



Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Entwicklung und Validierung eines Managementtools zur
zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose und zur dynamischen
Rohmilchlogistiksimulation

Michael Konrad Schmid

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät TUM School of Life Sciences
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Urs Schmidhalter

Prüfende der Dissertation: 1. Prof. Dr. Heinz Bernhardt
2. Prof. Dr. Wilhelm Windisch

Die Dissertation wurde am 27.01.2020 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät TUM School of Life Sciences am 02.09.2020
angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIV
Symbolverzeichnis	XVI
1 Strukturwandel in der Wertschöpfungskette Milch	17
2 Stand des Wissens.....	22
2.1 Milchmengenprognose	22
2.1.1 Internationale/nationale Ebene.....	22
2.1.2 Molkereiebene	26
2.1.3 Herden- und Kuhebene.....	30
2.2 Milchlogistik.....	32
2.2.1 Besonderheiten der Rohmilchlogistik	33
2.2.2 Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik	35
2.2.3 Logistiksimulations- und Optimierungsmodelle.....	38
3 Zielstellung	42
4 Material und Methoden.....	44
4.1 Betrachtung der Milcheinzugsgebiete	44
4.2 Milchmengenprognose	48
4.2.1 Dynamische lang-, mittel- und kurzfristige Milchmengenprognose	49
4.2.2 Maßzahlen zur Bewertung der Prognosegüte	54
4.3 Erhebung der erzeugerspezifischen Milchmengen zur gegenwärtigen und zukünftigen Milchlogistiksimulation	55
4.4 Systemanalytischer Vergleich von Verfahrensvarianten in der Milchlogistik	56
4.5 Datengrundlage zur Bewertung der Verfahrensvarianten	63
4.6 Modell zur taktischen Milchlogistikplanung – Vehicle Routing Problem.....	68
4.7 Systematik und Bruttokriterien zur Bewertung der verfahrensartabhängigen Milchlogistiksszenarien.....	74

4.7.1	Ökonomische Bewertung	74
4.7.2	Zeitliche Bewertung.....	77
4.7.3	Ökologische Bewertung	79
5	Ergebnisse	83
5.1	Transportmittelspezifische Daten.....	83
5.2	Beschreibung der entwickelten Managementtools.....	84
5.2.1	Milchmengenprognose	84
5.2.2	Rohmilchlogistiksimulation	85
5.3	Milcheinzugsgebiet Ostbayern.....	88
5.3.1	Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018	88
5.3.2	Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose	89
5.3.3	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik.....	93
5.3.4	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik	95
5.3.5	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik.....	97
5.4	Milcheinzugsgebiet Nordbayern.....	100
5.4.1	Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018	100
5.4.2	Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose	101
5.4.3	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik.....	105
5.4.4	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik	107
5.4.5	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik.....	109
5.5	Milcheinzugsgebiet Südbayern.....	111
5.5.1	Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018	111
5.5.2	Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose	112

5.5.3	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Vollkosten der Milchlogistik.....	116
5.5.4	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik	118
5.5.5	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik.....	121
5.6	Milcheinzugsgebiet Zentralbayern	122
5.6.1	Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018	122
5.6.2	Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose	124
5.6.3	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Vollkosten der Milchlogistik.....	128
5.6.4	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik	130
5.6.5	Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartsspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik.....	133
6	Diskussion	135
6.1	Milchmengenprognose	135
6.1.1	Vergleich der erhobenen milcheinzugsgebietspezifischen Milchmengenprognosen	135
6.1.2	Entwickelte Milchmengenprognosemethoden zum operativen Einsatz in milchverarbeitenden Unternehmen.....	140
6.1.3	Vergleich der analysierten Milchmengenprognoseergebnisse mit ausgewählten Veröffentlichungen	141
6.2	Interpretation der analysierten Logistikkennzahlen innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete unter dem prognostizierten Strukturwandel.....	144
6.3	Milchlogistik	147
6.3.1	Vergleich der optimalen Verfahrensvarianten zwischen den Milcheinzugsgebieten.....	147
6.3.2	Vergleich der erhobenen Logistikkennzahlen mit ausgewählten Untersuchungen.....	154
6.3.3	Disaggregierte Logistikkennzahlbetrachtung des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern.....	155

6.3.4	Strategisches Milchlogistiksimulationsmodell für den täglichen Einsatz in milchverarbeitenden Unternehmen.....	164
7	Schlussfolgerungen.....	168
8	Zusammenfassung.....	170
9	Summary.....	173
10	Literaturverzeichnis.....	176
11	Anhang.....	186

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der Wertschöpfungskette Milch in Deutschland im Jahr 2018.....	17
Abbildung 2: Historische und zukünftig durchschnittlich zu erwartende Prognose der Kuhmilcherzeugung.....	23
Abbildung 3: Eingabemaske des Milchmanagementinstrumentes	29
Abbildung 4: Relative Zusammensetzung der Vollkosten der Milchlogistik in Irland.....	36
Abbildung 5: Travelling Salesman Problem (oben) Vehicle Routing Problem (unten)	39
Abbildung 6: Milcheinzugsgebiet Ostbayern mit 273 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017.....	45
Abbildung 7: Milcheinzugsgebiet Nordbayern mit 102 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017	46
Abbildung 8: Milcheinzugsgebiet Südbayern mit 182 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017	47
Abbildung 9: Milcheinzugsgebiet Zentralbayern mit 292 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017	48
Abbildung 10: Zeiträume der zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose (Abholintervall = 48 h).....	49
Abbildung 11: Verfahrensschritte der ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik.....	57
Abbildung 12: Verfahrensschritte der gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ...	59
Abbildung 13: Kostengliederung eines Fuhrunternehmers	63
Abbildung 14: Arbeitsblattstruktur des VRP Spreadsheet Solver	69
Abbildung 15: Schema des Managementtools zur spezifischen Milchmengenprognose.....	84
Abbildung 16: Schema des Managementtools zur verfahrensvariantenspezifischen Rohmilchlogistiksimulation	85
Abbildung 17: Eingabetableau des Managementtools zur Rohmilchlogistiksimulation.....	86
Abbildung 18: Ökonomische Ausgabematrix der Logistiksimulation	87
Abbildung 19: Ökologische Ausgabematrix der Logistiksimulation	87
Abbildung 20: Zeitliche Ausgabematrix der Logistiksimulation.....	87

Abbildung 21: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Ostbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 242; 2018: n = 230).....	90
Abbildung 22: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Zeitraum von 2018 bis 2023 (n = 230; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023).....	91
Abbildung 23: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern des Jahres 2017 (n = 105)	92
Abbildung 24: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2017.....	93
Abbildung 25: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023	94
Abbildung 26: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023	96
Abbildung 27: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023	98
Abbildung 28: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Nordbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 105; 2018: n = 95).....	102
Abbildung 29: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 87; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023)	103
Abbildung 30: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern des Jahres 2017 (n = 105)	104
Abbildung 31: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017.....	105
Abbildung 32: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023.....	106
Abbildung 33: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023.....	108
Abbildung 34: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023.....	110
Abbildung 35: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Südbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 182; 2018: n = 160)	113

Abbildung 36: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 160; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023.....	114
Abbildung 37: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern des Jahres 2017 (n = 182).....	115
Abbildung 38: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2017	116
Abbildung 39: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023	117
Abbildung 40: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023	119
Abbildung 41: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023	121
Abbildung 42: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 256; 2018: n = 227)	125
Abbildung 43: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 227; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023.....	126
Abbildung 44: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern des Jahres 2017 (n = 256).....	127
Abbildung 45: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017	128
Abbildung 46: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023.....	129
Abbildung 47: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023	131
Abbildung 48: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023	133
Abbildung 49: Vergleich der langfristigen Milchmengenentwicklung der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Vergleich zur gesamt prognostizierten	

Milchmenge (Hinweis zur Legende: Angabe der durchschnittlich jährlichen Veränderung in Klammern hinter den betrachteten Milcheinzugsgebieten)	136
Abbildung 50: Vergleich des MAPE zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten und der kumulierten Ebene	138
Abbildung 51: Verfahrensartabhängige Vollkosten und Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017	148
Abbildung 52: Vergleich der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik pro Milcheinzugsgebiet im Jahr 2017	149
Abbildung 53: Vergleich der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik pro Milcheinzugsgebiet im Jahr 2023	151
Abbildung 54: Vergleich der relativen Kostenkomponenten der Verfahrensschritte der Milchlogistik in Irland (blau) und des analysierten Milcheinzugsgebietes Zentralbayern (rot) der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017	155
Abbildung 55: Disaggregierte Vollkostenzusammensetzung der Milchlogistik für die kostengünstigsten Verfahrensvarianten in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern	157
Abbildung 56: Zusätzliche milcheinzugsgebietsspezifische Mautkosten durch die Novellierung der Maut zum 1. Januar 2019	159
Abbildung 57: Verfahrensschrittabhängige Zusammensetzung der Treibhausgasemissionen der gegenwärtig und zukünftig ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern..	160
Abbildung 58: Verfahrensschrittabhängige Zusammensetzung der Zeiteffizienzkennzahl der gegenwärtig und zukünftig ökonomisch optimalen Verfahrensvariante im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern	163

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristische Kennzahlen der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2017	44
Tabelle 2: Betrachtete Verfahrensvarianten der Milchlogistik.....	60
Tabelle 3: Transportmittelspezifische Nutzlast.....	60
Tabelle 4: Nominale fahrzeugkombinationsabhängige Mautkosten im Jahr 2017 für die Schadstoffklasse V	66
Tabelle 5: Nominale achs- und gewichtsabhängige Mautkosten im Jahr 2023 für die Schadstoffklasse V	66
Tabelle 6: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2017 ..	88
Tabelle 7: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2018 ..	89
Tabelle 8: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017	100
Tabelle 9: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2018	101
Tabelle 10: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2018	112
Tabelle 11: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017	123
Tabelle 12: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2018	124

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
bbl	Barrel (Physikalische Maßeinheit)
BFStrMG	Bundesfernstraßenmautgesetz
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äquivalente
df	degrees of freedom (Freiheitsgrad)
EN	Europäische Normen
eq	equivalent
g	Gramm
GPS	Global Position Software
h	Stunden
HGB	Handelsgesetzbuch
IFCN	International Farm Comparison Network
kg	Kilogramm
km	Kilometer
l	Liter
LEH	Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen
LKW	Lastkraftwagen
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MilchGüV	Milchgüteverordnung
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MSW	Milchsammelwagen
RMSE	Root Mean Square Error

s	Sekunden
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
t	Tonne (Metrische Einheit)
Vgl.	vergleiche
VRP	Vehicle Routing Problem

Symbolverzeichnis

α	Alpha
&	und
%	Prozent
<	kleiner
>	größer
/	pro
€	Euro (Währung)
ct	Eurocent (Währung)
§	Paragraph
χ^2	Chi-Quadrat-Wert
R^2	Bestimmtheitsmaß
US\$	US Dollar (Währung)

1 Strukturwandel in der Wertschöpfungskette Milch

Die Milcherzeugung ist der wichtigste Produktionszweig für die landwirtschaftlichen Haupteinzelbetriebe in Deutschland. Gleichzeitig liefert die Milcherzeugung einen wichtigen Beitrag zur Pflege der Kulturlandschaft. Die Milcherzeugung bietet in Deutschland Existenzgrundlage für 62.800 milchviehhaltende Betriebe, die im Jahr 2018 33,05 Mio. t Milch erzeugten (BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG 2019). Daneben stellt die Molkereibranche mit einem Umsatz von 28,14 Mrd. € im Jahr 2018 die zweitgrößte Sparte in der deutschen Nahrungs- und Futtermittelindustrie dar. Darin waren im Jahr 2018 44.252 Personen in den 224 Molkereibetrieben beschäftigt (STATISTISCHES BUNDESAMT 2018b). Dabei sind die Molkereibetriebsstätten der milchverarbeitenden Unternehmen meist in ländlichen Regionen angesiedelt, so dass die Wertschöpfungskette Milch einen wichtigen Arbeitgeber im ländlichen Raum darstellt. Nachfolgende Abbildung 1 gibt einen Überblick zur Wertschöpfungskette Milch in Deutschland des Jahres 2018.

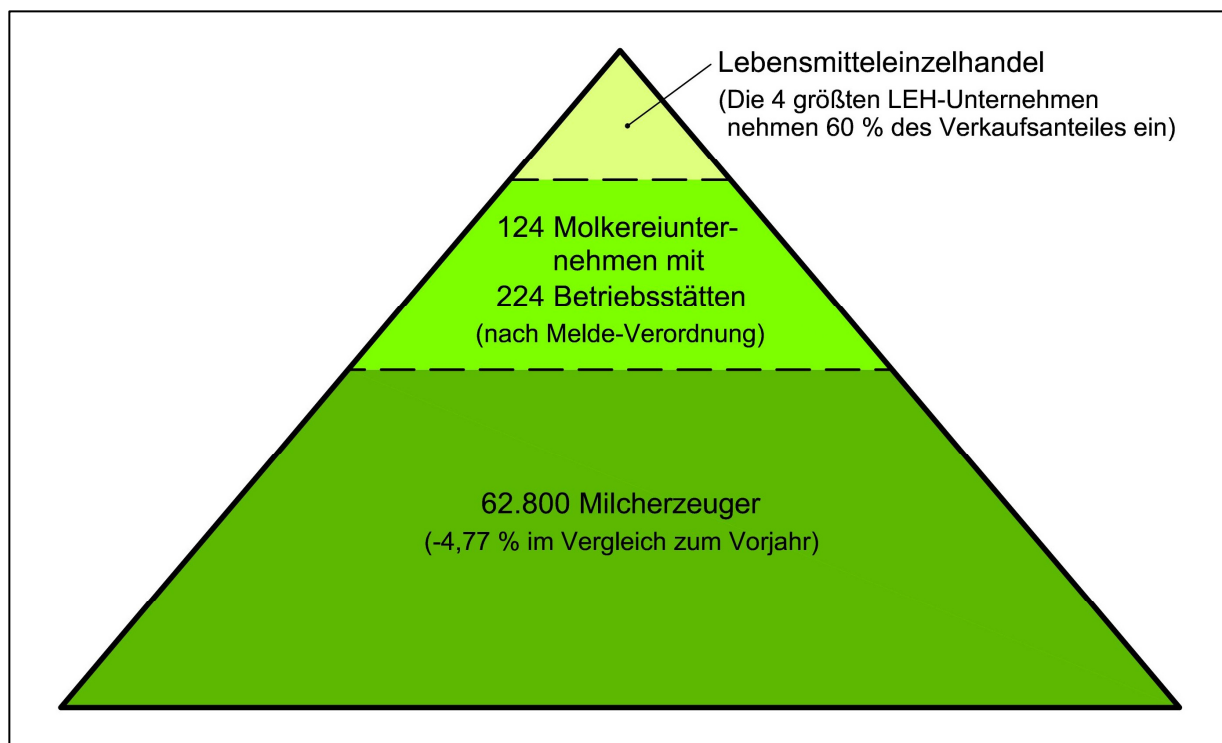


Abbildung 1: Struktur der Wertschöpfungskette Milch in Deutschland im Jahr 2018
(Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG 2019; MILCHINDUSTRIE-VERBAND E.V. 2018; STATISTISCHES BUNDESAMT 2018b).

Die in Abbildung 1 dargestellte Struktur der Wertschöpfungskette Milch in Deutschland des Jahres 2018 zeigt ganz unten die Milcherzeuger, deren Anzahl im Vergleich zum Vorjahr 2017 um 4,7 % abgenommen hat. Diese liefern ihre erzeugte Rohmilch an 124 Molkereiunternehmen mit 224 Betriebsstätten, deren Produkte neben dem Export und dem Verkauf

an die weiterverarbeitende Industrie national über Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen vermarktet werden. Dabei ist dem Lebensmitteleinzelhandel eine hohe Konzentration und eine große Verhandlungsmacht zuzusprechen, da die vier größten Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen 60 % des Verkaufsanteiles nach Umsatz bei Lebensmitteln einnehmen.

Der zunehmende Wettbewerbsdruck bei den milchverarbeitenden Unternehmen aufgrund der Liberalisierung der Milchmärkte, des technischen Fortschritts im Bereich der Milchverarbeitung, Produktentwicklung und Produktbereitung erfordern im freien Markt eine zunehmende betriebswirtschaftliche Effizienz einzelner Molkereibetriebsstätten. Gleichzeitig stellen der Selbstversorgungsgrad von 120 % in Milchäquivalent¹ an Milchprodukten aufgrund des nationalen Überschusses vor zunehmende Herausforderungen bei der Vermarktung. Daneben wird durch den hohen Konsum von Handelsmarken bei Milchprodukten deutlich, dass die Strategie der Kostenführerschaft aus Sicht einer Molkerei an Bedeutung gewinnt, aufgrund der steigenden Angebotskonkurrenz zwischen den milchverarbeitenden Unternehmen an den Lebensmitteleinzelhandel (MILCHINDUSTRIE-VERBAND E.V. 2017). Diese Strategie der Kostenführerschaft erfordert eine Kostenreduzierung in allen Bereichen der Molkerei. Als Lösungsmöglichkeit dazu lassen sich aus der Perspektive eines Molkereiunternehmens durch die Konzentration kleiner milchverarbeitender Betriebsstätten zu großen Molkereibetriebsstätten Produktionskostenvorteile erzielen, da durch die Ausweitung der Produktion von beispielsweise H-Milch die Stückkosten reduziert werden können. Dieses Phänomen wird Kostendegression genannt. Mit dieser Maßnahme kann die Wettbewerbsfähigkeit von milchverarbeitenden Unternehmen verbessert werden (MAACK *ET AL.* 2005). Der Rückgang der Molkereibetriebsstätten in den letzten Jahren in Deutschland belegen den Konzentrations- und Konsolidierungsprozess sowie den Strukturwandel bei den Molkereiunternehmen.

Ebenso kann auch unter den Milcherzeugern, wie aus Abbildung 1 hervorgeht, in den letzten Jahren ein erheblicher Strukturwandel identifiziert werden. Der Rückgang der Anzahl an Milchviehaltern und die einzelbetriebliche Milchmengensteigerung resultiert unter anderem aus den zunehmenden Schwankungen der Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung. Begründen lässt sich die zunehmende Schwankung der Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung unter anderem durch die Aufhebung der europäischen Milchquote zum

¹ Das Milchäquivalent stellt eine Bewertungskennzahl für die in einem Milchprodukt verarbeiteten Milchmenge dar (SCHUBERT UND GÄRTNER 2017).

31.03.2015 und der damit verbundenen Außerkraftsetzung der Abschottung des europäischen Milchmarktes, wonach sich zunehmende internationale Einflussfaktoren auf die Kosten- und Erlössituation der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung auswirken. Daneben trägt der technische Fortschritt im Bereich der Milcherzeugung zum Strukturwandel bei. Beispielsweise ermöglicht der Fortschritt in der Zucht, Fütterung und Milchviehhaltung eine milchkuhindividuelle Leistungssteigerung. Deshalb können aus einzelbetrieblicher Sicht die spezifischen Produktionskosten der Milcherzeugung aufgrund Kostendegression durch die Ausweitung der Produktionsmenge reduziert werden. Gleichzeitig hat sich aufgrund der Konkurrenz zur Milcherzeugung von anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren wie Ackerbau, Sonderkulturen oder Veredelung, die Milcherzeugung in Deutschland auf Standorte hin konzentriert, an denen sich die Milch am wettbewerbsfähigsten produzieren lässt. Diese „Gunstregionen“ sind beispielsweise mit einem hohen Dauergrünlandflächenanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche charakterisiert, deren Verwertungsmöglichkeit über Wiederkäuer oder Biogaserzeugung begrenzt ist. Beispielsweise kann auf nationaler Ebene im Nordwesten und im Südosten Deutschlands eine deutliche Milchmengensteigerung in den letzten Jahren beobachtet werden, während die Milcherzeugung in zentral gelegenen Regionen aufgrund der ökonomisch interessanteren alternativen Flächennutzungen deutlich abgenommen hat (ISERMEYER *ET AL.* 2006).

Vor dem Hintergrund des derzeitigen und des zukünftigen Strukturwandels bei den Milcherzeugern und des Konsolidierungs- und Konzentrationsprozesses milchverarbeitender Betriebsstätten sind zunehmende Distanzen der Milchlogistik zu erwarten. Daraus resultieren steigende Kosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik, weshalb die Optimierung der Milchlogistik zur Kosten- und Treibhausgasemissionsreduzierung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die Vorgabe der internationalen und nationalen Klimaschutzziele unterstreichen zusätzlich die Notwendigkeit der Treibhausgasreduzierung, da auf nationaler Ebene die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 um 55 % gegenüber den Treibhausgasemissionen im Jahr 2018 reduziert werden sollen (BUNDESREGIERUNG 2019). Dabei hat auch in den letzten Jahren die Reduzierung und Optimierung der Treibhausgasemissionen im Bereich der Logistik aufgrund der steigenden logistischen Aktivitäten national und international zugenommen (KOPFER *ET AL.* 2014).

Neben den zunehmenden Distanzen der Milchlogistik stehen die milchverarbeitenden Unternehmen vor Ungewissheit der in Zukunft zu erwartenden Milchmenge. Jedoch erfordert eine strategische Milcherzeugerakquise die Kenntnis der zukünftigen Milchmenge für eine effiziente Betriebsstruktur in milchverarbeitenden Unternehmen, da damit die

unternehmerische Produktivität erhöht werden kann. Darüber hinaus ist die Kenntnis der zu erwartenden Milchmenge zur Rohmilchlogistikplanung und zur Produktionsplanung in der Molkerei erforderlich. Dadurch können aus der Perspektive eines milchverarbeitenden Unternehmens mit einem zeitskalenabhängigen Managementtool zur Milchmengenprognose Kosten eingespart werden. Das Wissen der langfristig zu erwartenden Milchmenge pro Vertragsmilcherzeuger ermöglicht milchverarbeitenden Unternehmen nach dem Abgleich mit den eigenen Unternehmensvisionen die systematische Akquise neuer Milcherzeuger. Daneben wird durch die Kenntnis der zu erwartenden Milchmenge die Produktionsplanung erleichtert, wonach durch frühzeitige Zu- und Verkäufe am Spotmarkt Kosten eingespart und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Molkereiunternehmen erhöht werden kann. Wegen der verschiedenen Einflussfaktoren auf die angelieferte Milchmenge stellt die einzelbetriebliche Milchmenge pro Abholintervall eine Variable dar. Jedoch trägt die Kenntnis der geplanten Milchmenge pro Abholintervall zur verbesserten Tourenplanung bei, da Fehl- und Leerfahrten bei der Milchlogistik reduziert werden. Deshalb lässt sich mit dieser Kenntnis die Effizienz der Milchlogistik erhöhen.

Ebenfalls hat sich die Nachfrage des Konsumenten nach Milchprodukten hergestellt aus speziellen Milchsorten in den letzten Jahren deutlich erhöht, da immer mehr Konsumenten die Haltung und Fütterung der Milchkühe stärker kritisch hinterfragen. So hat der Konsum von Trinkmilch in Deutschland zubereitet aus Bio- oder Weidemilch im Jahr 2017 im Vergleich zum Konsum im Jahr 2016 in Deutschland im zweistelligen Bereich zugenommen, während auch besonders tierschutzbetonte oder geografisch besondere Milchsorten Nachfragezuwächse verzeichnen konnten (AGRARMARKT INFORMATIONS-GESELLSCHAFT 2018). Folglich kann für einzelne Milcherzeuger die Erzeugung einer speziellen Milchsorte und für die Molkereien die Fertigung von Produkten, hergestellt aus diversifizierten Milchsorten eine Chance im wettbewerbsorientierten Markt bieten, da eine Vielzahl von Konsumenten dieses hochpreisige Nischensortiment präferieren. Jedoch ist zur Produktion von Milchprodukten basierend auf speziellen Milchsorten eine milchsortenspezifische Milcherfassung nötig, da nicht jeder Milcherzeuger eines Milcheinzugsgebietes aus individuellen Gründen die gleiche Milchsorte erzeugt. Daraus leiten sich zunehmende Anforderungen an die Milchlogistik aufgrund der Milchsortenreinheit ab. Somit induziert die zu erwartende weiter steigende Nachfrage nach Milchprodukten hergestellt aus speziellen Milchsorten zunehmende Anforderungen an eine dynamische Milchmengenprognose und Milchlogistikplanung. Gleichzeitig bietet der technische Fortschritt im Bereich der Rohmilchlogistik und Informationstechnologie neue Möglichkeiten des Milchtransportes vom Milcheinzugsgebiet zu milchverarbeitenden Unternehmen. Da sich jedoch die geografisch zusammenhängenden Milcheinzugsgebiete milchverarbeitender Unternehmen

hinsichtlich ihrer Struktur unterscheiden, ist zur Bewertung der optimalen Verfahrensvariante eine gegenwärtige milcheinzugsgebietspezifische Bewertung nötig. Darüber hinaus ist zur richtigen Strategieformulierung der Milchlogistik und zur Milcherzeugerakquise aus Sicht eines milchverarbeitenden Unternehmens eine Simulation der Rohmilchlogistik basierend auf den zukünftigen milcheinzugsgebietspezifischen Strukturen nötig.

Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit ein Managementtool zur zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose für milchverarbeitende Unternehmen und zur dynamischen Rohmilchlogistiksimulation unter Integration der prognostizierten Milchmenge auf Milcherzeugerebene aus Sicht eines milchverarbeitenden Unternehmens entwickelt. Zur Etablierung des praktischen Einsatzes soll dieses anhand von vier Milcheinzugsgebieten entwickelt und validiert werden. Dieses Managementtool soll sowohl die gegenwärtige als auch zukünftige Rohmilchlogistiksimulation ermöglichen. Darüber hinaus wird der praktische Einsatz verschiedener Verfahrensvarianten der Milchlogistik hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und Zeit an der gegenwärtigen und zukünftig prognostizierten Struktur der betrachteten Milcheinzugsgebiete evaluiert.

2 Stand des Wissens

In diesem Kapitel werden ausgewählte Veröffentlichungen des derzeitigen Wissensstandes in Bezug auf die Milchmengenprognose und Rohmilchlogistik basierend auf geeigneten Literaturquellen aufgezeigt.

2.1 Milchmengenprognose

„Der Begriff Prognose definiert eine Aussage über eine noch nicht feststehende zukünftige Entwicklung in einem spezifischen Zeitraum oder einem Zeitpunkt“ (DÖHRN 2014). Damit beschreibt der Begriff Milchmengenprognose die Aussage über die zukünftig zu erwartende Milchmenge über einen definierten Zeitraum einer Bezugsebene. Demnach werden nachfolgend die Prognoseergebnisse auf den Bezugsebenen internationale Ebene sowie nationale Ebene, Molkereiebene und Kuhebene aufgezeigt.

2.1.1 Internationale/nationale Ebene

Die europäische Kommission prognostiziert basierend auf dem jüngst veröffentlichten Bericht „EU Agricultural Outlook for markets and income 2018-2020“ eine durchschnittliche jährliche Steigerung der internationalen Milcherzeugung um 15 Mio. t pro Jahr. Damit soll im Jahr 2030 erstmals die internationale Kuhmilcherzeugung von einer Billion Tonnen Milch erreicht werden. Jedoch wird die internationale Expansion national sehr differenziert ausfallen. Dabei wird die stärkste Ausweitung der Kuhmilcherzeugung im internationalen Vergleich in Indien mit einer jährlichen Steigerung der Milcherzeugung von drei Prozent erwartet. Nachfolgende Abbildung 2 gibt einen Überblick zu den historischen und prognostizierten Kuhmilchmengenentwicklungen ausgewählter internationaler Regionen.

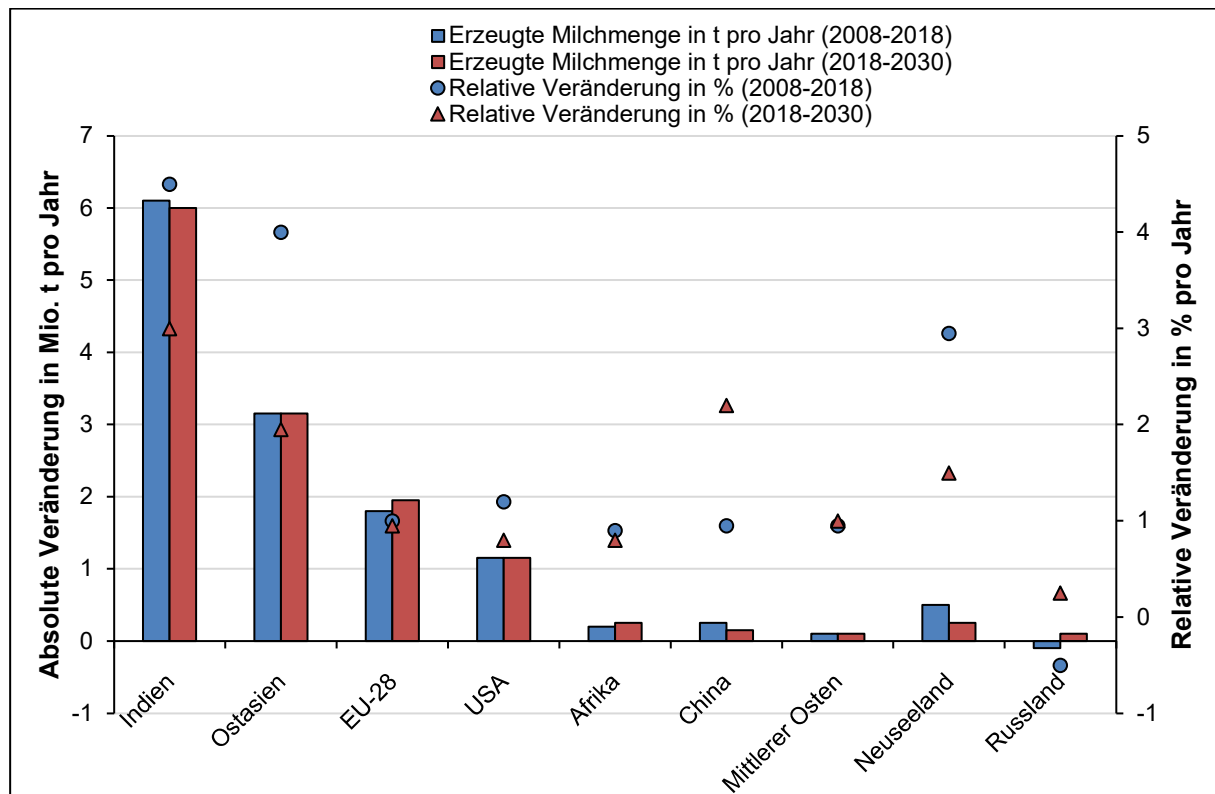


Abbildung 2: Historische und zukünftig durchschnittlich zu erwartende Prognose der Kuhmilcherzeugung
(Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an: EUROPEAN COMMISSION 2018a).

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, stieg in Europa die erzeugte Kuhmilchmenge im Zeitraum von 2008 bis 2018 um 1,1 % pro Jahr an. Dagegen wird bis zum Jahr 2030 von Seiten der europäischen Kommission für Europa eine jährliche Steigerung der Kuhmilcherzeugung von 0,9 % pro Jahr vorhergesagt (EUROPEAN COMMISSION 2018a). Neben dieser langfristigen Prognose veröffentlicht die europäische Kommission jährlich die zu erwartende Entwicklung der Agrarmärkte des Folgejahres, die auch eine Prognose der europäischen Milcherzeugung beinhaltet. Dabei erwartet die europäische Kommission eine Steigerung der Milchlieferung von 0,6 % im Jahr 2019 im Vergleich zur angelieferten Milchmenge im Jahr 2018 (EUROPEAN COMMISSION 2018b).

Ebenfalls erwartet das IFCN² eine Steigerung der internationalen Kuhmilcherzeugung auf bis zu 1.168 Mio. t Milch im Jahr 2030, das einer relativen durchschnittlichen Steigerung von 2,3 % bezogen auf die erzeugte Milchmenge im Jahr 2017 entspricht. Dabei basieren diese Prognosen auf die gesamte internationale Milcherzeugung, die neben der Kuhmilch die Schaf-, Büffel- und Ziegenmilch umfasst. Ähnlich wie die Prognose der europäischen

² Das IFCN (International Farm Comparison Network) ist eine in Kiel ansässige internationale Forschungseinrichtung, die neben der internationalen Analyse der Milcherzeugung, den Milchkonsum analysiert, woraus Prognosen zur Milcherzeugung abgeleitet werden.

Kommission wird das stärkste Milchmengenwachstum in Ostasien erwartet. Die Begründung dieses langfristigen Anstiegs der Milcherzeugung liegt in der steigenden Bevölkerung auf 8,7 Mrd. Menschen im Jahr 2030 und den erwarteten zunehmenden Pro-Kopf-Konsum von Milchprodukten. Dieser lag im Jahr 2017 bei 116 kg Milchäquivalent pro Kopf und Jahr und soll laut dieser Untersuchung im Jahr 2030 auf 135 kg pro Kopf und Jahr steigen. Gleichzeitig wird ein Strukturwandel unter den Milcherzeugern von einem Prozent pro Jahr während des Betrachtungszeitraumes auf internationaler Ebene vorhergesagt (WYRZYKOWSKI ET AL. 2018; IFCN 2018). Nach ALVAREZ-CUADRADO UND POSCHKE (2011) bedeutet der Strukturwandel in der Landwirtschaft die Abnahme der dort erwerbstätigen Personen, hervorgerufen durch den technischen Fortschritt, der pro produzierte Einheit den Einsatz von weniger Arbeit erfordert. Als Folge daraus geben einzelne Betriebe ihre Produktion auf, während andere Betriebe die Produktion ausbauen.

DESHMUKH UND PARAMASIVAM (2016) prognostizierten für Indien unter der Verwendung eines Autoregressive Integrated Moving Average Modells (ARIMA) die jährlich zu erwartende Milcherzeugung in Indien im Zeitraum von 1992 bis 2017. Bei dieser Untersuchung resultierte eine prognostizierte Steigerung der Milcherzeugung von 3,61 % pro Jahr, die mit einer Genauigkeit zwischen 0,86 % und 2,10 % während des Analysezeitraumes erreicht wurde.

In einer vom Heinrich von Thünen Institut durchgeführten Studie zur Ableitung von Entwicklungstendenzen in der der schwedischen Milchproduktion wurde im Jahr 2009 eine Online-Umfrage bei schwedischen Milcherzeugern durchgeführt. Aufgrund der regionalen Prognose des Strukturwandels erfolgte die Auswertung sowohl differenziert für Nord-, Ost- und Südschweden, als auch für Gesamtschweden. An dieser Umfrage nahmen primär Betriebsleiter teil, deren Betriebe für schwedische Verhältnisse überdurchschnittliche Betriebsgrößen aufweisen. Diese erwarteten in ihren eigenen Betrieben ein weiteres Wachstum der Milcherzeugung, während von den Befragten ein Rückgang der schwedischen Milcherzeugung prognostiziert wird. Darüber hinaus wird sich die Milcherzeugung weiter von Nordschweden nach Südschweden verlagern (DEUMELANDT ET AL. 2010).

