

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

Economies of scale in production versus transport diseconomies: on the structural change within the dairy sector

Ole Boysen

Trinity College, Dublin, Irland

Carsten Schröder

Freie Universität Berlin

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird der Strukturwandel im deutschen Molkereisektor anhand eines sektoralen Optimierungsmodells simuliert. Ergebnis sind kostenminimale Strukturen des Molkereisektors für verschiedene, sich in Zeithorizont und Transportkostenniveau unterscheidende Szenarien. 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 Abschwächung des Trends, falls sich die Bedeutung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten in der Milchverarbeitung erhöht.

Stichwörter

kapazitiertes Standortplanungsproblem; Marktstruktur; Transport

Abstract

In this article, we simulate structural change within the German dairy sector employing a sector-wide optimization model. As a result, we obtain cost minimizing structures of the dairy sector for various scenarios differentiated by time horizon and level of transportation cost. We demonstrate that the model is capable of explaining the current trend which is characterized by a decrease in the number of dairies while average capacity is increasing. However, this development is less pronounced if transportation cost rises relative to other costs.

Key words

capacitated facility location problem; market structure; transportation

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 jedoch seit Jahren rückläufig (vgl. WEINDLMAIER, 2004a: 70), eine Entwicklung, die in den meisten anderen EU-Ländern bereits weiter fortgeschritten ist (vgl. DRESCHER und MAURER, 1999: 166). Der beobachtete Strukturwandel kann als Reaktion auf stagnierende Absatzmengen, eine

zunehmend wettbewerbsorientierte Agrarpolitik, die EU-Osterweiterung und auf eine zunehmende Marktmacht des Handels zurückgeführt werden. Vor diesem Hintergrund wird auch zukünftig mit einer Fortsetzung dieses Trends gerechnet. So erwartet der Bauernverband, dass von 112 Molkereiunternehmen mit 243 Betriebsstätten im Jahr 2003 noch ca. 30 Molkereiunternehmen im Jahr 2010 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 von Skalenerträgen in der Verarbeitung profitieren, weisen sie gleichzeitig 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 in der Regel leicht verderblich sind, was regelmäßige Transporte in kurzen Abholintervallen und in speziellen Fahrzeugen erzwingt (BUTLER et al., 2005). Es ist zu erwarten, dass sich die relative Bedeutung der Transportkosten zu anderen Kostenarten, z.B. aufgrund steigender Rohölpreise, Autobahnmaut und neuer Regulierungen im Bereich Umwelt (Kyoto-Protokoll, Ökosteuer), zukünftig erhöhen wird.

Welche Struktur des Molkereisektors lässt sich kurz- und langfristig erwarten, wenn es zu einer Veränderung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten kommt? In welchem Ausmaß sind z.B. kleine oder große Betriebsstätten von einer Änderung der relativen Bedeutung 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 der Standard-CFLP-Formulierung durch die Berücksichtigung (i) variabler Skalenerträge in der Verarbeitung, (ii) zeitlicher Restriktionen (Abholintervalle) und (iii) trans-

porttechnischer Restriktionen (Unteilbarkeit der Fahrzeuge). Als Datenbasis fungieren einzelbetriebliche Daten von 360 Molkereibetriebsstätten und Daten zu Milchaufkommen für insgesamt 316 deutsche Landkreise. 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 Abschwächung und weitaus frühere Beendigung des Trends 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 es im gesamtwirtschaftlichen Optimum der langen Frist mit variablen Produktionskapazitäten zwischen allen Betrieben zu einer nahezu vollständigen Angleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten kommt.

Der Artikel gliedert sich wie folgt: Datengrundlage, Modellbildung und Lösungsmethode werden in Kapitel 2 vorgestellt. Kapitel 3 präsentiert die Ergebnisse. In Kapitel 4 wird der Einfluss von Modellannahmen und Datenrestriktionen auf die vorgestellten Ergebnisse diskutiert. Kapitel 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

2. Datengrundlage, Modellbildung und Lösungsmethode

2.1 Datengrundlage

Derzeit existiert unseres Wissens keine allgemein zugängliche Datenbasis, die repräsentative Mikrodaten beispielsweise zu Molkereikapazitäten, Produktsortimenten, Verarbeitungs-, Overhead-, Erfassungs- und Distributionskosten, regionalen Milcherzeugern und zu Großlagern des Handels beinhaltet. Als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen mussten daher mehrere Datensätze zusammengeführt werden:

- Milchaufkommen. Die jährlichen Produktionsmengen der einzelnen Milchbauern liegen als aggregierte Daten für insgesamt 316 deutsche Landkreise (nachfolgend: Regionen) für 2000/2001 vor.¹
- Molkereibetriebsstätten. Verwendet wurde eine Aufstellung für das Jahr 2000 mit molkereispezifischen Kapazitäten.²
- Kosten.

- Rohstoffkosten. Im Folgenden wird entsprechend empirischer Ergebnisse auf EU-Ebene (KEANE, 1998a: 8, AARTS et al., 1997, und IRISH FARMERS JOURNAL, 1997) davon ausgegangen, dass es keinen systematischen Einfluss der Molkereigröße auf den Auszahlungspreis an die Bauern gibt. Es werden daher identische Rohstoffkosten für alle Molkereien unterstellt.
- Transportkosten. Nach Janz (2002: 253) und der dort zitierten Literatur kann bei einem Milchtankwagen mit einem Fassungsvermögen von 9 t mit Anfahrtsstückkosten pro 100 Entfernungskilometer von 1,17 Pfennig je kg erfasster Milch (entspricht 0,00598 Euro) gerechnet werden. Dies setzt allerdings eine Vollausslastung des Fahrzeugs voraus. Die (auslastungsunabhängigen) Gesamtkosten je Transportkilometer eines Milchtankwagens sind dann $\frac{0,00598 \text{ €}}{100 \text{ km} \times \text{kg}} \times 9.000 \text{ kg} = 0,5382 \frac{\text{€}}{\text{km}}$. Die Transportkosten pro Tonne variieren aber nicht nur mit der Entfernung. Einflussfaktoren sind ferner (a) die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, (b) die Tankwagenkapazität ($\eta = 9 \text{ t}$), (c) die maximale tägliche Fahrleistung eines Tankwagens ($\omega = 480 \text{ km}$) und (d) die Länge der Abholzyklen (mindestens jeden zweiten Tag).
- Verarbeitungskosten. In der Literatur wird einheitlich von steigenden Skalenerträgen in der Produktion ausgegangen (vgl. z.B. CARAVELI und TRAILL, 1998, Dalton et al., 2002, HÖPER et al., 2000, oder KEANE, 1998a). Diese variieren zudem mit dem jeweils gefertigten Produktsortiment. Da keine einzelbetrieblichen Produktsortimente für die Molkereien vorliegen, wird hier ein Durchschnittssortiment mit einem stufenförmigen Kostenverlauf entsprechend JANZ (2002) unterstellt (vgl. Tabelle 1).³

Tabelle 1. Verarbeitungskosten

Produktionsstufe	Mengenobergrenze in t	Verarbeitungskosten in €/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	∞	73,37

Quelle: JANZ, 2002: 268

- Overheadkosten. Overheadkosten sind die Kosten, die unabhängig von der Auslastung jährlich für den Betrieb einer Molkerei anfallen. Da uns keine anderen wissenschaftlichen Berechnungen zum Niveau der Overheadkosten im Molkereisektor bekannt sind, grei-

¹ Die Daten wurden von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, bereitgestellt.

² Die Daten wurden von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, bereitgestellt.

³ Bei Verfügbarkeit einzelbetrieblicher Daten könnten im Modell aber auch einzelbetriebliche Kostensituationen in Abhängigkeit vom Produktsortiment berücksichtigt werden.

fen wir auf Auskünfte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (Kiel) zurück. Hiernach kann als „Daumenregel“ mit Overheadkosten von 10 Euro je Tonne Molkereikapazität kalkuliert werden.

2.2 Abbildung des Molkereisektors

Zur Abbildung der räumlichen Struktur des Molkereisektors werden die insgesamt 360 Betriebsstätten und die geografischen Zentren von 316 Regionen in Deutschland im kartesischen Koordinatensystem verortet. Hierüber lässt sich eine 360×316 -Entfernungsmatrix zwischen den Betriebsstätten einerseits und den geografischen Zentren der Regionen andererseits konstruieren.

