GK_{III}$			$\Sigma GK$			
	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\Delta\%$
1	115,16	115,45	115,68	96,69	96,81	96,86	95,00	95,07	95,16	96,04	96,05	96,06	
2	121,66	121,90	122,17	103,30	103,36	103,47	6,77	103,04	103,10	8,44	103,82	103,85	8,11
4	134,10	134,41	134,89	116,44	116,53	116,71	20,38	118,66	118,75	24,91	118,82	118,84	23,74
6	145,61	146,02	146,34	129,55	129,71	129,90	33,99	134,30	134,41	41,38	133,52	133,53	39,03
10	168,87	169,32	170,11	155,98	156,15	156,40	61,30	165,17	165,40	73,97	162,29	162,34	69,02

Gesamtkosten pro Tonne für Größenklassen  $GK_I - GK_{III}$  und über alle Größenklassen  $\Sigma GK$ .  $\Delta\%$  gibt die Änderung des Medianwertes  $\frac{K}{q}|_{0,50}$  gegenüber  $\tau = 1$  an.

**Tabelle 6:** "Kurze" Frist. Aufschlüsselung nach Kostenarten.

$\tau$	$K_O$			$K_P$			$K_T$			$\Sigma K$			
	$\frac{K_O}{q} _{0,25}$	$\frac{K_O}{q} _{0,50}$	$\frac{K_O}{q} _{0,75}$	$\frac{K_P}{q} _{0,25}$	$\frac{K_P}{q} _{0,50}$	$\frac{K_P}{q} _{0,75}$	$\frac{K_T}{q} _{0,25}$	$\frac{K_T}{q} _{0,50}$	$\frac{K_T}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\Delta\%$
1	10,00	10,01	10,01	77,97	78,01	78,08	7,95	8,02	8,07	96,04	96,05	96,06	
2	10,08	10,11	10,13	78,43	78,46	78,50	15,24	15,26	15,30	103,82	103,84	103,85	8,11
4	10,23	10,24	10,26	79,03	79,07	79,10	1,35	29,50	29,54	268,30	118,82	118,84	23,74
6	10,34	10,36	10,39	79,46	79,49	79,55	1,90	43,62	43,69	43,72	133,52	133,53	39,03
10	10,48	10,53	10,57	80,05	80,12	80,17	2,70	71,62	71,69	71,74	162,29	162,34	69,02

"Kurze" Frist. Aufschlüsselung nach Kostenarten über alle Größenklassen.  $\Delta\%$  gibt die Änderung des Medianwertes  $\frac{K}{q}|_{0,50}$  gegenüber  $\tau = 1$  an.

**Tabelle 7:** "Lange" Frist. Anzahl geöffneter Betriebsstätten.

$\tau$	$GK_I$			$GK_{II}$			$GK_{III}$			$\Sigma GK$		
	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$\Delta\%$	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$\Delta\%$	$n_{0,25}$	$n_{0,50}$	$n_{0,75}$	$\Delta\%$
1	0	0	0	—	10,75	12	13,25	—	52	53	54	—
2	0,00	1,00	1,00	—	17,00	18,00	20,00	50,00	62,00	63,00	64,00	18,87
4	10,00	11,00	11,00	—	23,00	24,00	25,00	100,00	72,00	73,00	75,00	37,74
6	10,00	11,00	12,00	—	30,00	31,00	32,00	158,33	80,00	80,00	80,00	50,94
10	13,00	13,00	14,00	—	42,00	42,00	43,00	250,00	79,00	79,00	80,00	49,06

Anzahl geöffneter Betriebsstätten für verschiedene Größenklassen  $GK_I - GK_{III}$  und über alle Größenklassen  $\Sigma GK$ .  $\Delta\%$  gibt die Änderung des Medianwertes  $n_{0,50}$  gegenüber  $\tau = 1$  an.

**Tabelle 8:** "Lange" Frist. Gesamtkosten pro Tonne.

$\tau$	$K_O$			$K_P$			$K_T$			$\Sigma K$		
	$\frac{K_O}{q} _{0,25}$	$\frac{K_O}{q} _{0,50}$	$\frac{K_O}{q} _{0,75}$	$\Delta\%$	$\frac{K_P}{q} _{0,25}$	$\frac{K_P}{q} _{0,50}$	$\frac{K_P}{q} _{0,75}$	$\Delta\%$	$\frac{K_T}{q} _{0,25}$	$\frac{K_T}{q} _{0,50}$	$\frac{K_T}{q} _{0,75}$	$\Delta\%$
1	10,00	10,00	10,00	—	74,75	74,79	74,84	—	5,53	5,57	5,59	—
2	10,00	10,00	10,00	0,00	75,36	75,39	75,42	0,79	10,39	10,41	10,43	87,03
4	10,00	10,00	10,00	0,00	75,95	75,99	76,02	1,59	19,96	19,99	20,03	259,02
6	10,00	10,00	10,00	0,00	76,51	76,53	76,55	2,32	29,35	29,37	29,39	427,54
10	10,00	10,00	10,00	0,00	77,01	77,03	77,07	2,99	48,27	48,30	48,32	767,58

Gesamtkosten pro Tonne sowie ihre Verteilung auf die Kostenarten über alle Größenklassen.  $\Delta\%$  gibt die Änderung des Medianwertes  $\frac{K}{q}|_{0,50}$  gegenüber  $\tau = 1$  an.