Zur Prognose der zu erwartenden Milchmenge in Deutschland hat das Heinrich von Thünen Institut in Vergangenheit sämtliche Untersuchungen durchgeführt. LASSEN ET AL. (2008) prognostizierten die zu erwartende Milchmenge in ausgewählten Regionen Deutschlands durch Analyse regionaler Standortfaktoren und unter Verwendung empirischer Methoden. Dabei wurde die Entwicklung der Milchmenge vom Jahr 2008 bis 2015 und vom Jahr 2015 bis zum Jahr 2020 unter differenzierten Marktszenarien für nachfolgenden Regionen

prognostiziert: Nordfriesland, Friesland, neue Bundesländer, Hochsauerlandkreis und Oberallgäu. Die dabei in den jeweiligen Regionen durchgeführten Experteninterviews und Panels lieferten in Abhängigkeit von den zu Grunde gelegten Marktszenarien differenzierte Ergebnisse. Im erstgenannten Zeitraum wurde für die Region Hochsauerlandkreis und Oberallgäu eine stagnierende Milchmenge prognostiziert. Die stärkste Ausweitung wurde aufgrund des hohen Grünlandanteiles für die Region Friesland erwartet, während auch für die Regionen Nordfriesland und Neue Bundesländer eine Mengensteigerung prognostiziert wurde. Im Prognosezeitraum von 2015 bis 2020 zeigten die Untersuchungen unter dem Szenario positiver Milchmärkte eine Steigerung der Milcherzeugung in allen Untersuchungsregionen, die auf 1,9 % pro Jahr ausgehend vom Jahr 2015 beziffert wurde. Einen leichten Anstieg der Milchanlieferungsmenge prognostizieren die Panelteilnehmer im Szenario mit den niedrigen Milchauszahlungspreisen während des Analysezeitraumes. Gleichzeitig wird eine hohe Steigerung der Milcherzeugung bei positiver Entwicklung des Milchmarktes erwartet.

Zur Prognose der regionalen Milchmengenentwicklung von 2009 bis 2020 im Bundesland Niedersachsen wurden ebenfalls empirische Methoden in Form von Panelgesprächen mit Experten und Meinungsumfragen bei Milcherzeugern angewendet. Aus den dabei differenzierten zu Grunde gelegten Milchmarktszenarien ergab sich eine unterschiedliche regionale vorhergesagte Milchmengenentwicklung in Niedersachsen. Dabei wurde erwartet, dass sich Regionen in Niedersachsen mit bisheriger Milchmengensteigerung die positive Entwicklung der Milcherzeugung weiter fortsetzen wird. Daneben wurde ein deutlicher Strukturwandel bei den Milcherzeugern in Niedersachsen prognostiziert, so dass sich die Anzahl der Milcherzeuger im Jahr 2020 im Vergleich zu den aktiven Milcherzeugern im Jahr 2009 um 50 % reduzieren soll. Ähnlich wie die von LASSEN *ET AL.* (2008) vorgestellte nationalen Studie zur Prognose der regionalen Milchmengenentwicklung erwarten die Umfrageteilnehmer und Experten eine Zunahme der Milchanlieferung Niedersachsens mit Steigerung des Milchauszahlungspreises und damit der Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung (LASSEN UND BUSCH 2009).

In der vom Heinrich von Thünen Institut im zweijährigen Rhythmus veröffentlichten „Baseline“ werden die erwarteten Entwicklungen in der nationalen Agrarstruktur unter Berücksichtigung der derzeitigen Agrarpolitik und der zukünftig beschlossenen politischen Maßnahmen simuliert. Dazu werden verschiedene Simulationsmodelle herangezogen. Die Modellierung der agrarstrukturellen Entwicklung erfolgt dabei unter Verwendung des Simulationsmodelles FARMIS. Dieses Modell ermöglicht eine regionale Produktionsabschätzung bis auf Landkreisebene. Tiefgründigere Informationen zu diesem Simulationsmodell können aus ISERMEYER *ET AL.* (2006) entnommen werden. Basierend auf

der zuletzt im Jahr 2018 veröffentlichten „Baseline 2017 - 2027“ wird für Deutschland eine Steigerung der Milcherzeugung um 1,8 % auf bis zu 37,52 Mio. t im Jahre 2027 vorhergesagt (OFFERMANN *ET AL.* 2018). Daraus resultiert eine jährliche Steigerung der Milcherzeugung von 0,33 % pro Jahr während des Betrachtungszeitraumes.

SCHMID (2015) führte eine quantitative Analyse zur regionalen Milchmengenentwicklung in Bayern auf Landkreisebene im Betrachtungszeitraum von 2005 bis 2013 durch, um daraus eine Prognose der Milcherzeugung in Bayern ableiten zu können. Diese Untersuchung ergab eine Verlagerung der Milcherzeugung in Bayern hin zu südlich und östlich gelegenen Landkreisen. Gleichzeitig wurde während dieses neunjährigen Betrachtungszeitraumes eine Steigerung der jährlich abgelieferten Milchmenge bayerischer Milcherzeugerin Höhe von 0,64 % identifiziert. Basierend auf dieser historischen Milchmengenentwicklung wurde die zukünftige Milchmenge in Höhe dieses Wertes prognostiziert. Einen ähnlichen pauschalen Ansatz zur Fortschreibung der bisherigen Milchmengenentwicklung und strukturellen Entwicklung veröffentlichte GÖBBEL (2014) zur Prognose der Milcherzeugung und Lieferantenstruktur im Betrachtungszeitraum von 2013 bis 2020. Aufbauend auf dieser Methode prognostiziert GÖBBEL einen Rückgang der Milcherzeuger von 5,2 % pro Jahr für Gesamtdeutschland, der mit einer jährlichen Zunahme der nationalen Milcherzeugung um 1,8 % pro Jahr einhergeht.

2.1.2 Molkereiebene

Das Heinrich von Thünen Institut führte 2009 für die Molkerei Frischli eine empirische Umfrage zur Prognose der Milchmenge bis zum Jahr 2015 durch. Die Auswertung dieser Umfrage erfolgte dabei differenziert für die drei Molkereibetriebsstätten Eggenfelden, Rehburg, Weißenfeld. Die anonym durchgeführte Umfrage, die ein zweiseitiges Anschreiben und einen fünfseitigen Fragebogen umfasste, konnte mit einer Rücklaufquote von 30 % abgeschlossen werden. Die zukünftige Milchmengenprognose basiert dabei auf der Einschätzung der zukünftigen Standortfaktoren und einzelbetrieblichen Einschätzung der zukünftigen Milchanlieferung. Neben der Prognose der angelieferten Milchmenge wurden die vorherrschenden Standortfaktoren wie Pachtpreis und geplante Ausweitung der Flächenbewirtschaftung analysiert. Für das niederbayerische Milcheinzugsgebiet Eggenfelden wurde eine Zunahme der Milcherzeugung von 5,9 % zwischen 2010 und 2015 vorhergesagt. Die höchste Steigerung der Milcherzeugung prognostizierten die Milcherzeuger des niedersächsischen Milcheinzugsgebietes Rehburg in Höhe von 33 % während des fünfjährigen Betrachtungszeitraumes. Dagegen erwarten die Milcherzeuger des in Ostdeutschland gelegenen Milcheinzugsgebietes Weißenfeld eine Reduktion der

Milcherzeugung in Höhe von einem Prozent während des Prognosezeitraumes (WOLTER *ET AL.* 2010).

Im Auftrag der Molkerei Milk Link Ltd. aus Großbritannien führten AKTER UND RAHMAN (2010) eine Prognose der zukünftigen Milchanlieferung des gesamten Milcheinzugsgebietes unter Verwendung von Zeitreihenmodellen durch. Die Datenbasis fußte auf monatlich aufgezeichneten Milchmengen der Milcherzeuger zwischen den Jahren 2000 und 2008. Dabei variierte die Genauigkeit der prognostizierten Milchmengen im Vergleich zu den angelieferten Milchmengen zwischen 0,96 % und 10,62 % pro Monat.

Zur Bündelung der Milchmenge und damit der Verhandlungsmacht vor den nachgelagerten Gliedern in der Wertschöpfungskette Milch (Abbildung 1) sind die Milcherzeuger meist zu Milcherzeugerorganisationen zusammengeschlossen. Bei den Milcherzeugerorganisationen handelt es sich um einen Zusammenschluss von Milcherzeugern, die die Rechtsform eines wirtschaftlichen Vereins nach § 22 BGB aufweist (LFL 2018). Durch die Mitgliedschaft bei einer Milcherzeugerorganisation erteilt der einzelne Milcherzeuger dem Vorstand der Milcherzeugerorganisation das Recht, den Milchkaufvertrag mit der Molkerei für den einzelnen Milcherzeuger zu schließen. Dieser Milchkaufvertrag regelt Anforderungen an die Milcherzeugung und die Abrechnungsmodalitäten für die Molkerei. Darüber hinaus beinhaltet der Milchkaufvertrag über die festgelegte Vertragslaufzeit eine Andienungspflicht der gesamten Milch an die Molkerei aus Sicht des Milcherzeugers. Gleichzeitig wird mit einer Abnahmepflicht die Milchabnahme durch die Molkereien sichergestellt. Diese Milchkaufverträge liefern somit den Grundstein für die Zusammenarbeit zwischen Milcherzeuger und Molkerei und bieten darüber hinaus Planungssicherheit bilateral für beide Seiten.

Zur Anreizschaffung der Milcherzeuger eine geplante Milchmenge an die Molkerei abzuliefern, können in Milchkaufverträge entsprechende Mengenrestriktionen integriert werden. Dies bedeutet in der Praxis, dass die Milcherzeuger einen differenzierten Milchauszahlungspreis für die im Milchkaufvertrag vorgeschriebene Milchmenge (A-Menge) und die überlieferte Milchmenge (B-Menge) erhalten. Der Milchauszahlungspreis der B-Menge kann dabei aus Grenzverwertungen für Butter und Magermilchpulver abgeleitet werden, deren Erlöse eine hohe Volatilität aufweisen. Mit einer derartigen Systematik sind die Milcherzeuger bestrebt, die geplante A-Milchmenge innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes an die Molkerei zu liefern. Wird die vorgegebene A-Milchmenge nicht angeliefert, kann die Molkerei in Abhängigkeit des bilateralen Vertrages den jeweiligen Milcherzeuger mit monetären Strafen belangen (WEINDLMAIER 2009, 2010; THIELE *ET AL.* 2018).

Dieses Preissystem zur Mengensteuerung wird seit 01.04.2015 bei der französischen Genossenschaftsmolkerei Sodiaal verwendet. Zur Festlegung der A-Menge dienen 90 % der Höhe der Milchquote des letzten wirksamen Milchquotenjahres 2014/2015. Für diese Milchmenge werden aufgrund der planbaren Verwertungen die höchsten Preise bezahlt. Maximal 30 % der Milchmenge dieses Referenzjahres können als B-Menge herangezogen werden. Der B-Preis wird mittels der Formel des Kieler Rohstoffwertes Milch aus den monatlichen „Final Settlementkursen“ von französischen Börsennotierungen für Butter und Magermilchpulver erhoben. Dadurch nimmt mit Ausweitung der Milchmenge der durchschnittliche Referenzpreis pro kg Milch ab. Aus diesem Grund wird eine Ausweitung der Milchablieferung von Erzeugerseite in schlechten Milchmarktphasen ökonomisch uninteressant. Bei dieser Preisabschlagsfindung handelt es sich um einen variablen Preisabzug. Neben diesen marktabhängigen Preisabzügen kann zur Abschlagsfindung ebenfalls ein fester Preisabzug bzw. Malus zum Basispreis herangezogen werden. Diesen weist beispielsweise die Molkerei FrieslandCampina mit 10 ct/kg Milch und die Molkerei Ennstal Milch mit 3 ct/kg Milch aus (THIELE *ET AL.* 2018, S. 7). Durch diese „planbare Überlieferung“ wird die Milchmengenplanung aus Sicht der Molkerei verbessert (THIELE 2016). Ein derartiges Mengensteuerungsinstrument durch Preisdifferenzierung wurde von der schwedischen Molkerei Skånemejerier im Jahr 2001 eingeführt (VERSPUT 2001). In einer Untersuchung von STEFFEN *ET AL.* (2009) stellte sich nach Durchführung einer Befragung bei 269 Milcherzeuger heraus, dass ein Großteil der Befragten keine Festschreibung der anzuliefernden Milchmenge über den Milchkaufvertrag präferieren. Darüber hinaus resultierte bei dieser Untersuchung eine große Teilnahmebereitschaft der Milcherzeuger, den Molkereien die zu erwartende abzuliefernde Milchmenge des Folgejahres mitzuteilen. Dies konnte ebenfalls von SCHLECHT UND SPILLER (2009) bestätigt werden.

Einen technisch und praktisch anwendbaren Ansatz der Mitteilung der geplanten Anlieferungsmenge auf Monatsebene der Milcherzeuger an die Molkereien bietet die Sopra EDV-Informationssysteme GmbH. Diese Informationsübertragung kann sowohl auf freiwilliger Grundlage, als auch auf einer vertraglich festgelegten Mitteilung basieren. Dabei können die Vertragslandwirte einer Molkerei ihre geplante Milchmenge und die zu erwartenden Inhaltsstoffe in einer Online-Plattform eintragen, woraus die Molkereien auf Milcherzeugerebene die geplanten monatlichen Milchmengen aller Vertragslandwirte ableiten können. Nachfolgende Abbildung 3 zeigt die Online Eingabemaske dieses Eingabetools für die Milcherzeuger.

Monat	Menge 2012 in kg	Fett in % 2012	Eiweiß in % 2012	Plan/Ist Menge 2013 in kg	Fettgehalt Plan/Ist 2013 in %	Eiweißgehalt Plan/Ist 2013 in %	Korrektur Plan Menge 2013 in kg	Korrektur Plan Fett 2013 in %	Korrektur Plan Eiweiß 2013 in %	Bemerkung
Januar	169861	3,97	3,37	153647	4,27	3,52				
Februar	170996	4,07	3,41	158124	4,17	3,47				
März	169960	3,92	3,34							
April	164812	3,90	3,33							
Mai	173569	3,89	3,26	12	3,89	3,26	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
Juni	158775	3,78	3,24	13	3,78	3,24	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
Juli	152288	3,80	3,26	14	3,80	3,26	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
August	150718	4,05	3,40	15	4,05	3,40	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
September	132055	4,13	3,38	16	4,13	3,38	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
Oktober	132098	4,31	3,53	17	4,31	3,53	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
November	136084	4,30	3,59	18	4,30	3,59	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
Dezember	158952	4,29	3,57	19	4,29	3,57	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	* Keine Korrektur
Gesamt	1870168	4,02	3,38	311895	4,21	3,49				Planänderung senden ...

Abbildung 3: Eingabemaske des Milchmanagementinstrumentes (Quelle: SOPRA 2012).

Zur Transparenz werden die Vorjahresmilchmengen im Erzeugerverrechnungssystem angegeben. Zur Anreizschaffung der „Prognosegenauigkeit“ kann das Milchmengenmanagementtool der Sopra EDV-Informationssysteme GmbH mit einem Bolus-/Malussystem verknüpft werden.

Neben diesen Preisdifferenzierungsmodellen ermöglichen Festpreismodelle die Planung der zu erwartenden Milchmenge aus Sicht einer Molkerei, da die Milcherzeuger für eine definierte Milchmenge einen Festpreis erhalten, woraus die Planungssicherheit der Milcherzeuger hinsichtlich Liquidität steigen kann (THIELE ET AL. 2018, S. 9). Beispielsweise bot die bayerische Molkerei Bechtel ihren Milcherzeugern 2017 ein Festpreismodell an, bei dem die Milcherzeuger maximal 50 % der im Jahr 2017 angelieferten Milchmenge absichern konnten. Das dabei angebotene Modell basiert auf einem „Back-to-back-Vertrag“, so dass der abzusichernde Milchpreis aus einem Festpreis mit der abnehmenden Industrie resultiert. Das Festpreismodell der Molkerei Bechtel wurde aufgrund zu geringer Teilnahme der Milcherzeuger eingestellt. Jedoch gewinnen die Festpreismodelle sowohl basierend auf Back-to-back-Verträge (LOUGHREY ET AL. 2018, S. 36–38), und in Großbritannien börsenbasiert zunehmende Bedeutung (THIELE ET AL. 2018, S. 10).

Darüber hinaus bietet die Flexibilisierung der Lieferbeziehungen in Milchlieferverträgen die Möglichkeit der Mengensteuerung aus Sicht einer Molkerei. So können durch Reduzierung der Kündigungsfristen und Erhöhung schuldrechtlicher Verträge in ungünstigen Marktphasen Milcherzeuger abgegeben werden, während in günstigen Marktphasen Milcherzeuger flexibel wieder aufgenommen werden können (THIELE *ET AL.* 2018, S. 11). PETERSEN UND HESS (2018) zeigten 2018 mittels eines Choice-Experimentes die Affinität der Milcherzeuger unter anderem zu verkürzten Kündigungsfristen. Dabei stellte sich heraus, dass mit Zunahme der Betriebsgröße aus Sicht der Milcherzeuger die Präferenz hin zu verkürzten Milchkaufverträgen steigt.

2.1.3 Herden- und Kuhebene

Eine genaue Milchmengenprognose auf Herdenebene und individueller Kuhebene stellt sowohl für die strategische Entscheidungsfindung des Milcherzeugers in den Bereichen der Zucht und des Betriebsmanagements als auch zur Einkommensplanung des Milcherzeugers einen in Vergangenheit tiefgründig untersuchten Forschungsbereich dar (MURPHY *ET AL.* 2014; OLORI *ET AL.* 1999). Aufgrund der multifaktoriellen Einflussfaktoren auf die kuhindividuelle Milchleistung existierte eine Vielzahl von mathematischen Modellen, von denen ausgewählte Modelle nachfolgend aufgezeigt werden (SHALLOO *ET AL.* 2004). Die Höhe der kuhindividuellen Milchleistung wird von der Fütterung (DE NARDI *ET AL.* 2013), der kuhindividuellen Genetik (SHARMA *ET AL.* 2007), dem Laktationsstadium (GRZESIAK *ET AL.* 2003), sowie der Laktationsanzahl (MELLADO *ET AL.* 2011) beeinflusst. Darüber hinaus tragen die klimatischen Bedingungen im Stall (BROUCEK *ET AL.* 2006; FIDLER UND DEVENDER 2002) und die Haltung der Milchkühe zur Milchleistung bei (KIRCHGEBNER *ET AL.* 2011). Bei weidebetonten Milchviehhaltungs- und Fütterungssystemen mit saisonaler Blockabkalbung, bei denen das Laktationsstadium der Milchkühe auf die Vegetationsperiode abgestimmt ist, wird die Höhe der Milchleistung von den Vegetationsbedingungen und damit vom Grasaufwuchs beeinflusst (ADEDIRAN *ET AL.* 2012; SMITH 1967; HEINSCHINK *ET AL.* 2013). Weiter tragen kuhindividuelle Krankheiten zur Reduzierung der kuhindividuellen Milchleistung bei (COLLARD *ET AL.* 2000; JAMROZIK UND SCHAEFFER 2010).

Die Systematik der Prognosen der Milchmengen auf Milchkuhebene kann zwischen univariaten und multivariaten Prognoseverfahren unterschieden werden. Bei univariaten Prognoseverfahren werden die Milchmengen unter Verwendung einer exogenen Variablen ermittelt. Multivariate Prognoseverfahren sind dagegen durch die Berücksichtigung verschiedener exogener Variablen zur Prognose gekennzeichnet. Somit werden mehrere exogene Variablen zur Erhebung der abhängigen Variablen Milchmenge verwendet (MURPHY *ET AL.* 2014).

MURPHY *ET AL.* (2014) analysierten zur Prognose der Milchmenge die Genauigkeit eines nicht-linearen Zeitreihenmodelles mit exogenen Variablen, eines neuronalen Netzwerkes und eines multiplen linearen Regressionsmodelles ³. Dabei erfolgte die Milchmengenprognose jeweils für vier Zeiträume: Die langfristige Milchmenge beschreibt die Prognose der Milchmenge über 305 Tage und damit über einer gesamten Laktation. Als mittelfristigen Milchmengenprognosezeitraum werden sowohl ein 50-Tageszeitraum als auch ein 30-Tageszeitraum betrachtet. Die kurzfristige Milchmengenprognose erfolgt dabei für einen 10-Tageszeitraum. Bei diesen Untersuchungen variierte der MAPE der langfristigen Milchmengenprognose zwischen 8,59 % und 12,03 %. Über den betrachteten 50-Tageszeitraum lag der MAPE im Bereich von 8,10 % und 12,15 %. Die Genauigkeit der Prognose der Milchmenge über den 30-Tageszeitraum lag im Bereich von 6,77 % und 10,62 %. Im kurzfristigen Prognosezeitraum reichte die Genauigkeit der prognostizierten Milchmenge von 5,84 % bis zu 10,70 %. Zusammenfassend konnte bei dieser Betrachtung die höchste Genauigkeit beim nicht-linearen Zeitmodell identifiziert werden. Bei diesem Modellierungsansatz wurde jedoch zu Grunde gelegt, dass die erzeugte Milchmenge von keinen ökonomischen Faktoren, wie beispielsweise dem Milchauszahlungspreis oder gesetzlichen Restriktionen, beispielsweise der Milchquote beeinflusst wird. Weiter werden als Datengrundlage eine Milchviehherde eines Versuchsbetriebes in Irland betrachtet, auf dem eine saisonale Abkalbung der Milchkühe praktiziert wird.

ZHANG *ET AL.* (2016) veröffentlichten eine Untersuchung zur Erstellung eines Milchmengenprognosetools auf Milchviehherdenbasis, bei dem die Milchmengen auf Tagesebene der gesamten Milchviehherde prognostiziert werden. Die im Rahmen dieser Untersuchung betrachtete Milchviehherde ist durch eine saisonale Blockabkalbung und die Fütterung während der Vegetation über eine Portionsweide gekennzeichnet. Darüber hinaus stimmt der Laktationsverlauf der Milchkühe mit dem Vegetationsverlauf überein. Dabei wurden zur Optimierung der Prognosegüte drei verschiedene Modelle an Daten einer Milchviehherde analysiert. Zur Validierung wurden Kurvenanpassungsmodelle, Regressionsmodelle und nicht-lineare autoregressive Modelle mit exogenen Variablen über verschiedene Zeiträume herangezogen. Die Simulation erfolgte über einen 365-Tageszeitraum, einen 30-Tageszeitraum und einen 10-Tageszeitraum. Als exogene Variablen für das nichtlineare autoregressive Modell wurden die Wetterdaten als Indikator für das Graswachstum und Kennwerte der betrachteten einzelnen Milchkühe, sowie die historischen Milchmengen auf

³ Zur Bewertung der Genauigkeit der Prognose dient der Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Diese Kennzahl stellt bei Prognosen einen Maßstab dar zur Differenz zwischen dem prognostizierten und eingetretenen Wert (CHAI UND DRAXLER 2014; MURPHY *ET AL.* 2014; ZHANG *ET AL.* 2016). Eine detailliertere Beschreibung erfolgt in Kapitel 4.2.2.

Tagesebene herangezogen. Für die Wetterdaten wurden die Lufttemperatur, die Bodentemperatur, der Niederschlag, die Sonnenscheinintensität und die Windgeschwindigkeit zu Grunde gelegt. Die Informationen zu den notwendigen exogenen Variablen der einzelnen Milchkühe umfassen das Kalbedatum und die Laktationszahl der jeweiligen Kuh. Die Genauigkeit der Kurvenanpassungsmodelle resultierte über den 365-Tageszeitraum im Bereich von 23,7 % bis zu 25,9 %. Das Kurvenanpassungsmodell lieferte für den 365-Tageszeitraum eine Genauigkeit von 8,4 %, während aus dem nicht-linearen autoregressiven Modell mit exogenen Variablen eine Genauigkeit bei 9,3 % resultierte. Bei der Betrachtung der Milchmengenprognose im 30-Tageszeitraum konnte bei dem Regressionsmodell die Genauigkeit von 8,2 % erzielt werden, die sich beim nicht-linearen autoregressiven Modell mit exogenen Variablen 8,9 % ergab. Bei der Prognose der kurzfristigen Milchmenge lieferten die Untersuchungen beim nichtlinearen autoregressiven Modell mit exogenen Variablen einen RMSE von 7,1 %, während bei dem betrachteten Regressionsmodell eine Genauigkeit von 8,0 % resultierte. In den von ZHANG *ET AL.* (2016) veröffentlichten Ergebnissen zu den erstellten Modellen liegen milchkuhindividuelle Leistungsdaten zu Grunde, die von ökonomischen Einflüssen oder gesetzlichen Restriktionen unabhängig sind.

BRYANT *ET AL.* (2010) veröffentlichten basierend auf neuseeländischen Gegebenheiten zur Prognose der Milchmenge aus Perspektive des Milcherzeugers das Prognosemodell „Farmax Dairy pro“. Dieses Instrument soll Milcherzeuger bei der strategischen Entscheidungsfindung bei verschiedenen Herausforderungen und Fragestellungen beispielsweise hinsichtlich Fütterung, Genetik, Lebendgewicht und Body Condition Score unterstützen. Somit liefert dieses Programm für Milchviehhalter eine Hilfestellung zur Umsatz- und Einkommensplanung. Die Erhebung der prognostizierten Milchmenge basiert auf einer umfangreichen Dateneingabe vieler exogener Größen in das Programm. Dabei sind als Datenimport die milcherzeugerindividuelle Anzahl an Kühen, die Futtergrundlage, der Body Condition Scores und viele milchkuhspezifische Leistungskennzahlen erforderlich. Bezogen auf die jährlich prognostizierte Milchmenge eines Praxisbetriebes reicht der MAPE von 15 % bis 23 % (BRYANT *ET AL.* 2010).

2.2 Milchlogistik

Im Unterkapitel Milchlogistik werden ausgewählte Veröffentlichungen im Bereich Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik, sowie Milchlogistiksimulationsmodelle aufgezeigt. Einleitend in diesen Themenbereich erfolgt ein Überblick zu den

Besonderheiten und Anforderungen der Rohmilchlogistik im Vergleich zu anderen Transportgütern.

2.2.1 Besonderheiten der Rohmilchlogistik

Bevor die Eigenschaften der Rohmilchlogistik im Vergleich zu anderen Transportgütern in diesem Kapitel aufgezeigt werden, soll der Begriff Logistik definiert werden: „Zur Logistik gehören alle Tätigkeiten, durch die raumzeitliche Gütertransformation und die damit zusammenhängenden Transformationen hinsichtlich der Gütermengen und -sorten, der Güterbehandlungseigenschaften sowie der logistischen Determiniertheit der Güter geplant, gesteuert, realisiert oder kontrolliert werden. Durch das Zusammenwirken dieser Tätigkeiten soll ein Güterfluss in Gang gesetzt werden, der einen Lieferpunkt mit einem Empfangspunkt möglichst effizient verbindet.“ (PFOHL 2018). Diese Definition beschreibt im Bereich der Rohmilchlogistik einen Logistikprozess, der die Komponenten der Milcherfassung beim Milcherzeuger und den Transport in die Molkerei möglichst effizient miteinander verbindet. Somit beschreibt der betrachtete Prozess eine reine Beschaffungslogistik (RONEN 1988).

Im Vergleich zum Transport von Wirtschaftsgütern oder anderen Agrarrohstoffen handelt es sich bei der Milchlogistik um einen Teilladungstransport des leicht verderblichen Gutes Rohmilch. Der Teilladungstransport bei der Milchlogistik, vor allem bei der Milcherfassung wird dadurch begründet, dass die Milchmengen der einzelnen Milcherzeuger pro Abholintervall meist die Transportkapazitäten des jeweiligen Transportmittels unterschreiten. Demnach ist eine Fahrt mit einem teilbeladenen LKW nötig, dessen Tank entweder durch getrennte Kammern oder Schwallwänden die Schwappbewegung der Rohmilch während der Fahrt verhindert (HILGERS 2017).

Darüber hinaus weist die Rohmilch als natürliches Produkt verderbliche Eigenschaften auf (O'DWYER UND KEANE 1971). Die Verderblichkeit der Rohmilch wird durch den Gehalt an Keimen in der Milch begründet, die auch mit Erhöhung der Temperatur aufgrund der steigenden Aktivität der Mikroorganismen zunimmt (ROBINSON 2002). Die Rohmilch besteht hauptsächlich aus sieben verschiedenen Bestandteilen, die sich jeweils weiter in die chemischen Bestandteile zerlegen lassen. Dabei nimmt den größten Bestandteil mit einem relativen Anteil von 87 % an der Gesamtmasse Wasser ein. Somit umfassen die 13 % Trockenmasse der Rohmilch die Bestandteile Fett, Gesamtprotein, Lactose und Asche (BALTES 2000).

Neben dem hohen Gehalt an Wasser in der Rohmilch und der Verderblichkeit ist der Rohstoff Kuhmilch aufgrund der Laktationsphysiologie der Milchkühe durch eine fast ganzjährige Erzeugung charakterisiert, sowie einer Milcherzeugung an Sonn- und

Feiertagen (KIRCHGEßNER *ET AL.* 2011). Da die Milchkühe in der individuellen Milchleistung und der Inhaltsstoffe sämtlichen exogenen Einflussfaktoren wie im vorherigen Kapitel aufgezeigt unterworfen sind, unterliegt die erzeugte Milchmenge einer Schwankung. Aufgrund der ganzjährigen Abkalbung der meisten Milchkühe in Deutschland mit ganzjähriger Stallhaltung im Vergleich zur weit verbreiteten saisonalen Abkalbung der Milchkühe in Irland unterliegt die Milcherzeugung in Deutschland einer geringeren saisonalen Volatilität als die Milcherzeugung in Irland (SHALLOO *ET AL.* 2004). Da im praktizierenden Low Input System der Milcherzeugung in Irland aus ökonomischen Gründen der Laktationsverlauf der Milchkuh mit der Vegetationsperiode vereinheitlicht wird, liegt im Monat Mai die höchste Milchlieferung vor, während im Monat Januar die geringste Milchmenge in Irland erzeugt wird. Mit einer stärkeren Anpassung des Laktationsverlaufes an die Vegetationsperiode bei den notwendig vorherrschenden Standortfaktoren können die Produktionskosten der Milcherzeugung reduziert werden (SMYTH *ET AL.* 2009).

Diese spezifischen Eigenschaften der Rohmilch erfordern sämtliche Spezifikationen im Bereich der Lagerung und der Logistik. Aufgrund der Verordnung (EG) Nr. 853/2004 sind die Milcherzeuger verpflichtet die Rohmilch im „Fall der täglichen Abholung unverzüglich auf eine Temperatur von nicht mehr als 8 °C und bei nicht täglicher Abholung auf nicht mehr als 6 °C abzukühlen“. Diese Anforderungen der Rohmilchkühlung erfordert beim Milcherzeuger eine entsprechende Milchlagerungs- und Milchkühlungseinrichtung. Daraus leiten sich für die Gestaltung der zur Milchlogistik verwendeten Transportmittel Anforderungen im Bereich der Tankisolation ab (HILGERS 2017).

Da die Lagerungs- und Kühlmöglichkeit der Rohmilch an die Menge der erzeugten Rohmilch pro Abholintervall des Milcherzeugers angepasst sind, wird aus Sicht der Molkerei eine regelmäßige Milchabholung in „Abholintervallen“ praktiziert (QUINLAN *ET AL.* 2010). Dabei beschreibt ein Abholintervall den Rhythmus der zeitlich wiederkehrenden Milcherfassung beim Milcherzeuger. In der praktizierenden Milcherfassung wird zwischen einem ein-, zwei- und dreitägigen Abholintervall unterschieden. Bei einem eintägigen Abholintervall wird die Milch täglich beim Milcherzeuger erfasst, bei einem zweitägigen Abholintervall wird die Milch jeden zweiten Tag beim Milcherzeuger abgenommen und beim dreitägigen Abholintervall wird die Rohmilch jeden dritten Tag beim Milcherzeuger abgeholt (O'CALLAGHAN *ET AL.* 2018). Aufgrund der beschränkten Möglichkeit der Milchannahme beispielsweise während der Melkzeiten beim Milcherzeuger, und der notwendigen Reinigung des Milchlagertanks beim Milcherzeuger sind routinierte Milcherfassungstouren während eines Abholintervalls in der Milchlogistik nötig (BUTLER *ET AL.* 2005). Neben den Vorteilen für den Milcherzeuger bieten diese Touren Vorteile im Bereich der

Transaktionskostenreduzierung bei der Milcherfassung. Eine Tour definiert in der Logistik eine geordnete zeitliche Anfahrt einzelner Kunden, die am Depot beginnt und am Depot endet. Dabei wird zwischen einer Auslieferungstour und einer Abholtour unterschieden (TEMPELMEIER 2018, S. 83–84; GUDEHUS 2011, S. 22). Eine Definition der Milcherfassungstour erfolgt in Kapitel 4.4.

Zur monatlichen Milchgeldabrechnung, die auf den Parametern Milchmenge und Milchqualität basiert, sind bei der Milchannahme beim Milcherzeuger entsprechende Datenaufzeichnungen nötig (§ 1-7 MILCHGÜV). Somit erfolgt bei der Milchannahme die Volumenmessung der Milch mittels eines Durchlaufzählers.⁴ Eine Rückstellprobe der Milch wird über ein Probenahmesystem zur Analyse der Milchinhaltsstoffe und der Qualität bei jeder Milchannahme generiert. Genauere Informationen zur Bewertung der Milchqualität können aus der „Verordnung über die Güteprüfung und Bezahlung der Anlieferungsmilch“ entnommen werden (§ 1-7 MILCHGÜV).

Neben den spezifischen Anforderungen der Rohmilchlogistik an den Milchtransport unterliegen die Transportmittel der Milchlogistik der Straßenverkehrs-Ordnung und der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. Nach § 30 Absatz 2 StVO ist es erlaubt, frische Milch und frische Milcherzeugnisse auch an Sonn- und Feiertagen zu transportieren. Neben den spezifischen Anforderungen hinsichtlich des Gewichtes schreibt § 34 Absatz 5 StVZO ein maximales Gesamtgewicht für eine Fahrzeugkombination von 40 t vor.

2.2.2 Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Die Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik können sowohl retrospektiv durch Befragung als auch prospektiv durch Simulation bzw. Kalkulation ermittelt werden. Zuletzt erhoben WEINDLMAIER UND BETZ (2009) retrospektiv deutschlandweit Milchlogistikkosten mittels Befragung im Zeitraum von 1998 und 2007. Aus dieser empirischen Untersuchung resultierten Vollkosten der Milchlogistik im Bereich von 1,07 ct/kg Milch und 1,15 ct/kg Milch. Gleichzeitig wurden dabei für Österreich Milchlogistikkosten zwischen 1,82 ct/kg Milch und 1,99 ct/kg Milch erfragt. Basierend auf einer Umfrage bei allen irischen Molkereien wurden die Milchlogistikkosten in Irland für das Jahr 2004 auf 1,15 ct/l geschätzt (QUINLAN *ET AL.* 2005). Dabei beschreibt der Begriff Milchlogistikkosten alle Kosten, die beim Transport der Rohmilch vom Milcherzeuger zur Molkerei anfallen, und damit zur Durchführung für die von KAENE (1986) aufgezeigten

⁴ Die Milchmenge wird bei den Milcherzeugerbetrieben über einen Durchflussmesser ermittelt. Die Umrechnung in die metrische Gewichtseinheit kg und in Deutschland übliche Abrechnungsgröße erfolgt über den Kalkulationsfaktor 1,03 kg/l (BAKE 2012, S. 98).