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 negativ mit der regionalen *Milchdichte* ($\frac{t}{km^2}$) korreliert ist.⁴ Im vorliegenden Modell

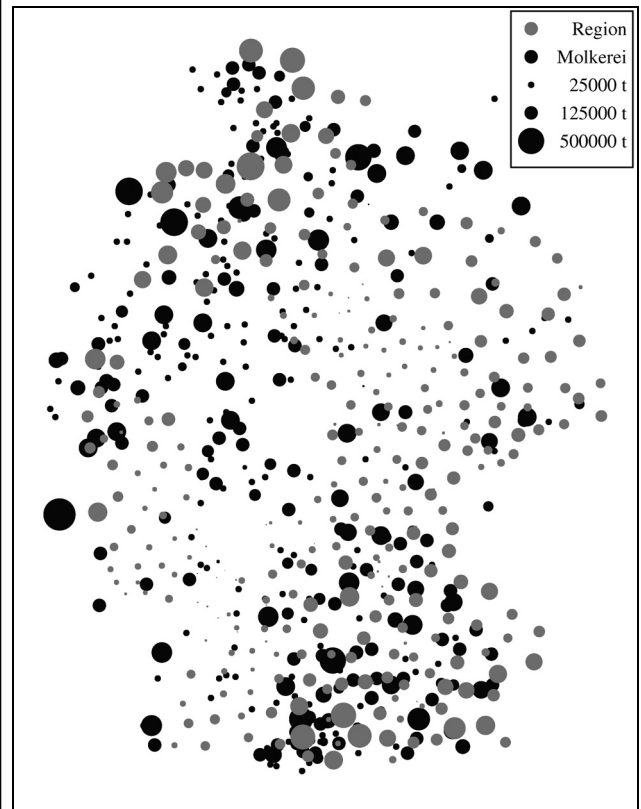
umfährt daher jeder Tankwagen zur Approximation dieser Strecke ein Segment eines der Fläche der Region entsprechenden Kreises, das proportional zu der zu erfassenden Menge ist. Von Fahrstrecken zwischen Molkereien und Großlagern des Handels wird abstrahiert. Hintergrund für diese vereinfachende Annahme ist zum einen, dass die Berücksichtigung der Distribution den Rechenaufwand bei der Problemlösung explodieren ließe. Zum anderen zeigen Ergebnisse verschiedener empirischer Studien, dass die Distributionskosten für ein durchschnittliches Produktsortiment eindeutig von den Milcherfassungskosten dominiert werden (vgl. z.B. KEANE, 1998a: 1, und KEANE, 1998b: 6). Dies ist vor allem auf eine Verdichtung des Rohstoffs Milch bei der Verarbeitung zurückzuführen: In Deutschland wurden im Jahr 2004 zwar 27 100 000 t Milch an die Molkereien geliefert, dem standen aber Endprodukte mit einem Gesamtgewicht von nur noch 11 680 000 t, oder rund 43 % der Ausgangsmenge gegenüber.⁵ Die im Vergleich zu den Abholkosten geringere Bedeutung der Distributionskosten ist auch darauf zurückzuführen, dass die zurückzulegende Strecke zwischen Molkerei und Zentrallager typischerweise kürzer als die Sammelstrecke bei der Befüllung des Tankwagens ist. Während bei der Milcherfassung mehrere Stopps bei verschiedenen Milchbauern typisch sind, kommt es bei der Belieferung der Zentrallager in der Regel nur zu einem einzigen Stopp. Weiterhin wird darauf verwiesen, dass die Bedeutung der Kosten zur Belieferung der Zentrallager zukünftig noch weiter abnehmen wird, weil der Lebensmitteleinzelhandel selbst vermehrt Logistikfunktionen übernimmt, was sich auf die Distributionskosten senkend auswirken dürfte (vgl. DEUTSCHE MILCHINDUSTRIE, 2005; WEINDLMAIER, 2002; WEINDLMAIER, 2004a).

Das über Milchquoten restringierte exogen gegebene Milchaufkommen der 316 Regionen beläuft sich im vorlie-

genden Datensatz auf insgesamt 24 395 801 t, wobei das Milchaufkommen im Median bei 50 986,5 t und die Milchdichte im Median über alle Regionen bei $58,46 \frac{t}{km^2}$ liegt.

Die Gesamtkapazität aller 360 Molkereien beträgt demgegenüber 33 196 800 t bei einer Mediankapazität von 25 000 t. Die räumliche Verteilung von regionalen Milchaufkommen und Betriebsstätten kann Abbildung 1 entnommen werden. Die Kreisflächen sind jeweils proportional zum jeweiligen Milchaufkommen der Region bzw. zur Molkereikapazität.

Abbildung 1. Räumliche Verteilung der Milchaufkommen und Molkereibetriebsstätten



Quelle: eigene Darstellung

2.3 Zielfunktion und Nebenbedingungen

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

Minimiere

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

unter den Nebenbedingungen

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

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

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

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

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

⁴ Im vorliegenden Modellrahmen werden die regionalen Milchaufkommen und somit die regionalen Milchdichten als intertemporal konstant angesehen. Diese Annahme wurde getroffen, um die Auswirkungen einer relativen Erhöhung der Transportkosten von Effekten anderer Einflussvariablen zu isolieren.

⁵ Davon entfielen auf Milch 6 000 000 t, Sahne 540 000 t, Sauermilch etc. 2 850 000 t, Butter 440 000 t, Käse 1 850 000 t (vgl. MILCHINDUSTRIEVERBAND, 2004: 68).

$$\begin{aligned}
 (7) \quad & m_{l-1} \cdot y_{dl} < q_{dl} && \forall d \in D, l \in L_d \\
 (8) \quad & \sum_{l \in L_d} q_{dl} = \sum_{p \in P} x_{pd} && \forall d \in D \\
 (9) \quad & c_{pd} + 2 \cdot \pi \cdot r_p \cdot \frac{x_{pd}}{b_p \cdot z_{pd}} \leq \omega && \forall p \in P, d \in D \\
 (10) \quad & x_{pd} \in \mathfrak{R}_0^+ && \forall p \in P, d \in D \\
 (11) \quad & y_{dl} \in \{0,1\} && \forall d \in D \\
 (12) \quad & z_{pd} \in \mathfrak{N}_0 && \forall p \in P, d \in D \\
 (13) \quad & q_{dl} \in \mathfrak{R}_0^+ && \forall d \in D, l \in L_d
 \end{aligned}$$

mit

b_p	Milchaufkommen in t p.a. in Region p , Entfernung Region p zu Molkerei d zuzüglich Radius r_p und zurück,
c_{pd}	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 Produk- tionsstufe l ,
r_p	Radius der Region p ,
s_l	Produktionskosten pro t auf Produktionsstufe l ,
x_{pd}	Transportmenge von Region p zu Molkerei d ,
$y_{dl} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	Molkerei d wird auf Produktionsstufe l betrieben, sonst,
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 ,
δ	minimale Anzahl von Abholungen pro Jahr ($\delta = 183$ bei zweitägigem Abholzyklus),
κ	Transportkosten eines Tankwagens pro km,
η	Kapazität eines Tankwagens in t,
ω	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. Da identische Rohstoffkosten für alle Molkereien unterstellt wurden, können diese bei der Modellbildung vernachlässigt werden. 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 be-

stimmte Abnahmemenge der Molkerei d aus Region p minimal benötigte Anzahl an Tankwagen bei minimaler Anzahl der Abholungen per anno (δ) und gegebener Fahrzeugkapazität (η). 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.

2.4 Lösungsverfahren

Kapazitierte Standortplanungsprobleme oder *Capacitated Facility Location Problems* (CFLP) sind kombinatorische Optimierungsaufgaben, die vielfach Anwendung in der Produktions- und Distributionsplanung finden.⁶ Dabei geht es um die Planung von Standorten sowie um die Festlegung von Lieferbereichen und -mengen. Die Auswahl der Standorte erfolgt mit dem Ziel der Kostenminimierung aus einer vorgegebenen Menge möglicher Standorte unter Beachtung verschiedener Nebenbedingungen. Als Kostenarten werden typischerweise Verarbeitungs-, Transport- und Overheadkosten unterschieden. Als Nebenbedingungen sind insbesondere festgelegte periodische Liefermengen und Kapazitäten der Standorte zu beachten. Dabei wird vereinfachend unterstellt, dass die Verarbeitungs- und Transportkosten proportional zur Transportmenge sind (vgl. GÖRTZ und KLOSE, 2004: 1f.).

Auch der Molkereisektor lässt sich als kapazitiertes Standortplanungsproblem beschreiben: Aus der gegebenen Menge bestehender Molkereistandorte ist eine Menge von Standorten zu wählen und deren Auslastung zu bestimmen, so dass die gesamtwirtschaftlichen Kosten unter Beachtung regelmäßiger und vollständiger Milcherfassung, maximaler Tagesfahrleistungen der Tankfahrzeuge und maximaler Molkerei- und Fahrzeugkapazitäten minimiert werden.

Im Vergleich zu regulären CFLP erfordert eine Anwendung im Molkereisektor zwei Modellmodifikationen. Zum einen unterstellen reguläre CFLP *konstante* Verarbeitungskosten je Ausbringungseinheit, was bei Skalenerträgen wie bei Molkereien zu verzerrten Ergebnissen führen würde. Zum anderen wird in regulären CFLP-Modellen ein linearer Zusammenhang zwischen Transportkosten pro Tonne und Fahrstrecke unterstellt. Im Molkereisektor sind jedoch weitere Einflussvariablen (Anzahl, Kapazität und maximale Fahrleistung der Tankwagen sowie Abholzyklen) zu berücksichtigen.

⁶ Zu einer einführenden Darstellung in die Standortplanung vgl. z.B. die relevanten Abschnitte in GÜNTHER und TEMPELMEIER, 2005, oder in DOMSCHKE und DREXL, 2005.

CFLP sind NP-schwer (siehe z.B. GRÜNERT, 2001), d.h. der Rechenaufwand wächst nicht proportional, sondern exponentiell mit der Problemgröße an. Für viele Probleme praxisrelevanter Größe ist der Einsatz exakter Lösungsverfahren daher ausgeschlossen, weshalb in der Literatur verschiedene approximative heuristische Verfahren entwickelt wurden, die „gute“, aber nicht notwendigerweise optimale Lösungen in akzeptabler Rechenzeit liefern. Für einen aktuellen Überblick über Modelle und Lösungsverfahren für Probleme der Standortplanung siehe KLOSE und DREXL (2005) oder GÖRTZ und KLOSE (2004).