Abbildung 1: Räumliche Verteilung der Milchaufkommen und Molkereibetriebsstätten.

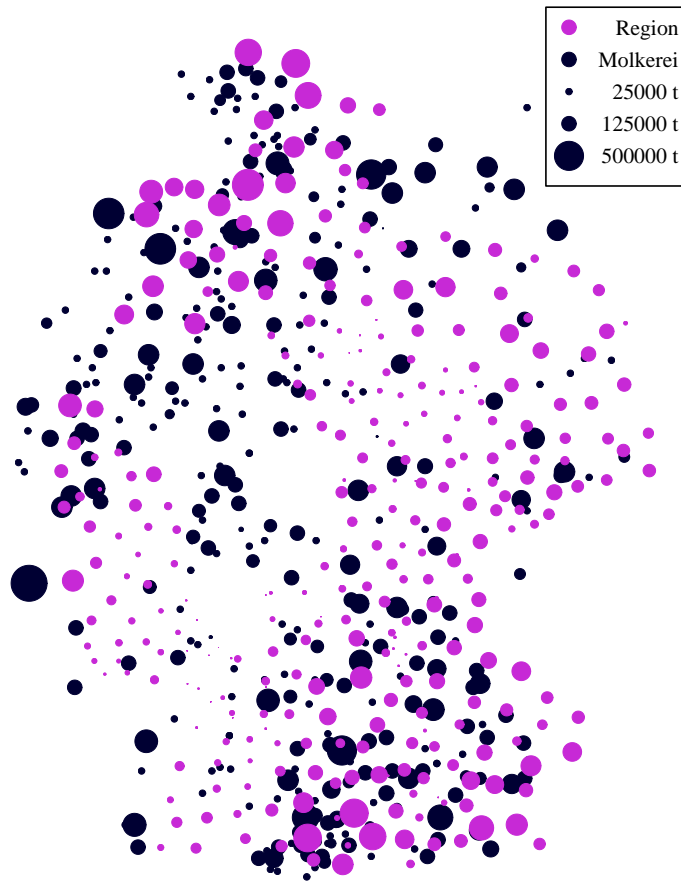


Abbildung 2: "Lange" Frist. Kosten in Euro pro Tonne.