Verfahrensschritte der Milchlogistik erforderlich sind: Zwischenerzeugerfahrt, Transportfahrt, Milcheinsaugen beim Milcherzeuger, Routinetätigkeit beim Milcherzeuger, Milchentladung in der Molkerei und Routinetätigkeit in der Molkerei. Die nach QUINLAN *ET AL.* (2005) disaggregierte relative Kostenverteilung der Milchlogistik zeigt nachfolgende Abbildung 4.

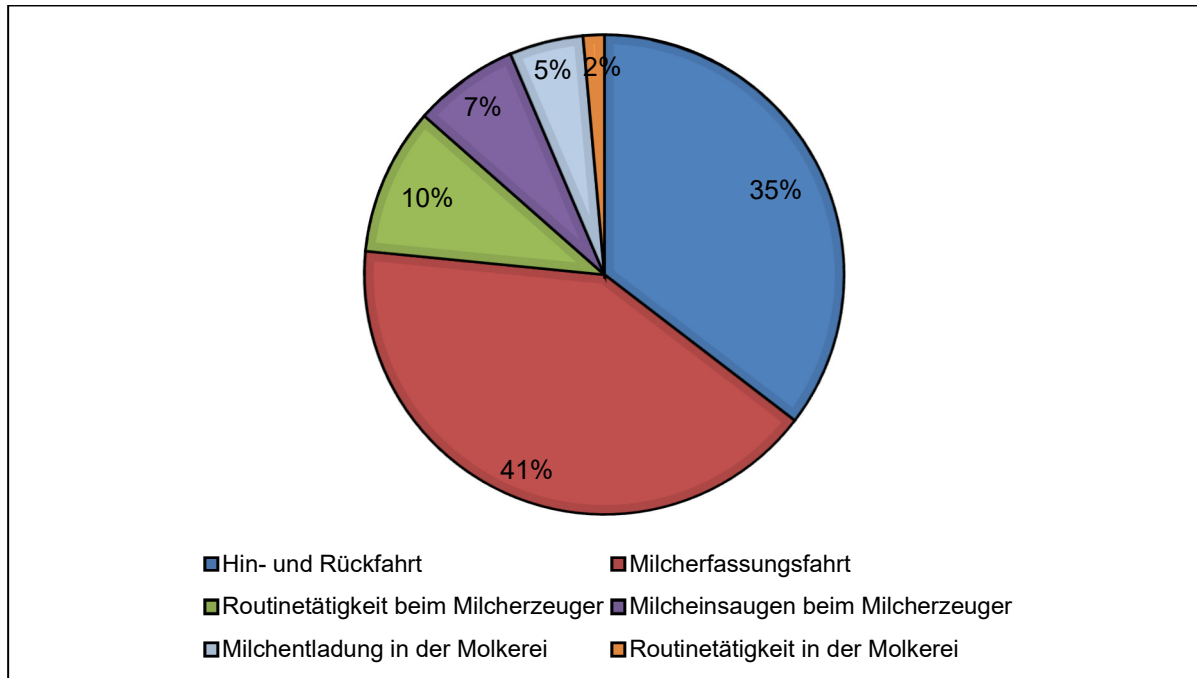


Abbildung 4: Relative Zusammensetzung der Vollkosten der Milchlogistik in Irland (Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an: QUINLAN *ET AL.* 2005).

Den größten relativen Anteil der in Abbildung 4 dargestellten relativen Kostenverteilung nimmt mit 41 % die Zwischenerzeugerfahrt ein. Die Transportfahrt beansprucht 35 % der gesamten Vollkosten der Milchlogistik. Mit einem relativen Anteil von zehn Prozent an den Gesamtkosten umfasst die Routinetätigkeit beim Milcherzeuger einen höheren relativen Kostenanteil als die Komponente Milcheinsaugen beim Milcherzeuger. Auf die Kostenkomponente Milchentladung entfällt ein relativer Anteil von fünf Prozent an den Gesamtkosten, während die Routinetätigkeit in der Molkerei zwei Prozent beansprucht (QUINLAN *ET AL.* 2005).

Für Irland simulierten QUINLAN *ET AL.* (2012) Milchlogistikkosten für die gesamte irische Milchwirtschaft zu Zeiten nach der Milchquote in Abhängigkeit der Volatilität der jährlichen Milchmengenlieferung und verschiedener Milchmengenszenarien. Zur Kalkulation wurden hinsichtlich der Milcherzeugerstruktur einheitliche gleichverteilte Lieferantenstrukturen zu Grunde gelegt. Dabei lagen die erhobenen Vollkosten der Milchlogistik zwischen 0,81 ct/l Milch und 0,99 ct/l Milch, während die spezifischen Treibhausgasemissionen unter Verwendung des Well-to-Wheel Bewertungsansatzes

zwischen 3,80 g CO₂-Äq/l Milch und 4,45 g CO₂-Äq/l Milch lagen. Dabei stellte sich heraus, dass mit Abnahme der Maimilchspitze und einer Zunahme der Milchmenge die Vollkosten der Milcherzeugung sinken. Das Bereitstellen der Milchlogistiktransportmittel über ein ganzes Jahr, die primär im Mai benötigt werden, begründen neben der Steigerung der Milchdichte durch die Milchmengenausweitung diesen Kostenverlauf. Dies konnte ebenfalls von (QUINLAN *ET AL.* 2010) bestätigt werden.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 dargestellt wurde, können aus Perspektive der Milcherfassung mit der Ausweitung des Abholintervalls Vorteile erzielt werden. Das Einsparpotential der Umstellung einer täglichen auf eine zweitägliche Abholung liegt zwischen 0,04 ct/kg und 0,54 ct/kg (WEINDLMAIER UND HUBER 2010; QUINLAN *ET AL.* 2010; DOOLEY 2002). Aus diesen Veröffentlichungen geht hervor, dass das ökonomische Einsparpotential mit Zunahme der Milchdichte und der einzelbetrieblichen Milcherzeugergröße sinkt.

DOOLEY *ET AL.* (2005) erhoben in Abhängigkeit der umgestellten Milchmenge eine Kostensteigerung der Milchlogistik durch die separierte Erfassung von zwei Milchsorten in Neuseeland im Bereich von 4,5 % und 22 % in Abhängigkeit von der Milchsorte.

Einen ähnlichen Milchlogistikkostenoptimierungsansatz untersuchten WEINDLMAIER UND HUBER (2010) vor dem Hintergrund der Problemstellung, dass innerhalb einzelner Ortschaften bestehend aus mehreren Milcherzeuger verschiedene Molkereien die Milch erfassen. Durch die Beseitigung dieser Überschneidungen hervorgerufen durch den Wechsel von Milcherzeugern zwischen den Molkereien kann die Milchdichte innerhalb der Milcheinzugsgebiete einer Molkerei erhöht werden. Mit dieser Maßnahme können die Vollkosten der Milchlogistik im analysierten Berechnungsbeispiel Südbayern um 17 % reduziert werden (WEINDLMAIER UND HUBER 2010).

Neben der strategischen Milchdichteerhöhung durch Bereinigung der Überlappungen zu anderen Molkereien oder der Standardisierung der Milchsorte innerhalb eines Milcheinzugsgebietes variieren die Milcheinzugsgebiete einer Molkerei hinsichtlich der jeweiligen Lieferantenstruktur. Die Lieferantenstruktur beschreibt die räumliche Verteilung und die Größenklassen der Milcherzeuger innerhalb eines Milcheinzugsgebietes (WOLTER *ET AL.* 2010). Da die Rohmilch zu einem hohen Anteil aus Wasser besteht, wie im vorherigen Kapitel 2.2.1 dargestellt wurde, kann durch die Konzentration der Rohmilch der Trockenmassegehalt werden, wonach der Anteil an transportiertem Wasser abnimmt (GARCIA III UND MEDINA 1988; SØRENSEN *ET AL.* 2016).

CARIA *ET AL.* (2018) analysierten für die italienische Molkereiindustrie unter Verwendung des im nachfolgenden Kapitel 2.2.3 dargestellten Simulationsmodelles Vollkosten und Treibhausgasemissionen für 37 ausgewählte Milcherfassungstouren. Zur Bewertung der

Milchdichte innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete dient die entsprechende Milchdichtekennzahl innerhalb der jeweiligen Tour, deren Berechnungssystematik und Bewertung im Kapitel 4.4 dargestellt wird. Die im Rahmen dieser Analyse erhobenen Vollkosten der Milchlogistik variierten im Bereich 1,24 ct/l Milch und 4,94 g CO₂-Äq/l Milch bei einer Milchdichte von 118,4 l/km bis zu 6,57 ct/l Milch und 18,91 g CO₂-Äq/l Milch bei einer Milchdichte von 14,3 l/km.

2.2.3 Logistiksimulations- und Optimierungsmodelle

Die ersten Optimierungen im Bereich der Logistik veröffentlichten unter Verwendung der Linearen Optimierung DANTZIG UND RAMSER (1959), bei der die Benzinauslieferung von einem Depot an sieben Tankstellen optimiert wurde. Nach dieser Forschungsinitialisierung von DANTZIG UND RAMSER (1959) nahm die internationale Forschungstätigkeit im der Logistiko-optimierung im Bereich des Operation Research zu, so dass mittlerweile zahlreiche Simulations- und Optimierungsmodelle zur Logistiko-optimierung entwickelt wurden (BOCXE UND TILANUS 1985; BUTLER *ET AL.* 2005; O'CALLAGHAN *ET AL.* 2018; PRATT *ET AL.* 1996; SCARIA UND JOSEPH 2014). Die Vorteile der Simulation im Vergleich zum „Feldtest“ an realen Systemen liegen in dem grundsätzlich geringeren monetären und zeitlichen Ressourcenverbrauch, sowie der genaueren Abbildung der Realität unter verschiedenen zu Grunde gelegten Bedingungen (ROZINAT *ET AL.* 2009; IRNICH *ET AL.* 2002, S. 2). Somit kann die Simulation als Grundlage für unterschiedliche Entscheidungssituationen herangezogen werden (FU 1994).

Zur Simulation von logistischen Fragestellungen wurden in Vergangenheit die Methode des Travelling Salesman Problem verwendet (BUTLER *ET AL.* 1997; STROHM 2000). Da zur Rohmilchbeschaffung einer Molkerei sowohl Transportmittel mehrere Fahrzeugkombinationen eingesetzt werden, fokussiert sich die Forschung der Milchlogistik auf das Vehicle Routing Problem (LACHRINI *ET AL.* 2015; ERDOGAN 2017a; O'CALLAGHAN *ET AL.* 2018). Diese Methode stellt eine Sonderform des Travelling Salesman Problems dar. Nachfolgende Abbildung 5 stellt die beiden Lösungsmethoden gegenüber.

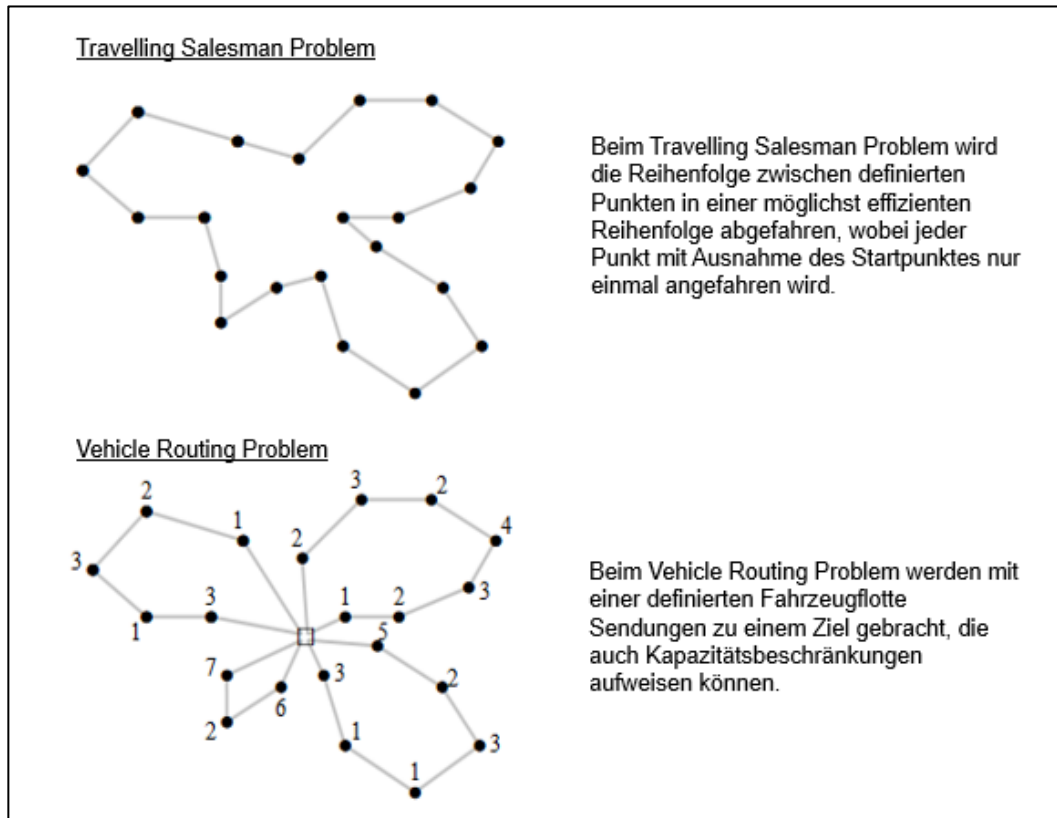


Abbildung 5: Travelling Salesman Problem (oben) Vehicle Routing Problem (unten)
 (Quelle: Eigene Abbildung, in Anlehnung an: PISINGER UND ROPKE 2010).

Das in Abbildung 5 links dargestellte Travelling Salesman Problem beschreibt ein kombinatorisches Optimierungsproblem. Dabei gilt als Zielsetzung, die schwarz gekennzeichneten Kunden in einer möglichst effizienten Reihenfolge abzufahren (REINELT 1994, S. 1–3). Das rechts in Abbildung 5 dargestellte Vehicle Routing Problem beinhaltet ein Depot an einem zentralen Punkt innerhalb der betrachteten Kunden. Diese Methode zielt darauf ab, optimale Touren einer vorgegebenen Fahrzeugflotte unter Berücksichtigung der Nachfrage der schwarz markierten Kunden zu erstellen (IRNICH *ET AL.* 2002). Da bei der Rohmilchlogistik Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkombinationen mit beschränkter Kapazität eingesetzt werden, handelt es sich bei der Rohmilchlogistik um ein Capacity Vehicle Routing Problem, das eine Sonderform des Vehicle Routing Problems darstellt. Diese Anwendung erfordert jedoch die Vordefinition der Kapazität und die Anzahl der verwendeten Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkombinationen (O'CALLAGHAN *ET AL.* 2018; FISCHER 1995).

O'CALLAGHAN *ET AL.* (2018) simulierten zuletzt für ein irisches Milcheinzugsgebiet mit 50 Milcherzeugern unter Verwendung eines von ERDOGAN (2017a) bereitgestellten Spreadsheet Solvers, der auf dem Vehicle Routing Problem basiert, die Milcherfassungs- und Transportstrecke über ein Jahr unter Berücksichtigung der Saisonalität der für Irland typischen Milcherzeugung. Bei dieser Untersuchung resultierte bei den betrachteten drei

Szenarien eine hohe Robustheit der Ergebnisse und die praktische Verwendung dieses Lösungsansatzes zur Milchlogistiksimulation.

Zur Planung der Zuckerrübenlogistik und des Transportes hat STROHM (2000) mehrstufige Simulationsmodelle in verschiedenen Entscheidungsebenen zur Planung der Zuckerrübenernte und des Zuckerrübentransportes entwickelt. Die Planung der Reihenfolge der Zuckerrübenernte und des Zuckerrübentransportes basiert auf dem Travelling Salesman Problem. In der betrachteten strategischen Modellebene wird zur Zuckerrübenernte und zum Zuckerrübentransport eine Grobplanung vorgenommen. Die taktische Modellebene teilt die in der strategischen Modellebene festgelegten Verfahrensvarianten basierend auf dem Flächenanbauplan unter Zuhilfenahme von Ertragsprognosen den einzelnen Regionen zu. Kurzfristige Entscheidungen der Einsatzleitung, wie beispielsweise die Zuordnung von Geräten und Fahrzeugen zu den Einsatzorten unterliegen der operativen Entscheidungsebene (STROHM 2000).

Anforderungen an eine Tourenplanungssoftware für die Milchlogistik und die Erstellung einer Entscheidungsunterstützungssoftware im operativen Einsatz veröffentlichten BUTLER *ET AL.* (2005). Durch Gespräche mit irischen Milchlogistikexperten stellte sich heraus, dass aus Sicht einer Molkerei pro Fuhrunternehmer ein zusammenhängendes Milcheinzugsgebiet erforderlich ist, das von einem Disponenten verwaltet wird. Dabei müssen zur objektiven Planung der Touren charakteristische Kennzahlen, wie die Milchmenge oder Inhaltsstoffe der Rohmilch, hinterlegt werden. Weiter ergab die Untersuchung, dass zur praxisnahen Tourenplanung mit realen Streckendistanzen die Anbindung an ein Geoinformationssystem erforderlich ist mit geeigneter Landkartengrundlage. Zur Optimierung der Tour innerhalb der betrachteten Cluster können dabei Methoden des Operation Research, wie beispielsweise der Travelling-Salesman Algorithmus verwendet werden.

MELLALIEU UND HALL (1983) entwickelten das Milchlogistiksimulationsmodell „NETPLAN“ für eine neuseeländische Molkerei mit mehreren milchverarbeitenden Betriebsstätten zur Simulation der Milchlogistik für die verschiedenen Einzugsgebiete. Bei dieser Simulation werden die gesamten Milcheinzugsgebiete in einzelne Zellen in der Größe von 25 km² aufgeteilt. Die jeweiligen Zellen beinhalten zwischen fünf und 50 Milcherzeuger. Innerhalb dieser einzelnen Zellen erfolgt die systematische Milchlogistikplanung unter Verwendung des Travelling Salesman Problems. Zur Streckenbewertung zwischen den einzelnen Milcherzeugern und den milchverarbeitenden Betriebsstätten werden Luftliniendistanzen mit Korrekturfaktoren in Abhängigkeit des geografischen Gebietes zu Grunde gelegt. Unter der Verwendung der Methode der

Linearen Programmierung, bezogen auf die pauschalen Kosten der einzelnen Milchtransporte der vordefinierten Cluster zu den verschiedenen Molkereistandorten mit unterschiedlichem Milchmengenbedarf, erfolgt die optimierte Zuteilung der einzelnen Zellen zu den Molkereibetriebsstätten.

Für die irische Milchindustrie, zur Simulation der irischen Milcheinzugsgebiete nach der Milchquote, haben QUINLAN *ET AL.* (2006) ein Transportsimulationsmodell entwickelt, in dem die gesamten nationalen Milcherzeuger in 147 zusammenhängende Milcheinzugsgebiete aufgeteilt wurden. Da dieses Simulationsmodell auf die Optimierung der irischen Molkereibetriebsstätten abzielt, fußt diese Simulation auf zu Grunde gelegten pauschalen Milcherfassungstrecken innerhalb der Einzugsgebiete und pauschalen Strecken zwischen den Milcheinzugsgebieten und Molkereibetriebsstätten. Aus dieser Simulation resultierte neben der Anzahl der optimierten milchverarbeitenden Betriebsstätten die zurückgelegte Milcherfassungs- und Milchtransportstrecke. Quantitative Ergebnisse dieses Modells hinsichtlich erhobenen Vollkosten und Treibhausgasemissionen wurden bereits in Kapitel 2.2.2 aufgezeigt.

CARIA *ET AL.* (2018) erstellten für die italienische Schafsmilchindustrie ein Milchlogistikoptimierungstool zur operativen Tourenplanung. Weiter ermöglicht dieses Simulationsmodell eine Bilanzierung der zurückgelegten Strecke, der Kosten und der Treibhausgasemissionen auf Tourenebene. Zur Tourenoptimierung wurde der Ameisenalgorithmus angewendet, der eine Sonderform des Travelling Salesman Problems darstellt. Bei der Evaluierung dieses Modelles wurde jedoch nur die Reihenfolge der angefahrenen Schafsmilcherzeuger innerhalb bestehender Touren unter Verwendung einer Verfahrensvariante simuliert. Ergebnisse dieser Simulation wurden bereits in Kapitel 2.2.2 dargestellt.

3 Zielstellung

Zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit milchverarbeitender Unternehmen innerhalb der Wertschöpfungskette Milch soll im Rahmen dieser Arbeit ein Managementtool zur zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose auf Milcherzeugerebene, das der dynamischen Rohmilchlogistiksimulation dient, entwickelt und anhand realer Daten validiert werden. Diese auf Milcherzeugerebene notwendige Simulation erfordert die Analyse der gegenwärtigen und zukünftigen Strukturen der Milcheinzugsgebiete einer Molkerei. Deshalb sollen Prognosemodelle entwickelt werden, mit denen aus Sicht einer Molkerei in einem kurz- bis langfristigen Prognosezeitraum die zu erwartenden angelieferten Milchmengen möglichst genau prognostiziert werden können.

Damit sollen aus Sicht einer Molkerei Vorteile im Bereich der verbesserten Produktionsplanung und der strategischen Logistikausrichtung erzielt werden, wonach sich durch verbesserte Kapazitätsauslastungen in beiden Bereichen nachhaltig Vorteile erzielen lassen. Daneben soll mit der Kenntnis der langfristig zu erwartenden Milchmenge der Vertragslandwirte aus Sicht der Molkerei die strategische Ausrichtung im Bereich der nachhaltigen Milcherzeugerakquise optimiert werden.

Die zu entwickelnden Methoden und Simulationsansätze sollen an vier praxisnahen Milcheinzugsgebieten mit insgesamt 900 Milcherzeugern validiert werden, um die langfristige Einsatzmöglichkeit der entwickelten Modelle in der Praxis ableiten zu können. Diese verfahrensartabhängige ökonomische, zeitliche und ökologische Logistiksimulation soll sowohl für die gegenwärtige Struktur als auch jeweils für die zukünftige Struktur ausgehend von dem prognostizierten Strukturwandel für die betrachteten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2023 erfolgen. Zu dieser zukünftigen differenzierten Logistiksimulation wird die milcherzeugerspezifische Milchmengenprognose herangezogen. Da zur ökonomischen, ökologischen und zeitlichen verfahrensartspezifischen Logistikbewertung entsprechende Daten erforderlich sind, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine entsprechende Datengrundlage geschaffen werden.

Darüber hinaus soll der praktische Einsatz durch den technischen Fortschritt im Bereich der Milchlogistik hervorgerufener Verfahrensvarianten der Milchlogistik hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und Zeit analysiert werden, woraus unter der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur, die optimale Verfahrensvariante zur Milchlogistik abgeleitet werden kann. Dabei ist die Integration des entwickelten Milchmengenprognosetools in die Rohmilchlogistiksimulation erforderlich, weil die zukünftige spezifische Rohmilchlogistikoptimierung unter dynamischer Integration des Strukturwandels ein

höheres pagatorisches Optimierungspotential als die gegenwärtige Rohmilchlogistiksimulation darstellt. So können für verschiedene Milcheinzugsgebiete verfahrensartdifferenzierte Logistiksimulationen durchgeführt werden, bevor Kaufentscheidungen für Transportmittel bzw. Fahrzeugkombinationen getroffen werden. Damit lassen sich aus Sicht milchverarbeitender Unternehmen Wettbewerbsvorteile in der Wertschöpfungskette Milch durch die strategische Auswahl ökonomisch, ökologisch und zeitlich effizienter Verfahrensvarianten sowie genauer Milchmengenprognosen erzielen.

4 Material und Methoden

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Milchmengenprognosemodelle und das dynamische Rohmilchlogistiksimulationsmodell beschrieben. Abschließend werden die ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Bewertungsformeln aufgezeigt. Zunächst werden die vier Milcheinzugsgebiete dargestellt, an denen die entwickelten, Prognose- und Simulationsmodelle validiert werden.

4.1 Betrachtung der Milcheinzugsgebiete

Die zeitskalenabhängige Prognose der Milchmenge und die Logistiksimulation im Rahmen dieser Arbeit erfolgt jeweils für vier Milcheinzugsgebiete: Ostbayern, Nordbayern, Südbayern und Zentralbayern. Nachfolgende Tabelle 1 fasst charakteristische Kennzahlen zu den betrachteten Milcheinzugsgebieten zusammen. Da der fortlaufende Strukturwandel innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete eine dynamische Betriebsaufgabe nach sich zieht, ist die Definition eines Stichtages zur Definition des gegenwärtigen Erzeugerstandes des jeweiligen Milcheinzugsgebietes nötig. Damit umfasst die gegenwärtige Erzeugerstruktur pro Milcheinzugsgebiet alle Milcherzeuger, die zum 1. Januar 2017 den Status aktive Milcherzeuger hatten. Somit beschreibt in nachfolgender Tabelle die Spalte „Milchmenge 2017“ diejenige Milchmenge, die die aktiven Milcherzeuger innerhalb des jeweiligen Milcheinzugsgebietes an die Molkerei im Jahr 2017 angeliefert haben. In Anhang 1 und Anhang 2 sind weitere Informationen zu den Betriebsgrößenklassen hinsichtlich des Anteiles der Milchmenge und des Anteiles der Milcherzeuger innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete beigefügt.

Tabelle 1: Charakteristische Kennzahlen der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2017

Kennzahl	Einheit	Milcheinzugsgebiet			
		Ostbayern	Nordbayern	Südbayern	Zentralbayern
Milchmenge 2017	Mio. kg	90,75	28,80	34,44	90,91
Anzahl Milcherzeuger	Anzahl	273	102	182	292
Durchschnittliche Milchmenge	kg/Milcherzeuger	332.254	282.372	189.222	311.328

Das betrachtete Milcheinzugsgebiet Zentralbayern stellt sowohl hinsichtlich der angelieferten Milchmenge als auch hinsichtlich der Anzahl an Milcherzeugern das größte Milcheinzugsgebiet dar. Dagegen ist das Milcheinzugsgebiet Nordbayern mit 102 Milcherzeugern und einer angelieferten Jahresmilchmenge von 28,80 Mio. kg Milch das kleinste Milcheinzugsgebiet. Im Bereich der Struktur zwischen den Milcheinzugsgebieten variiert die durchschnittliche Milchlieferung von 189.222 kg/Erzeuger und Jahr im

Milcheinzugsgebiet Südbayern bis hin zu 332.254 kg/Erzeuger und Jahr im Milcheinzugsgebiet Ostbayern. In nachfolgender Abbildung 6 ist das Milcheinzugsgebiet Ostbayern dargestellt. Zur Anonymisierung der Milcherzeuger und der betrachteten Molkereibetriebsstätte wird im Rahmen der Darstellungen der Milcheinzugsgebiete auf die maßstabsgetreue Darstellung der Längen- und Breitengrade verzichtet.

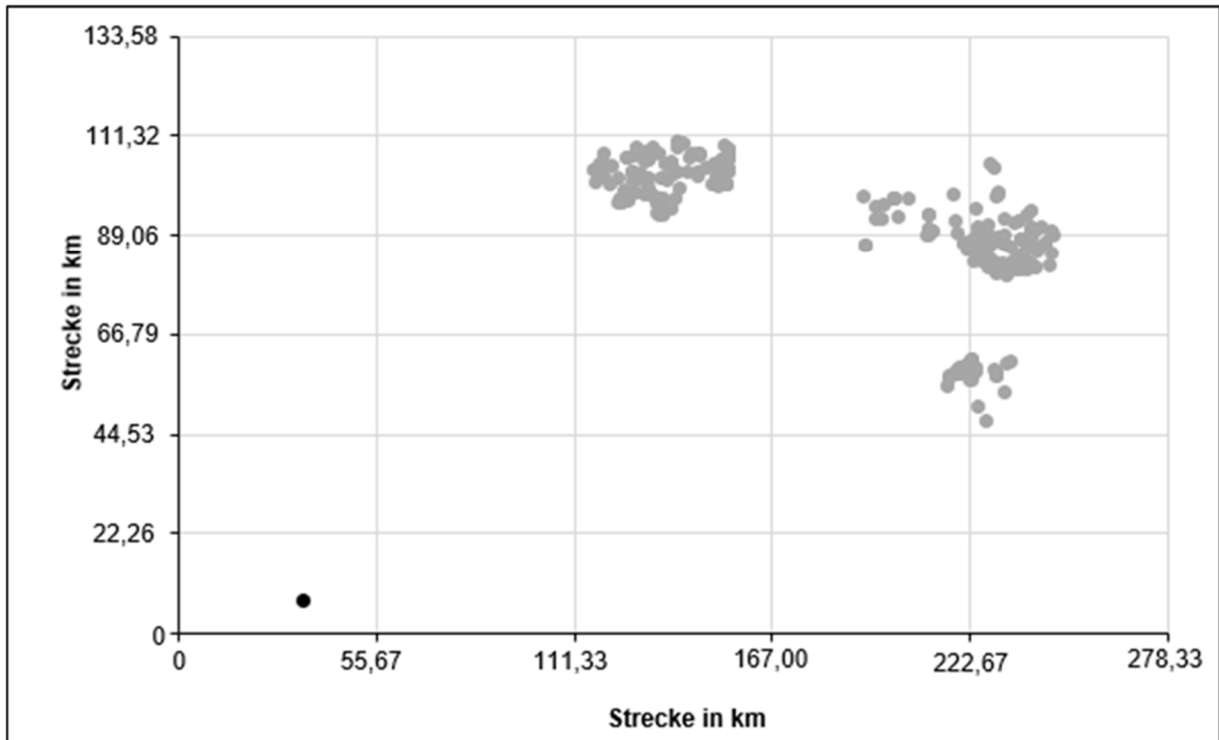


Abbildung 6: Milcheinzugsgebiet Ostbayern mit 273 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017
(Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Im Milcheinzugsgebiet Ostbayern lieferten im Jahr 2017 273 Milcherzeuger 90,75 Mio. kg Milch an die betrachtete Molkerei. Die Spanne der durchschnittlich jährlichen Milchanlieferung pro Betrieb reicht im Milcheinzugsgebiet Ostbayern im Jahr 2017 von 17.902 kg/Milcherzeuger und Jahr bis zu 1.489.750 kg/ Milcherzeuger und Jahr. Daneben wurde im Jahr 2017 gut 35,5 % der Milch von Milcherzeugern an die Molkerei angeliefert, deren Milchmenge im Jahr 2017 zwischen 500.000 kg pro Jahr und 749.999 kg Milch pro Jahr lag. Etwa 8,4 % der Milch des Milcheinzugsgebietes Ostbayern stammt von Milcherzeugern, deren jährliche Milchanlieferung im Jahr 2017 bei mehr als 1.000.000 kg lag. 2,2 % der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Ostbayern liegen in dieser Betriebsgrößenklasse.

Die meisten Milcherzeuger und damit 35,5 % der Milcherzeuger lieferten im Jahr 18,3 % der Milch in der Betriebsgrößenklasse 100.000 kg bis 249.999 kg Milch an die Molkerei ab (Anhang 1, Anhang 2).

Das zum Molkereistandort nördlich gelegene Milcheinzugsgebiet Nordbayern (Abbildung 7) umfasst in der gegenwärtigen Struktur 102 Milcherzeuger, die im Jahr 2017 28,80 Mio. kg Milch an die Molkerei anlieferten.

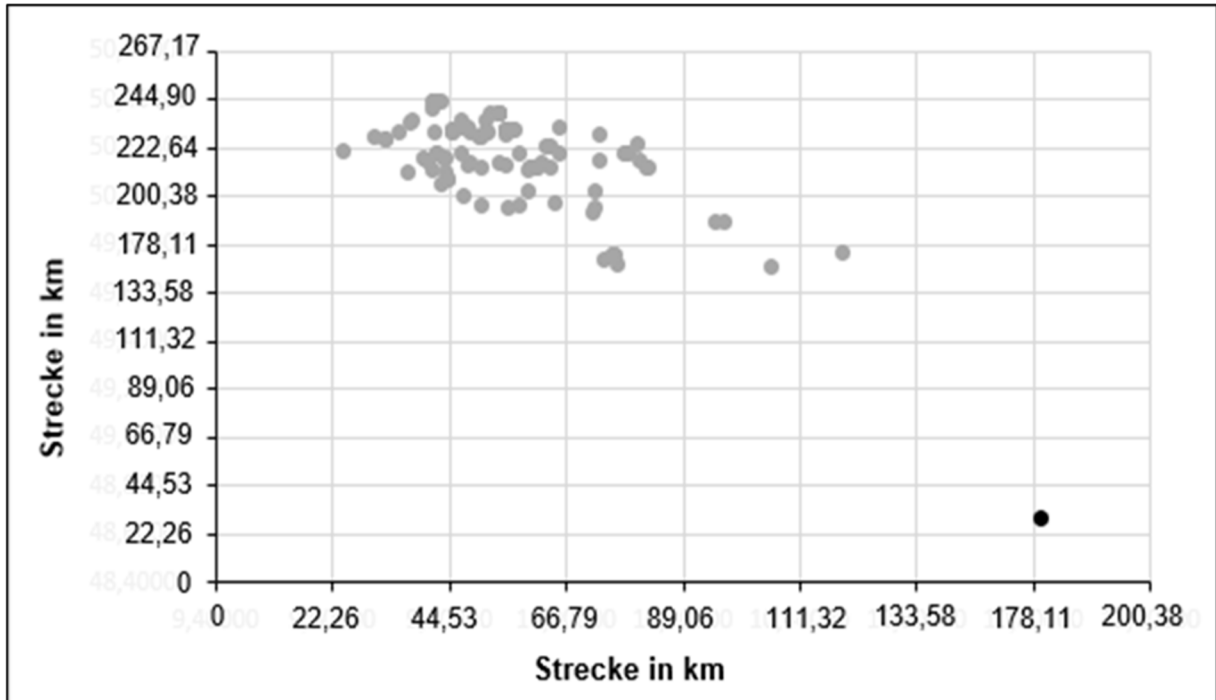


Abbildung 7: Milcheinzugsgebiet Nordbayern mit 102 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017 (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Besonders groß sind die strukturellen Unterschiede im Milcheinzugsgebiet Nordbayern im Jahr 2017 zwischen Milcherzeugern mit hohen Milchanlieferungsmengen und Milcherzeugern mit niedriger Milchanlieferungsmengen. Dabei lag die durchschnittlich angelieferte Milchmenge pro Betrieb im Jahr 2017 zwischen 3.997 kg/Milcherzeuger und Jahr und 2.219.521 kg/Milcherzeuger und Jahr. Darüber hinaus stammten im Jahr 2017 27,2 % der an die Molkerei vom Milcheinzugsgebiet Nordbayern gelieferten Milchmenge von Milcherzeugern, die mehr als 1.250.000 kg Milch pro Jahr der Molkerei andienten. Der relative Milcherzeugeranteil liegt in dieser Größenklasse bei 3,9 %. Dagegen dienten 45 % der Milcherzeuger weniger als 99.999 kg Milch pro Jahr an die Molkerei an, das einem relativen Milchmengenanteil von 7,9 % des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017 entspricht. Kumuliert mit der Betriebsgrößenklasse 100.000 bis 249.999 kg Milch lieferten 68,6 % der Betriebe weniger als 250.000 kg Milch pro Jahr, während im Jahr 2017 20,9 % der Milch in dieser Größenklasse an die Molkerei angeliefert wurden.

Die 182 Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern, das südlich der betrachteten Molkerei liegt, veranschaulicht nachfolgende Abbildung 8.