Das hier verwendete Lösungsverfahren ist ein *Genetischer Algorithmus*. Genetische Algorithmen sind generelle Suchstrategien für kombinatorische Optimierungsprobleme, die basierend auf einer Analogie zur Evolution versuchen, den Lösungsraum „geschickt“ und – so möglich – nur partiell zu durchsuchen. Genetische Algorithmen wurden erfolgreich zur Lösung einer Vielzahl komplexer kombinatorischer Optimierungsprobleme eingesetzt.⁷ Im vorliegenden Fall wird der Algorithmus zur Lösung der als Unterprobleme entstehenden Transportprobleme (TPP) hybridisiert. 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 besser angepasste 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^0 aus allen potenziellen Standorten D sei $D^0 \subseteq D$. Eine Population besteht aus einer Vielzahl solcher Standortkonstellationen. Um die Population bzgl. ihrer „Angepasstheit“ 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^0 muss jedoch zunächst ein Transportproblem gelöst werden: Hierbei werden die regionalen Milchaufkommen so auf D^0 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.).

Dies ist die Ausgangslösung für das TS_{TPP}-Verbesserungsverfahren⁸: Das TS_{TPP} nimmt unter Beachtung der übrigen Nebenbedingungen eine Umverteilung der regionalen Milchaufkommen auf die Molkereien vor, so dass für D^0 die Summe aus Transport- und Verarbeitungskosten minimiert wird.⁹

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. Die alte Generation wird vollständig durch eine neue Generation ersetzt. Dabei wird das schlechteste Chromosom der neuen Generation ausgetauscht durch das beste der alten Generation.

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

Da keine einzelbetrieblichen Daten über die Auslastungsgrade der Molkereien vorliegen, erfolgte im so genannten *Referenzszenario* für das Ausgangsjahr 2001 eine gesamtwirtschaftliche Kostenminimierung unter der Bedingung, dass das gesamte Milchaufkommen gleichmäßig so auf sämtliche Molkereien verteilt wird, dass alle Betriebsstätten eine einheitliche Kapazitätsauslastung von $\frac{24.395.8011}{33.196.8001} = 73,5\%$ aufweisen.

Das Referenzszenario dient als Vergleichslösung für zwei Alternativszenarien. Die vereinfachende Annahme identischer Kapazitätsauslastungen aller Betriebsstätten im Referenzszenario beeinflusst die Optimallösung für die Alternativszenarien selbst nicht.

Im ersten Alternativszenario ist es im Unterschied zum Referenzszenario möglich, Betriebsstätten zu schließen und die geöffneten Molkereien mit unterschiedlichen Kapazitätsauslastungen zu betreiben. Die Kapazität wird jedoch als fixer Faktor betrachtet. Aufgrund der Existenz eines fixen Produktionsfaktors wird entsprechend dem ökonomischen Sprachgebrauch von einer Analyse der „kurzen“ Frist gesprochen. Im Alternativszenario der „langen“ Frist stellen dagegen auch die Betriebsstättenkapazitäten einen variablen Produktionsfaktor dar.

Sowohl für die „kurze“ als auch für die „lange“ Frist werden gesamtwirtschaftliche Optima für verschiedene Transportkostenniveaus bestimmt. Analog ließen sich diese Optima auch für verschiedene Niveaus der Verarbeitungskosten bestimmen. Hierauf soll jedoch nachfolgend verzichtet werden, da eine quantitative Änderung der Verarbeitungskosten als wirkungsäquivalent zu einer Transportkostenvariation interpretiert werden kann: In beiden Fällen kommt es zu einer Bedeutungsverschiebung der Kostenarten relativ

⁷ Zu einer detaillierten Einführung in Genetische Algorithmen siehe z.B. BEASLEY et al., 1993, MICHALEWICZ und FOGEL, 2000, oder REEVES, 2003.

⁸ Für eine Einführung in die allgemeine Vorgehensweise von Tabu Search siehe z.B. GLOVER, 1989 und 1990.

⁹ Existiert für D^0 keine zulässige Lösung, kann das TS_{TPP} das Chromosom in eine zulässige Lösung überführen.

zueinander. Eine Vervielfachung der Transportkosten, von der insbesondere große Molkereien mit großem Erfassungsgebiet betroffen sind, ist beispielsweise vergleichbar mit einer relativen Abnahme der Economies of Scale in der Milchverarbeitung.¹⁰

Da nicht sichergestellt ist, dass die verwendete Heuristik in jedem Fall eine Optimallösung erzeugt, werden für beide Alternativszenarien und für jedes Transportkostenniveau je 100 Lösungen generiert.^{11,12} Die Mediane der jeweiligen Lösungsvektoren dienen als Grundlage sowohl für Vergleiche innerhalb eines Szenarios bei verschiedenen Transportkostenniveaus als auch für Vergleiche zwischen den Szenarien bei gleichen Transportkosten.

3.1 Referenzszenario

Für das Referenzszenario ergeben sich im Optimum gesamtwirtschaftliche Kosten von 2 637,133 Mio. Euro per anno. Diese teilen sich auf in Overheadkosten in Höhe von 331,968 Mio. Euro, Produktionskosten von 2 039,697 Mio. Euro, sowie Transportkosten von 265,169 Mio. Euro. Hiermit verbunden ist eine jährliche Gesamtfahrleistung von 493,252 Mio. km ($20,22 \frac{\text{km}}{\text{t}}$), wobei die Tankwagen zu durchschnittlich 97,1 % ausgelastet sind.

Die Molkereistandorte werden entsprechend ihrer Kapazitäten in drei Größenklassen (GK) eingeteilt: $GK_I : 0 \text{ t} \leq k \leq 25.000 \text{ t}$, $GK_{II} : 25.000 \text{ t} \leq k \leq 125.000 \text{ t}$, $GK_{III} : k > 125.000 \text{ t}$. Von den 360 Molkereien des Basis-

datensatzes entfallen 182 auf GK_I , 108 auf GK_{II} und 70 auf GK_{III} . Die Medianbetriebsgröße beträgt dabei 25 000 t. Wie verteilt sich die insgesamt zu verarbeitende Milchmenge auf die verschiedenen Betriebsstättengrößen? Nur 5 % des Milchaufkommens werden in Betriebsstätten mit einer Kapazität von 25 000 t oder

weniger verarbeitet. Auf Molkereien mit einer Kapazität von maximal 125 000 t entfallen 25 % des Milchaufkommens. Als typische Betriebsstättengröße können Betriebe zwischen 125 000 t und 250 000 t Kapazität angesehen werden. In diesen werden 50 % des gesamten Milchaufkommens verarbeitet.

Tabelle 2 beschreibt die Kostensituation im Referenzszenario. Für jede Größenklasse einzeln und über alle Klassen aggregiert (ΣGK) enthält die Tabelle Angaben über die durchschnittlichen Overhead- (K_O), Produktions- (K_P) und Transportkosten (K_T) sowie über die Gesamtkosten pro Tonne (ΣK). 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 großer gegenüber kleinen Molkereien beträgt 17,35 %. Der Variationskoeffizient der

Tabelle 2. Referenzszenario. Kosten pro Tonne

	GK _I		GK _{II}		GK _{III}		ΣGK	
	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i \times 100}{\Sigma K}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i \times 100}{\Sigma K}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i \times 100}{\Sigma K}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K_i \times 100}{\Sigma K}$
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
ΣK	123,72		108,98		102,25		108,10	

Anmerkungen: Kosten pro Tonne für die verschiedenen Größenklassen GK_I – GK_{III} und insgesamt (ΣGK) sowie deren Verteilung auf die Kostenarten.

Quelle: eigene Berechnungen

¹⁰ Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wurden exemplarische Berechnungen für proportionale Variationen der Verarbeitungskosten zwischen +25 % und -25 % durchgeführt. Die Richtung und Größenordnung der entstehenden Effekte ist vergleichbar mit denen einer Transportkostenvervielfachung. Die Ergebnisse stellen die Autoren bei Bedarf gerne zur Verfügung.

¹¹ 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 Simplex Algorithmus – die Zuordnung unausgelasteter Tankwagen als einziger optimierbarer Kostenfaktor verbleibt.

¹² Einen Anhaltspunkt für die Qualität der gefundenen Lösungen können untere Schranken für die einzelnen Kostenarten vermitteln (siehe Tabelle 3). Zur Bestimmung der unteren Schranke einer Kostenart wurden jeweils sämtliche anderen Nebenbedingungen vernachlässigt. Die Schranke für die Transportkosten wurde durch die kapazitätsgerechte Verteilung der Milchaufkommen auf sämtliche Molkereien mit dem Simplex Algorithmus bestimmt.