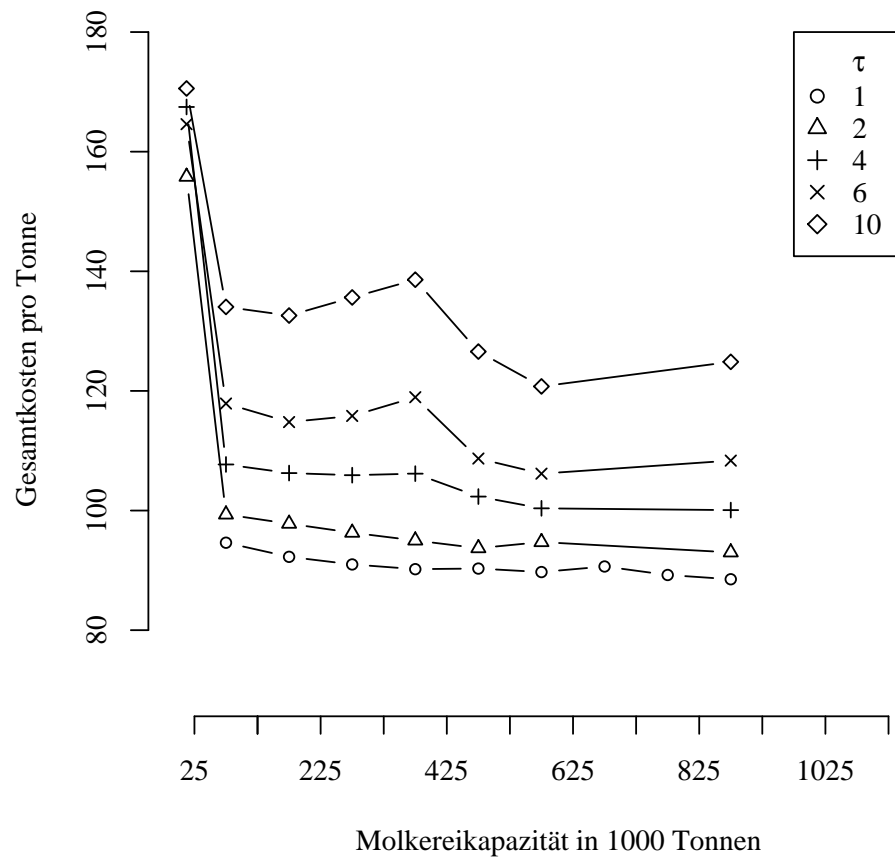
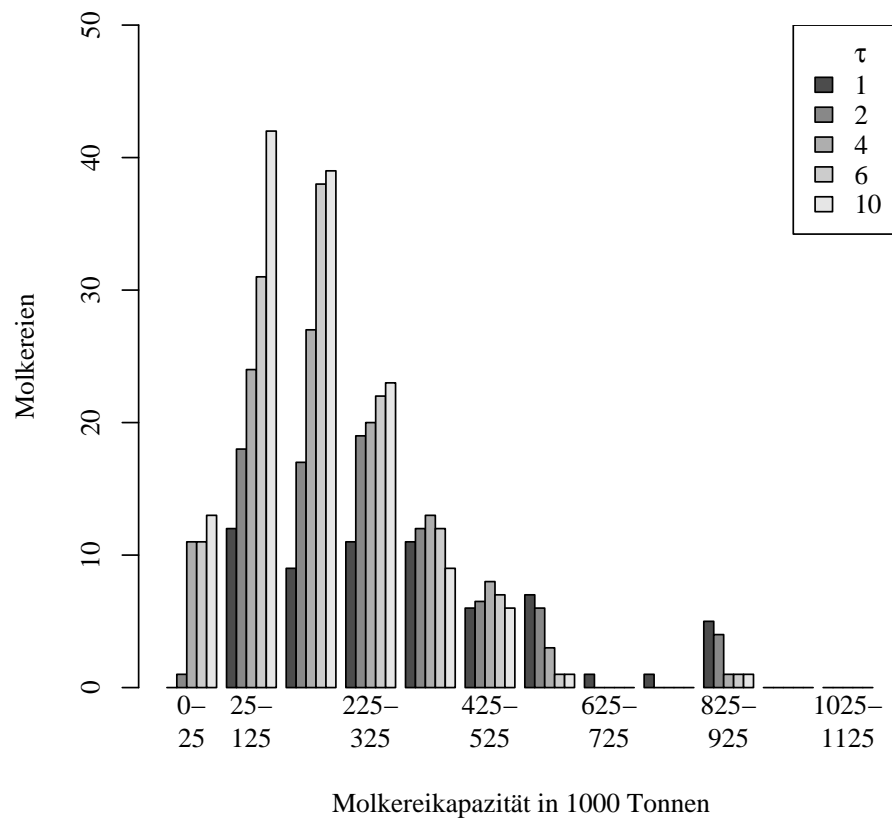


Abbildung 3: "Lange" Frist. Verteilung der Molkereien auf Kapazitätsintervalle.



**Diskussionsbeiträge  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft  
der Freien Universität Berlin**

**2005**

- 2005/1 CORNEO, Giacomo  
Media Capture in a Democracy : the Role of Wealth Concentration  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/2 KOULOVIATIANOS, Christos / Carsten SCHRÖDER / Ulrich SCHMIDT  
Welfare-Dependent Household Economies of Scale: Further Evidence  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/3 CORNEO, Giacomo  
Steuern die Steuern Unternehmensentscheidungen? 20 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/4 RIESE, Hajo  
Otmar Issing und die chinesische Frage – Zu seinem Ausflug in die Wechselkurspolitik  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/5 BERGER, Helge / Volker NITSCH  
Zooming Out: The Trade Effect of the EURO in Historical Perspective  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/6 JOCHIMSEN, Beate / Robert NUSCHELER  
The Political Economy of the German Länder Deficits  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/7 BITZER, Jürgen / Monika KERÉKES  
Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?  
A Reexamination. 19 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/8 KONRAD, Kai A.  
Silent Interests and All-Pay Auctions  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/9 NITSCH, Volker  
Currency Union Entries and Trade  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/10 HUGHES HALLETT, Andrew  
Are Independent Central Banks as Tough as They Pretend? 11 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/11 KOULOVIATIANOS, Christos / Carsten SCHRÖDER / Ulrich SCHMIDT  
Non-market time and household well-being  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/12 NITSCH, Manfred / Jens GIERSDORF  
Biotreibstoffe in Brasilien. 22 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/13 Lateinamerika als Passion. Ökonomie zwischen den Kulturen.  
Ein Interview mit MANFRED NITSCH. 14 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*
- 2005/14 MISLIN, Alexander  
Die Stabilisierungsfunktion von Geldpolitik in der kurzen Frist. 38 S.  
*Volkswirtschaftliche Reihe*