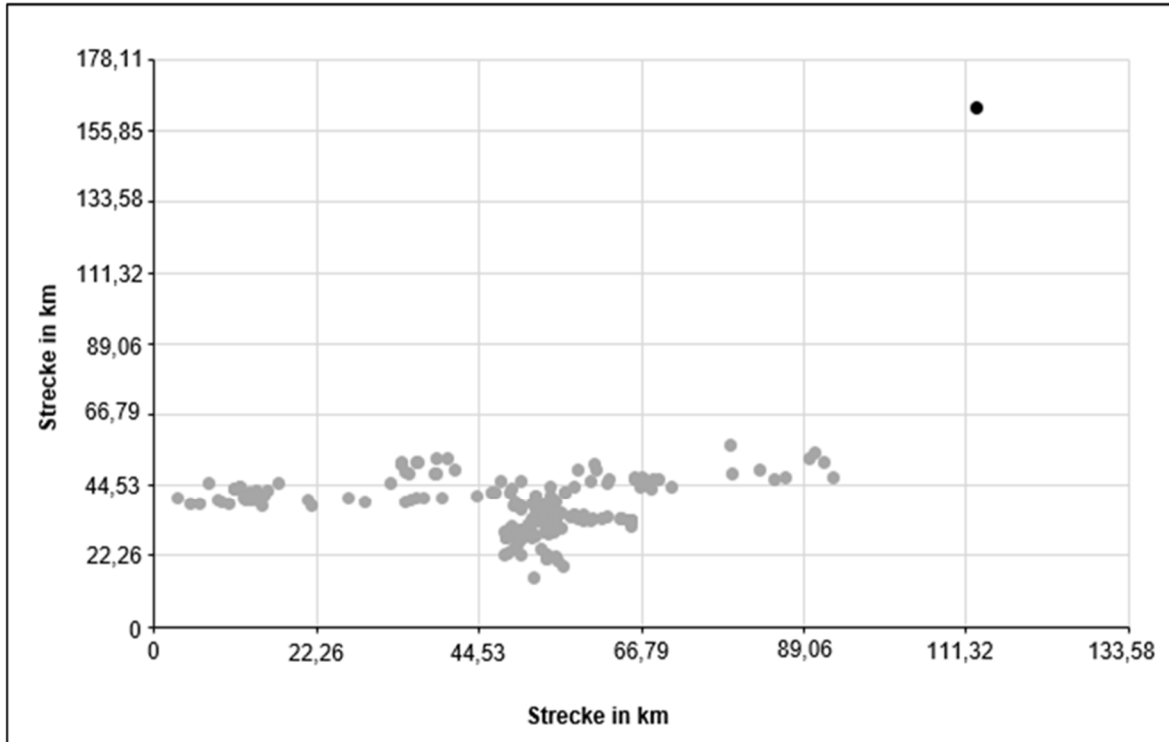


Abbildung 8: Milcheinzugsgebiet Südbayern mit 182 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017
(Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Im Milcheinzugsgebiet Südbayern lag die angelieferte Milchmenge im Jahr 2017 zwischen 11.388 kg und 1.682.903 kg Milch pro Betrieb. Nur ein Milcherzeuger lieferte mehr als 1.000.000 kg an die Molkerei an. Die Tatsache, dass die drei größten Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern 9,6 % der gesamten Milch an die Molkerei im Jahr 2017 andienten, deutet ebenfalls auf die erheblichen strukturellen Unterschiede in diesem Milcheinzugsgebiet hin. Verdeutlicht wird die Anzahl vieler klein strukturierter Milcherzeuger dadurch, dass 75,8 % der Milcherzeuger weniger als 249.999 kg Milch an die Molkerei im Jahr 2018 andienten. Gleichzeitig lag der Anteil dieser Betriebsgrößenklassen bei Betrachtung der Milchmenge bei 44,4 %. Die größte Milchmenge und damit 36,8 % der gesamten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2017 wurde in der Betriebsgrößenklasse zwischen 250.000 bis 499.999 kg an die Molkerei abgeliefert.

Die 292 Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern mit einer durchschnittlichen Milchanlieferung mit 311.328 kg/Betrieb im Jahr 2017 zeigt folgende

Abbildung neun.

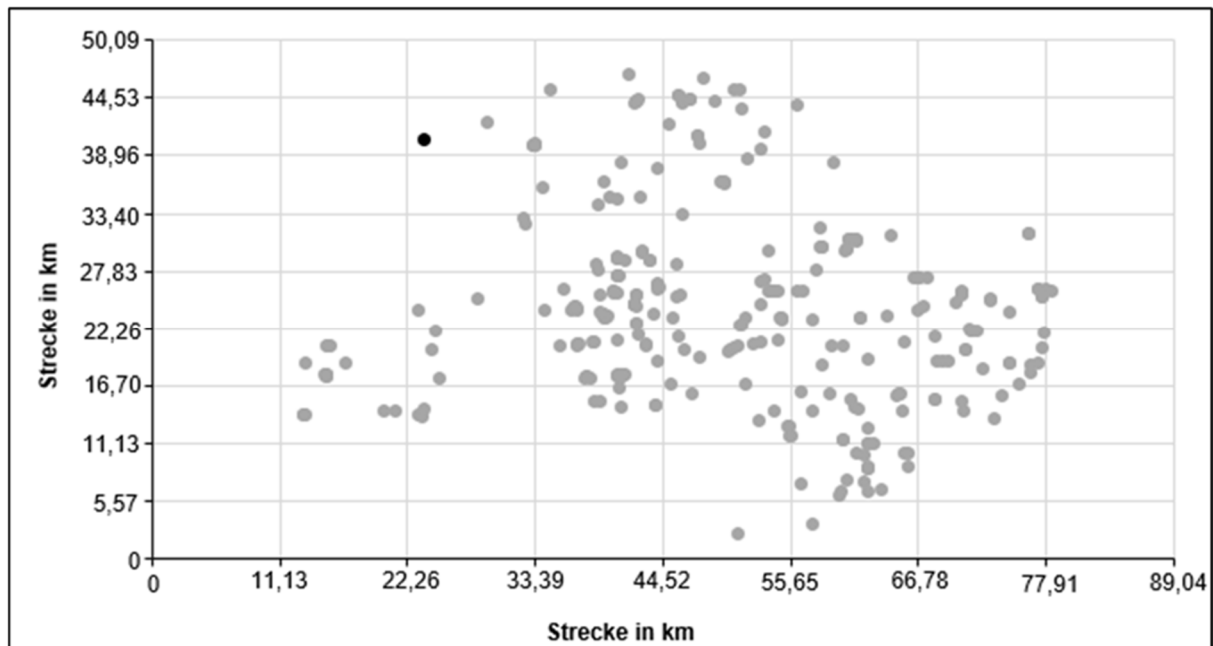


Abbildung 9: Milcheinzugsgebiet Zentralbayern mit 292 Milcherzeugern in der Farbe grau und dem Molkereistandort in der Farbe schwarz im Jahr 2017
(Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Im zum Molkereistandort sehr nahe gelegenen Milcheinzugsgebiet Zentralbayern variierte im Jahr 2017 die durchschnittliche Milchanlieferung von 15.345 kg/Erzeuger bis zu 1.696.201 kg/Erzeuger. Dabei wurden über 4,3 % der gesamten Milchmenge von Milcherzeugern angeliefert, deren durchschnittliche Milchanlieferung im Jahr 2017 bei mehr als 1.000.000 kg lag. Dabei beträgt der Anteil der Milcherzeuger in dieser Größenklasse ein Prozent. Der höchste Anteil der Milchmenge und damit 33,3 % wurde unter den betrachteten Betriebsgrößenklassen von 27,7 % der Milcherzeuger angeliefert, deren Betriebsgrößenklasse zwischen 250.001 und 500.000 kg Milch pro Jahr lag. Gleichzeitig dienten über 52,0 % der Milcherzeuger im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern weniger als 249.999 kg Milch der Molkerei an. Dabei lag der Anteil an angelieferter Milch dieser Betriebsgrößenklasse bei lediglich 21,5 %, woraus die erhebliche strukturelle Differenz zwischen kleinen und großen Milcherzeugern im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern abgeleitet werden kann.

4.2 Milchmengenprognose

Neben den Modellen zur zeitskalenabhängigen Prognose der Milchmenge werden im Kapitel Milchmengenprognose Fehlermaße zur Bewertung der Prognosegenauigkeit aufgezeigt.

4.2.1 Dynamische lang-, mittel- und kurzfristige Milchmengenprognose

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Milchmengenprognosezeiträume reichen von einem lang- über einen mittel- bis hin zu einem kurzfristigen Milchmengenprognosezeitraum. In nachfolgender Abbildung 10 sind beispielhaft die betrachteten zeitskalenabhängigen Prognosezeiträume dargestellt.

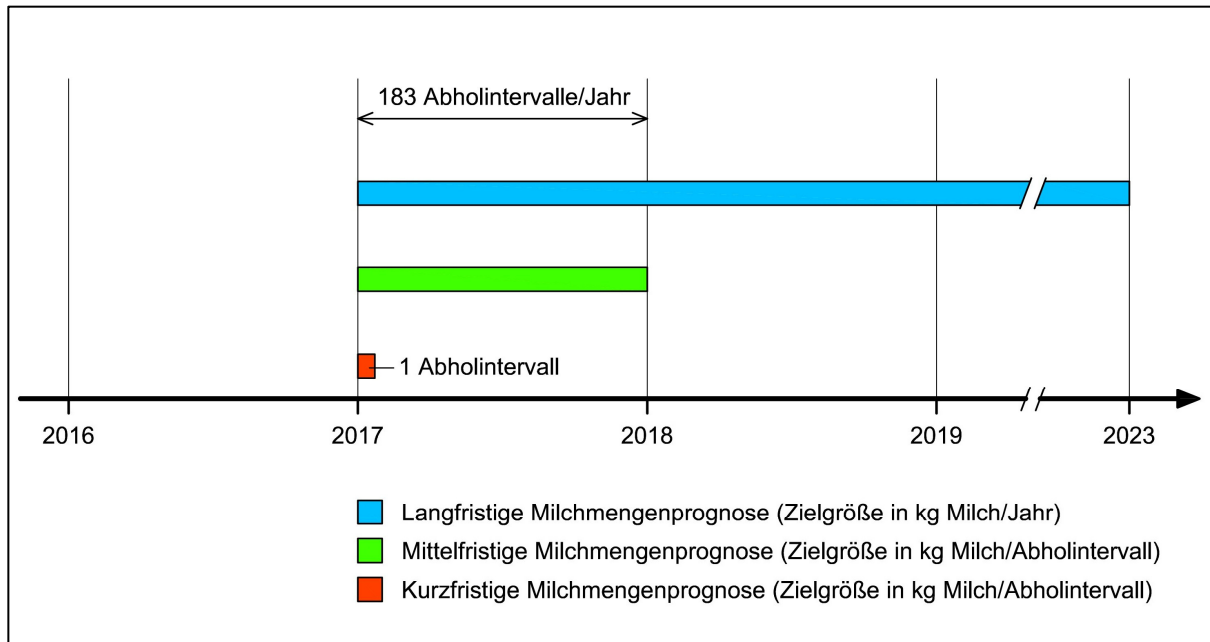


Abbildung 10: Zeiträume der zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose (Abholintervall = 48 h) (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Aus Abbildung 10 werden die zeitskalenabhängigen Milchmengenprognosezeiträume ersichtlich. Dabei basiert auf der kurzfristigen Milchmengenprognose die Prognose der Milchmenge für das nächste Abholintervall. Die gesamte Milchmengenprognose auf Abholintervallebene für das Folgejahr definiert den Zeitraum der mittelfristigen Milchmengenprognose. Die langfristige Milchmengenprognose beschreibt aus Sicht einer Molkerei die jährlich zu erwartende angelieferte Milchmenge der Vertragslandwirte in einem Zeitraum von einem Jahr bis zu fünf Jahren in der Zielgröße kg pro Jahr. Zur Einschätzung der langfristigen Milchmenge wird sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2018 eine empirische Erhebung in Form einer schriftlichen Befragung bei allen Milcherzeuger der betrachteten Milcheinzugsgebiete durchgeführt. Diese Form der Befragung wird auch als postalische Befragung bezeichnet.

Bei der Durchführung einer postalischen Befragung ist es jedoch essentiell, die Motivation der durchgeführten empirischen Umfrage in einem Begleit- und Einführungsbrief zu beschreiben (SCHNELL ET AL. 2014). Deshalb wurde ein Anschreiben erstellt, das den Hintergrund der empirischen Untersuchung begründet. In diesem Anschreiben wurde darauf hingewiesen, dass die einzelbetriebliche Milchmenge von einer Vielzahl exogener

Variablen beeinflusst wird. Jedoch soll die einzelbetriebliche zukünftigen Milchmenge basierend auf der Berücksichtigung der exogenen Variablen zum Stand der Umfrage getroffen werden (Anhang 3, Anhang 5). Zur Prognose der einzelbetrieblichen Milchmenge wird ein stark strukturierter und einheitlicher Umfragebogen verwendet, um Verständnisprobleme zu reduzieren und die Bedingungen während der Befragung zu vereinheitlichen. Dies bedeutet einen einheitlichen Fragebogen für alle Befragten der Grundgesamtheit (ATTESLANDER UND CROMM 2006, S. 124–127). Wegen der regional einzelbetrieblichen Zuordnung der Milcherzeuger und der zukünftigen Milchlogistiksimulation im Jahr 2023, sowie der Möglichkeit von gezieltem Nachfragen werden beide empirische Umfragen nicht anonym durchgeführt. Der Umfragebogen der schriftlichen Milchmengenumfrage 2017 ist in Anhang 4 und das zugehörige Anschreiben sind im Anhang 3 beigefügt.

Mit einer offenen Frage „Wo lag Ihre angelieferte Milchmenge im Jahr 2016?“ als Einstiegsfrage wird die schriftliche Milchmengenumfrage im Jahr 2017 begonnen. Mit dieser „Wegwerf-Frage“ sollte die Motivation zur Teilnahme und das Interesse an der Umfrage erhöht werden. Zur Erhebung der zukünftig anvisierten Milchanlieferungsmenge wird die offene Frage „Wie hoch sehen Sie Ihre jährlich angelieferte Milchmenge bis zum Jahr 2022?“ verwendet. Die Auswahl dieses Fragetyps zur Erhebung der einzelbetrieblich zukünftig geplanten Milchanlieferungsmenge ist durch die hohe Spannweite der einzelbetrieblichen und zukünftigen Milchanlieferungsmenge begründet. Hierfür wurde zur Transparenzerhöhung und zum effizienten Beantworten dieser Frage eine Tabelle gewählt.

Aus den bereits beschriebenen Gründen wird die schriftliche Milchmengenumfrage 2018 ebenfalls nicht anonym durchgeführt. Da die Einstiegsfrage zur angelieferten Milchmenge des Vorjahres der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2017 von vielen Milcherzeuger als nicht notwendig angesehen wurde, wird in der schriftlichen Milchmengenumfrage 2018 zur einfacheren Antwortfindung die Milchmenge des vergangenen Jahres vordruckt. Vor diesem Hintergrund hat sich die Anzahl der Fragen in der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2018 auf drei reduziert. In Anhang 6 ist der Fragebogen der schriftlichen Milchmengenumfrage 2018 beigefügt, das Anschreiben findet sich in Anhang 5. Da die offene Frage mit tabellarischer Antworteintragung in der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2017 eine sehr hohe Verständlichkeit bei den Befragten aufwies, wird die Systematik dieser Frage in der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2018 beibehalten.

Weil der standardisierte schriftliche Umfragebogen an alle Milcherzeuger der betrachteten Milcheinzugsgebiete und damit an alle Elemente der Grundgesamtheit versendet wird, wird

eine Vollerhebung innerhalb der bereits beschriebenen Milcheinzugsgebiete jeweils im Jahr 2017 und im Jahr 2018 durchgeführt (SCHNELL *ET AL.* 2014, S. 249). Dabei ist jedoch aufgrund der freiwilligen Teilnahme an der Umfrage eine Rücklaufquote an auswertbaren Fragebögen von weniger als 100 % zu erwarten. Deshalb ist eine Analyse der Qualität der Vollerhebung erforderlich.

Zur Analyse der Repräsentativität hinsichtlich Jahresmilchmenge wird ein Chi-Quadrat-Test angewendet. Dabei wird der Prüfwert χ^2 mittels nachfolgender Formel 1 ermittelt.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - n_i^*)^2}{n_i^*} \quad (1)$$

χ^2 = Prüfwert

n_i = empirische absolute Häufigkeit

n_i^* = hypothetische absolute Häufigkeit (ECKHARDT 2013).

Zur Erhebung der milcheinzugsgebietsabhängigen Repräsentativität pro Umfrage hinsichtlich Jahresmilchmenge werden jeweils die empirischen und hypothetischen absoluten Häufigkeiten jeweils für sechs verschiedene Milchmengenklassen erhoben. Dabei wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 % zu Grunde gelegt. Folglich fußt der Chi-Quadrat-Test zur Analyse der Repräsentativität hinsichtlich Jahresmilchmenge auf folgenden Hypothesen:

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ hinsichtlich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ hinsichtlich Jahresmilchmenge

Basierend auf den ausgewerteten Fragebögen pro Milcheinzugsgebiet erfolgt unter Berücksichtigung der Rücklaufquote eine milcheinzugsgebietsabhängige Hochrechnung der jährlich anvisierten Milchanlieferungsmenge. Nachfolgende Formel 2 beschreibt die Systematik der Hochrechnung der jährlich anvisierten Milchanlieferungsmenge pro Milcheinzugsgebiet bezogen auf die empirisch durchgeführte Milchmengenprognose 2017.

$$\tilde{X}_{G; 2017-2022} = \frac{\sum_{k=2017}^{2022} \tilde{X}_{AW; j}}{\sum_{k=2017}^{2022} X_{AW; -1}} * \sum_{k=2016}^{2022} X_{GG; -1} \quad (2)$$

$\tilde{X}_{G; 2017-2022}$ = Hochgerechnete Milchmenge in den Zukunftsjahren 2017 bis 2022

$\sum_{k=2016}^{2022} \tilde{X}_{AW; j}$ = Prognostizierte summierte Milchmenge der an der Umfrage teilnehmenden Milcherzeuger jeweils im Jahr 1 bis 6

$\sum_{k=2016}^{2022} X_{AW; -1}$ = Angelieferte summierte Milchmenge der an der Umfrage teilnehmenden Milcherzeuger im Vorjahr

$\sum_{k=2016}^{2022} X_{GG;-1}$ = Summierte Milchmenge der Milcherzeuger eines Milcheinzugsgebietes im Vorjahr

Die Formel für die Hochrechnung der langfristigen Milchmenge basierend auf der empirischen Umfrage 2018 zeigt nachfolgende Formel drei.

$$\tilde{X}_{G; 2018-2023} = \frac{\sum_{k=2018}^{2023} \tilde{X}_{AW;j}}{\sum_{k=2018}^{2023} X_{AW;-1}} * \sum_{k=2017}^{2023} X_{GG;-1} \quad (3)$$

$\tilde{X}_{G; 2018-2023}$ = Hochgerechnete Milchmenge in den Zukunftsjahren 2018 bis 2023

$\sum_{k=2017}^{2023} \tilde{X}_{AW;j}$ = Prognostizierte summierte Milchmenge der an der Umfrage teilnehmenden Milcherzeuger jeweils im Jahr 1 bis 6

$\sum_{k=2017}^{2023} X_{AW;-1}$ = Angelieferte summierte Milchmenge der an der Umfrage teilnehmenden Milcherzeuger im Vorjahr

$\sum_{k=2017}^{2023} X_{GG;-1}$ = Summierte Milchmenge der Milcherzeuger eines Milcheinzugsgebietes im Vorjahr

Basierend auf der in Formel zwei und drei beschriebenen Systematik erfolgt die Hochrechnung der langfristig zu erwartenden Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet. Die Hochrechnung der Anzahl an jährlich aktiven Milcherzeugern bis zum Jahr 2023 erfolgt analog zu den Formeln zwei und drei.

Die Prognose der mittelfristigen Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet basiert auf der Prognose der langfristig zu erwartenden Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet und den historisch abgelieferten Milchmengen pro Abholintervall auf Milcheinzugsgebietsebene. Dabei gilt die mittelfristige Milchmengenprognose als die zukünftig zu erwartende Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet auf Abholintervallebene des Folgejahres im Vergleich zum Jahr, in dem die empirische Meinungsumfrage stattfindet.

Die historische Datenbasis der Prognose zur mittel- und kurzfristigen Milchmengenprognose ist aus dem Erzeugerverrechnungssystem der betrachteten Molkerei entnommen. Da zur monatlichen Milchgeldabrechnung die Milchmenge jeder Milchannahme durch die Molkerei beim Landwirt nötig ist, wird die Milchmenge bei jeder Milchannahme in der Einheit Liter gemessen, und mit dem Dichtefaktor zur Milchmenge in die Einheit kg umgerechnet (vgl. Kapitel 2.2.1). Gleichzeitig wird neben der Aufzeichnung verschiedener zur Abrechnung nötiger Daten das Datum und die Uhrzeit der Milchannahme dokumentiert. Diese Aufzeichnung ist erforderlich, weil zur monatlichen Milchgeldabrechnung die erfassten Milchmengen eines Monats berücksichtigt werden. Weil die Milcherfassung in den betrachteten Milcheinzugsgebieten bereits im zweitägigen

Abholintervall in den historischen Betrachtungsjahren 2015 und 2016 erfolgte, werden die einzelnen Milchmengen der gesamten Milcherzeuger innerhalb der jeweiligen 183 Abholintervalle summiert.

Die Prognose der mittelfristigen Milchmenge, jeweils für die Abholintervalle 1 bis 183 des Folgejahres, beruht auf der in nachfolgender Formel 4 dargestellten Methode.

$$\tilde{X}_{1, \dots, 183; 1} = \left(\frac{X_{1, \dots, 183; -1}}{X_{G; -1}} * 0,5 + \frac{X_{1, \dots, 183; -2}}{X_{G; -2}} * 0,5 \right) * \tilde{X}_{G; 2017} \quad (4)$$

$\tilde{X}_{1, \dots, 183; 1}$ = Prognostizierte Milchmenge im Abholintervall 1 im Zukunftsjahr 1

$\tilde{X}_{1, \dots, 183; -1}$ = Historische Milchmenge des gesamten Milcheinzugsgebiet, jeweils für die Abholintervalle 1 bis 183 im vergangenen Jahr

$X_{G; -2}$ = Gesamte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes im vergangenen Jahr

$X_{1, \dots, 183; -1}$ = Milchmenge des gesamten Milcheinzugsgebietes, jeweils für die Abholintervalle 1 bis 183 im vergangenen Jahr

$X_{G; -2}$ = Historische Milchmenge des gesamten Milcheinzugsgebietes vor 2 Jahren

$\tilde{X}_{G; 1}$ = Prognostizierte Milchmenge der Milcherzeuger eines Milcheinzugsgebietes im Jahr 2017

Die Prognose der mittelfristigen Milchmenge für das Folgejahr erfolgt dynamisch auf Abholintervallebene für das nächste Jahr. Somit werden historische saisonale Einflussfaktoren berücksichtigt. Da ein Jahr basierend auf einem zweitägigen Abholintervall ein Jahr 183 Abholintervalle hat, erfolgt die mittelfristige Milchmengenprognose auf 183 Abholintervalle.

Die kurzfristige Milchmengenprognose pro Milcheinzugsgebiet beschreibt die Milchmengenprognose für das nächste Abholintervall basierend auf den historisch angelieferten Milchmengen pro Milcheinzugsgebiet und Abholintervall. Nachfolgende Formel veranschaulicht die dynamische Vorgehensweise zur Prognose der kurzfristigen Milchmenge.

$$\tilde{X}_a = X_{a-2} * 0,40 + X_{a-3} * 0,60 \quad (5)$$

\tilde{X}_a = Prognostizierte Milchmenge im Abholintervall a

X_{a-1} = Historische angelieferte Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet im vorletzten Abholintervall

X_{a-2} = Historische angelieferte Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet im drittletzten Abholintervall

Die in Formel 5 kurzfristig prognostizierte Milchmenge auf Milcheinzugsgebietsebene für das folgende Abholintervall resultiert aus der Summe der Milchmenge des vorletzten Abholintervalls multipliziert mit dem Faktor 0,40 und dem Produkt aus der Milchmenge des drittvorletzten Abholintervalls mit dem Faktor 0,60. Die in dieser Formel zu Grunde gelegten festen Faktoren basieren auf Voruntersuchungen.

Die Simulation und Validierung des entwickelten zeitskalenabhängigen Milchmengenmanagementtools erfolgten für das Kalenderjahr 2017. Im nachfolgenden Kapitel sind die verwendeten Maßzahlen zur Bewertung der Prognosegüte aufgezeichnet.

4.2.2 Maßzahlen zur Bewertung der Prognosegüte

Zur Bewertung der Genauigkeit der jeweiligen zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose ist eine Validierung der prognostizierten Milchmengen im Vergleich zu angelieferten Milchmengen erforderlich. Dazu werden das Fehlermaß Mean Absolute Percentage Error und das Fehlermaß Root Mean Square Error herangezogen. Nachfolgende Formel zeigt die Erhebungssystematik des MAPE.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{h} \sum_{t=1}^h \left| \frac{\tilde{X}_t - X_t}{X_t} \right| * 100 \% \quad (6)$$

h = Anzahl der Vorhersagewerte

\tilde{X}_t = Vorhersagewerte

X_t = Beobachtungswerte (VOGEL 2015, S. 16–18; MCKENZIE 2011).

Der MAPE wird unter Erhebung eines jeden absoluten Fehlers in jeder Periode dividiert durch die Anzahl der beobachteten Werte erhoben. Aus dieser Erhebung resultiert ein relativer Wert, der die durchschnittliche absolute Abweichung des vorhergesagten Wertes zum eingetretenen Wert angibt.

Die nachfolgende Formel zeigt die Berechnungssystematik des RMSE.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^h (\tilde{X}_t - X_t)^2}{h}} \quad (7)$$

h = Anzahl der Vorhersagewerte

\tilde{X}_t = Vorhersagewerte

X_t = Beobachtungswerte (CHAI UND DRAXLER 2014; VOGEL 2015, S. 16–18).

Der RMSE stellt den mittleren quadratischen Fehler des vorhergesagten vom beobachteten Wert dar. Je kleiner die Maßzahl ist, desto genauer sind die prognostizierten Werte (CHAI UND DRAXLER 2014; MURPHY *ET AL.* 2014; ZHANG *ET AL.* 2016).

4.3 Erhebung der erzeugerspezifischen Milchmengen zur gegenwärtigen und zukünftigen Milchlogistiksimulation

Da die verfahrensartabhängige Simulation der Milchlogistik sowohl für das Jahr 2017 als auch für das Jahr 2023 für ein durchschnittliches Abholintervall erfolgt, ist eine Umrechnung der erzeugerspezifischen Jahresmilchmenge auf eine durchschnittliche Abholintervallmilchmenge erforderlich. Die Umrechnungsformel zur Erhebung der erzeugerindividuellen durchschnittlichen Milchmenge pro Abholintervall, bezogen auf die gesamt angelieferte Milchmenge im Jahr 2017 zeigt nachfolgende Formel.

$$X_{Ah(2017; 1, \dots, n)} = \left(\frac{X_T(2017; 1, \dots, n)}{182,5} \right) \quad (8)$$

$X_{Ah(2017; 1, \dots, n)}$ = Durchschnittliche Milchmenge pro Abholintervall auf Milcherzeugerebene der Milcherzeuger 1 bis n

$X_T(2017; 1, \dots, n)$ = Gesamt angelieferte Milchmenge im Jahr 2017 auf Milcherzeugerebene der Milcherzeuger 1 bis n

Die abgelieferte Milchmenge pro durchschnittlichem Abholintervall resultiert aus dem Quotienten der gesamt angelieferten Milchmenge des Jahres 2017 und den 182,5 Abholintervallen, wie aus Formel 8 hervorgeht.

Da die Simulation der verfahrensartabhängigen Milchlogistikszenerarien im Jahr 2023 ebenfalls für ein durchschnittliches Abholintervall erfolgt, ist basierend auf den erzeugerindividuellen Milchmengenprognosen die Ermittlung der Milchmenge pro durchschnittlichem Abholintervall im Jahr 2023 erforderlich. Nachfolgende Formel zeigt die Systematik zur Erhebung der Milcherzeuger spezifischen Milchmenge im zukünftigen Jahr 2023.

$$\tilde{X}_{Ah(2023; 1, \dots, n)} = \left(\frac{\tilde{X}_T(2023; 1, \dots, n)}{182,5} \right) \quad (9)$$

$\tilde{X}_{Ah(2023; 1, \dots, n)}$ = Durchschnittliche Milchmenge pro Abholintervall auf Milcherzeugerebene der Milcherzeuger 1 bis n

$\tilde{X}_T(2023; 1, \dots, n)$ = Gesamt angelieferte Milchmenge im Jahr 2017 auf Milcherzeugerebene der Milcherzeuger 1 bis n

Wie aus Formel 9 hervorgeht, wird die mittelfristige Milchmenge aus dem Quotienten der gesamt prognostizierten Milchmenge auf Erzeugerebene im Jahr 2017 und den 182,5 betrachteten Abholintervallen ermittelt. Da bei der empirischen Milchmengenumfrage keine Rücklaufquote von 100 % zu erwarten ist, ist eine Systematik erforderlich zur erzeugerindividuellen Interpolation der langfristigen Milchmenge von Milcherzeuger, von denen keine Milchmengenprognose abgegeben wurde. Zunächst wird dabei die Differenz aus der gesamt prognostizierten Milchmenge des gesamten Milcheinzugsgebietes $\bar{X}_{G; 2023}$ und der Prognose der an der Umfrage teilnehmenden Milcherzeuger ermittelt. Diese hochgerechnete Milchmenge stellt dann die Milchmenge dar, die von den Milcherzeuger ohne zurückgesendeten Umfragebogen im Jahr 2023 erzeugt wird.

Die Anzahl der im Jahr 2023 produzierenden Milcherzeuger unter den Milcherzeugern ohne auswertbaren Umfragebogen resultiert aus der Differenz der hochgerechneten Anzahl der Milcherzeuger jeweils innerhalb der Milcheinzugsgebiete, die im Jahr 2023 eine anvisierte Milchanlieferungsmenge von größer als ein kg Milch pro Jahr prognostizieren. Die Interpolation der einzelbetrieblichen Milchmengen der Erzeuger ohne auswertbaren Umfragebogen erfolgt dann aus der Multiplikation des relativen Anteiles der erzeugerspezifischen Milchmenge im Jahr 2017 mit dem hochgerechneten „Milchmengenrest“ im Jahre 2023.

4.4 Systemanalytischer Vergleich von Verfahrensvarianten in der Milchlogistik

Zur Bewertung der verfahrensartabhängigen Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen werden elf Verfahrensvarianten der Milchlogistik betrachtet. Eine Verfahrensvariante in der Milchlogistik definiert einzelne Transportmittel mit gewissen Spezifikationen, mit denen die Milch beim Erzeuger erfasst und zur Molkerei transportiert wird. Dabei wird zwischen ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik unterschieden. Bei ungebrochenen Verfahrensvarianten wird das Transportmittel nicht gewechselt, so dass die Milch direkt vom letzten Milcherzeuger der Erfassungstour zur Molkerei transportiert wird. Dagegen erfolgt bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ein „Umschlagen“ der Rohmilch an einem regionalen Umschlagplatz im Milcheinzugsgebiet, wonach sich einzelne Transportmittel miteinander zu gebrochenen Verfahrensvarianten verknüpfen lassen. Da bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ein Umpumpen an einem regionalen Umschlagplatz praktiziert wird, unterscheiden sich beide Arten von Verfahrensvarianten hinsichtlich erforderlichen Verfahrensschritte. Nachfolgendes Struktogramm veranschaulicht die

einzelnen Verfahrensschritte der ungebrochenen Verfahrensvarianten. Die Kosten- und Leistungsdaten zur Bewertung der einzelnen Verfahrensschritte der jeweiligen Verfahrensvarianten werden im Kapitel 4.5 erläutert.

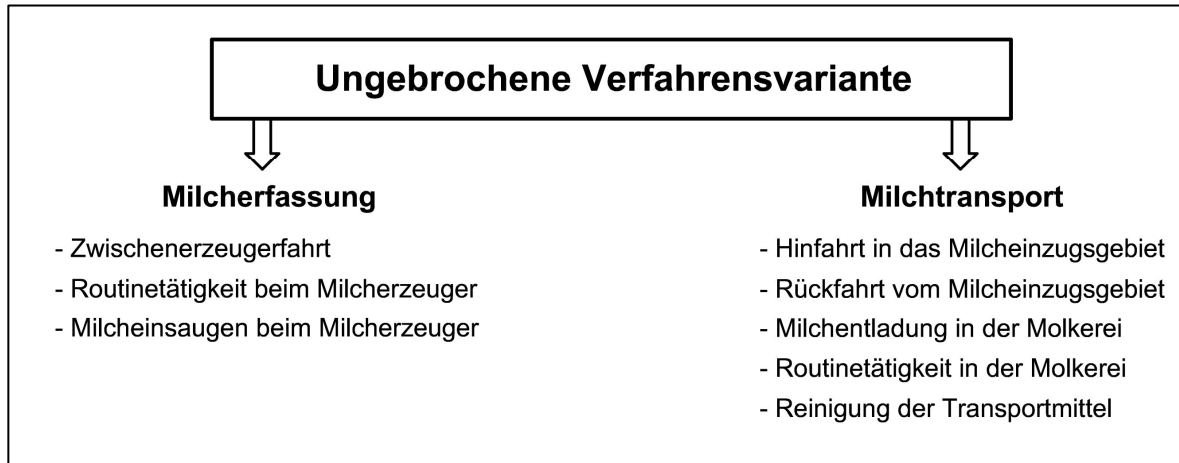


Abbildung 11: Verfahrensschritte der ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Die Verfahrensschritte der Milchlogistik bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten bestehen aus acht einzelnen Verfahrensschritten. Dieser werden in die beiden Komponenten Milcherfassung und Milchtransport unterteilt, wie Abbildung 11 zeigt. Bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik beschreibt die Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet die gefahrene Strecke zwischen der Molkerei und dem Milcherzeuger, dessen Milch als erstes innerhalb einer Tour erfasst wird. Folglich definiert bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet in die Molkerei die Strecke zwischen dem letzten Milcherzeuger einer Tour und der Molkerei. Die Zwischenerzeugerfahrt in der Rubrik Milcherfassung beschreibt die zur Milcherfassung notwendige Strecke zwischen den einzelnen Milcherzeugern innerhalb einer Milcherfassungstour. Dies umfasst die Strecke vom ersten bis zum letzten Milcherzeuger innerhalb einer Tour. Die Routinetätigkeit beim Milcherzeuger beinhaltet die Zeit, die zur Hofeinfahrt, zur Hofausfahrt, zum Aufbau der Milchannahmeeinrichtung und zum Abbau der Milchannahmeeinrichtung erforderlich ist. Die Komponente Milcheinsaugen beim Milcherzeuger beschreibt die Zeit und Ressourcen, die zum Milcheinsaugen beim Milcherzeuger nötig sind (KAENE 1986).