Durchschnittskosten pro Tonne über alle Molkereien kann als Maß für die Angleichung bzw. Variabilität der Gesamtkosten pro Tonne 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 stärkeren Angleichung der Durchschnittskosten zwischen den Betrieben kommt.¹³

3.2 Szenarien der „kurzen“ Frist

Im Gegensatz zum Referenzszenario sind in der „kurzen“ Frist die Kapazitätsauslastungen frei bestimmbar und Mol-

¹³ Zu den gegenläufigen Effekten von Economies of Scale in der Verarbeitung versus Diseconomies im Transport vgl. auch die Diskussion in WEINDLMAIER, 2004a: 72-74. Einen Vergleich empirischer Ergebnisse zwischen Irland und Deutschland liefert KEANE, 1998a: 8.

kereistandorte 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.¹⁴ Jedoch weisen auch jüngere empirische Trends auf eine relative Erhöhung der Transportkosten im Vergleich zu anderen Kostenarten hin. So ist es insbesondere in 2005 zu einem rasanten Anstieg der Treibstoffpreise gekommen. Auch die Einführung der Autobahnmaut sowie die Einführung der „Ökosteuer“ verteuern den Transport. Weiterhin 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. Auch werden im Modell keine Kapazitätsreserven bei den Tankfahrzeugen für mögliche Schwankungen im täglichen Milchaufkommen berücksichtigt. Die Aufschläge lassen sich zudem im Sinn einer Internalisierung negativer externer Effekte des Transports interpretieren. Solch eine Internalisierung wird z. B. durch die Einführung handelbarer Umweltnutzungsrechte angestrebt.

Betrachten wir zunächst den Fall unveränderter Transportkosten. Im Vergleich zum Referenzszenario verringert sich die Summe der gesamtwirtschaftlichen Kosten um ca. 11 % von 2 637,133 Mio. Euro auf 2 343,145 Mio. Euro. Die Aufteilung auf die Kostenarten sowie deren Abweichungen von deren unteren Schranken ist in Tabelle 3 dargestellt. Wie die Angaben in der ersten Zeile von Tabelle 4 zeigen, ergibt sich für die „kurze“ Frist ein Rückgang geöffneter Betriebsstätten von 360 (Referenzszenario) auf 155-158, wobei sich insbesondere die Zahl kleinerer Molkereien verringert (von 108 auf 18-21). Tatsächlich vollzog sich ein vergleichbar radikaler Wandel auch in der Praxis. So reduzierte sich allein zwischen 1994 und 2004 die Zahl der Molkereien in Deutschland um rund 30 % (THIELE, 2004). Nach einer in 2004 durchgeführten Erhebung zur ökonomischen Nachhaltigkeit der Strukturen in der Molkereiwirtschaft wird allein in den kommenden zehn Jahren von einer weiteren Abnahme zwischen 50-60 % ausgegangen (ebenda).

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 (ΣK) erhöht sich im Vergleich zum Referenzszenario die Wettbewerbsfähigkeit der Standorte: Die Gesamtkosten sinken von 108,10 Euro auf 96,05 Euro je Tonne. Die Unterschiede in den Gesamtkosten zwischen den Betriebsstätten sind dabei durchweg niedriger: 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 somit zu einer Angleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten gekommen. Wir können also die eingangs aufgestellte These verwerfen, dass die gesamtwirtschaftliche Kostenminimierung möglicherweise nicht mit einer Konvergenz hin zu 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 Kosten pro Tonne für GK_{III} gegenüber GK_I) entsteht aus Skalenerträgen in der Verarbeitung und bleibt in der „kurzen“ Frist bestehen, da per Annahme erst in der „langen“ Frist Kapazitätsanpassungen möglich sind.

Tabelle 3. „Kurze“ Frist. Abweichung der Kostenmediane von unteren Schranken

τ	K_O	$\Delta\%$	K_P	$\Delta\%$	K_T	km	$\Delta\%$	ΣK	$\Delta\%$
\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

Anmerkungen: \underline{K} bezeichnet die untere Schranke. $\Delta\%$ ist die prozentuale Abweichung von der unteren Schranke, wobei für ΣK die prozentuale Abweichung als $(K_O + K_P + 0,5382 \cdot km) / 2293,908$ bestimmt wurde. Alle Kostenangaben in Mio. € p.a.

Quelle: eigene Berechnungen

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. um 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).

¹⁴ In den vergangenen drei Jahrzehnten sind die Kosten der Milcherfassung aufgrund technischen Fortschritts trotz höherer Faktorkosten relativ konstant geblieben. Die Festlegung der Aufschlagfaktoren erfolgte jedoch nicht zur Abbildung bisheriger Trends. Ausschlaggebend war vielmehr die Frage, welche Änderungen einen Strukturwandel auslösen könnten. Die Aufschlagfaktoren lassen sich in diesem Sinne als ein Rückgang der Verarbeitungskosten relativ zu den Transportkosten interpretieren.

Wie wirkt sich eine Vervielfachung der Transportkosten je Kilometer auf die gesamtwirtschaftlich optimale Struktur des Molkereisektors und die relative Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Größenklassen in der „kurzen“ Frist aus? Ein Transportkostenanstieg spiegelt sich zunächst in einem Anstieg der durchschnittlichen Gesamtkosten pro Tonne wider (vgl. Tabelle 5, Spalte ΣGK). 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 umso 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 den Transportkostenanstieg nicht mehr (voll) durch Ausnutzung von Economies of Scale kompensieren können. Zunehmend wird daher die gegebene räumliche Lage des Betriebes und nicht der mit der Kapazitätsausstattung verbundene Skalenertrag für die Standortentscheidung relevant. Mitunter kann 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. Auch die Zahl mittlerer Betriebsstätten steigt um 11. Demgegenüber geht die Zahl großer Betriebsstätten leicht von ca. 63 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 ΣGK).

Wie verteilt sich das Milchaufkommen auf die verschiedenen Betriebsgrößen? Für Transportkosten von $\tau = 1$ werden nur 5 % bzw. 25 % des Milchaufkommens in Betrieben mit maximal 80 000 t respektive maximal 125 000 t Kapazität verarbeitet. Weitere 50 % des gesamten Milchaufkommens entfallen dagegen auf Betriebe mit 125 000 t bis 281 000 t Kapazität. Mit steigenden Transportkosten verschiebt sich dieser Bereich hin zu kleineren Betriebsstätten. Die Medianbetriebsgröße sinkt dabei von 125 000 t für $\tau = 1$ auf 90 000 t für $\tau = 10$.

Die Veränderungen der verschiedenen Kostenarten pro Tonne mit τ können Tabelle 6 entnommen werden. Der Anstieg der Overheadkosten pro Tonne um 5,22 % für $\tau = 10$ beispielsweise zeigt, dass die Auslastung der Molke- reikapazitäten mit steigenden Transportkosten leicht ab-

nimmt. 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 mit τ steigen. Die Transportkilometer pro Tonne sinken durch zusätzliche Standortöffnungen von 14,9 km um 10,6 % auf 13,32 km.

Wie verteilen sich die geöffneten Molkereien räumlich? Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein zentral in Deutschland gelegener Punkt gewählt, der dem Zentrum des Landkreises Northeim (Niedersachsen) entspricht. Von diesem Punkt ausgehend wurden vier Sektoren gebildet, die im Uhrzeigersinn nordwestlich (NW), nordöstlich (NO), südöstlich (SO) und südwestlich (SW) verortet sind. Anschließend wurden in jeder dieser vier Regionen die geöffneten Molkereien ausgezählt und den drei Größenklassen zugewiesen. Abbildung 2 fasst die Ergebnisse für die vier Regionen in Abhängigkeit von τ zusammen. In allen Regionen führt ein Anstieg der Transportkosten gegenüber den Verarbeitungskosten zu einer steigenden Zahl kleinerer Betriebsstätten. Dabei sind die Effekte regional unterschiedlich stark ausgeprägt: Während sich z.B. die Zahl kleiner Betriebsstätten im Nordwesten für $\tau = 4$ gegenüber $\tau = 1$ vervierfacht, ist im Südosten nur eine Verdoppelung zu beobachten.

3.3 Szenarien der „langen“ Frist

Während die Standortkapazitäten in der „kurzen“ Frist exogen vorgegeben waren, stellen diese in der „langen“ Frist ebenfalls einen variablen Produktionsfaktor und somit eine endogene Entscheidungsvariable dar. Die Kapazitäten für die einzelnen Standorte sind hier also ein Ergebnis des Kostenminimierungsansatzes. Welche Änderungen ergeben sich 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 2 637,133 bzw. 2 343,145 auf nunmehr 2 204,534 Mio. Euro. Die Anzahl der geöffneten Betriebsstätten geht von 155-158 in der „kurzen“ Frist auf 63-66 zurück (vgl. Tabelle 7, Spalte ΣGK). Die hohen Kapazitäten der verbleibenden Betriebe zeigen, dass unter den getroffenen Annahmen rentable Betriebsgrößen bei feststehender räumlicher Struktur langfristig fast ausschließlich im Bereich mittlerer und großer Betriebsstätten liegen (vgl. Tabelle 7).

Die Gesamtkosten je Tonne sinken um 5,68 Euro von 96,05 Euro in der „kurzen“ Frist auf jetzt 90,37 Euro (vgl. Tabelle 8, Spalte ΣK). Die Varianz der Gesamtkosten pro Tonne über alle Betriebsstätten ist dabei deutlich niedriger als „kurzfristig“. Insgesamt beträgt der Variationskoeffizient der Gesamtkosten pro Tonne „langfristig“ 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 „langfristig“ kaum noch vorteilhaft ist. Der Rückgang der Gesamtkosten geht sowohl mit einem Rückgang der Verarbeitungs- als auch der Transportkosten einher (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.