Die sich zur Kategorie Abladen gehörenden Verfahrensschritte beschreiben die Tätigkeiten, die zur Milchentladung in der Molkerei anfallen. Der Verfahrensschritt Routinetätigkeit in der Molkerei beschreibt die Zeit, die das Brutto- und Nettowiegen der Rohmilch umfasst, sowie den zeitlichen Anspruch zur Analyse der Milchqualität hinsichtlich eines Hemmstoffgehaltes der Rohmilch. Wegen des Einsatzes von β -Laktam-Antibiotika (Penicilline und Cephalosporine) zur Behandlung von Erkrankungen der Milchkühe muss

vor Entladung der Milch ein Hemmstofftest in der Molkerei durchgeführt werden, da Antibiotikarückstände in der Milch die Gesundheit des Verbrauchers gefährden (DEWDNEY *ET AL.* 1991; BALTES 2000, S. 207). Darüber hinaus behindern Antibiotikarückstände in der Milch die Produktion von Milcherzeugnissen, da Säuerungs- und Reifevorgänge negativ beeinflusst oder gestört werden (BEYER 1986). Dazu wird vor der Milchentladung der Antibiotika ein „Charm Rapid One Step Assay“ Schnelltest durchgeführt. Weitere Details zu den Antibiotikatestverfahren können aus KRESS (2010) entnommen werden. Basierend auf dem Ergebnis des Charmtestes erfolgt dann bei negativem Hemmstoffbefund die Milchentladung in der Abtankhalle der betrachteten Molkerei.

Der Verfahrensschritt Milchentladung beschreibt den zeitlichen Anspruch, der zur Milchentladung in der Molkerei nötig ist. Die Entladung bei der betrachteten Molkerei erfolgt allein über eine Schwerkraftentladung. Damit ist zum Abtanken der Rohmilch in den unter der Abtankhalle gelegenen Zwischenbehälter kein Einsatz einer Pumpe erforderlich. Wird ein LKW mit einem Anhänger entladen, erhält jedes der beiden Transportmittel zur effizienten Entladung einen Abtankschlauch. Da der Rohstoff Milch aufgrund des Gehaltes an Keimen verderbliche Eigenschaften aufweist, ist nach jeder Milchentladung eine Reinigung der Transportmittel erforderlich, die stationär nach dem Abladevorgang in der Abtankhalle der betrachteten Molkerei erfolgt.

Wie bereits eingangs in diesem Kapitel beschrieben, sind die gebrochenen Verfahrensvarianten durch den Umpumpvorgang der Rohmilch in ein anderes Transportmittel an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet charakterisiert. Deshalb wird in nachfolgender Abbildung 12 die Komponente Milchumschlagen im Vergleich zur Abbildung 11 ergänzt.

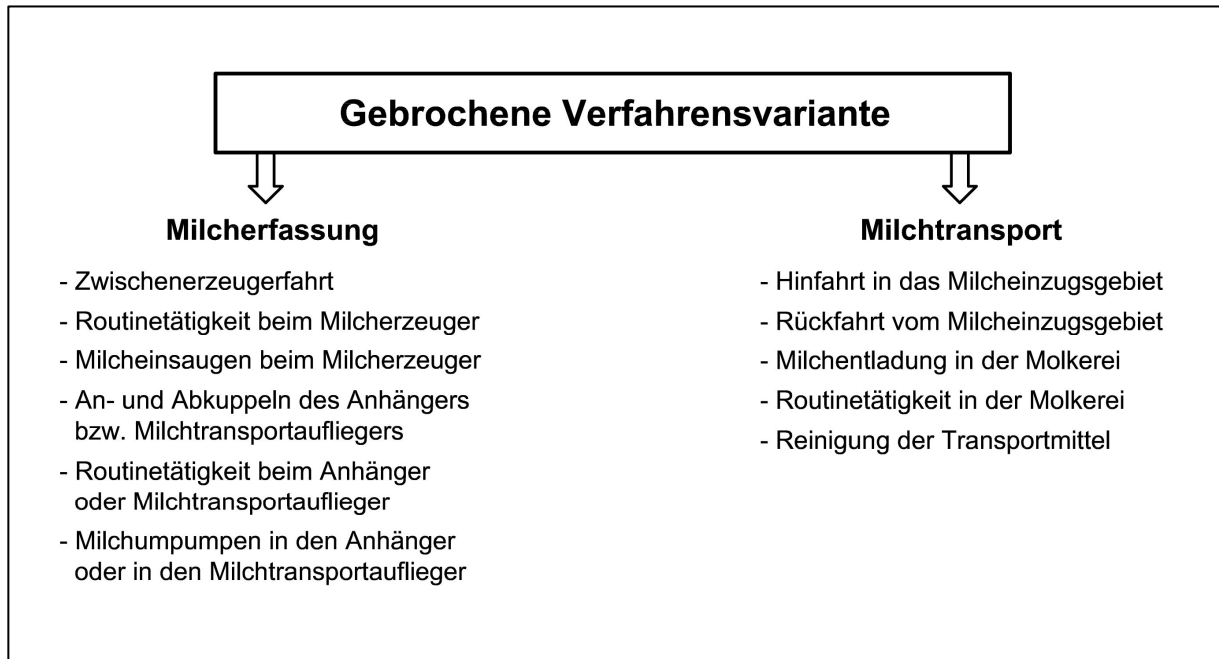


Abbildung 12: Verfahrensschritte der gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Da bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ein Abkuppeln des Anhängers und ein Befüllen eines Anhängers und/oder Sattelaufiegers an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet erfolgt, beschreibt die Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet die Fahrt von der Molkerei zum regionalen Umschlagplatz im Milcheinzugsgebiet. Basierend auf dieser Systematik beschreibt die Rückfahrt bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Strecke vom regionalen Umschlagplatz zur Molkerei. Daneben umfasst der Verfahrensschritt Zwischenerzeugerfahrt bei den gebrochenen Verfahrensvarianten neben der Fahrt zwischen den Milcherzeugern einer Tour die Fahrt vom regionalen Umschlagplatz zum ersten Milcherzeuger einer Tour, sowie die Fahrt vom letzten Milcherzeuger einer Tour zurück zum regionalen Umschlagplatz.

Aufgrund des Parkens des Anhängers an einem regionalen Umschlagplatz ist bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik das Abkuppeln des Anhängers nötig, bevor der LKW die Milcherfassung beginnt. Nach dem Befüllen des am Umschlagplatz stehenden Anhängers wird dieser wieder angekuppelt. Dieser Vorgang beschreibt den Verfahrensschritt „Ankuppeln des Anhängers“.

Daneben ist auch bei Verfahrensvarianten, bei denen ein Großteil der Rohmilch mit einem Milchtransportauflieger in die Molkerei transportiert wird, ein Abkuppeln des leeren Milchtransportaufiegers und ein Ankuppeln eines befüllten Milchtransportaufiegers am regionalen Umschlagplatz im Milcheinzugsgebiet notwendig. Der bei den gebrochenen Verfahrensvarianten notwendige Verfahrensschritt Routinetätigkeit zum Umpumpen beim Anhänger oder Auflieger beschreibt das Rangieren zum Anhänger und das An- und

Abkuppeln des Schlauches zum Umpumpen. Dagegen umfasst der Verfahrensschritt Milchumpumpen in den Anhänger oder in den Auflieger das reine Umladen der Rohmilch.

Im Rahmen dieser Arbeit werden elf verschiedene Verfahrensvarianten analysiert, die sich aus sechs ungebrochenen und fünf gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik zusammensetzen. Aus Gründen der zur ökonomischen Bewertung erforderlichen Mautkomponente wird für alle innerhalb der Verfahrensvarianten untersuchten LKWs zu Grunde gelegt, dass diese die Schadstoffklasse Euro V aufweisen. Die betrachteten Verfahrensvarianten sind in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt. Die jeweilige numerische Abkürzung in der Spalte Abkürzung dient den Bezeichnungen im Ergebnisteil und im Anhang.

Tabelle 2: Betrachtete Verfahrensvarianten der Milchlogistik

Abkürzung	Verfahrensvariante
	1 Zweiachser LKW solo
	2 Dreiachser LKW solo
	3 Vierachser LKW solo
	4 Sammelauflieger solo
	5 Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger ungebrochen
	6 Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen
	7 Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen
	8 Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger gebrochen
	9 Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen
	10 Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen
	11 Vierachser LKW und Milchtransportauflieger gebrochen

Die aus Transportmitteln bestehenden in Tabelle 2 aufgelisteten Verfahrensvarianten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Transportkapazitäten. Nachfolgende Tabelle 3 veranschaulicht die jeweiligen Nutzlasten der betrachteten Transportmittel. Entsprechende systematische Abbildungen zu den einzelnen Verfahrensvarianten sind im Anhang beigefügt, dessen jeweiliger Anhangsverweis in nachfolgender Tabelle mitabgebildet ist.

Tabelle 3: Transportmittelspezifische Nutzlast

Transportmittel	Nutzlast (in kg)	Abkürzung	Anhangsverweis
Zweiachser LKW	8.000	C ₁	Anhang 7
Dreiachser LKW	15.000	C ₂	Anhang 8
Vierachser LKW	19.200	C ₃	Anhang 9
Sammelauflieger solo (inklusive Zugmaschine)	25.500	C ₄	Anhang 10
Dreiachsanhänger	17.000	C ₅	Anhang 11
Zweiachsanhänger	10.000	C ₆	Anhang 12
Milchtransportauflieger (inklusive Zugmaschine)	27.000	C ₇	Anhang 13

Die Nutzlast der in Tabelle 3 betrachteten Transportmittel variiert von 8.000 kg des Zweiachsers LKW solo bis zu 27.000 kg des Milchtransportaufliegers. Zur Verschleißreduktion der Reifen und der Lenkung sind die Transportmittel Dreiachser LKW und Vierachser LKW mit Liftachsen ausgestattet. Damit wird bei der unbeladenen Fahrt und damit der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet beim Dreiachser LKW die letzte Achse angehoben. Beim Vierachser LKW können die letzten beiden Achsen angehoben werden. Das Transportmittel Milchtransportauflieger ist durch eine Liftachse bei der vordersten Achse des Transportaufliegers gekennzeichnet. Mit einer hochgezogenen Liftachse kann in Deutschland die Straßenmaut aber nicht reduziert werden (BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG E. V. 2018b).

Die Beschreibung der in Tabelle 2 dargestellten Verfahrensvarianten erfolgt in den nachfolgenden Absätzen.

Verfahrensvariante 1: Ein Zweiachser LKW mit der Tankkapazität c_1 ohne Anhänger erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazität c_1 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 2: Ein Dreiachser LKW mit der Tankkapazität c_2 ohne Anhänger erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazität c_2 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 3: Ein Vierachser LKW mit der Tankkapazität c_3 ohne Anhänger erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazität c_3 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 4: Ein Sammelaufleger solo, angehängt an einen mit der Tankkapazität c_4 ohne Anhänger erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazität c_4 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 5: Ein Zweiachser LKW mit der Tankkapazität c_1 mit Dreiachsanhänger mit einer gewissen Tankkapazität c_5 erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazitäten c_1 und c_5 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 6: Ein Dreiachser LKW mit der Tankkapazität c_2 mit Zweiachsanhänger mit der Tankkapazität c_6 erfasst Milch bei den Milcherzeugern und fährt nach Auslastung der Tankkapazitäten c_2 und c_6 direkt zur Molkerei (ungebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 7: Ein Zweiachser LKW mit der Tankkapazität c_1 mit Dreiachsanhänger mit der Tankkapazität c_5 fährt in das Milcheinzugsgebiet und parkt den Anhänger an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet, erfasst Milch bei den Milcherzeugern, befüllt den

Dreiaxsanhänger mit Milch mittels Umpumpen und fährt zurück zur Molkerei, sobald die Tankkapazitäten des Dreiaxsanhängers und des Zweiachser LKW ausgelastet sind (gebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 8: Ein Dreiachser LKW mit der Tankkapazität c_2 mit Zweiachsanhänger mit der Tankkapazität c_6 fährt in das Milcheinzugsgebiet und parkt den Anhänger an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet, erfasst Milch bei den Milcherzeugern, befüllt den Zweiachsanhänger mit Milch mittels Umpumpen und fährt zurück zur Molkerei, sobald die Kapazitäten des Zweiachser Anhängers und des Dreiachser LKW ausgelastet sind (gebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 9: Ein Zweiachser LKW mit der Tankkapazität c_1 mit Dreiaxsanhänger mit der Tankkapazität c_5 fährt in das Milcheinzugsgebiet und parkt den Anhänger an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet, erfasst Milch bei den Milcherzeugern, befüllt den Dreiaxsanhänger und den Milchtransportauflieger mit Milch mittels Umpumpen, und fährt innerhalb eines definierten Abholintervalls aus Gründen der Reinigung mit dem Dreiaxsanhänger zurück zur Molkerei. Der Milchtransportauflieger hat eine bestimmte Tankkapazität c_7 . Dieser verfügt im Vergleich zu den Transportmitteln Zwei-, Drei-, Vier-, Fünf-Achser LKW über keine Milchannahmeeinrichtung. Eine Milchannahmeeinrichtung besteht aus einer Milchpumpanlage, Milchmengenmesseinrichtung, Datenerfassung, Probenahmesystem und Probetransportsystem.

Verfahrensvariante 10: Ein Dreiachser LKW mit der Tankkapazität c_2 mit Zweiachsanhänger mit der Tankkapazität c_6 fährt in das Milcheinzugsgebiet und parkt den Anhänger an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet, erfasst Milch bei den Milcherzeugern, befüllt den Zweiachsanhänger und den Milchtransportauflieger mit Milch mittels Umpumpen, und fährt innerhalb eines definierten Abholintervalls aus Gründen der Reinigung mit dem Zweiachsanhänger zurück zur Molkerei. Der Milchtransportauflieger weist die Tankkapazität c_7 auf (gebrochene Verfahrensvariante).

Verfahrensvariante 11: Ein Vierachser LKW mit der Tankkapazität c_3 ohne Anhänger fährt in das Milcheinzugsgebiet, erfasst Milch bei den Milcherzeugern, befüllt den Milchtransportauflieger mit Milch mittels Umpumpen, und fährt innerhalb eines definierten Abholintervalls aus Gründen der Reinigung zurück zur Molkerei. Der Milchtransportauflieger weist die Tankkapazität c_7 auf (gebrochene Verfahrensvariante).

Zur ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Bewertung dieser Verfahrensvarianten wird im nächsten Kapitel die erforderliche Datengrundlage aufgezeigt.

4.5 Datengrundlage zur Bewertung der Verfahrensvarianten

Weil verfahrensartabhängigen Kosten, Treibhausgasemissionen und Zeiten auf den Leistungs- und Verbrauchsdaten fußen, soll deren Verursachung nachfolgend genauer analysiert werden. Der zunehmende Outsourcing Prozess in vielen Bereichen milchverarbeitender Unternehmen begründet die im Rahmen dieser Arbeit verwendete Kalkulationsperspektive aus Sicht eines Fuhrunternehmers (SOLAKIVI *ET AL.* 2013). Die aus der Perspektive eines Fuhrunternehmers verwendete ökonomische Bewertung mittels der durchsatzbezogenen Vollkostenrechnung ⁵ erfordert eine verfahrensartabhängige Kostendisaggregation in benutzungsabhängige Kosten bzw. proportionale Spezialkosten und in benutzungsunabhängige Kosten bzw. nicht proportionale Spezialkosten (GUDEHUS 2011). Nachfolgende Abbildung zeigt die disaggregierten Kosten und damit festen Bruttokriterien eines Fuhrunternehmers.

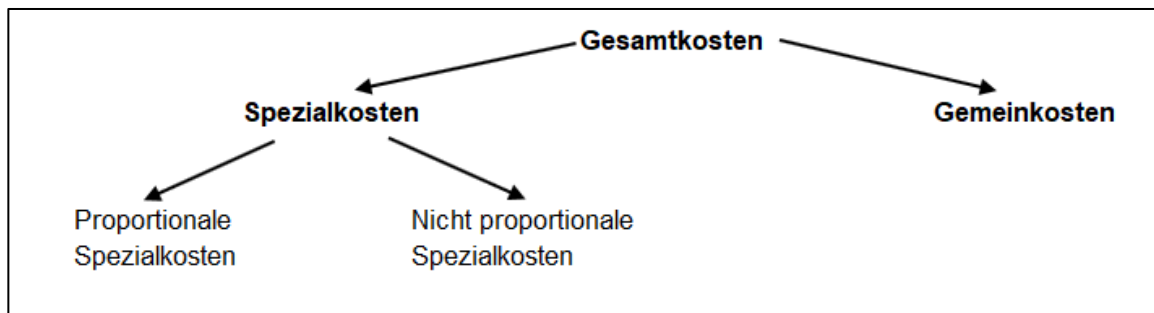


Abbildung 13: Kostengliederung eines Fuhrunternehmers
(Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an: STEINHAUSER *ET AL.* 1992).

Die Kosten eines Fuhrunternehmers sind in Spezial- und Gemeinkosten unterteilt. Dabei erfolgt die Unterteilung nach dem Verursacherprinzip. Bei den Spezialkosten handelt es sich um Kosten, die direkt einem Transportmittel zuordenbar sind. Die Gemeinkosten eines Fuhrunternehmers enthalten die Kosten, die keinem Transportmittel eindeutig zuweisbar sind und von verschiedenen Fahrzeugen und Anhängern eines Fuhrunternehmers gemeinsam verursacht werden. Die Dispositionssoftware eines Fuhrunternehmers stellt für die Gemeinkosten ein Beispiel dar. Die Spezialkosten werden gemäß dem Proportionalitätsprinzip weiter in proportionale bzw. benutzungsabhängige Logistikkosten und disproportionale Spezialkosten bzw. benutzungsunabhängige Logistikkosten unterteilt. Sind die Kosten zwar konkret einem Transportmittel zuordenbar, aber fallen diese Kosten unabhängig von der Erbringung einer Logistikleistung permanent an, werden diese Kosten als nicht proportionale Spezialkosten bezeichnet. Zu dieser Kostenrubrik zählen

⁵ Die durchsatzbezogene Vollkostenrechnung kann auch als Prozesskostenrechnung oder als Activity Based Costing bezeichnet werden.

beispielsweise die jährlich anfallenden transportmittelabhängigen Kosten für Versicherung und Steuer. Vor allem für die Milchsammelwägen sind jährlich Kosten für das Eichen des Milchvolumenzählers und die Sammelwagenabnahme erforderlich, welche unter die Kostenrubrik nicht proportionale Spezialkosten eines Sammelwagens fallen. Dagegen definieren die proportionalen Spezialkosten diejenigen Logistikkosten, die sich proportional mit der Inanspruchnahme einer Logistikleistung erhöhen. Andernfalls können aus Sicht eines Fuhrunternehmers diese Kosten mit einer Nichtinanspruchnahme einer Logistikleistung vermieden werden.

Diese umfassen die Kosten für die Betriebsstoffe, die aus den Kosten für Treib- und Schmierstoffe bestehen. Eine LKW- und eine Transportmodus abhängige Dieserverbrauchsaufzeichnung ist im Anhang 14 beigefügt. Diese Daten sind aus Voruntersuchungen entnommen. Als Dieselpreis für die Milchlogistiksimulationsszenarien im Jahr 2017 wird der im Jahr 2017 durchschnittliche Dieselpreis von 90,39 ct/l zur Simulation herangezogen (BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG E. V. 2018a). Basierend auf dem Erwartungswert der europäischen Kommission für die zukünftigen Rohölpreise wird der Dieselpreis für das Jahr 2023 ermittelt. Diese prognostiziert im Jahr 2023 einen Rohölpreis von 80 US\$/bbl (EUROPEAN COMMISSION 2018a). Unter Berücksichtigung des historischen Barrelrohölpreises von 52,51 US\$/bbl im Jahr 2017 wird dann der nominale Dieselpreis für das Jahr 2023 von 1,03 €/l zur Simulation zu Grunde gelegt (STATISTISCHES BUNDESAMT 2018a).

Daneben zählen zu den proportionalen Spezialkosten die Kosten für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wie beispielsweise für Reifen, Bremsen und das Abschmieren der Transportmittel. Diese spezifischen proportionalen Spezialkosten bezogen auf die Nutzung zeigt für die Lastkraftwagen Anhang 16 und für die Anhänger und Auflieger Anhang 17. Die Erhebung dieser Kostendaten basieren auf Voruntersuchungen.

Aufgrund des reinen leistungsbezogenen Einsatzes der Milchsammelwagenfahrer und Milchtransportfahrer unterliegt die Kostenkomponente Personalkosten der Kostenrubrik proportionale Spezialkosten. Dabei werden für die Fahrerpersonalkosten differenzierte Kostenansätze für den Lohnansatz des Milchsammelwagenfahrers und des Milchtransportaufliegerfahrers zu Grunde gelegt. Diese differenzierte Betrachtung wird durch das höhere Anforderungsprofil des Milchsammelwagenfahrers im Vergleich zum Milchtransportaufliegerfahrer begründet, da zur Milcherfassung mehr spezifische Kenntnisse als zum reinen Milchtransport mittels Milchtransportauflieger nötig sind. Beispielsweise sind zur Milcherfassung im Vergleich zum reinen Milchtransport ein hohes geografisches Wissen im Milcheinzugsgebiet und bei den einzelnen

Milcherzeugungsbetrieben zur Milchannahme erforderlich. Aus diesem Grund werden für den Lohnansatz des Milchsammelwagenfahrers im Jahr 2017 22 € pro Stunde brutto, und für den Milchtransportaufliegerfahrers 16 € pro Stunde brutto veranschlagt. Da die betrachteten LKWs in Abhängigkeit der Kombination mit einem Anhänger und des Verfahrensschrittes unterschiedliche Geschwindigkeiten und Zeitanprüche erfordern, ist eine differenzierte Geschwindigkeitsbetrachtung notwendig. Eine entsprechende Geschwindigkeitsmatrix zur Bewertung der verfahrensartspezifischen Lohnkosten ist im Anhang 15 beigefügt. Diese Daten der durchschnittlichen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Zeitanprüche basieren auf Voruntersuchungen. Die Kosten zur Analyse des Hemmstoffgehaltes in der Rohmilch werden mit fünf Euro pro Entladung zu Grunde gelegt. Da zur Reinigung der Transportmittel Energie erforderlich ist, werden Treibhausgasemissionen emittiert. Die Treibhausgasemissionen resultierend aus der Reinigung betragen 1,5 g CO₂-Äq/kg Nutzlast des abgeladenen Transportmittels.

Weil sich auch die kostenpflichtigen Strecken- und Netzkosten proportional mit der Inanspruchnahme einer Logistikdienstleitung erhöhen, handelt es sich bei dieser Kostenkomponente um proportionale Spezialkosten. Dazu wird eine differenzierte Betrachtung aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen jeweils für die Jahre 2017 und 2023 vorgenommen. Im Jahr 2017 wurde die LKW-Maut in Deutschland für die streckenabhängige Benutzung aller Bundesautobahnen und stark frequentierten Bundesstraßen erhoben. Dabei fußt die streckenabhängige Mautsaterhebung auf der Schadstoffklasse und der Achszahl der betrachteten Fahrzeugkombination. Die Achszahl der Fahrzeugkombination beschreibt die Anzahl der Achsen, die die gesamte Fahrzeugkombination aufweist. Im Bereich der Rohmilchlogistik ist demnach auch die Achszahl des zugehörigen Anhängers oder Aufliegers zu berücksichtigen. Innerhalb der bis zum Jahr 2018 geltenden Systematik zur Erhebung der Maut steigen die zu Grunde gelegten Mautsätze mit Abnahme der Schadstoffklasse und einer Zunahme der Achszahl (§ 1-15 BFSTRMG). Auf Voruntersuchungen durch Gespräche mit Fuhrunternehmern der betrachteten Milcheinzugsgebiete basiert die Annahme, dass im Verfahrensschritt Milcherfassung im Jahr 2017 der mautpflichtige Streckenanteil bei 15 % im Vergleich zu der gesamt zurückgelegten Strecke liegt. Im Bereich des Milchtransportes, zusammengesetzt aus den Verfahrensschritten Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet und Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet liegt die Annahme des relativen Mautstreckenanteiles an der gesamt zurückgelegten Strecke bei 50 %. Nachfolgende Tabelle zeigt die von der Achszahl abhängigen Mautkosten für die Schadstoffklasse Euro V für das Simulationsjahr 2017.

Tabelle 4: Nominale fahrzeugkombinationsabhängige Mautkosten im Jahr 2017 für die Schadstoffklasse V

Mautpflichtige Fahrzeuge	Maut in €/km mautpflichtige Strecke
... mit zwei Achsen	0,102
... mit drei Achsen	0,134
... mit vier Achsen	0,138
... mit fünf Achsen	0,156

(Quelle: BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG E. V. 2018b).

Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, steigt der streckenabhängige Mautkostenstreckenfaktor mit Zunahme der Achszahl der mautpflichtigen Fahrzeugkombination.

Anhang enthält die Verfahrensschritt abhängigen Mautkosten für die betrachteten Fahrzeugkombinationen, kumuliert mit den entsprechenden Mautstreckenanteilen.

Die Ausweitung der LKW-Maut in Deutschland auf alle Bundesstraßen zum 1. Juli 2018, und die Novellierung der Mautsätze zum 1. Januar 2019 begründen die differenzierte Mautkostenbetrachtung für das Simulationsjahr 2023 im Vergleich zum Simulationsjahr 2017 (KORN ET AL. 2018). Das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur veranlasste Wegegutachten 2018-2022 beinhaltet das Fortschreiben bis mindestens zum Jahr 2022 der ab 1. Januar 2019 geltenden Mautsätze, so dass auch diese für die verfahrensartabhängige Logistiksimulation in der vorliegenden Arbeit für das Jahr 2023 angenommen werden (KORN ET AL. 2018). Die ab 1. Januar 2019 gültigen Mautsätze sind von der jeweiligen Euro-Schadstoffklasse abhängig und bestehen aus den externen Kosten für Luftverschmutzung, für externe Kosten der Lärmbelästigung, sowie des Mautsatzanteils für Infrastruktur. Innerhalb der jeweiligen Schadstoffklassen weisen die externen Kosten für Luftverschmutzung von 2,2 ct/km und für Lärmbelästigung von 0,2 ct/km konstante Werte auf, während die Kosten für Infrastruktur mit zunehmender Achs- und Gewichtsklasse steigen. Folgende Tabelle 5 zeigt die fahrzeugkombinationsabhängigen Mautkosten für die Schadstoffklasse V, die seit dem 1. Januar 2019 gelten.

Tabelle 5: Nominale achs- und gewichtsabhängige Mautkosten im Jahr 2023 für die Schadstoffklasse V

Achs- und Gewichtsklasse	Maut in €/km mautpflichtige Strecke
7,5-11,99 t	0,102
12-18 t	0,139
> 18 t bis drei Achsen	0,184
> 18 t ab vier Achsen	0,198

(Quelle: § 1-15 BFSTRMG).

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, steigen die Mautkosten mit zunehmender Achs- und Gewichtsklasse auf bis 0,198 €/km in der Achs- und Gewichtsklasse > 18 t ab vier Achsen. Neben den novellierten Mautstreckensätzen sind zur Simulation der

transportkombinationsabhängigen Mautkosten im Jahr 2023 die relativen Anteile der mautpflichtigen Strecken zur Milcherfassung und zum Milchtransport nötig. Hierzu wird basierend auf einer Vorstudie für die Milcherfassung ein relativer Anteil von 30 % mautpflichtiger Strecken an der gesamt zurückgelegten Strecke im Jahr 2023 zur Milcherfassung berücksichtigt. Der Anteil mautpflichtiger Strecken zum Milchtransport wird mit 90 % veranschlagt. Die transportkombinationsabhängigen nominalen Mautkosten kumuliert mit den jeweiligen Mautstreckenanteilen beinhaltet Anhang 18.

Da es sich bei der Milchlogistik um ein kontinuierliches Logistikgut mit der Möglichkeit einer sehr hohen Auslastung der Transportmittel aufgrund der ganzjährigen Milcherzeugung handelt, werden die Kapitalkosten nutzungsnahe quantifiziert, die dann ebenfalls unter die Kostenrubrik proportionale Spezialkosten fallen. Die transportmittelspezifischen Anschaffungskosten sind in Anhang und im Anhang beigefügt.

Die Ermittlung der transportmittel- und bauteilabhängigen Kapitalkosten pro Jahr erfolgen mittels nachfolgender Formel:

$$KK_1 = \frac{A_0 - RW}{N} + \frac{A_0 + RW}{2} * i \quad (10)$$

KK_1 = Kapitalkosten in € pro Jahr

A_0 = Anschaffungskosten in €

RW = Restwert

i = Kalkulationszinsfuß

N = Wirtschaftliches Nutzungspotential (GUDEHUS 2011, S. 153).

Die Kapitalkosten in € pro Jahr sind aus den nutzungsnahe Abschreibungen $\frac{A_0 - RW}{N}$ und den kalkulatorischen Zinsen pro Periode $\frac{A_0 + RW}{2} * i$ zusammengesetzt, die nach dem Verfahren der Durchschnittswertverzinsung erhoben werden. Die Abschreibungen veranschaulichen dabei die Wertminderung des jeweiligen Transportmittels bzw. Gebrauchsgutes aufgrund der Nutzung. Bei den Erhebungen der Abschreibungen wird der Restwert vom Anschaffungswert subtrahiert, weil dieser Betrag nach Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer wieder Erlöst werden kann, so dass sich die Wertminderung entsprechend reduziert. Dagegen begründen die Opportunitätskosten des gebundenen Kapitals durch den Restwert die Addition des Restwertes an den Anschaffungswert zur Erhebung des Zinsansatzes. Als Kalkulationszinssatz wird der in der Logistikbranche

übliche Zinssatz in Höhe von fünf Prozent pro Jahr zu Grunde gelegt, der im § 352 des Handelsgesetzbuches festgelegt ist (§ 53 Abs. 1,2 HGB).

Da die Kapitalkosten in der vorliegenden Arbeit leistungsbezogen auf der Auslastungsschwelle und damit für das Transportmittel LKW und Anhänger in €/km, und für den Sammelwagenaufbau in €/kg Milch berücksichtigt werden soll, ist ein Bezug zur Auslastungsschwelle nötig. Die Systematik zur Erhebung der transportmittelspezifischen Auslastungsschwelle veranschaulicht nachfolgende Formel 11:

$$Asw = \frac{n}{N} \quad (11)$$

Asw = Auslastungsschwelle in km/Jahr oder kg/Jahr

n = Technisches Nutzungspotential in km oder in kg

N = Wirtschaftliches Nutzungspotential in Jahre (STEINHAUSER *ET AL.* 1992).

Erhält das Transportmittel in der Praxis einen höheren Einsatz als die Auslastungsschwelle, hat der Fuhrunternehmer aufgrund der zunehmenden Skaleneffekte einen kalkulatorischen Vorteil. Unterschreitet der praktische Einsatz jedoch der Höhe der Auslastungsschwelle, erhöhen sich die Kapitalkosten. Aus Gründen der Transparenz erfolgt jedoch die Kalkulation der Kapitalkosten auf der leistungsbezogenen Auslastungsschwelle.

Aus der Division der zeitabhängigen Kapitalkosten KK_1 durch die Auslastungsschwelle resultieren die auf die Auslastungsschwelle bezogenen leistungsabhängigen Kapitalkosten. Nachfolgende Formel fasst die Berechnungsmethode zusammen:

$$KK_2 = \frac{KK_1}{Asw} \quad (12)$$

KK_2 = Leistungsbezogene Kapitalkosten bezogen auf die Auslastungsschwelle in €/km oder €/kg (STEINHAUSER *ET AL.* 1992).

Basierend auf den leistungsbezogenen Kapitalkosten bezogen auf die Auslastungsschwelle werden im Rahmen der ökonomischen Kalkulationen die Kapitalkosten als transportmittelspezifische proportionale Spezialkosten berücksichtigt.

4.6 Modell zur taktischen Milchlogistikplanung – Vehicle Routing

Problem

Die Simulation der verfahrensartabhängigen Touren fußt auf dem Vehicle Routing Problem-Lösungsansatz. Dabei werden die beiden kombinatorischen Optimierungsprobleme, das

Zuordnungsproblem der Milcherzeuger zu den einzelnen Touren, und das Reihenfolgenproblem innerhalb einer jeden Tour zusammengefasst. (TEMPELMEIER 2018, S. 88–90). Zur operativen Simulation wird im Rahmen dieser Arbeit die Microsoft Excel Arbeitsmappe „VRP Spreadsheet Solver“ verwendet. Dabei handelt es sich um eine von ERDOGAN (2017a) bereitgestellte Plattform, die die Erstellung, Optimierung und die Visualisierung von verschiedenen Lösungen erlaubt. Diese Excel Arbeitsmappe bietet die Möglichkeit der Analyse von Strecken und Zeitdaten innerhalb des betrachteten Problems. Die Excel Arbeitsmappe ist frei verfügbar und erlaubt eine Anwendung bei verschiedenen Sachverhalten der Tourenoptimierung (ERDOGAN 2017b). Der Optimierungsalgorithmus, der im „VRP Spreadsheet Solver“ integriert ist, basiert auf der „Adaptive Large Neighborhood Search“ von PISSINGER UND ROPKE (2007) (ERDOGAN 2017a).

O'CALLAGHAN *ET AL.* (2018) zeigten in einer Studie die hohe Genauigkeit der von ERDOGAN (2017a) bereitgestellten Arbeitsmappe zur Optimierung von Touren der Rohmilchlogistik. Tiefgründigere Informationen zum Optimierungsalgorithmus können aus ERDOGAN (2017a) entnommen werden. Die operative Optimierung unter Verwendung des „VRP Spreadsheet Solvers“ erfolgt dabei in fünf Schritten. Nachfolgende Abbildung 14 gibt einen Überblick über die dabei zu Grunde gelegte Struktur.

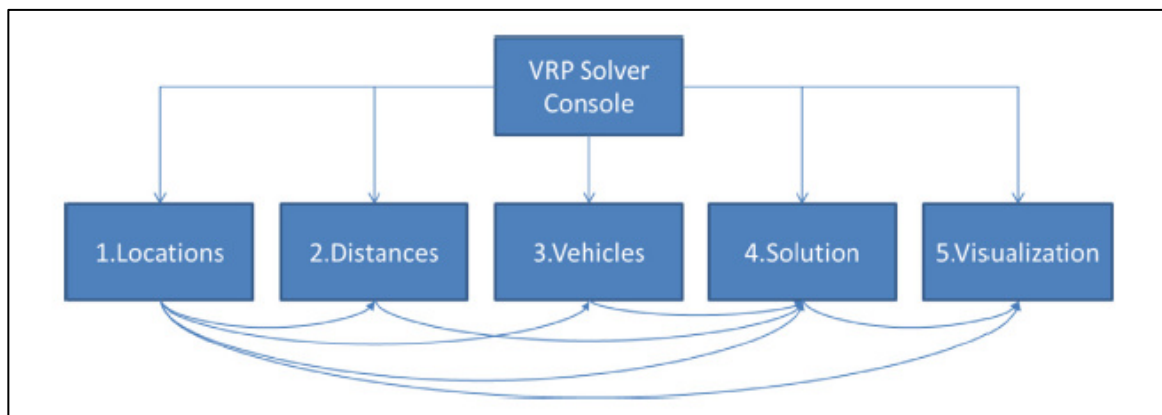


Abbildung 14: Arbeitsblattstruktur des VRP Spreadsheet Solver (Quelle: ERDOGAN 2017a).

Zunächst werden in der Registerkarte „VRP Solver Console“ die Anzahl der Depots bzw. Molkereibetriebsstätte und die Anzahl der Kunden festgelegt. Daneben muss ausgewählt werden, ob die Optimierung nach Strecke oder nach Zeit gewählt wird. Da die Erhebung der adaptiven Bruttokriterien auf der Strecke basiert, wird zur Optimierung der Milcherfassungstouren die Optimierung nach Strecke durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wird zum Vergleich verschiedener Verfahrensvarianten der Milchlogistik ein Depot betrachtet. Basierend auf diesen beiden Eingaben wird in der Registerkarte „1. Locations“ eine Tabelle generiert, in der für das Depot und die Milcherzeuger die GPS-Koordinaten (Längengrad, Breitengrad) und die Milcherzeuger spezifischen Milchmengen

eingetragen werden. Dabei muss jedoch die aufnehmbare Milchmenge des Depots größer sein, als die Summe der Milchmenge der Milcherzeuger innerhalb eines Abholintervalls.

In der Registerkarte „2. Distances“ wird zunächst eine Tabelle in Abhängigkeit der Anzahl der Depots und der Anzahl der Milcherzeuger erstellt, die die Grundlage zur realen Streckensimulation in Kilometern und Zeitsimulation in Stunden zwischen den einzelnen Milcherzeugern, und den Milcherzeugern mit den Depots darstellt. Dabei werden beispielsweise nicht nur die Strecke und Zeit zwischen Milcherzeuger A zu Milcherzeuger B generiert, sondern auch die Strecke und Zeit zwischen Milcherzeuger B und Milcherzeuger A. Deshalb resultieren bei der Streckensimulation eines Milcheinzugsgebietes mit 199 Milcherzeuger und einer Molkereibetriebsstätte 40.000 einzelne Strecken. Im „VRP Spreadsheet Solver“ basiert die reale Strecken- und Zeitsimulation über eine aktive Anbindung an Bing Maps.

Nach der spezifischen Streckenerhebung erfolgt in der Registerkarte „3. Vehicles“ die Eingabe der Nutzlast und die Anzahl der zur Tourenoptimierung eingesetzten LKWs. Die einheitliche Nutzlast der Milchsammel-LKWs bzw. Milchsammelkombinationen innerhalb einer betrachteten Verfahrensvariante begründet die Betrachtung eines LKW-Typs. Da sich die einzelnen Transportmittel hinsichtlich ihrer Nutzlast (Tabelle 3) und die abgelieferten Milchmengen der betrachteten Milcheinzugsgebiete untereinander (Tabelle 1) sowie im gegenwärtigen und zukünftigen Zustand unterscheiden, ist eine dynamische Erhebung der Anzahl der LKWs und damit Milcherfassungstouren notwendig. Die Anzahl der zu Grunde gelegten Milcherfassungslastkraftwagen wird für die betrachteten Milchlogistikszenerarien im Jahr 2017 mittels nachfolgender Formel 13 erhoben. Bei der Division der Summe aus der durchschnittlichen Milchmenge pro Abholintervall mit der Nutzlast des betrachteten Milcherfassungslastkraftwagens ist jedoch zu erwarten, dass aus dem Quotienten keine ganzzahlige Zahl entsteht. Deshalb wird der Quotient in den Formeln 13 und 14 auf die nächsthöhere Ganzzahl aufgerundet.

$$Y_{LKW}(2017) = \left\{ \text{entier} \left(\frac{\sum_{k=1}^n X_{Ah(2017;1)}, \dots, X_{Ah(2017;n)}}{c} \right) \right\} \quad (13)$$

$Y_{LKW}(2017)$ = Anzahl der LKWs im Jahr 2017

$\sum_{k=1}^n X_{Ah(2017;1)}, \dots, X_{Ah(2017;182,5)}$ = Summe der Milcherzeuger spezifischen Milchmengen pro Milcheinzugsgebiet und durchschnittlichem Abholintervall

c = Nutzlast des jeweiligen Milcherfassungslastkraftwagens oder Sammelkombination

Die Ermittlung der Anzahl der Milchsammellastkraftwagen innerhalb der Verfahrensvarianten und Milcheinzugsgebiete im zukünftigen Simulationsjahr 2023 zeigt nachfolgende Formel 14.

$$Y_{LKW}(2023) = \left\{ \text{entier} \left(\frac{\sum_{k=1}^n \tilde{X}_{Ah}(2023; 1), \dots, \tilde{X}_{Ah}(2023; n)}{c} \right) \right\} \quad (14)$$

$Y_{LKW}(2023)$ = Anzahl der LKWs im Jahr 2023

$\sum_{k=1}^n \tilde{X}_{Ah}(2023; 1), \dots, \tilde{X}_{Ah}(2023; 182,5)$ = Summe der Milcherzeuger spezifischen
Milchmengen pro Milcheinzugsgebiet und durchschnittlichem Abholintervall

c = Nutzlast des jeweiligen Milcherfassungslastkraftwagens oder Sammelkombination

Nach der Hinterlegung der Anzahl an verfügbaren Milcherfassungslastkraftwagen wird in der Registerkarte „4. Solution“ pro LKW eine Tabelle erstellt. Diese Tabelle beinhaltet neben der Ausgabe der Milcherzeuger innerhalb einer Tour die zurückgelegte Strecke, die Uhrzeit und die erfasste Milchmenge nach jedem Milcherzeuger. Bei der Optimierung wird sichergestellt, dass die jeweilige Nutzlast des betrachteten Lastkraftwagens nicht überschritten wird. Aufgrund der differenzierten verfahrensschrittabhängigen ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Streckenbewertung ist eine Disaggregation der zurückgelegten Strecke innerhalb jeder Tour erforderlich. Dabei erfolgt die Streckenaufteilung in die Anfahsstrecke in das Milcheinzugsgebiet, die Erfassungstrecke und die Rückfahrtstrecke vom Milcheinzugsgebiet in die Molkerei.

Bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten stellt die Summe der Distanzen, jeweils zwischen Molkerei und dem ersten Landwirt innerhalb einer Tour die gesamte Anfahsstrecke einer Verfahrensvariante dar. Nachfolgende Formel 15 fasst diesen Sachverhalt zusammen.

$$\sum_{k=1}^e Hs_{ug} = Hs_{1(ug)}, \dots, Hs_{e(ug)} \quad (15)$$

Hs_{ug} = Gesamte Anfahsstrecke pro ungebrochene Verfahrensvariante und Abholintervall bei ungebrochenen Verfahrensvarianten

$Hs_{1...e}$ = Anfahsstrecken der einzelnen Touren

e = Anzahl der Touren einer Verfahrensvariante

Die Milcherfassungstrecke bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten ergeben sich aus der Differenz zwischen dem letzten Milcherzeuger und dem ersten Milcherzeuger einer Tour. Die summierte Milcherfassungstrecke einer ungebrochenen Verfahrensvariante eines Abholintervalls für die ungebrochenen Verfahrensvarianten zeigt nachfolgende Formel 16.

$$\sum_{k=1}^e ES_{ug} = ES_{1(ug)}, \quad \dots, \quad ES_{e(ug)} \quad (16)$$

ES_{ug} = Gesamte Erfassungstrecke pro ungebrochene Verfahrensvariante und Abholintervall

$ES_{1...e}$ = Erfassungstrecke der einzelnen Touren

e = Anzahl der Touren einer Verfahrensvariante

Die Rückfahrtstrecke bei einer ungebrochenen Verfahrensvariante stellt die Strecke zwischen dem letzten Milcherzeuger einer Tour und der Molkerei dar. Die Ermittlung der summierten Rückfahrtstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall veranschaulicht nachfolgende Formel 17.

$$\sum_{k=1}^e RS_{ug} = RS_{1(ug)}, \quad \dots, \quad RS_{e(ug)} \quad (17)$$

RS_{ug} = Gesamte Rückfahrtstrecke pro ungebrochene Verfahrensvariante und Abholintervall

$RS_{1...e}$ = Rückfahrtstrecke der einzelnen Touren

e = Anzahl der Touren einer Verfahrensvariante

Da bei den gebrochenen Verfahrensvarianten ein Umschlagen der Rohmilch an einem zentralen Platz im Milcheinzugsgebiet erfolgt, ist eine differenzierte Streckenerhebungssystematik der gebrochenen im Vergleich zu den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik erforderlich. Die Anfahrtstrecke umfasst bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Distanz zwischen Molkerei und dem regionalen Umschlagplatz innerhalb des Milcheinzugsgebietes. Nachfolgende Formel beschreibt die Erhebungssystematik der Anfahrtstrecke in das Milcheinzugsgebiet. Dies gilt sowohl für die Milcherfassungsfahrzeuge als auch für die Milchtransportauflieger.

$$\sum_{k=1}^e HS_g = HS_{1(ug)}, \quad \dots, \quad HS_{e(g)} \quad (18)$$

HS_g = Gesamte Anfahrtstrecke pro Fahrzeugkombination und Abholintervall bei gebrochenen Verfahrensvarianten innerhalb einer Verfahrensvariante

$HS_{1...e}$ = Anfahrtstrecke der einzelnen Touren

e = Anzahl der Hinfahrten in das Milcheinzugsgebiet einer Fahrzeugkombination innerhalb einer Verfahrensvariante

Die Milcherfassungstrecke beinhaltet bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Strecke einer Tour, die beim regionalen Umschlagplatz beginnt und beim regionalen Umschlagplatz endet.

$$\sum_{k=1}^e Es_g = Es_{1(g)}, \quad \dots, \quad Es_{e(g)} \quad (19)$$

Es_g = Gesamte Erfassungstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei unebrochenen Verfahrensvarianten

$Es_{1...e}$ = Erfassungstrecke der einzelnen Touren

e = Anzahl der Erfassungstouren eines Milchsammelwagens innerhalb einer Verfahrensvariante

Da die Rückfahrtstrecke bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Strecke zwischen dem regionalen Umschlagplatz und der Molkerei definiert, stellt nachfolgende Formel 20 die Ermittlung der gesamten Rückfahrtstrecke einer Fahrzeugkombination innerhalb einer Verfahrensvariante dar.

$$\sum_{k=1}^e Rs_g = Rs_{1(g)}, \quad \dots, \quad Rs_{e(g)} \quad (20)$$

Rs_g = Gesamte Rückfahrtstrecke pro Fahrzeugkombination und Abholintervall bei gebrochenen Verfahrensvarianten innerhalb einer Verfahrensvariante

$Rs_{1...e}$ = Rückfahrtstrecke der einzelnen Touren

e = Anzahl der Rückfahrten in das Milcheinzugsgebiet einer Fahrzeugkombination innerhalb einer Verfahrensvariante

Die im Rahmen der taktischen Milchlogistikplanung differenziert für die Verfahrensvarianten und Milcheinzugsgebiete erhobenen Strecken stellen die Grundlage für die Erhebung der Bruttokriterien dar. Deren ökonomische, zeitliche und ökologische Bewertungssystematik wird im nachfolgenden Kapitel systematisch aufgezeigt.

4.7 Systematik und Bruttokriterien zur Bewertung der verfahrensartabhängigen Milchlogistikszenerarien

Bei einem Bruttokriterium handelt es sich um eine relationale Größe, die zwei Größen in das Verhältnis setzt. Im Bereich der Milchlogistik sind Kennzahlen hinsichtlich Kosten, Treibhausgasemissionen und Zeitansprüche nötig, die einen transparenten Vergleich zwischen den betrachteten Verfahrensvarianten der Milchlogistik ermöglichen. Deshalb umfasst das vorliegende Kapitel die drei Unterkapitel ökonomische, ökologische und zeitliche Bewertung. Dabei wird die Simulation zum Vergleich der Milcheinzugsgebiete hinsichtlich Struktur und Entfernung zur Molkerei, differenziert für die Milcherfassung und den Milchtransport durchgeführt.

4.7.1 Ökonomische Bewertung

Wie bereits im Kapitel 4.5 aufgezeigt wurde, erfolgt die ökonomische Bewertung mittels Vollkostenrechnung unter den aufgezeigten Kosten- und Leistungsdaten und den verfahrensartabhängigen Distanzen. Diese Prozesskostenrechnung erfolgt pro Milcheinzugsgebiet jeweils für die elf verschiedenen Verfahrensvarianten sowohl für die gegenwärtige Struktur der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2017, als auch für die zukünftige Struktur der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2023. Nachfolgende Formel zeigt das Modell zur Prozesskostenerhebung für die ungebrochenen Verfahrensvarianten, aus dem sich das Bruttokriterium zur Bewertung der Verfahrensvariante in €/kg ergibt.

$$Pk_{ug}(Va, Mg) = [Hs_{ug} * K_H + Es_{ug} * K_E + Rs_{ug} * K_R + D * K_B + Mm * K_{ES} + F * K_{EN} + F * K_{UN}] / Mm \quad (21)$$

$Pk_{ug}(Va, Mg)$ = Verfahrensartabhängige Prozesskosten in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und der ungebrochenen Verfahrensvariante (€/kg)

Hs_{ug} = Gesamte Anfahrsstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei einer ungebrochenen Verfahrensvarianten

K_H = Leistungsbezogene Kosten der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (€/km)

Es_{ug} = Gesamte Erfassungsstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei ungebrochenen Verfahrensvarianten

K_E = Leistungsbezogene Kosten der Milcherfassungsstrecke (€/km)

Rs_{ug} = Gesamte Rückfahrtstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei ungebrochenen Verfahrensvarianten

K_R = Leistungsbezogene Kosten der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (€/km)

D = Anzahl der Milcherzeuger

F = Anzahl an Abladungen in der Molkerei

K_B = Leistungsbezogene Kosten der Routinearbeit beim Milcherzeuger (€/Milcherzeuger)

K_{ES} = Leistungsbezogene Kosten des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (€/kg)

K_{EN} = Leistungsbezogene Kosten zur Milchentladung in der Molkerei (€/Vorgang)

K_{UN} = Leistungsbezogene Kosten für die Hemmstoffuntersuchung in der Molkerei (€/Vorgang)

Mm = Milchmenge pro Abholintervall in kg

Wie aus der vorherigen Formel hervorgeht, setzen sich die Vollkosten der ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik aus der ökonomischen Bewertung der einzelnen Verfahrensschritte zusammen. Die unterschiedlichen Verfahrensschritte der ungebrochenen im Vergleich zu den gebrochenen Verfahrensvarianten begründen die differenzierte ökonomische Bewertung der gebrochenen Verfahrensvarianten der Rohmilchlogistik. Nachfolgende Formel zeigt die Systematik zur ökonomischen Bewertung der gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik.

$$\begin{aligned}
 Pk_g(Va, Mg) = & [Hs_{g,S} * K_{HS} + Hs_{g,T} * K_{HT} + Es_g * K_E + Rs_{g,S} * K_{RS} \\
 & + Rs_{g,T} * K_{RT} + D * K_B + G * K_{RUP} + H * K_{UP} + I * K_{AS} \\
 & + J * K_{AT} + Mm * K_{ES} + F_S * K_{EN,S} + F_D * K_{EN,T} + (F_S \\
 & + F_K) * K_{UN}] / Mm
 \end{aligned} \quad (22)$$

$Pk_g(Va, Mg)$ = Verfahrensartabhängige Prozesskosten in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und der gebrochenen Verfahrensvariante (€/kg)

$Hs_{g,S}$ = Gesamte Anfahrsstrecke des Milchsammelwagens bei gebrochenen Verfahrensvarianten innerhalb einer gebrochenen Verfahrensvariante

K_{HS} = Leistungsbezogene Kosten des Sammelwagens der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (€/km)

$Hs_{g,T}$ = Gesamte Anfahrsstrecke des Milchtransportauflegers pro Abholintervall (km)

K_{HT} = Leistungsbezogene Kosten des Milchtransportauflegers der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (€/km)

Es_g = Summe der Milcherfassungsstrecke pro Abholintervall (km)

K_E = Leistungsbezogene Kosten der Milcherfassung (€/km)

$Rs_{g,S}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Sammelwagens pro Abholintervall (km)

K_{RS} = Leistungsbezogene Kosten des Sammelwagens aus der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (€/km)

$R_{Sg, T}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Milchtransportaufliegers pro Abholintervall (km)

K_{RS} = Leistungsbezogene Kosten des Milchtransportaufliegers aus der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (€/km)

D = Anzahl der Milcherzeuger

F_S = Anzahl an Abladungen in der Molkerei des Sammelwagens

F_D = Anzahl an Abladungen in der Molkerei des Transportaufliegers

K_B = Leistungsbezogene Kosten der Routinearbeit beim Milcherzeuger (€/Milcherzeuger)

G = Anzahl an Umpumpvorgänge

K_{RUP} = Leistungsbezogene Kosten der Routinearbeit beim Umpumpen (€/Umpumpvorgang)

H = Menge an umgepumpter Milch

K_{UP} = Leistungsbezogene Kosten des Milchumpumpens (€/kg)

I = Anzahl des An- und Abkuppelns des Anhängers

K_{AS} = Leistungsbezogene Kosten des Anhänger An- und Abkuppelns (€/Vorgang)

J = Anzahl des An- und Abkuppelns des Milchtransportaufliegers

K_{AT} = Leistungsbezogene Kosten des Milchtransportauflieger An- und Abkuppelns (€/Vorgang)

K_{ES} = Leistungsbezogene Kosten des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (€/kg)

$K_{EN, S}$ = Leistungsbezogene Kosten zur Milchentladung in der Molkerei des Sammelwagens (€/Vorgang)

$K_{EN, T}$ = Leistungsbezogene Kosten zur Milchentladung in der Molkerei des Transportaufliegers (€/Vorgang)

K_{UN} = Leistungsbezogene Kosten für die Hemmstoffuntersuchung in der Molkerei (€/Vorgang)

M_m = Milchmenge pro Abholintervall und Milcheinzugsgebiet in kg

Bei der Simulation der Verfahrensvarianten Zweiachser LKW Dreiaxsanhänger gebrochen und Dreiachser LKW mit Zweiachser LKW Milchtransportauflieger gebrochen werden die für den Milchtransportauflieger erforderlichen Verfahrensschritte in Formel 22 Nullen eingesetzt. Da bei der Verfahrensvariante elf der Vierachser LKW keinen Anhänger enthält, entfällt die Bewertung für die Verfahrensschritte An- und Abkuppeln des Anhängers am regionalen Umschlagplatz.

4.7.2 Zeitliche Bewertung

Die Erhebung der adaptiven Bruttokriterien zur Bewertung der verfahrensartabhängigen Zeitbedarfe wird differenziert für die gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten durchgeführt. Aus nachfolgender Formel wird die Systematik zur Erhebung der verfahrensartspezifischen Zeiten bei ungebrochenen Verfahrensvarianten ersichtlich. Das effiziente Bruttokriterium der zeitlichen Bewertung stellt die Zielgröße s/kg Milch dar. Dieses Bruttokriterium dient dem Vergleich der Verfahrensvarianten innerhalb und zwischen den betrachteten Milcheinzugsgebieten.

$$Z_{t_{ug}}(Va, Mg) = \left[H_{S_{ug}} * Z_H + E_{S_{ug}} * Z_E + R_{S_{ug}} * Z_R + D * Z_B + Mm * Z_{ES} + F * Z_{EN} \right] / Mm \quad (23)$$

$Z_{t_{ug}}(Va, Mg)$ = Verfahrensartabhängige Prozesszeiten in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und einer ungebrochenen Verfahrensvariante (s/kg)

$H_{S_{ug}}$ = Gesamte Anfahrtsstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei einer ungebrochenen Verfahrensvarianten

Z_H = Leistungsbezogener Zeitbedarf - Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (h/km)

$E_{S_{ug}}$ = Gesamte Erfassungsstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei ungebrochenen Verfahrensvarianten

Z_E = Leistungsbezogener Zeitbedarf der Milcherfassung (h/km)

$R_{S_{ug}}$ = Gesamte Rückfahrtstrecke pro Verfahrensvariante und Abholintervall bei ungebrochenen Verfahrensvarianten

Z_R = Leistungsbezogener Zeitbedarf - Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet (h/km)

D = Anzahl der Milcherzeuger

Z_B = Leistungsbezogene Zeit der Routinearbeit beim Milcherzeuger (s/Milcherzeuger)

F = Anzahl an Abladungen in der Molkerei

Z_{ES} = Leistungsbezogene Zeit des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (h/kg)

Z_{EN} = Leistungsbezogene Zeit der Milchentladung in der Molkerei (h/Vorgang)

Mm = Milchmenge pro Abholintervall in kg

Die differenzierten Verfahrensschritte der gebrochenen Verfahrensschritte der Milchlogistik erfordern eine separate Modellbildung zur Quantifizierung der Zeiteffizienzkennzahlen bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik.

$$Z_{t_g}(Va) = \left[H_{s_g, S} * Z_{HS} + H_{s_g, T} * Z_{HT} + E_{s_g} * Z_E + R_{s_g, S} * Z_{RS} + R_{s_g, T} * Z_{RT} + F * Z_B + G * Z_{RUP} + H * Z_{UP} + I * Z_{AS} + J * Z_{AT} + M_m * Z_{ES} + F_S * Z_{EN,S} + F_K * Z_{EN,T} \right] / M_m \quad (24)$$

$Z_{t_g}(Va)$ = Verfahrensartabhängige Prozesszeiten in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und der gebrochenen Verfahrensvariante (s/kg)

$H_{s_g, S}$ = Summe der Anfahrsstrecke des Sammelwagens pro Abholintervall (km)

Z_{HS} = Leistungsbezogene Zeiten des Sammelwagens der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (h/km)

$H_{s_g, T}$ = Summe der Anfahrsstrecke des Milchtransportaufliegers pro Abholintervall (km)

Z_{HT} = Leistungsbezogene Zeiten des Milchtransportaufliegers der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (h/km)

E_{s_g} = Summe der Milcherfassungstrecke pro Abholintervall (km)

Z_E = Leistungsbezogene Zeiten der Milcherfassung (h/km)

$R_{s_g, S}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Sammelwagens pro Abholintervall (km)

Z_{RS} = Leistungsbezogene Zeiten des Sammelwagens aus der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (h/km)

$R_{s_g, T}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Milchtransportaufliegers pro Abholintervall (km)

Z_{RT} = Leistungsbezogene Kosten des Milchtransportaufliegers der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (€/km)

D = Anzahl an Milcherzeuger

F_S = Anzahl an Abladungen in der Molkerei des Sammelwagens

F_K = Anzahl an Abladungen in der Molkerei des Milchtransportaufliegers

Z_B = Leistungsbezogene Zeiten der Routinearbeit beim Milcherzeuger (h/Milcherzeuger)

G = Anzahl an Umpumpvorgängen

Z_{RUP} = Leistungsbezogene Zeiten der Routinearbeit beim Umpumpen (h/Umpumpvorgang)

H = Menge an umgepumpter Milch

Z_{UP} = Leistungsbezogene Zeit des Milchumpumpens (h/kg)

I = Anzahl des An- und Abkuppelns des Anhängers

Z_{AS} = Leistungsbezogene Zeit des Anhänger An- und Abkuppelns (h/kg)

J = Anzahl An- und Abkuppeln des Milchtransportaufliegers

Z_{AT} = Leistungsbezogene Zeiten des Milchtransportauflieger An- und Abkuppelns (h/kg)

Z_{ES} = Leistungsbezogene Zeiten des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (h/kg)

$Z_{EN, S}$ = Leistungsbezogene Zeiten des Sammelwagens zur Milchentladung in der Molkerei (€/Vorgang)

$Z_{EN, T}$ = Leistungsbezogene Zeiten des Transportaufliegers zur Milchentladung in der Molkerei (€/Vorgang)

M_m = Milchmenge pro Abholintervall und Milcheinzugsgebiet (kg)

4.7.3 Ökologische Bewertung

Die verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen werden in der vorliegenden Arbeit in der Zielgröße CO_2 -Äq erhoben. Nach ZEHETMEIER *ET AL.* (2017) definiert die Treibhausgasbilanz die „Inventarisierung und Bewertung von Treibhausgasflüssen entlang des gesamten (oder eines Teils des) Lebenszyklus eines (Agrar-) Produktes“. Die Bewertung der Treibhausgasemissionen basiert dabei auf den Regeln der partiellen Ökobilanzierung. Deshalb werden als Bewertungsgrenzen zur partiellen Ökobilanzierung „Rohmilchlogistik“ in der vorliegenden Arbeit diejenigen Treibhausgasemissionen gewählt, die zwischen der Milchannahme beim Milcherzeuger und der Milchentladung in der Molkerei anfallen.

Zur Erhebung der Treibhausgasemissionen innerhalb der beschriebenen Systemgrenzen wird der Well-to-Wheel Bewertungsansatz verwendet. Diese Systematik umfasst sowohl die Bewertung der indirekten CO_2 -Treibhausgasemissionen, die im Rahmen der Treibstoffverarbeitung und Treibstofflogistik freigesetzt werden, als auch die Bewertung der direkten CO_2 -Treibhausgasemissionen, die aus der Verbrennung des Treibstoffes im Motor entstehen (ORSI *ET AL.* 2016). Diese Bewertungssystematik entspricht der europäisch gültigen Norm EN 16258 (DSLVL DEUTSCHER SPEDITIONS- UND LOGISTIKVERBAND E.V. 2013; KRANKE *ET AL.* 2011). Nachfolgende Formel zeigt die Berechnungsmethode zur Ermittlung des festen Bruttokriteriums in $kg\ CO_2$ -Äq/km oder in $kg\ CO_2$ -Äq/kg Milch.

$$G_T = F * g_t \quad (25)$$

G_T = Well-to-Wheel Treibhausgasemissionen in $kg\ CO_2$ -Äq/km oder in $kg\ CO_2$ -Äq/kg Milch

F = Dieserverbrauch in l/km oder in l/kg Milch

g_t = Well-to-Wheel-Treibhausgasumrechnungsfaktor (3,15 $kg\ CO_2$ -Äq/l Diesel)

(KRANKE *ET AL.* 2011; DSLVL DEUTSCHER SPEDITIONS- UND LOGISTIKVERBAND E.V. 2013, S. 30).

Der in Formel 25 zu Grunde gelegte Treibhausgasumrechnungsfaktor von 3,15 $kg\ CO_2$ -Äq/l Diesel liegt unter dem für Diesel zu Grunde gelegten Treibhausgasemissionsfaktor in Höhe

von 3,15 kg CO₂-Äq/l, da der in Deutschland übliche Diesel aufgrund nationaler Vorgaben zur Treibhausgasemissionsreduzierung einen Biodieselanteil von 6,75 % enthält (DSLVD DEUTSCHER SPEDITIONS- UND LOGISTIKVERBAND E.V. 2013, S. 30–32). Die innerhalb der Systemgrenzen notwendigen Verfahrensschritte, in denen der Einsatz fossiler Energie erforderlich ist, werden unter Verwendung der Formel 25 hinsichtlich der Treibhausgasemissionen bewertet. Dazu werden die Treibhausgasemissionen der verfahrensartabhängigen Schritte, Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet, Milcherfassung und Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet in die Molkerei unter Verwendung der in Kapitel 4.5 dargestellten Dieserverbräuche ermittelt. Basierend auf diesen Kalkulationen ergibt sich dann die Zielgröße g CO₂-Äq/km. Darüber hinaus werden die Milcheinsaug- und Milchumpumpvorgänge sowie die Treibhausgasemissionen der Routinetätigkeiten bei laufendem Motor hinsichtlich der Treibhausgasemissionen bewertet, woraus die Zielgröße g CO₂-Äq/kg Milch resultiert. Nachfolgende Formel 26 zeigt die spezifischen Treibhausgasemissionen der ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik.

$$Tr_{ug}(Va, Mg) = [Hs_{ug} * T_H + Es_{ug} * T_E + Rs_{ug} * T_R + Mm * T_{ES} + Mm * T_{Cl}] / Mm \quad (26)$$

$Tr_{ug}(Va, Mg)$ = verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und der ungebrochenen Verfahrensvariante (g CO₂-Äq/kg Milch)

Hs_{ug} = Summe der Anfahrstrecke pro Abholintervall (km)

T_H = leistungsbezogene Treibhausgasemissionen der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

Es_{ug} = Summe der Milcherfassungstrecke pro Abholintervall (km)

T_E = leistungsbezogene Treibhausgasemissionen der Milcherfassung (g CO₂-Äq/km)

Rs_{ug} = Summe der Rückfahrtstrecke pro Abholintervall (km)

T_R = leistungsbezogene Treibhausgasemissionen der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

T_{ES} = leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (g CO₂-Äq/kg Milch)

T_{Cl} = leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Reinigens des Transportmittels (g CO₂-Äq/kg Milch)

Mm = Milchmenge pro Abholintervall

Die Systematik zur Erhebung der Treibhausgasemissionen bei gebrochenen Verfahrensvarianten zeigt nachfolgende Formel 27.

$$\begin{aligned} \text{Tr}_g(\text{Va, Mg}) = & [\text{Hs}_{g, S} * \text{T}_{\text{HS}} + \text{Hs}_{g, T} * \text{T}_{\text{HT}} + \text{Es}_g * \text{K}_E + \text{Rs}_{g, S} * \text{T}_{\text{RS}} \\ & + \text{Rs}_{g, T} * \text{T}_{\text{RT}} + \text{H} * \text{T}_{\text{UP}} + \text{Mm} * \text{T}_{\text{ES}} + \text{Mm} * \text{T}_{\text{Cl}} + \text{I} \\ & * \text{T}_{\text{AS}} + \text{J} * \text{T}_{\text{AT}}] / \text{Mm} \end{aligned} \quad (27)$$

$\text{Pr}_g(\text{Va, Mg})$ = Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit des Milcheinzugsgebietes und der gebrochenen Verfahrensvariante (g CO₂-Äq/kg Milch)

$\text{Hs}_{g, S}$ = Summe der Anfahrsstrecke des Sammelwagens pro Abholintervall (km)

T_{HS} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Sammelwagens der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

$\text{Hs}_{g, T}$ = Summe der Anfahrsstrecke des Milchtransportauflegers pro Abholintervall (km)

T_{HT} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Milchtransportauflegers der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

Es_g = Summe der Milcherfassungstrecke pro Abholintervall (km)

K_E = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen der Milcherfassung (g CO₂-Äq/km)

$\text{Rs}_{g, S}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Sammelwagens pro Abholintervall (km)

T_{RS} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Sammelwagens aus der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

$\text{Rs}_{g, T}$ = Summe der Rückfahrtstrecke des Milchtransportauflegers pro Abholintervall (km)

T_{RT} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Milchtransportauflegers aus der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet (g CO₂-Äq/km)

H = Menge an umgepumpter Milch

T_{UP} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Milchpumpens (g CO₂-Äq/kg Milch)

T_{ES} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Milcheinsaugens beim Milcherzeuger (g CO₂-Äq/kg Milch)

T_{Cl} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des Reinigens des Transportmittels (g CO₂-Äq/kg Nutzlast)

I = Anzahl des An- und Abkuppelns des Anhängers

T_{AS} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des An- und Abkuppelns des Anhängers (g CO₂-Äq/kg Milch)

J = Anzahl des An- und Abkuppelns des Milchtransportauflegers

T_{AT} = Leistungsbezogene Treibhausgasemissionen des An- und Abkuppelns des Milchtransportauflegers (g CO₂-Äq/Vorgang)

M_m = Milchmenge pro Abholintervall und Milcheinzugsgebiet

Die erstellten ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Modelle dienen der Simulation der einzelnen Verfahrensvarianten der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur der betrachteten Milcheinzugsgebiete.

5 Ergebnisse

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die analysierten Ergebnisse der zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose und der verfahrensartspezifischen Milchlogistiksimulation differenziert für die jeweiligen Untersuchungsregionen in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur aufgezeigt. Nachfolgender Gliederungsabschnitt 5.1 veranschaulicht die erhobene Datengrundlage, die der Bewertung der Verfahrensvarianten der Milchlogistik in den betrachteten Milcheinzugsgebieten dient.

5.1 Transportmittelspezifische Daten

Die zur Logistiksimulation erhobenen transportmittel- und verfahrensartspezifischen Vollkosten sind für das Jahr 2017 in Anhang 22 beigefügt. Im Verfahrensschritt Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet variieren die streckenspezifischen Vollkosten im Jahr 2017 zwischen 0,96 €/km beim Zweiachser LKW solo und 1,14 €/km beim Vierachser LKW solo. Im Vergleich zwischen den transportmittelspezifischen Vollkosten der Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet und der Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet in die Molkerei liegen die streckenspezifischen Vollkosten der Hinfahrt niedriger, weil dabei höhere Geschwindigkeiten zurückgelegt werden und der Dieserverbrauch niedriger ist. Im Verfahrensschritt Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet in die Molkerei resultieren die streckenspezifischen Vollkosten der Milchlogistik zwischen 1,05 €/km beim Milchtransportauflieger und 1,22 €/km beim Zweiachser LKW mit Dreiaxser LKW Dreiaxsanhänger. Damit liegen beispielsweise bei der Betrachtung des Zweiachser LKW solo die Vollkosten bei der Rückfahrt aus dem Milcheinzugsgebiet um 9,43 % höher im Vergleich zur Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet. Die spezifischen Vollkosten der Zwischenerzeugerstrecke variieren zwischen 1,28 €/km beim Zweiachser LKW solo und 1,69 €/km beim Sammelaufleger solo. Da sich die leistungsbezogenen Kapitalkosten des Milcheinsaugens unterscheiden, variieren die Vollkosten des Milcheinsaugens zwischen 0,0011 €/kg (Zweiachser LKW) und 0,0015 €/kg (Sammelaufleger solo). Die Kosten für die Routinearbeitszeiten beim Milcherzeuger betragen 0,87 €/Erzeuger und Milchannahmevergang.

Die höhere Leistung beim Umpumpen der Rohmilch in einen Anhänger oder Transportauflieger im Vergleich zum Milcheinsaugen beim Milcherzeuger begründen die niedrigeren Vollkosten des Umpumpens im Bereich von 0,0007 €/kg (Zweiachser LKW) und 0,0008 €/kg (Sammelaufleger solo) im Vergleich zum Milcheinsaugen. Die Vollkosten für das An- und Abkuppeln des Anhängers liegen bei 1,65 €/Vorgang. Dagegen betragen die

Vollkosten für das zeitlich aufwendigere Umsatteln im Vergleich zum Ankuppeln eines Anhängers 4,16 €/Vorgang. Wegen der unterschiedlichen Transportkapazitäten der betrachteten Verfahrensvarianten differieren die Vollkosten der Milchentladung von 27,18 €/Entladung (Milchtransportauflieger) bis zu 34,63 €/Entladung (Sammelauflieger solo).

Für die unter Berücksichtigung der für das Jahr 2023 zu Grunde gelegten Kostendaten der Milchlogistik enthält Anhang 23 die analysierten transportmittel- und verfahrensschrittspezifischen Vollkosten der Milchlogistik. Die kalkulierten transportmittel- und verfahrensschrittspezifischen Treibhausgasemissionen sind im Anhang 24 beigefügt. Im Anhang 25 sind die spezifischen Zeitansprüche dargestellt.

5.2 Beschreibung der entwickelten Managementtools

5.2.1 Milchmengenprognose

Die Prognose der zeitskalenabhängigen Milchmengen basiert auf der Eingabe von Inputdaten. Dabei setzen sich die Inputdaten aus historischen Milchmengen auf Abholintervallebene der vergangenen zwei Jahre und den prognostizierten Milchmengen auf Milcherzeugerebene eines Milcheinzugsgebietes zusammen. Nach der Prognoseerhebung mit den in Kapitel 4.2.1 dargestellten Formeln werden die Zielkennzahlen der kurzfristigen, mittelfristigen und langfristigen Milchmengenprognose erhoben. Nachfolgende Abbildung 15 gibt einen Überblick des Managementtools zur Milchmengenprognose.