Tabelle 4. „Kurze“ Frist. Anzahl geöffneter Betriebsstätten

τ	GK _I				GK _{II}				GK _{III}				ΣGK			
	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%
1	18	20	21		73	74	75		62	63	63		155	156	158	
2	33	34	36	74,36	77	78	79	5,41	60	60	61	-4,00	171	173	174	10,90
4	55	57	59	189,74	80	80	81	8,11	58	58	58	-7,20	194	195	197	25,00
6	72	74	76	279,49	82	82	83	10,81	56	57	57	-8,80	211	213	215	36,54
10	92	95	97	387,18	85	85	86	14,86	56	57	57	-8,80	234	237	239	51,92

Anmerkungen: Anzahl für jede Größenklasse GK_I – GK_{III} und insgesamt (ΣGK). Rundungsdifferenzen möglich. Δ% gibt die Änderung des Medianwertes n_{0,50} gegenüber τ=1 an.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 5. „Kurze“ Frist. Gesamtkosten pro Tonne

τ	GK _I			GK _{II}			GK _{III}			ΣGK			
	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	Δ%
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	103,04	103,10	103,17	103,82	103,84	103,85	8,11
4	134,10	134,41	134,89	116,44	116,53	116,71	118,66	118,75	118,85	118,82	118,84	118,87	23,74
6	145,61	146,02	146,34	129,55	129,71	129,90	134,30	134,41	134,52	133,52	133,53	133,55	39,03
10	168,87	169,32	170,114	155,98	156,15	156,40	165,17	165,40	165,61	162,29	162,34	162,38	69,02

Anmerkungen: Gesamtkosten pro t für jede Größenklasse GK_I – GK_{III} und über alle Größenklassen (ΣGK). Δ% gibt die Änderung des Medianwertes (K/q)_{0,50} gegenüber τ=1 an.

Quelle: eigene Berechnungen

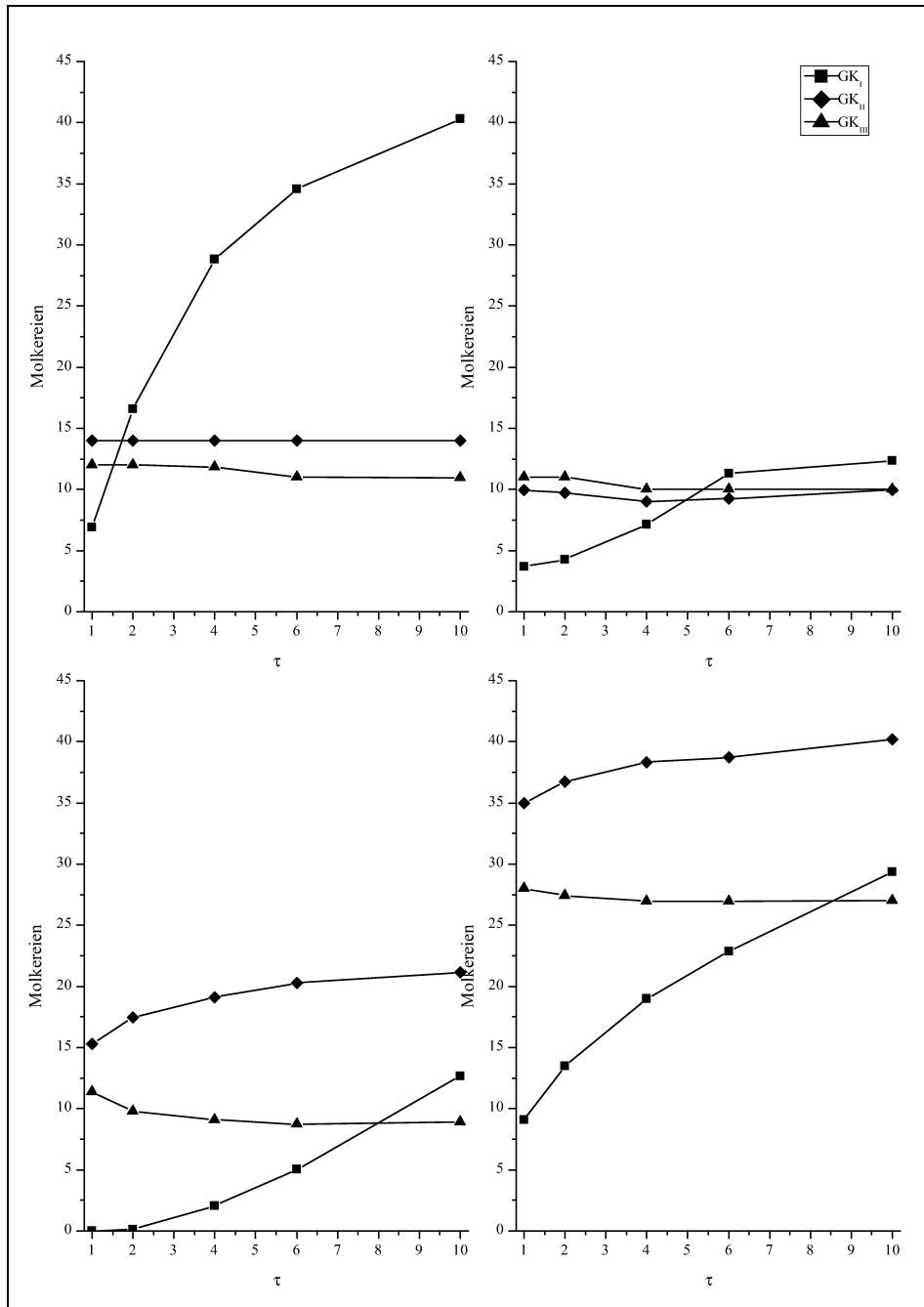
Tabelle 6. „Kurze“ Frist. Aufschlüsselung nach Kostenarten

τ	K _O			K _P			K _T			ΣK			
	$\frac{K_O}{q} _{0,25}$	$\frac{K_O}{q} _{0,50}$	$\frac{K_O}{q} _{0,75}$	$\frac{K_P}{q} _{0,25}$	$\frac{K_P}{q} _{0,50}$	$\frac{K_P}{q} _{0,75}$	$\frac{K_T}{q} _{0,25}$	$\frac{K_T}{q} _{0,50}$	$\frac{K_T}{q} _{0,75}$	$\frac{K}{q} _{0,25}$	$\frac{K}{q} _{0,50}$	$\frac{K}{q} _{0,75}$	Δ%
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	29,50	29,54	29,57	118,82	118,84	118,87	23,74
6	10,34	10,36	10,39	79,46	79,49	79,55	43,62	43,69	43,72	133,52	133,53	133,55	39,03
10	10,48	10,53	10,57	80,05	80,12	80,17	71,62	71,69	71,74	162,29	162,34	162,38	69,02

Anmerkungen: Aufschlüsselung der Kosten über alle Größenklasse. Δ% gibt die Änderung des Medianwertes ($\frac{K}{q}$)_{0,50} gegenüber τ=1 an.

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 2. „Kurze“ Frist. Räumliche Verteilung



Quelle: eigene Darstellung

Struktur mit steigenden Transportkosten immer weniger geeignet ist und so, bei gegebenen regionalen Milchaufkommen, starke Anreize für die Planung neuer Standorte auf der grünen Wiese entstehen.

Bei einem Vergleich der Effekte einer Variation von τ auf die Gesamtkosten je Tonne in „langer“ und „kurzer“ Frist zeigt sich, dass der Gesamtkostenanstieg „langfristig“ schwächer ausfällt. Während der relative Kostenanstieg in der „kurzen“ Frist beispielsweise für $\tau = 4$ noch 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 „kurzfristig“ exogenen Kapazitäten, transportgünstig gelegene Standorte langfristig mit Kapazitätsausweitungen reagieren können.