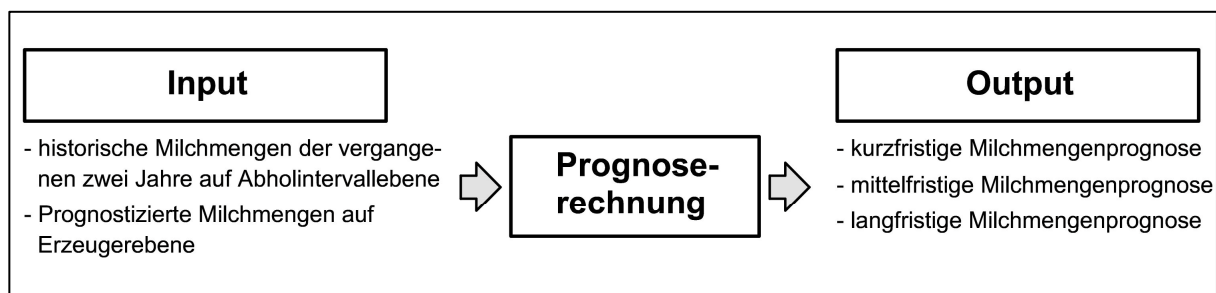


Abbildung 15: Schema des Managementtools zur spezifischen Milchmengenprognose (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Das in Abbildung 15 dargestellte Managementtool zur Milchmengenprognose ist im PC-Programm Microsoft Excel integriert. Pro Output-Kennzahl liegt in der entwickelten Managementsoftware eine Registerkarte vor, die neben der Kennzahl Informationen zur Prognose ermittelt und visualisiert. So wird simultan bei der kurzfristigen und bei der langfristigen Milchmengenprognose die Güte der Prognose bewertet, sowie eine Abbildung der prognostizierten Milchmenge erstellt. Die Kennzahl zur langfristigen

Milchmengenprognose gibt neben der jährlich zu erwartenden Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet eine Prognose der erwarteten Struktur im Milcheinzugsgebiet. Die erhobenen Kennzahlen zur Struktur setzen sich aus der jährlich zu erwartenden Lieferantenkennzahl und der zu erwartenden durchschnittlichen Milchmenge pro Milcherzeuger und Jahr zusammen. Darüber hinaus wird durch den Chi-Quadrat-Test die Repräsentativität der Umfrage erhoben.

5.2.2 Rohmilchlogistiksimulation

Das Grundschemata des Managementtools zur verfahrensvariantenspezifischen Rohmilchlogistiksimulation zeigt nachfolgende Abbildung 16.

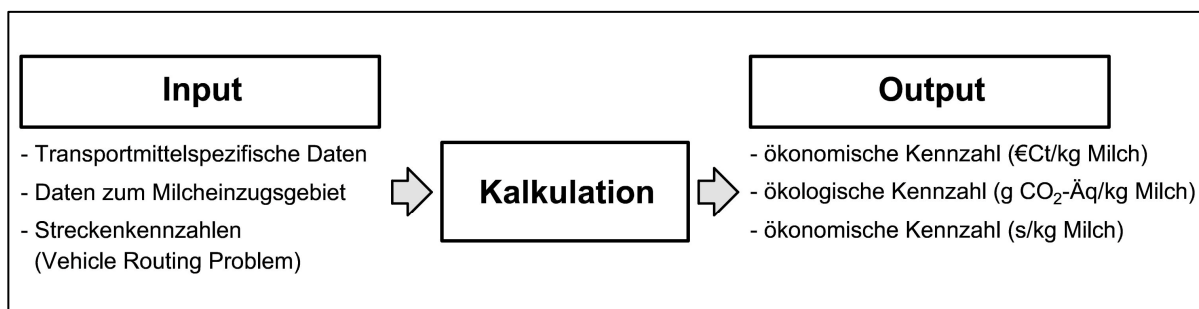


Abbildung 16: Schema des Managementtools zur verfahrensvariantenspezifischen Rohmilchlogistiksimulation (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Wie aus Abbildung 16 hervorgeht, besteht das Managementtool zur Rohmilchlogistiksimulation aus den drei Komponenten Input, Kalkulation und Output. Dabei gelten als Inputdaten die Daten, die zur Erhebung der Logistikkennzahlen erforderlich sind. Auf die einzelnen dargestellten Kennzahlen der Rubrik Input und Output wird nachfolgend eingegangen. Das Managementtool zur Rohmilchlogistiksimulation pro Milcheinzugsgebiet und Analysejahr ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit in einer Exceldatei integriert. Die dafür zu Grunde gelegten Daten wurden bereits im vorherigen Kapitel aufgezeigt. Die Methode der kennzahlspezifischen Kalkulation basiert auf den in Kapitel 4.7 aufgezeigten Formeln zur Logistikbewertung. Nachfolgende Abbildung 17 veranschaulicht das Eingabeblatt der Logistiksimulation. Die im Rahmen dieses Kapitels dargestellten Abbildungen zur Visualisierung des Managementtools sind dem im nachfolgenden Kapitel aufgezeigten Modellmilcheinzugsgebiet Zentralbayern aus dem Jahr 2017 entnommen.

Einheit	Verfahrensvarianten										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gesamtmilchmenge	kg/Abholintennell	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07	498.125,07
Anzahl Milchezeuger	Anzahl	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00	292,00
Gesamterfassungsstrecke	km	498,68	715,61	709,13	626,45	751,62	751,62	3.243,34	1.918,16	3.243,34	1.918,16
Milchdichte	kg/km	998,88	696,08	702,45	795,16	662,74	662,74	153,58	259,69	153,58	259,69
Hinfahrtsstrecke Sammelwagen	km	1.927,63	1.019,44	687,52	534,73	581,57	581,57	722,02	722,02	36,10	36,10
Rückfahrtsstrecke Sammelwagen	km	2.844,54	1.411,68	1.228,42	941,11	928,95	928,95	737,90	737,90	36,90	36,90
Anzahl Transportfahrten Sammelwagen	Stück	63,00	34,00	26,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	1,00	1,00
Nutzlast Transportmittel Sammelwagenspann	kg	8.000,00	15.000,00	19.200,00	25.500,00	25.000,00	25.000,00	25.000,00	25.000,00	25.000,00	19.200,00
Hinfahrtsstrecke Transportaufleger	km	-	-	-	-	-	-	-	-	649,82	649,82
Rückfahrtsstrecke Transportaufleger	km	-	-	-	-	-	-	-	-	664,11	664,11
Anzahl Transportfahrten Transportaufleger	Anzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	18,00	18,00
Durchschnittliche Erfassungsstrecke/Fahrt (Sammelwagen)	km	7,92	21,05	27,27	31,32	37,58	37,58	51,48	56,42	51,48	56,42
Durchschnittliche Hinfahrtsstrecke/Fahrt (Sammelwagen)	km	30,60	29,98	26,44	26,74	29,08	29,08	36,10	36,10	36,10	36,10
Durchschnittliche Rückfahrtsstrecke/Fahrt (Sammelwagen)	km	45,15	41,52	47,25	47,08	46,45	46,45	36,90	36,90	36,90	36,90
Durchschnittliche Hinfahrtsstrecke/Fahrt (Transportaufleger)	km	-	-	-	-	-	-	-	-	36,10	36,10
Durchschnittliche Rückfahrtsstrecke/Fahrt (Transportaufleger)	km	-	-	-	-	-	-	-	-	36,90	36,90

Abbildung 17: Eingabetableau des Managementtools zur Rohmilchlogistiksimulation (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Wie aus Abbildung 17 hervorgeht, erfolgt die Logistiksimulation simultan für alle elf betrachteten Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Jedoch ist zur Bewertung die manuelle Eingabe einzelner Kennzahlen pro Verfahrensvariante erforderlich. Die manuell einzugebenden Kennzahlen unterscheiden sich zwischen charakteristischen Kennzahlen des Milcheinzugsgebietes und den verfahrensvariantenspezifischen Streckendaten. Diese beiden Kennzahlen sind in Abbildung 17 in der Farbe rosa hinterlegt. Die in der Farbe lila abgebildeten Kennzahlen für die pro Verfahrensvariante erforderlichen Streckenkennzahlen in Abhängigkeit des Transportmittels basieren auf der in Kapitel 4.6 dargestellten Software von Erdogan et al. (2017a) zur Streckensimulation eines Vehicle Routing Problems. Da sich die einzeln simulierten Verfahrensvarianten hinsichtlich Ihrer Nutzlast unterscheiden, ist pro simulierte Verfahrensvariante je eine Streckensimulation erforderlich. Die erhaltenen Ergebnisse hinsichtlich der Verfahrensschritte Milcherfassungsstrecke, Anfahrsstrecke und Rückfahrtsstrecke werden jeweils differenziert in das Eingabetableau integriert. Der Einsatz des Milchtransportauflegers, bei Verfahrensvariante neun, zehn und elf begründen die Berücksichtigung der Komponenten Anfahrsstrecke Transportaufleger, Rückfahrtsstrecke Transportaufleger. Die im Eingabetableau grau hinterlegten Daten sind per Formel dynamisch an die manuellen rosa und lila hinterlegten Eingabedaten angepasst.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Outputdaten hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und Zeit dargestellt. Dabei werden zur Interpretation der Logistikkennzahlen gesamt pro Verfahrensvariante und in der spezifischen Kennzahl pro kg Milch herausgegeben. Darüber hinaus werden zur operativen Logistikplanung und zur Bewertung der Logistikkennzahlen die Daten jeweils für die Komponente Milcherfassung und Milchtransport ausgewiesen. Dabei wird die Komponente Milcherfassung in der Farbe grün dargestellt, während die Komponente Milchtransport in der Farbe rot gekennzeichnet wird. Nachfolgende Abbildung 18 veranschaulicht das Outputtabellenblatt der ökonomischen Logistikbewertung.

Einheit	Verfahrensvarianten											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Vollkosten Hinfahrtsstrecke Sammelwagen	€	1.845,04	1.036,15	782,49	594,48	644,12	635,79	799,68	789,34	39,98	39,47	41,09
Vollkosten Rückfahrtsstrecke Sammelwagen	€	2.979,63	1.523,43	1.533,09	1.112,54	1.132,72	1.084,73	899,76	861,64	44,99	43,08	46,05
Vollkosten Hinfahrtsstrecke Transportaufleger	€	-	-	-	-	-	-	-	-	640,00	640,00	640,00
Vollkosten Rückfahrtsstrecke Transportaufleger	€	-	-	-	-	-	-	-	-	697,41	697,41	697,41
Vollkosten Erfassungstrecke Sammelwagen	€	841,33	989,89	1.163,75	1.056,75	1.206,72	1.247,70	4.171,08	2.653,34	4.171,08	2.653,34	2.412,38
Vollkosten Milcheinsaugen beim Milcherzeuger	€	538,35	542,10	558,80	743,02	538,35	542,10	538,35	542,10	538,35	542,10	558,80
Vollkosten Routinetätigkeit beim Milcherzeuger	€	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87	254,87
Vollkosten Milchpumpen	€	-	-	-	-	-	-	241,60	143,05	350,20	348,84	361,86
Vollkosten Routinetätigkeit Milchmüladen	€	-	-	-	-	-	-	84,06	28,85	121,42	64,21	49,04
Vollkosten An-/Abkuppeln des Anhängers	€	-	-	-	-	-	-	31,64	31,64	1,58	1,58	-
Vollkosten Umsatteln Transportaufleger	€	-	-	-	-	-	-	-	-	71,02	71,02	71,02
Gesamtkosten Milchentladung Sammelwagen	€	1.727,24	1.029,54	835,88	692,65	689,35	688,32	688,35	688,32	34,47	34,42	32,15
Gesamtkosten Milchentladung Transportaufleger	€	-	-	-	-	-	-	-	-	489,29	489,29	489,29
Gesamtkosten Milcherfassung	€	1.434,56	1.786,86	1.977,42	2.054,64	1.999,94	2.044,67	5.321,61	3.651,88	5.508,54	3.935,96	3.707,95
Spezifische Kosten Milcherfassung	€/kg	0,29	0,38	0,40	0,41	0,40	0,41	1,07	0,73	1,11	0,79	0,74
Gesamtkosten Milchtransport	€	6.551,91	3.589,13	3.151,46	2.399,67	2.466,19	2.408,84	2.388,79	2.339,39	1.955,14	1.952,66	1.954,98
Spezifische Kosten Milchtransport	€/kg	1,32	0,72	0,63	0,48	0,50	0,48	0,48	0,47	0,39	0,39	0,39
Gesamtkosten (TOTAL)	€	7.986,75	5.376,36	5.129,27	4.454,72	4.466,53	4.453,92	7.711,47	5.991,89	7.464,78	5.889,41	5.663,67
Spezifische Gesamtkosten Total	€/kg	1,60	1,08	1,03	0,89	0,90	0,89	1,55	1,20	1,50	1,18	1,14

Abbildung 18: Ökonomische Ausgabematrix der Logistiksimulation (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Die verfahrensvariantenspezifische Ausgabematrix der ökologischen Bewertung zeigt nachfolgende Abbildung 19.

Einheit	Verfahrensvarianten											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
THG Emissionen Hinfahrtsstrecke Sammelwagen	g CO ₂ -Äq	1.639.449,32	947.315,55	675.696,62	530.586,83	557.906,84	573.133,29	957.906,84	573.133,29	34.632,35	35.577,54	35.480,06
THG Emissionen Rückfahrtsstrecke Sammelwagen	g CO ₂ -Äq	3.097.704,06	1.578.613,40	1.444.626,62	1.115.387,07	1.076.841,16	1.107.775,26	1.076.841,16	1.107.775,26	42.768,68	43.997,29	43.388,52
THG Emissionen Hinfahrtsstrecke Transportaufleger	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	-	-	644.781,91	644.781,91	644.781,91
THG Emissionen Rückfahrtsstrecke Transportaufleger	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	-	-	787.094,87	787.094,87	787.094,87
THG Emissionen Erfassungstrecke Sammelwagen	g CO ₂ -Äq	596.924,75	901.673,64	945.618,19	864.963,93	987.933,53	1.010.781,67	3.882.277,98	2.416.877,82	3.882.277,98	2.416.877,82	1.960.192,99
THG Emissionen Milcheinsaugen beim Milcherzeuger	g CO ₂ -Äq	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37	658.278,37
THG Emissionen Routinetätigkeit beim Milcherzeuger	g CO ₂ -Äq	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84	338.603,84
THG Emissionen Milchpumpen	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	246.698,07	144.553,23	357.598,18	352.490,94	349.426,59
THG Emissionen Routinetätigkeit Milchmüladen	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	111.699,00	35.681,63	161.343,00	85.325,63	65.157,75
THG Emissionen An-/Abkuppeln Anhänger an Sammelwagen	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	350,39	350,39	17,52	17,52	-
THG Emissionen Umsatteln Transportaufleger	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	-	-	315,35	315,35	315,35
THG Emissionen Milchentladung Sammelwagen	g CO ₂ -Äq	824.607,00	803.020,50	779.376,00	788.703,75	773.184,00	773.850,00	773.184,00	773.850,00	38.659,20	38.692,50	29.976,00
THG Emissionen Milchentladung Transportaufleger	g CO ₂ -Äq	-	-	-	-	-	-	-	-	750.333,38	750.333,38	750.333,38
THG Emissionen Milcherfassung	g CO ₂ -Äq	1.593.806,96	1.898.558,85	1.942.500,40	1.861.846,15	1.984.815,75	2.007.663,88	5.237.907,66	3.594.345,29	5.308.434,25	3.851.900,47	3.371.974,91
THG Emissionen Milcherfassung	g CO ₂ -Äq	3,20	3,81	3,90	3,74	3,98	4,03	10,52	7,22	10,84	7,73	6,77
THG Emissionen Milchtransport	g CO ₂ -Äq	5.561.760,38	3.328.949,45	2.899.698,25	2.434.677,65	2.407.932,00	2.454.758,55	2.407.932,00	2.454.758,55	2.298.270,39	2.300.477,49	2.291.054,74
THG Emissionen Milchtransport	g CO ₂ -Äq	11,17	6,68	5,82	4,89	4,83	4,83	4,83	4,83	4,61	4,62	4,60
Gesamt THG Emissionen (TOTAL)	g CO ₂ -Äq	7.155.567,34	5.227.505,30	4.842.199,65	4.296.523,80	4.392.747,74	4.462.422,43	7.645.839,66	6.049.103,84	7.696.704,64	6.152.388,95	5.663.029,64
Spezifische THG Emissionen Total	g CO ₂ -Äq/kg	14,37	10,49	9,72	8,63	8,82	8,96	15,35	12,14	15,45	12,35	11,37

Abbildung 19: Ökologische Ausgabematrix der Logistiksimulation (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Die zeitliche Ausgabematrix der Logistiksimulation beschreibt nachfolgende Abbildung 20.

Einheit	Verfahrensvarianten											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Zeitbedarf Hinfahrtsstrecke Sammelwagen	h	36,91	19,23	14,87	11,06	11,66	11,82	11,66	11,82	0,72	0,73	0,78
Zeitbedarf Rückfahrtsstrecke Sammelwagen	h	59,39	29,27	29,60	20,12	19,56	19,23	19,56	19,23	0,78	0,76	0,79
Zeitbedarf Hinfahrtsstrecke Transportaufleger	h	-	-	-	-	-	-	-	-	14,05	14,05	14,05
Zeitbedarf Rückfahrtsstrecke Transportaufleger	h	-	-	-	-	-	-	-	-	14,19	14,19	14,19
Zeitbedarf Erfassungstrecke Sammelwagen	h	16,15	22,28	29,86	22,70	29,89	26,16	105,05	59,71	105,05	59,71	61,89
Zeitbedarf Milcheinsaugen beim Milcherzeuger	h	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58
Zeitbedarf Routinetätigkeit beim Milcherzeuger	h	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17
Zeitbedarf Milchpumpen	h	-	-	-	-	-	-	5,06	2,96	7,33	7,23	7,17
Zeitbedarf Routinetätigkeit Milchmüladen	h	-	-	-	-	-	-	2,36	0,76	3,41	1,81	1,38
Zeitbedarf An-/Abkuppeln Anhänger an Sammelwagen	h	-	-	-	-	-	-	0,44	0,44	0,02	0,02	-
Zeitbedarf Umsatteln Transportaufleger	h	-	-	-	-	-	-	-	-	2,40	2,40	2,40
Zeitbedarf Milchentladung Sammelwagen	h	25,78	18,13	16,02	14,44	14,44	14,44	14,44	14,44	0,26	0,26	0,26
Zeitbedarf Milchentladung Transportaufleger	h	-	-	-	-	-	-	-	-	13,69	13,69	13,69
Zeitbedarf Milcherfassung	h	35,90	42,03	49,61	42,45	49,64	45,91	132,67	83,62	137,97	90,92	92,59
Zeiteffizienz Milcherfassung	h/kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zeitbedarf Milchtransport	h/kg	121,08	66,64	60,49	45,62	45,66	45,49	45,66	45,49	43,70	43,69	43,76
Zeiteffizienz Milchtransport	h/kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zeitbedarf Sammelwagen	h	156,98	108,66	110,09	88,06	95,30	91,40	178,32	129,11	137,33	90,28	92,02
Zeitbedarf Transportaufleger	h	-	-	-	-	-	-	-	-	44,33	44,33	44,33
Zeitbedarf (TOTAL)	h	156,98	108,66	110,09	88,06	95,30	91,40	178,32	129,11	181,67	134,61	136,36
Spezifische Zeiteffizienz Total	h/kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spezifische Zeiteffizienz Total	s/kg	1,13	0,79	0,80	0,64	0,69	0,66	1,29	0,93	1,31	0,97	0,99

Abbildung 20: Zeitliche Ausgabematrix der Logistiksimulation (Quelle: EIGENE ABBILDUNG).

Die einzelnen verfahrensvariantenspezifischen Logistikkennzahlen differenziert für die Milcherfassung und den Milchtransport sind direkt an ein dynamisches Säulendiagramm zur Visualisierung der Ergebnisse adaptiert. Diese vom Managementtool erstellten Abbildungen dienen als Grundlage für die Ergebnisse, die nachfolgend differenziert für die analysierten Milcheinzugsgebiete dargestellt werden.

5.3 Milcheinzugsgebiet Ostbayern

5.3.1 Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018

Insgesamt kann die empirische Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Ostbayern des Jahres 2017 mit 241 auswertbaren Umfragebögen geschlossen werden. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 89,63 %. Der Vergleich der beobachteten Stichproben und der erwarteten Stichprobe zeigt, dass in den Betriebsgrößenklassen < 100.000 kg Milch und bis 250.000 kg Milch weniger Rückmeldungen registriert als erwartet werden. In der Größenklasse bis 500.000 kg entsprechen die beobachteten Stichproben den erwarteten Stichproben. Ab Größenklasse 750.000 kg Milch sind an der Umfrage mehr Betriebe vertreten als erwartet. Nachfolgende Tabelle 6 veranschaulicht das Ergebnis auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge.

Tabelle 6: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2017

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test	
< 100.000 kg	32	36,75	-4,75		
bis 250.000 kg	86	90,53	-4,53	Chi-Quadrat-Wert	1,37
bis 500.000 kg	63	62,74	0,26		
bis 750.000 kg	43	39,44	3,56		
bis 1.000.000 kg	13	11,65	1,35		
bis 1.250.000 kg	2	1,79	0,21		
> 1.250.000 kg	2	1,79	0,21		
Gesamt	241				

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,005$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; $0,95 = 12,59$

$1,37 < 12,59$: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Da der errechnete Chi-Quadrat-Wert von 1,37 kleiner als der entsprechende $\chi^2_{(6; 95\%)} = 12,59$ ist, kann die Nullhypothese angenommen werden. Damit sind die erhobenen Ergebnisse repräsentativ hinsichtlich der Jahresmilchmenge. Nachfolgende Tabelle 7 zeigt den statistischen Test auf Repräsentativität hinsichtlich Jahresmilchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern der empirischen Milchmengenumfrage des Jahres 2018. Diese Umfrage konnte mit 230 auswertbaren Umfragebögen abgeschlossen werden, das einer Rücklaufquote von 86,14 % entspricht. Lediglich in den Betriebsgrößenklassen bis 500.000 kg, bis 750.000 kg und > 1.250.000 kg sind mehr Betriebe vorhanden als erwartet.

Tabelle 7: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2018

Klasse	Zurückgemeldete		Erwartete		Statistik für den Test	
	Milcherzeuger	Rückmeldungen	Residuum			
< 100.000 kg	32	33,60	-1,60			
bis 250.000 kg	81	82,70	-1,70	Chi-Quadrat	0,61	
bis 500.000 kg	55	54,27	0,73	df	6	
bis 750.000 kg	49	45,66	3,34			
bis 1.000.000 kg	8	8,61	-0,61			
bis 1.250.000 kg	2	2,58	-0,58			
> 1.250.000 kg	3	2,58	0,42			
Gesamt	230					

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,0005$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; 0,95 = 12,59

0,61 < 12,59: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Da der errechnete Chi-Quadrat-Wert von 0,61 kleiner als der $\chi^2_{(6; 95\%)} = 12,59$ ist, kann die Nullhypothese ebenfalls hinsichtlich der Repräsentativität bezüglich Jahresmilchmenge angenommen werden. Weil die beiden empirischen Milchmengenumfragen der Jahre 2017 und 2018 repräsentativ hinsichtlich der Jahresmilchmenge sind, können Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit gezogen werden. Damit können die erhobenen Ergebnisse durch die Befragungen zur zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose verwendet werden.

5.3.2 Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose

Gemäß den Ergebnissen der empirischen Milchmengenumfrage der Jahre 2017 und 2018 veranschaulicht nachfolgende Abbildung 21 die langfristige Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Ostbayern.

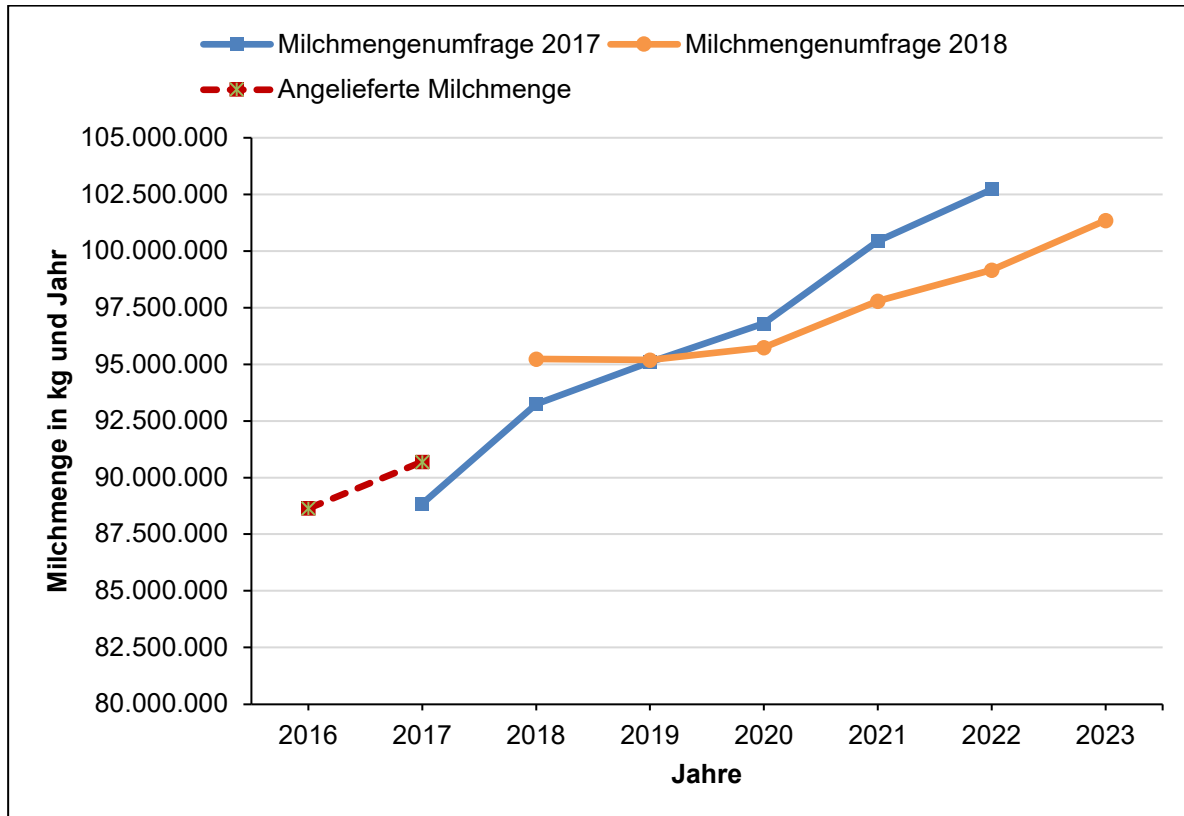


Abbildung 21: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Ostbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 242; 2018: n = 230)

Abbildung 21 zeigt für das Milcheinzugsgebiet Ostbayern steigende erwartete Milchlieferungen. Dabei prognostizieren die Milcherzeuger bei Betrachtung der empirischen Milchmengenumfrage 2017 eine Steigerung der Milchmenge von 88,85 Mio. kg im Jahr 2017 auf 102,74 Mio. kg im Jahr 2022. Dies entspricht einer absoluten Milchmengensteigerung von 13,89 Mio. kg Milch und einer relativen Milchmengensteigerung von 15,63 % während des sechsjährigen Betrachtungszeitraumes. Somit prognostizieren die Milcherzeuger der Ostbayern eine durchschnittlich jährliche Milchmengensteigerung während des sechsjährigen Betrachtungszeitraumes von 2,45 % pro Jahr. Im Vergleich zu der im Jahr 2017 prognostizierten Milchmenge für das Jahr 2017 unterschreitet die vorhergesagte Milchmenge die angelieferten Milchmenge von 90,05 Mio. kg. Somit lag im Milcheinzugsgebiet Ostbayern die prognostizierte Milchmenge des Jahres 2017 um 1,20 Mio. kg oder 1,33 % unter der angelieferten Milchmenge des Jahres 2017.

Basierend auf der im Jahr 2018 durchgeführten empirischen Milchmengenprognose erwarten die Milcherzeuger für das Jahr 2018 eine Milchmenge von 95,24 Mio. kg, die im Jahr 2023 auf 101,35 Mio. kg erhöht werden soll. Im Vergleich beider Werte beträgt die absolute Milchmengensteigerung 6,11 Mio. kg während die relative Milchmengensteigerung bei 6,03 % während des gesamten Zeitraumes resultiert. Somit prognostizieren die Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Ostbayern basierend auf der

durchgeführten Milchmengenumfrage 2018 eine durchschnittlich jährliche Milchmengensteigerung von 1,04 % pro Jahr. Neben der Milchmengensteigerung im Milcheinzugsgebiet Ostbayern wird ein Strukturwandel bei den Milcherzeugern prognostiziert, den nachfolgende Abbildung 22 unter Betrachtung der empirischen Milchmengenumfrage 2018 darstellt.

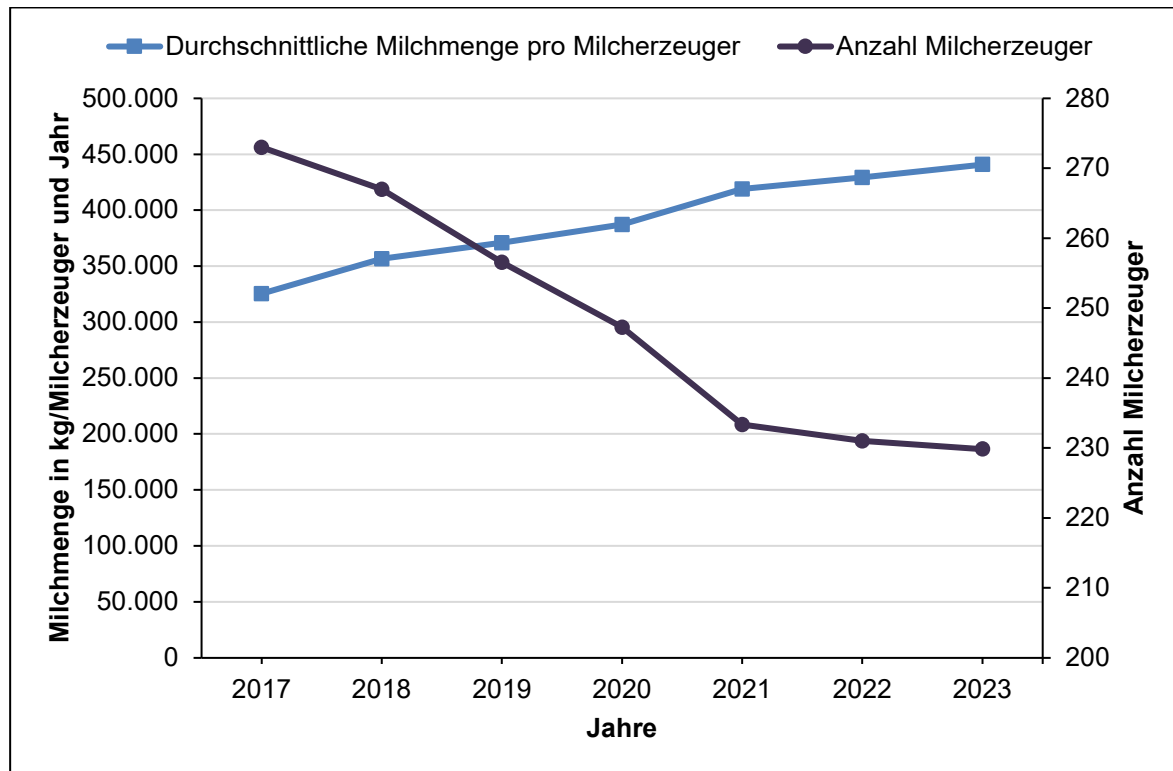


Abbildung 22: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Zeitraum von 2018 bis 2023 (n = 230; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023)

Von den im Jahr 2018 267 aktiven Milcherzeuger prognostizieren basierend auf der empirischen Umfrage 2018 37 Milcherzeuger eine Betriebsaufgabe während des Betrachtungszeitraumes. Dies entspricht einer Aufgabeberrate von 13,91 % während des Betrachtungszeitraumes, woraus eine jährliche Aufgabeberrate von 2,42 % pro Jahr resultiert. Die Zunahme der gesamt prognostizierten Milchmengenlieferung (Abbildung 21) und die Betriebsaufgaben der Milcherzeuger (Abbildung 22) erklären die Zunahme der durchschnittlichen Milchmengenlieferung während des Betrachtungszeitraumes. Somit soll die durchschnittliche Milchmenge von 325.456 kg Milch/Betrieb und Kalenderjahr im Jahr 2017 auf bis zu 440.952 kg/Betrieb und Kalenderjahr im Jahr 2023 steigen. Dies entspricht einer durchschnittlich jährlichen Milchmengensteigerung von 4,43 % pro Betrieb und Jahr. Im Vergleich zur prognostizierten Anzahl an aktiven Milcherzeugern im Jahr 2018 basierend auf der durchgeführten empirischen Milchmengenumfrage des Jahres 2017 beendete ein Milcherzeuger mehr die Produktion als prognostiziert.

Basierend auf der durchgeführten empirischen Milchmengenumfrage 2017 zeigt nachfolgende Abbildung 23 das Ergebnis der mittelfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Ostbayern für das Jahr 2017.