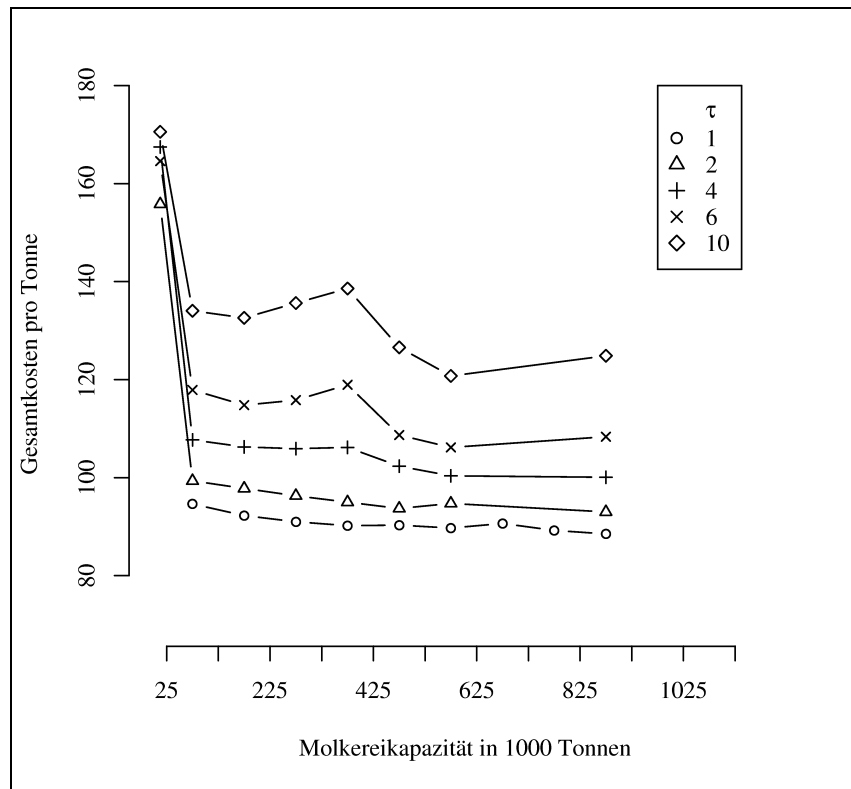
Die Gesamtkosten pro Tonne in Abhängigkeit von Molkekapazität und Transportkostenniveau zeigt Abbildung 3.¹⁵ Während für einen Anstieg der Betriebsstättengröße von 25 000 t bis 225 000 t per anno einheitlich ein Rückgang der Gesamtkosten zu beobachten ist, ergibt sich bei einem weiteren Anstieg der Durchschnittskapazität nur für $\tau = 1, 2, 4$ ein leicht sinkender Trend. Für $\tau = 6, 10$ ist der Trend nicht eindeutig: Für 225 000 - 425 000 t Kapazität steigen die Durchschnittskosten sogar systematisch an. Eine plausible Interpretation dieses Ergebnisses ist, dass Transportkosten bei steigendem τ relativ zu den anderen Kostenarten eine solche Bedeutung gewinnen, dass bei gegebener räumlicher Verteilung der Molkereien und gegebenen regionalen Milchaufkommen keine weitere Angleichung der Durchschnittskosten über Kapazitätsanpassung mehr möglich ist. Diese Interpretation wird dadurch gestützt, dass für $\tau = 10$ in der „langen“ Frist die Gesamtfahrleistung (218,918 Mio. km) lediglich um 2,46 % von der unteren Schranke (213,670 Mio. km) abweicht.

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. Der steigende Variationskoeffizient deutet darauf hin, dass die bestehende räumliche

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. Der steigende Variationskoeffizient deutet darauf hin, dass die bestehende räumliche

¹⁵ Die Molkereien wurden Größenintervallen zugeordnet. Die jeweiligen Datenpunkte sind in der Mitte des jeweiligen Intervalls eingezeichnet.

Abbildung 3. „Lange“ Frist. Kosten in Euro pro Tonne



Quelle: eigene Darstellung

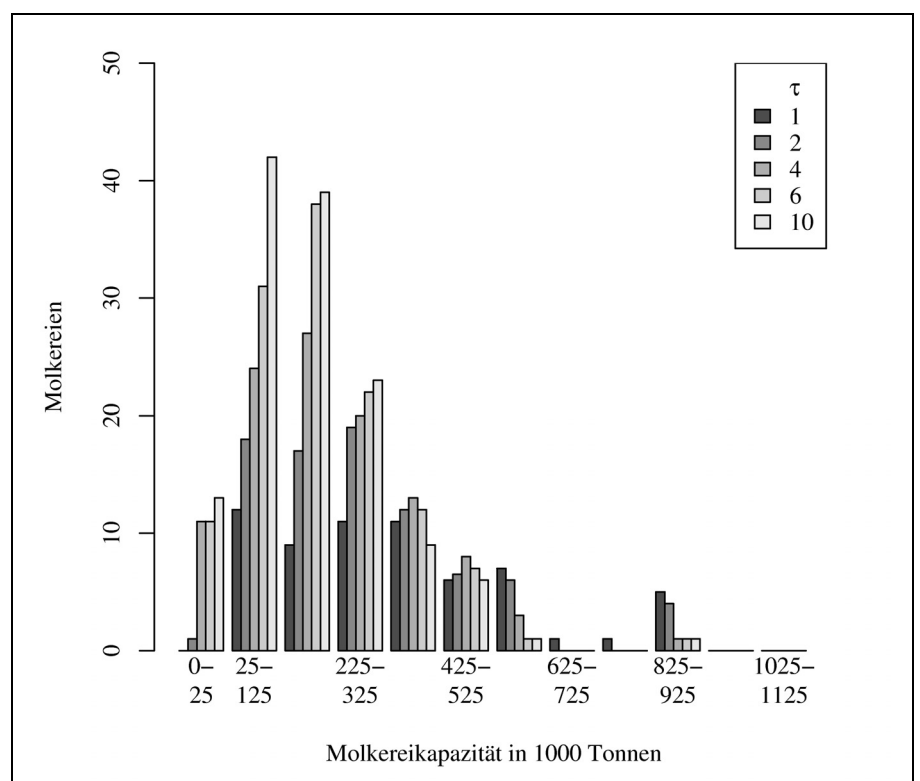
Tabelle 8 zeigt auch die Änderungen der verschiedenen Kostenarten bei Variation von τ . Im Unterschied zur „kurzen“ Frist bleiben in der „langen“ Frist die Overheadkosten pro Tonne annahmegemäß konstant, weil sich die Kapazitäten optimal an die Verarbeitungsmengen anpassen können. Wie in der „kurzen“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

Eine Übersicht über die geöffneten Betriebsstätten geben Tabelle 7 und Abbildung 4. Wie in der „kurzen“ Frist ergibt sich auch „langfristig“ bei steigenden Transportkosten ein Trend hin zu kleineren Betriebsstätten. Diese sind typischerweise in der Peripherie angesiedelt, insbesondere im Südwesten. Im Unterschied zur „kurzen“ Frist erhöht sich „langfristig“ aber auch die Zahl größerer Betriebsstätten. Sie entstehen typischerweise in der Nähe hoher regionaler Milchaufkommen, so dass diese Betriebe sowohl von Economies of Scale in der Pro-

duktion 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. Von einer solchen Konstellation geht offensichtlich auch WEINDLMAIER (2004a: 79) in seiner qualitativen Prognose des zukünftigen Strukturwandels aus. 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 t bis 325 000 t konzentrieren. Die Medianbetriebsgröße sinkt von 327 501 t für $\tau = 1$ um 55,37 % auf 146 110 t für $\tau = 10$. Für $\tau = 1$ werden langfristig nur noch 25 % des Milchaufkommens in Betriebsstätten mit Kapazitäten von maximal 318 802 t verarbeitet. Dagegen entfallen 50 % des Milchaufkommens auf Betriebsstätten mit einer Kapazität zwischen 318 802 t und

681 541 t. Bei $\tau = 10$ liegen die entsprechenden Werte zwischen 151 410 t und 390 792 t Kapazität.

Abbildung 4. „Lange“ Frist. Verteilung der Molkereien auf Kapazitätsintervalle



Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 7. „Lange“ Frist. Anzahl geöffneter Betriebsstätten

τ	GK _I			GK _{II}			GK _{III}			ΣGK						
	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%	n _{0,25}	n _{0,50}	n _{0,75}	Δ%
1	0,00	0,00	0,00	---	10,75	12,00	13,25	---	52,00	53,00	54,00	---	63,00	65,00	66,00	---
2	0,00	1,00	1,00	---	17,00	18,00	20,00	50,00	62,00	63,00	64,00	18,87	81,00	82,00	83,00	26,15
4	10,00	11,00	11,00	---	23,00	24,00	25,00	100,00	72,00	73,00	75,00	37,74	106,00	107,00	109,00	64,62
6	10,00	11,00	12,00	---	30,00	31,00	32,00	158,33	80,00	80,00	80,00	50,94	122,00	122,00	123,00	87,69
10	13,00	13,00	14,00	---	42,00	42,00	43,00	250,00	79,00	79,00	80,00	49,06	134,00	135,00	136,00	107,69

Anmerkungen: Anzahl für jede Größenklasse GK_I – GK_{III} und über alle Größenklassen (ΣGK). Δ% gibt die Änderung des Medianwertes n_{0,50} gegenüber τ=1 an.
Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 8. „Lange“ Frist. Gesamtkosten pro Tonne

τ	K _O			K _P			K _T			ΣK						
	$\frac{K_O}{q}$ _{0,25}	$\frac{K_O}{q}$ _{0,50}	$\frac{K_O}{q}$ _{0,75}	Δ%	$\frac{K_P}{q}$ _{0,25}	$\frac{K_P}{q}$ _{0,50}	$\frac{K_P}{q}$ _{0,75}	Δ%	$\frac{K_T}{q}$ _{0,25}	$\frac{K_T}{q}$ _{0,50}	$\frac{K_T}{q}$ _{0,75}	Δ%	$\frac{K}{q}$ _{0,25}	$\frac{K}{q}$ _{0,50}	$\frac{K}{q}$ _{0,75}	Δ%
1	10,00	10,00	10,00	0,00	74,75	74,79	74,84	0,79	5,53	5,57	5,59	87,03	90,34	90,37	90,39	6,01
2	10,00	10,00	10,00	0,00	75,36	75,39	75,42	1,59	10,39	10,41	10,43	259,02	95,78	95,80	95,81	17,26
4	10,00	10,00	10,00	0,00	75,95	75,99	76,02	2,32	19,96	19,99	20,03	427,54	105,97	105,97	105,98	28,25
6	10,00	10,00	10,00	0,00	76,51	76,53	76,55	2,99	29,35	29,37	29,39	767,58	115,89	115,90	115,90	49,75
10	10,00	10,00	10,00	0,00	77,01	77,03	77,07	---	48,27	48,30	48,32	---	135,32	135,33	135,34	---

Anmerkungen: Aufschlüsselung der Kosten über alle Größenklasse. Δ% gibt die Änderung des Medianwertes ($\frac{K}{q}$)_{0,50} gegenüber τ=1 an.
Quelle: eigene Berechnungen

Die „langfristige“ räumliche Verteilung geöffneter Molkereien für die vier Regionen (NW, NO, SO und SW) zeigt Abbildung 5. Während in der „kurzen“ Frist ein steigender Transportkostenfaktor τ noch zu einer deutlichen Zunahme der Zahl kleiner Molkereien führte, bleibt ihre Zahl in der langen Frist unabhängig von τ nahezu konstant und auf einem niedrigen Niveau. Eine regionale Häufung kleiner Molkereien entwickelt sich allein im Südwesten. Allerdings führt ein Anstieg von τ insbesondere im Nordwesten und Südosten zu einem Anstieg der Zahl mittlerer und großer Molkereien. Entsprechend den Annahmen ist dies nicht auf einen Rückgang der durchschnittlichen Molkereiauslastung zurückzuführen, sondern es sinkt die durchschnittliche Betriebsgröße innerhalb dieser beiden Größenklassen.

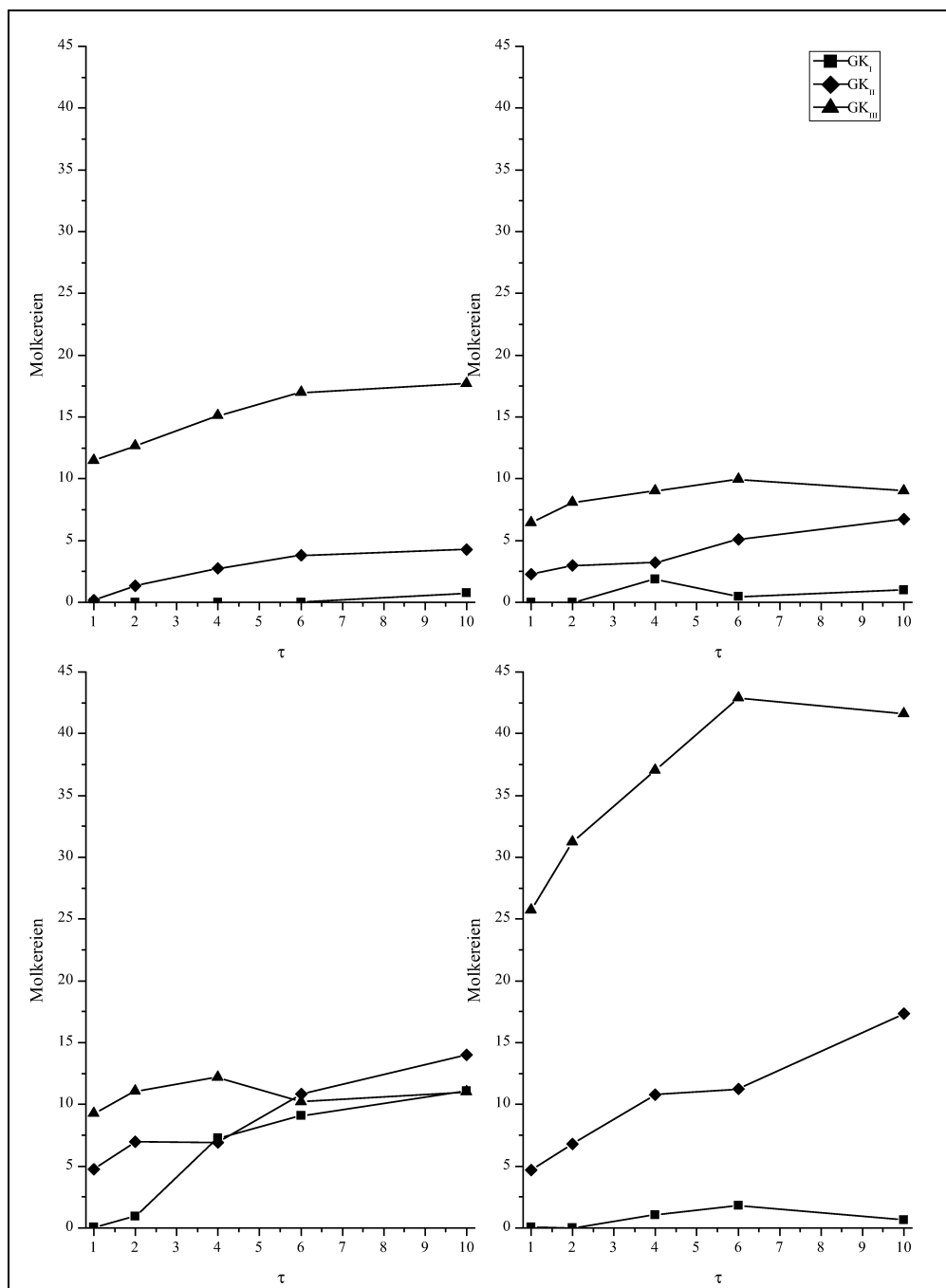
4. Diskussion der Ergebnisse

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Ergebnisse wurden unter vereinfachenden Annahmen abgeleitet. Die Notwendigkeit dieser Annahmen resultiert dabei weniger aus modellimmanenten Restriktionen als vielmehr aus einem Mangel verfügbarer (Mikro-) Daten. So würde die Struktur des vorgestellten Modells eine Berücksichtigung einzelbetrieblicher Daten zu Kostenverläufen und Produktsortimenten ebenso erlauben, wie z.B. die regionale Verlagerung von Milchaufkommen. Das Modell ließe sich auch hinsichtlich zusätzlicher Kostenarten erweitern. Der Mangel an Daten ist nach DALTON et al. (2002: 990) Ergebnis hohen Wettbewerbsdrucks im Molkereisektor, Vertraulichkeits-

erwägungen sowie des Versuchs der Verantwortlichen von Molkereien, einen möglicherweise bestehenden Informationsvorsprung gegenüber Konkurrenten zu bewahren.

Jedoch lassen sich, wie nachfolgende Überlegungen zeigen, auch bei fehlenden quantitativen Daten über Plausibilitätsüberlegungen zusätzliche Ergebnisse ableiten. In den Berechnungen wurde unterstellt, dass alle Molkereien ein identisches repräsentatives Durchschnittssortiment erzeugen. Somit konnten in den Modellrechnungen identische Kostenverläufe für Molkereien identischer Kapazität verwendet werden. In der Realität aber divergieren die Sortimente und auch die einzelbetrieblichen Kostensituationen. Wie wirkt sich dies auf die Gültigkeit der abgeleiteten Ergebnisse aus? Eine plausible Hypothese ist, dass die Transportkosten mit steigendem Veredelungsgrad der Produkte an Relevanz verlieren. Gilt ferner, dass der Anteil hoch veredelter Produkte am Sortiment kleiner Molkereien höher ist, so gewinnen diese im Vergleich zu den präsentierten Ergebnissen einen Kostenvorteil. Dieser fällt umso höher aus, je höher der unterstellte Anstieg der Transportkosten ist. Im

Abbildung 5. „Lange“ Frist. Räumliche Verteilung



Vergleich zu den vorgelegten Ergebnissen wäre dann eine geringere durchschnittliche Betriebsgröße optimal. Gilt dagegen, dass hoch veredelte Produkte insbesondere Bestandteil des Sortiments großer Molkereien sind, so verbessert sich deren Wettbewerbsposition im Vergleich zu den oben vorgelegten Ergebnissen insbesondere bei einem relativen Anstieg der Transportkosten. Wie jedoch eine Sensitivitätsanalyse mit Variationen der unterstellten Kostenverläufe gezeigt hat, sind die dargestellten Trends gegenüber Änderungen dieses Parameters robust.

Ähnliche Plausibilitätsüberlegungen lassen sich im Zusammenhang mit der Modellannahme konstanter regionaler Milchaufkommen anstellen. Erhöht sich, etwa infolge einer Liberalisierung des Quotenhandels, *ceteris paribus* die Milchdichte in einer Region, so wird sich hier die durchschnittliche Molkereigröße erhöhen. Im umgekehrten Fall einer Abnahme der regionalen Milchdichte werden tendenziell kleinere Betriebsstätten effizient (zu den Konsequenzen sich verändernder regionaler Milchdichten vgl. insbesondere WEINDLMAIER, 2004a; WEINDLMAIER, 2004b; und WEINDLMAIER, 2001).

Weiterhin wurde ein einheitlicher Auszahlungspreis unterstellt. Müssten hingegen z.B. große Molkereien höhere Auszahlungspreise an die Milchbauern zahlen, um das Risiko teurer ungenutzter Kapazitäten zu minimieren, würde dies *ceteris paribus* zu einer Verschlechterung ihrer Kostensituation gegenüber anderen Betriebsstättengrößen führen und daher tendenziell zu einem Rückgang der optimalen durchschnittlichen Betriebsstättengröße führen. Für den Fall, dass kleinere Betriebsstätten aufgrund einer schlechteren Verhandlungsposition höhere Auszahlungspreise zu entrichten hätten, würde der Strukturwandel hin zu weniger aber größeren Betriebsstätten beschleunigt.

Vergleichbare Plausibilitätsüberlegungen liegen auch den bisher vorgelegten eher qualitativ ausgerichteten Studien zum Strukturwandel in der Molkereiwirtschaft z.B. von WEINDLMAIER (2001, 2004a, 2004b), HÜLSEMEYER (1991, 1994) und NICKEL (1991) zugrunde. Auch diese prognostizieren bei moderaten Transportkostensteigerungen eine sinkende Zahl von Molkereien bei gleichzeitig steigenden Durchschnittskapazitäten. Insofern kann dieser Beitrag als komplementärer quantitativer Baustein zu diesen eher qualitativen Studien angesehen werden.

Schließlich stehen den Diseconomies im Transport noch mögliche Skalenerträge entgegen: Beispielsweise können größere Molkereien kostengünstigere Erfassungsrouten wählen, da die unter Vertrag stehenden Milcherzeuger eher flächendeckend und weniger fragmentiert als bei kleineren Molkereien gelegen sind. Aufgrund des gesamtwirtschaftlichen Ansatzes können solch fragmentierte Erfassungsgebiete in der vorliegenden Untersuchung nicht entstehen, wodurch die Aufteilung dieser Gebiete in den erzeugten Lösungen optimal und derartige Skalenerträge bereits ausgeschöpft sind. Weiteres Einsparungspotential in der Milcherfassung ergibt sich durch die Wahl eines zweitägigen Abholzyklusses (vgl. z.B. WEINDLMAIER, 2001). Auch diese Optimierungsmöglichkeit wurde in dem Modell explizit vorweggenommen.

5. 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 Entwicklung des Verhältnisses von Transport- zu Verarbeitungskosten? Aufbauend auf repräsentativen Daten zu regionalen Milchaufkommen in Deutschland, sowie Kosten- und Kapazitätsinformationen von Molkereien wurde in den vorangegangenen Kapiteln der Versuch unternommen, diese Fragen über eine Simulationsstudie im Rahmen eines kapazitierten Standortplanungsproblems zu beantworten.

Mit Hilfe des Modells wurde unter Beachtung von Nebenbedingungen eine gesamtwirtschaftlich optimale Struktur des Sektors für drei Szenarien bestimmt. Im so genannten Referenzszenario wurde angenommen, dass alle Molkereistandorte bei identischer Auslastung erhalten bleiben. Eine Optimierung im Sinne einer Transportkostenminimierung war hier allein über die Allokation der regionalen Milchaufkommen auf die Molkereien möglich. Im Szenario der „kurzen“ Frist konnten Standorte geschlossen und die verbleibenden geöffneten Molkereien mit unterschiedlichen Kapazitätsauslastungen betrieben werden. Zusätzlich konnten in der „langen“ Frist Anpassungen der Molkereikapazitäten vorgenommen werden. Von Greenfield-Investitionen wurde hingegen 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 notwendigen Gesamtfahrleistung. 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 dabei in Abhängigkeit von der erwarteten zukünftigen Bedeutungsverschiebung von Transport- und Verarbeitungskosten. Kommt es zu einer hinreichenden Transportkostensteigerung, kann der beschriebene Strukturwandel hin zu weniger großen Betriebsstätten abgebremst werden und frühzeitig enden. 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 auf 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 Strukturwandel 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. Insbesondere 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 reinen Preiswettbewerb zu entziehen. Andererseits kann sich eine relative Vorteilhaftigkeit kleinerer und mittlerer Betriebsstättengrößen dann ergeben, wenn die Bedeutung der Transportkosten relativ zu anderen Kostenarten zunimmt, z.B. aufgrund eines direkten Anstiegs der Transportkosten oder Kosten senkenden 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 beim Transport (Luftlinien) 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 des Modells in anderen Sektoren vorstellbar, in denen es zu Trade-Offs zwischen verschiedenen Kostenarten kommt, und in denen Produktion und (Weiter-)Verarbeitung räumlich auseinander fallen. Hierzu zählen viele Bereiche gerade des Agrarsektors.

Literatur

- AARTS, E., H. BREMMERS UND S. STEMNE (1997): Melkrijzenonderzoek. Wageningen University, Netherlands.
- 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. In: *Journal of Food Engineering* (im Druck).
- CARAVELI, H. und W.B. TRAILL (1998): Technological Developments and Economies of Scale in the Dairy Industry. In: *Agribusiness* 14 (4): 311–319.
- CORMEN, T.H., C. STEIN, R.L. RIVEST und C.E. LEISERSON (2001): *Introduction to Algorithms*. 2nd Ed. The MIT Press.
- DALTON, T.J., G.K. CRINER und J. HALLORAN (2002): Fluid Milk Processing Costs: Current State and Comparisons. In: *Dairy Science* 85 (4): 984–991.
- DEUTSCHE MILCHINDUSTRIE (2005): *Beschaffung und Distribution in der Molkereiwirtschaft*. Milch und Markt, Presse Online.
- In: http://www.milch-markt.de/de/milch/logistik1/beschaffung_distribution.html, 08.11.2005.
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2004): *Situationsbericht 2005. Trends und Fakten zur Landwirtschaft*.
- DOMSCHKE, W. und A. DREXL (2005): *Einführung in Operations Research*. 6. Auflage. Springer, Berlin.
- DRESCHER, K. und O. MAURER (1999): Competitiveness in the European Dairy Industries. In: *Agribusiness* 15 (2): 163–177.
- GLOVER, F. (1989): Tabu Search - Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1: 190–206.
- (1990): Tabu Search - Part II. *ORSA Journal on Computing*, 2: 4–32.
- GÖRTZ, S. und A. KLOSE (2004): *Das kapazitierte Standortproblem: Branch-and-Price und die Wahl der Verzweigungsvariable*. Arbeitsbericht der Bergischen Universität Wuppertal und der Universität Zürich.
- GRÜNERT, T. (2001): *Lagrangean Tabu Search*. In: Ribeiro, C. und P. Hansen (Hrsg.): *Essays and Surveys in Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, Boston: 21–39.
- GÜNTHER, H.-O. und H. TEMPELMEIER (2005): *Produktion und Logistik*. 6. Auflage. Springer, Berlin.
- HÖPER, U., M. JÜRGENSEN, R. HARGENS, K.-U. GROB und F. HÜLSEMEYER (2000): *Unternehmensgrößenabhängige ökonomische und ökologische Auswirkungen bei Erfassung, Be- und Verarbeitung und Distribution von Milch und Milchprodukten*. In: *Regionale Vermarktungssysteme in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Chancen, Probleme und Bewertung*. Dachverband Agrarforschung, Schriftenreihe agrarspektrum, Band 30. DLG-Verlag, Frankfurt am Main: 115–129.
- HÜLSEMEYER, F. (1991): *Die Milch- und Molkereiwirtschaft in Deutschland – Perspektiven und Anpassungserfordernisse*. DLG 2: 19–35.
- (1994): *Deutsche Molkereiwirtschaft im strukturellen Wandel*. *Die Molkereizeitung, Welt der Milch* 13: 496–497.
- IRISH FARMERS JOURNAL (1997): *Craig Gardiner Milk Price Audit*.
- 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.
- KEANE, M. (1998a): *Structural Change and Economies of Scale and International Competitiveness in Dairying*. In 25th I.D.F. Congress in Aarhus, Denmark.
- (1998b): *Economies of Scale and Dairy Product Manufacturing Enterprises*. *Agribusiness Discussion Paper No. 17*. Department of Food Economics, University College, Cork, Ireland.
- KLOSE, A. und A. DREXL (2005): *Facility Location Models for Distribution System Design*. In: *European Journal of Operational Research* 162 (1): 4–29.
- MICHALEWICZ, Z. und D.B. FOGEL (2000): *How to Solve It: Modern Heuristics*. Springer-Verlag, Berlin.
- MILCHINDUSTRIEVERBAND (2004): *Geschäftsbericht des Milchindustrieverbands, 2003/04*.
- NICKEL, O. (1991): *Die deutsche Milchbranche im EG-Binnenmarkt*. Behr's-Verlag, Hamburg.
- REEVES, C. (2003): *Genetic Algorithms*. In: Glover, F. und G. Kochenberger (eds.): *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- THIELE, H.D. (2004): *Zukünftige Strukturentwicklungen und Unternehmenszusammenschlüsse in der deutschen Molkereiwirtschaft*. Kieler Milchtage, Mini-Report.
- WEINDLMAIER, H. (2001): *Strukturwandel in der deutschen Molkereiwirtschaft*. In: *Deutsche Milchwirtschaft* 52 (2): 51–54.
- (2002): *Die Wertschöpfungskette Milch: Konzept, Optimierungsmöglichkeiten und Konfliktfelder*. In: *dmz* 22: 14–15.

- (2004a): The Consequences of Changing Conditions of the European Dairy Sector for the Strategies of Dairy Companies. In: Acta Agriculturae Slovenica 84 (1): 63–80.
- (2004b): Milchwirtschaft vor tiefgreifendem Strukturwandel. In: Agrarwoche 13: 3–4.

Ernährungswirtschaft für die Zusammenarbeit sowie zwei anonymen Gutachtern für ihre wertvollen Anregungen.

Kontaktautor:

DR. CARSTEN SCHRÖDER

Freie Universität Berlin

Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Institut für öffentliche Finanzen und Sozialpolitik

Boltzmannstr. 20, 10829 Berlin

Tel.: 030-83 85 22 59, Fax: 030-83 85 25 60

E-Mail: carsten.schroeder@wiwiss.fu-berlin.de

Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Ökonomie der