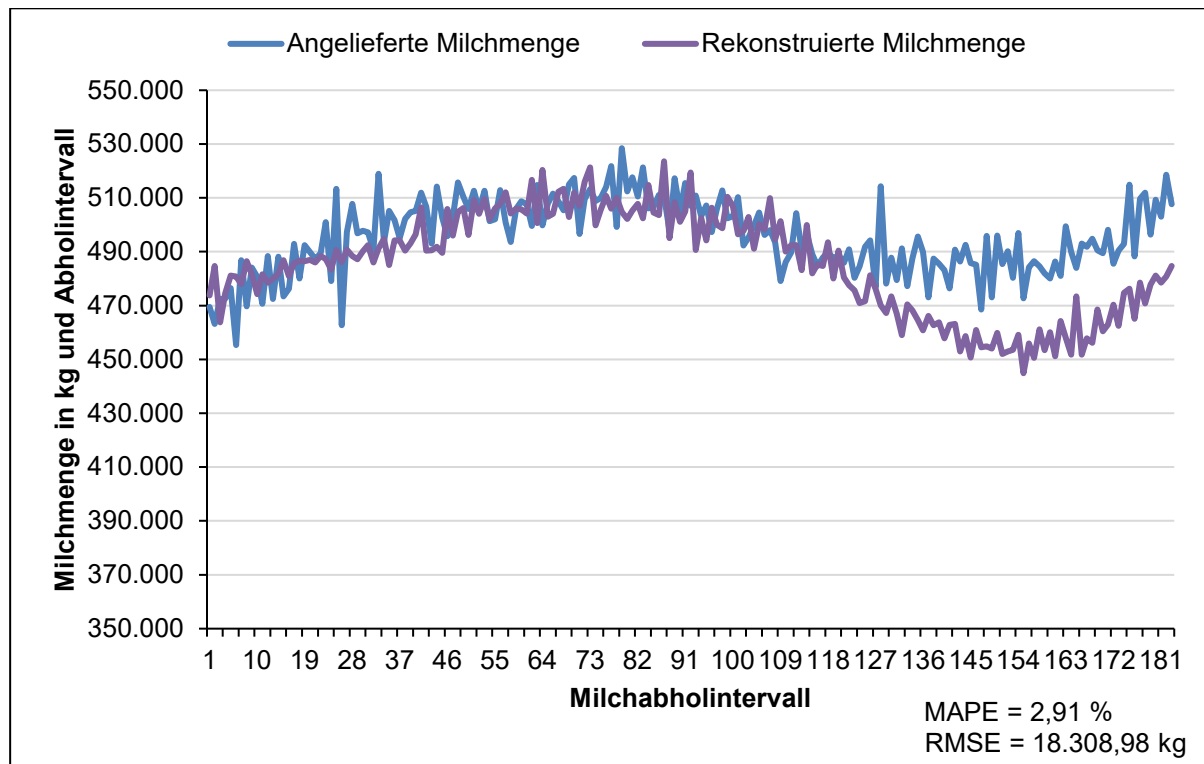


Abbildung 23: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern des Jahres 2017 (n = 105)

Die Genauigkeit der rekonstruierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge variiert von 25.423,23 kg im Abholintervall sechs bis zu -44.219,84 kg im Abholintervall 128 (Abbildung 23). Die genaueste rekonstruierte Milchmengenprognose ist im Abholintervall 59 in Höhe von -50,40 kg zu beobachten. Das deutliche Unterschreiten der rekonstruierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge ab Abholintervall 125 trägt zum MAPE von 2,91 % und zum RMSE von 18.308,98 kg bei. Das Ergebnis der kurzfristigen Prognose des Milcheinzugsgebietes Ostbayern für das Jahr 2017 zeigt nachfolgende Abbildung 24.

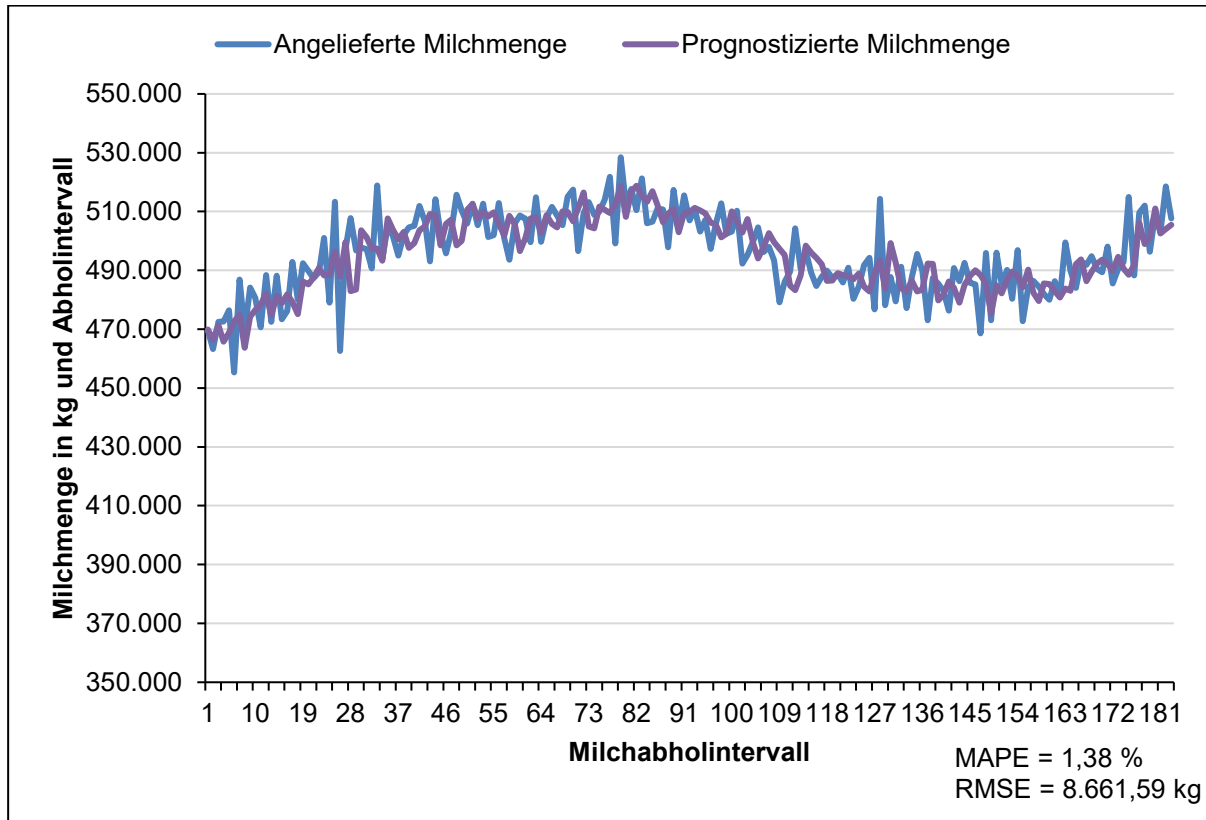


Abbildung 24: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2017

Wie aus Abbildung 24 hervorgeht reicht die Präzision der kurzfristigen Milchmengenprognose auf Abholintervallebene im Vergleich zur angelieferten Milchmenge von 26.431,07 kg im Abholintervall 175 bis hin zu -25.199,46 kg im Abholintervall 26. Die genaueste Milchmengenprognose wird mit einer Differenz von 16,90 kg zwischen prognostizierter Milchmenge und angelieferter Milchmenge im Abholintervall 99 erzielt. Mit 1,38 % weist der MAPE eine höhere Genauigkeit im Vergleich zum MAPE bei der mittelfristigen Milchmengenprognose auf. Diese höhere Genauigkeit bei der kurzfristigen Milchmengenprognose unterstreicht der niedrigere RMSE in Höhe von 8.661,59 kg.

5.3.3 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik

Die simulierten verfahrensart- und transportmittelspezifischen Strecken jeweils für das Jahr 2017 differenziert für die Verfahrensschritte Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet, Zwischenerzeugerfahrt und Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet sind im Anhang 26 beigefügt. Die verfahrensartabhängigen Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern für die Jahre 2017 und 2023 zeigt nachfolgende Abbildung 25. Die zugehörigen Zahlenwerte und die verfahrensartspezifischen ökonomischen absoluten Differenzen zwischen dem gegenwärtigen und zukünftigen

Simulationsjahr sind im Anhang 28 beigefügt. Die Anzahl an Milcherfassungs- und Milchtransporttours in Abhängigkeit der Verfahrensvariante sind im Anhang 27 dargestellt.

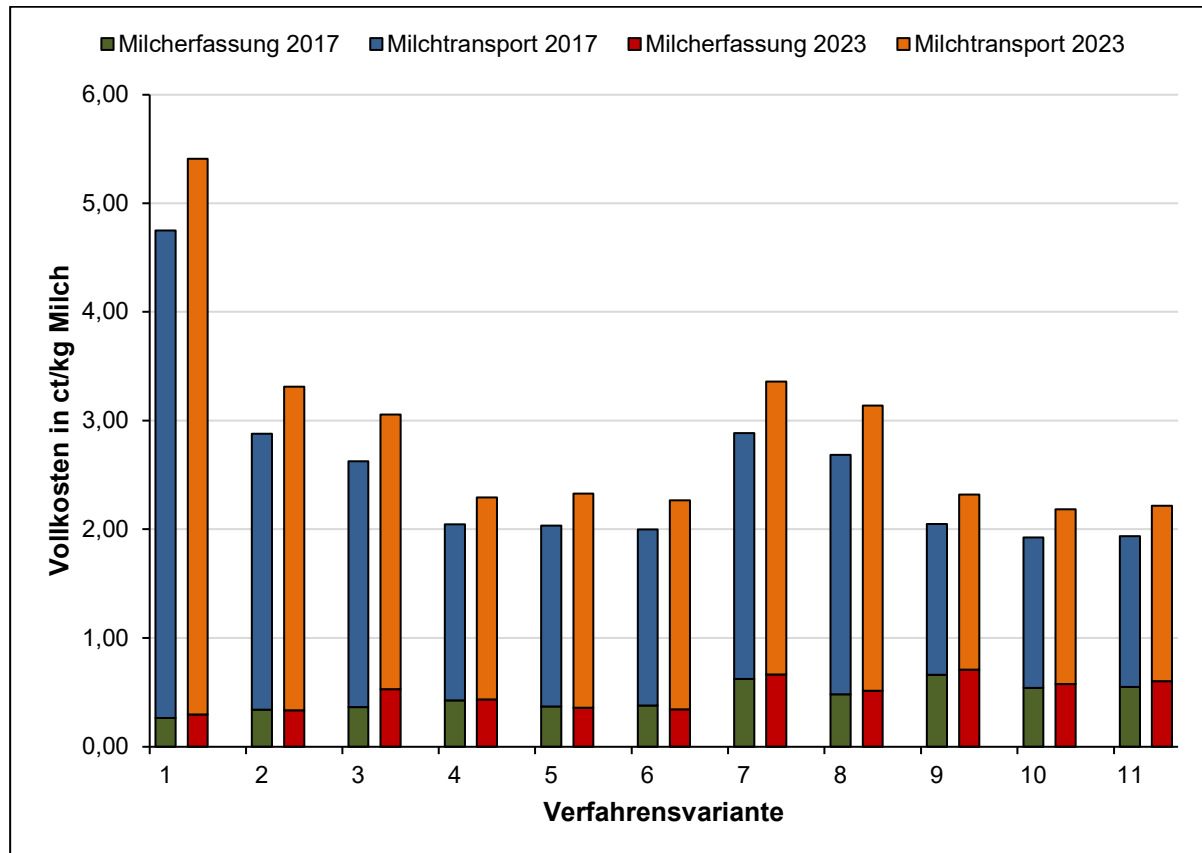


Abbildung 25: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Im Simulationsjahr 2017 variieren die spezifischen Vollkosten der Milchlogistik von 1,92 ct/kg Milch (Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger und Transportaufleger) und 4,75 ct/kg Milch (Zweiachser LKW solo), wie aus Abbildung 25 hervorgeht. Bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten resultieren im Jahr 2017 bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen die niedrigsten Vollkosten in Höhe von 2,00 ct/kg Milch. Diese sind mit 0,38 ct/kg Milch bzw. 19 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 1,62 ct/kg Milch bzw. 81 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt. Die höchsten Vollkosten der Milchlogistik weist bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Verfahrensvariante sieben Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen von 2,75 ct/kg Milch im Simulationsjahr 2017 auf.

Der ökonomische Vergleich zwischen den Verfahrensvarianten mit den niedrigsten und der Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten der Milchlogistik liefert pro Abholintervall die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten ein Einsparpotential von 2,82 ct/kg Milch und 14.035,51 €/Abholintervall. Damit werden bezogen auf die im Jahr 2017 abgelieferte Milchmenge durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den

niedrigsten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten der Milchlogistik 2,56 Mio. € pro Jahr eingespart.

Basierend auf der prognostizierten Struktur des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Simulationsjahr 2023 reichen die Vollkosten der Milchlogistik von 2,18 ct/kg (Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen) bis hin zu 5,41 ct/kg (Zweiachser LKW solo). Die Vollkosten der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen im Jahr 2023 sind aus den Komponenten Milcherfassung in Höhe von 0,58 ct/kg Milch bzw. 26,39 % und der Komponente Milchtransport in Höhe von 1,61 ct/kg Milch bzw. 73,61 % zusammengesetzt. Unter den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ergibt die Simulation im Milcheinzugsgebiet Ostbayern im Jahr 2023 bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen die geringsten Vollkosten der Milchlogistik von 2,27 ct/kg.

Aus der Differenz in Höhe von 3,22 ct/kg Milch zwischen den simulierten Vollkosten der Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten und der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik können pro Abholintervall 17.908,67 € eingespart werden. Demnach liegt dieses ökonomische Optimierungspotential bei 3,27 Mio. € pro Jahr.

Im Vergleich zwischen den verfahrensartspezifischen Vollkosten der Milchlogistik des Simulationsjahres 2017 und 2023 zeigen alle betrachteten Verfahrensvarianten eine Erhöhung der Vollkosten zwischen 0,25 ct/kg (Sammelauflieger solo) und 0,66 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo ungebrochen). Bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen, die sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2023 die Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten darstellt, beträgt die nominale Kostensteigerung 0,26 ct/kg Milch im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Die verfahrensartspezifische Kostenerhöhung im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 wird primär durch die Steigerung der Vollkosten des Milchtransportes induziert, wie aus Abbildung 25 und Anhang 28 hervorgeht. In der Kostenrubrik Milcherfassung kann bei vier der elf analysierten Verfahrensvarianten eine Reduzierung der Milcherfassungskosten identifiziert werden.

5.3.4 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Die verfahrensartspezifischen Treibhausgasmissionen, jeweils für die beiden Simulationsjahre 2017 und 2023 des Milcheinzugsgebietes Ostbayern zeigt nachfolgende Abbildung 26. Die zugehörigen Zahlenwerte und die verfahrensartspezifischen Differenzen

zwischen den simulierten Treibhausgasemissionen der Jahre 2017 und 2023 sind im Anhang 29 beigefügt.

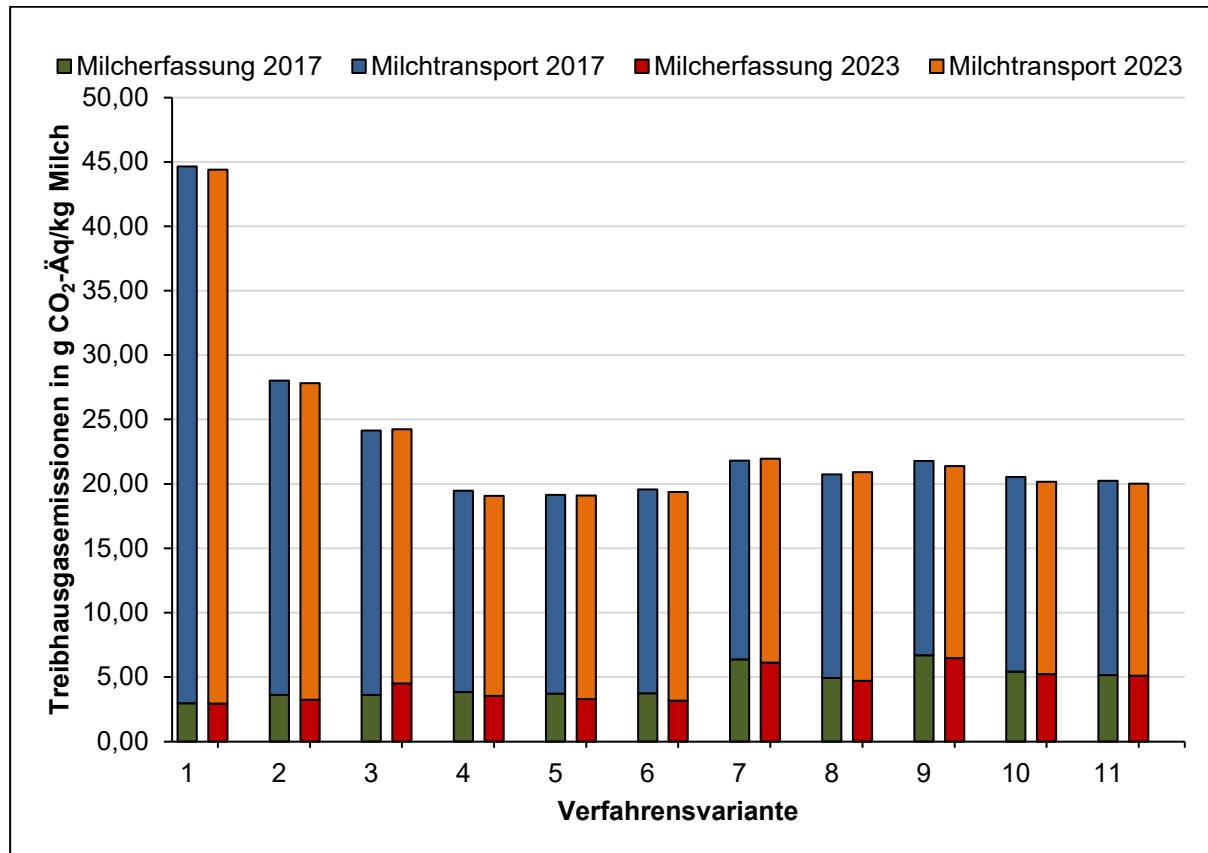


Abbildung 26: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die in Abbildung 26 dargestellten verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Ostbayern liegen im Jahr 2017 zwischen 19,14 g CO₂-Äq/kg Milch (Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen) und 44,65 g CO₂-Äq/kg Milch (Zweiachser LKW solo). Zu den spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017 tragen die Komponente Milcherfassung von 3,71 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 19,37 % und die Komponente Milchtransport in Höhe von 15,44 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 80,63 % bei. Dabei zeigen die ungebrochenen Verfahrensvarianten, eine Abnahme der spezifischen Treibhausgasemissionen mit Erhöhung der Nutzlast, da mit Zunahme der Nutzlast die Anzahl der Sammeltouren abnimmt, wonach die absolute Anfahrsstrecke von der Molkerei in das Milcheinzugsgebiet und die Rückfahrtstrecken reduziert werden. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten ergeben sich im Simulationsjahr 2017 spezifische Treibhausgasemissionen im Bereich von 20,24 g CO₂-Äq/kg (Vierachser LKW und Milchtransportaufleger gebrochen) und 21,80 g CO₂-Äq/kg (Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen).

Der Vergleich zwischen den spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante mit den niedrigsten und der Verfahrensvariante mit den höchsten Treibhausgasemissionen liefert im Jahr 2017 ein Treibhausgasreduzierungspotential von 25,51 g CO₂-Äq/kg Milch, so dass pro Abholintervall 12,68 t CO₂-Äq eingespart werden können. Bezogen auf die gesamte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern des Jahres 2017 beträgt das Treibhausgaseinsparungspotential 2.313,45 t CO₂-Äq/Kalenderjahr.

Im Simulationsjahr 2023 reichen die verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Ostbayern von 19,08 g CO₂-Äq/kg Milch (Sammelaufleger solo) bis zu 44,39 g CO₂-Äq/kg Milch (Zweiachser LKW solo). Unter den simulierten Strukturen des Milcheinzugsgebietes Oberpfalz bestehen die spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo mit 3,54 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 18,55 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 15,54 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 81,45 % aus der Komponente Milchtransport. Unter den gebrochenen Verfahrensvarianten weist die Verfahrensvariante Vierachser LKW und Milchtransportaufleger gebrochen im Simulationsjahr 2023 die niedrigsten Treibhausgasemissionen in Höhe von 20,02 g CO₂-Äq/kg Milch auf.

Im Vergleich zwischen den verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen der Jahre 2023 und 2017 wird bei acht der elf betrachteten Verfahrensvarianten eine Reduzierung der spezifischen Treibhausgasemissionen von bis zu 0,32 g CO₂-Äq/kg Milch erzielt. Bei den Verfahrensvarianten sieben und acht resultiert eine leichte Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2023 im Vergleich zu den spezifischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2017. Die höheren Treibhausgasemissionen der gebrochenen Verfahrensvarianten im Vergleich zu den Verfahrensvarianten vier, fünf und sechs begründet die höhere Milcherfassungstrecke aufgrund der Hin- und Rückfahrten vom und zum regionalen Umschlagplatz. Beispielsweise werden bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen im Simulationsjahr 2017 1,53 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 7,89 % mehr Treibhausgase emittiert als bei der alternativen Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen. Im nachfolgenden Kapitel werden die Zeiteffizienzkennzahlen der einzelnen Verfahrensvarianten für das Milcheinzugsgebiet Ostbayern aufgezeigt.

5.3.5 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik

Die folgend dargestellte Abbildung 27 veranschaulicht die verfahrensartspezifischen Zeiteffizienzkennzahlen für die gegenwärtige und zukünftige Struktur des

Milcheinzugsgebietes Ostbayern. Die dazugehörigen Zahlenwerte finden sich im Anhang 30.

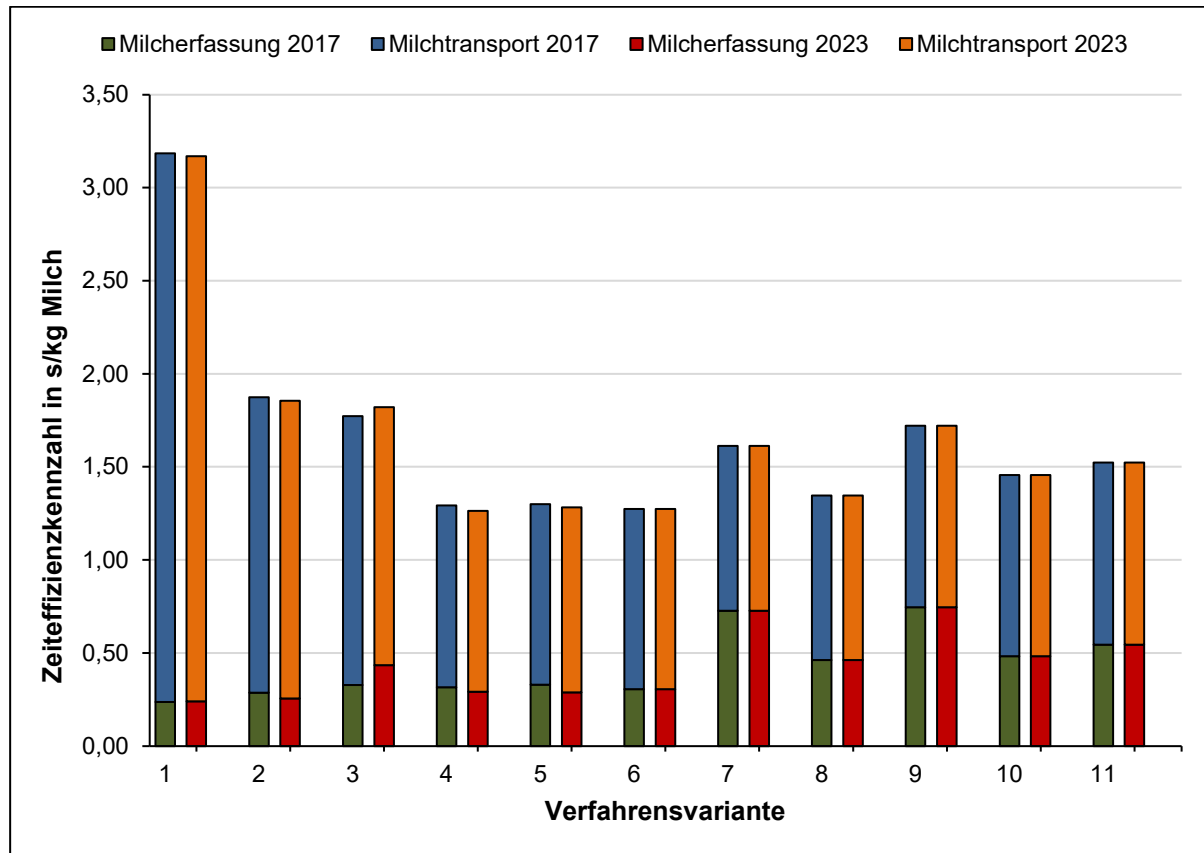


Abbildung 27: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Im Betrachtungsjahr 2017 liegen die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen im Bereich von 1,38 s/kg Milch (Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger ungebrochen) und 3,37 s/kg Milch (Zweiachser LKW solo). Dabei setzen sich die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen mit 0,31 s/kg bzw. 22,23 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 1,07 s/kg bzw. 77,77 % aus der Komponente Milchtransport zusammen. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten divergieren die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen zwischen 1,47 s/kg Milch (Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) und 1,65 s/kg Milch (Zweiachser LKW Dreiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen). Durch die Kombination der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger mit dem Milchtransportauflieger (Verfahrensvariante 10) liegt die spezifische Zeiteffizienzkennzahl um 0,04 s/kg Milch höher. Dies begründet die höhere umgepumpte Milchmenge in Verfahrensvariante 10, obwohl durch den Einsatz des Transportauflegers die Anzahl an Transportfahrten um eine Fahrt reduziert werden kann.

Der zeitliche Vergleich zwischen der spezifischen Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante mit dem niedrigsten Zeitbedarf im Vergleich zur Verfahrensvariante mit dem höchsten Zeitbedarf ermöglicht ein temporäres Einsparpotential in Höhe von 1,99 s/kg Milch bzw. 40,95 %. Somit können durch die simulierte Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Zeiteffizienzkennzahlen im Jahr 2017 im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Zeiteffizienzkennzahlen pro Abholintervall 275,20 h eingespart werden, das einem Einsparpotential bezogen auf die angelieferte Milchmenge des Jahres 2017 in Höhe von 50.224,18 h pro Kalenderjahr entspricht.

Basierend auf der prognostizierten Struktur der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2023 resultieren die simulierten Zeiteffizienzkennzahlen im Bereich von 1,35 s/kg Milch (Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger ungebrochen) und 3,35 s/kg Milch (Zweiachser LKW solo). Die Komponente Milcherfassung trägt bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen mit 0,25 s/kg bzw. 18,81 % und der Milchtransport mit 1,07 s/kg bzw. 77,77 % bei. Der Vergleich zwischen beiden Extremwerten liefert durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienzkennzahl eine temporäre Reduzierung um 2,00 s/kg Milch bzw. 40,29 %. Diese Reduzierung ermöglicht ein zeitliches Reduzierungspotential pro Abholintervall von 309,15 h, das einem Einsparpotential von 54.158,02 h pro Kalenderjahr entspricht. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten unter Berücksichtigung des prognostizierten Strukturwandels reichen die spezifischen Zeitbedarfskennzahlen von 1,48 s/kg Milch (Dreiachser LKW Zweiachsanhänger gebrochen) bis zu 1,63 s/kg Milch (Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen).

Im Vergleich zwischen den erhobenen verfahrensartspezifischen Zeiteffizienzkennzahlen des Milcheinzugsgebietes Ostbayern zwischen den Simulationsjahren 2023 und 2017 wird in acht der betrachteten elf Verfahrensvarianten die Zeiteffizienzkennzahlen um bis zu 0,03 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen und bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo gesenkt (Anhang 27). Bei den meisten Verfahrensvarianten unter den prognostizierten Strukturen im Jahr 2023 im Vergleich zu den gegenwärtigen Strukturen des Milcheinzugsgebietes Ostbayern trägt zur Reduzierung der Zeiteffizienzkennzahl der Strukturwandel bei, der eine Effizienzsteigerung in der Milchlogistik um bis zu 1,85 % ermöglicht. Die höhere prognostizierte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Ostbayern im Jahr 2023 begründet die höhere Anzahl an verfahrensartspezifischen Touren innerhalb der Verfahrensvarianten im betrachteten durchschnittlichen Abholintervall (Anhang 28).

5.4 Milcheinzugsgebiet Nordbayern

5.4.1 Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018

Die empirische Milchmengenumfrage 2017 im Milcheinzugsgebiet Nordbayern konnte mit 98 auswertbaren Umfragebögen abgeschlossen werden, woraus eine Rücklaufquote von 96,08 % resultiert. Bis zur Größenklasse 500.000 kg sind weniger Umfragebögen vertreten als erwartet. Die erwartete Anzahl an auswertbaren Umfragebögen übersteigt die beobachtete Anzahl an Stichproben in den Größenklassen bis 750.000 kg, bis 1.000.000 kg, bis 1.250.000 kg und größer als 1.250.000 kg. Nachfolgende Tabelle 8 veranschaulicht das Testergebnis auf Repräsentativität des Milcheinzugsgebietes Nordbayern von der empirischen Untersuchung des Jahres 2017.

Tabelle 8: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test
< 100.000 kg	43	43,24	-0,24	
bis 250.000 kg	23	23,06	-0,06	Chi-Quadrat
bis 500.000 kg	14	14,41	-0,41	df
bis 750.000 kg	10	9,61	0,39	6
bis 1.000.000 kg	4	3,84	0,16	
bis 1.250.000 kg	0	0,00	0,00	
> 1.250.000 kg	4	3,84	0,16	
Gesamt	98			

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,05$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; 0,95 = 12,59

0,04 < 12,59: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Da der errechnete Chi-Quadrat-Wert von 0,04 kleiner ist als der Prüfwert von 12,59, kann die Nullhypothese angenommen werden. Deshalb ist die im Jahr 2017 durchgeführte empirische Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge. Das Ergebnis des Testes auf Repräsentativität der durchgeführten empirischen Milchmengenumfrage des Jahres 2018 des Milcheinzugsgebietes Nordbayern ist in nachfolgender Tabelle 9 dargestellt. Von den 95 an die Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Nordbayern versendeten Umfragebögen konnten 87 Umfragebögen ausgewertet werden, woraus sich eine Rücklaufquote in Höhe von 91,57 % ergibt.

Tabelle 9: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2018

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test	
< 100.000 kg	35	36,63	-1,63		
bis 250.000 kg	22	21,06	0,94	Chi-Quadrat	0,24
bis 500.000 kg	15	14,65	0,35	df	6
bis 750.000 kg	5	5,49	-0,49		
bis 1.000.000 kg	6	5,49	0,51		
bis 1.250.000 kg	0	0,00	0,00		
> 1.250.000 kg	4	3,66	0,34		
Gesamt	87				

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,05$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; $0,95 = 12,59$

$0,24 < 12,59$: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Wie aus Tabelle 9 hervorgeht, sind lediglich in den beiden Milchanlieferungsklassen bis 100.000 kg und bis 750.000 kg weniger Milcherzeuger vertreten als erwartet. Da der daraus erhobene Chi-Quadrat-Wert von 0,61 kleiner als der Chi-Quadrat-Prüfwert von 12,59 ist, kann die Nullhypothese angenommen werden. Damit ist die im Jahr 2018 durchgeführte Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Nordbayern repräsentativ hinsichtlich der Jahresmilchmenge.

5.4.2 Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose

Das Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Nordbayern veranschaulicht nachfolgende Abbildung 28.

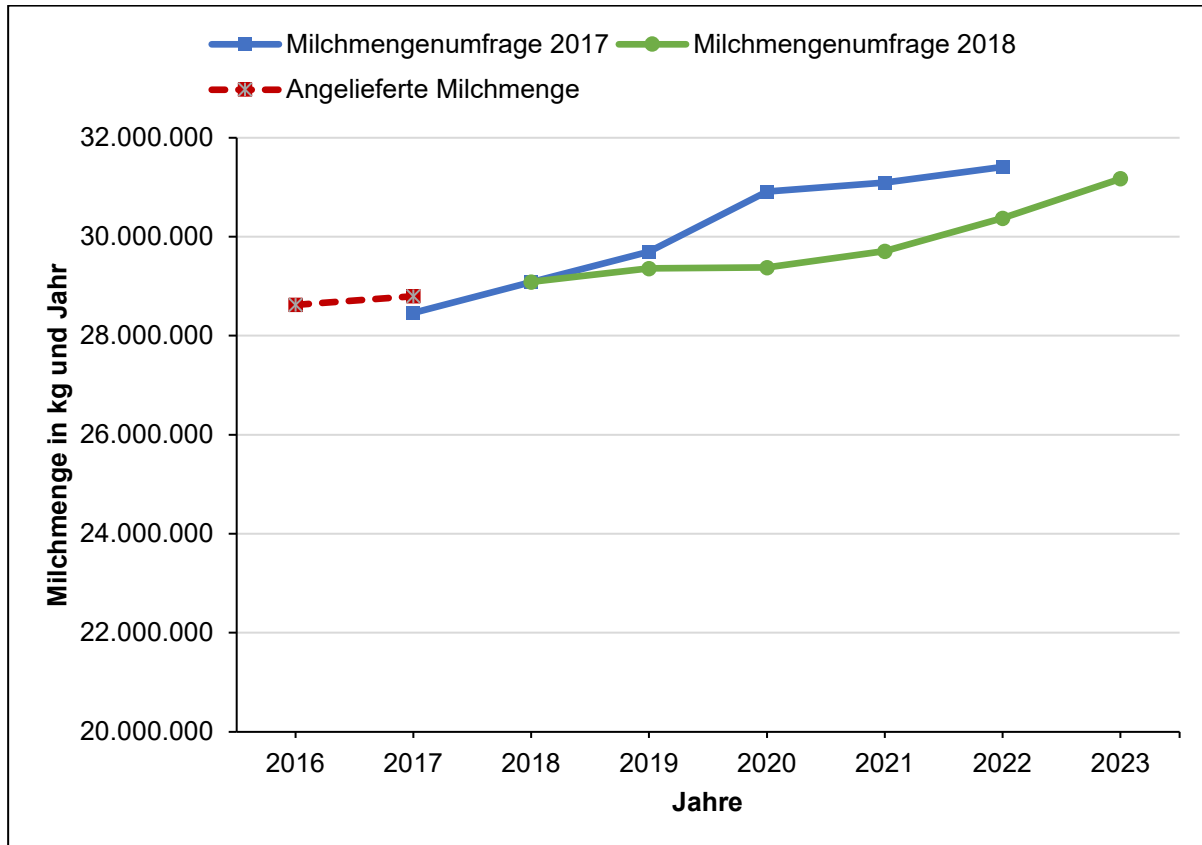


Abbildung 28: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Nordbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 105; 2018: n = 95)

Wie aus Abbildung 28 hervorgeht, werden basierend auf den beiden durchgeführten empirischen Meinungsumfragen langfristig steigende Milchlieferungen von den Milcherzeugern des Milcheinzugsgebietes Nordbayern prognostiziert. Im Jahr 2017 lag die prognostizierte Milchmenge von 28,47 Mio. kg um 336.806 kg unter der tatsächlich angelieferten Milchmenge der Milcherzeuger von 28,80 Mio. kg des Milcheinzugsgebietes Nordbayern. Somit wurde die prognostizierte Milchmenge für das Jahr 2017 um 1,18 % im Vergleich zur abgelieferten Milchmenge unterschritten. Basierend auf der Milcherzeugerumfrage 2017, wird während des sechsjährigen Betrachtungszeitraumes bis zum Jahr 2022 eine absolute Milchmengensteigerung von 2,95 Mio. kg und eine relative Milchmengensteigerung von 10,40 % angepeilt. Damit liegt die jährlich anvisierte Milchmengensteigerung bei 1,66 % pro Jahr.

Wie aus dem Ergebnis der Milchmengenumfrage des Jahres 2018 hervorgeht, prognostizieren die Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2018 eine Steigerung der Milchmenge von 29,08 Mio. kg im Jahr 2018 auf 30,12 Mio. kg im Jahr 2023. Damit kündigen die Milcherzeuger während des sechsjährigen Betrachtungszeitraumes eine absolute Steigerung der Milchmenge von 2,09 Mio. kg und eine relative Steigerung der Milchmenge von 7,17 % an. Somit kann basierend auf der schriftlichen

Milcherzeugerumfrage 2018 für das Milcheinzugsgebiet Nordbayern eine jährlich prognostizierte Milchmengensteigerung von 1,16 % während des Betrachtungszeitraumes von 2018 bis 2023 abgeleitet werden. Die von den Milcherzeugern des Milcheinzugsgebietes Nordbayern prognostizierte Struktur innerhalb des Milcheinzugsgebietes bis zum Jahr 2023 zeigt nachfolgende Abbildung 29.

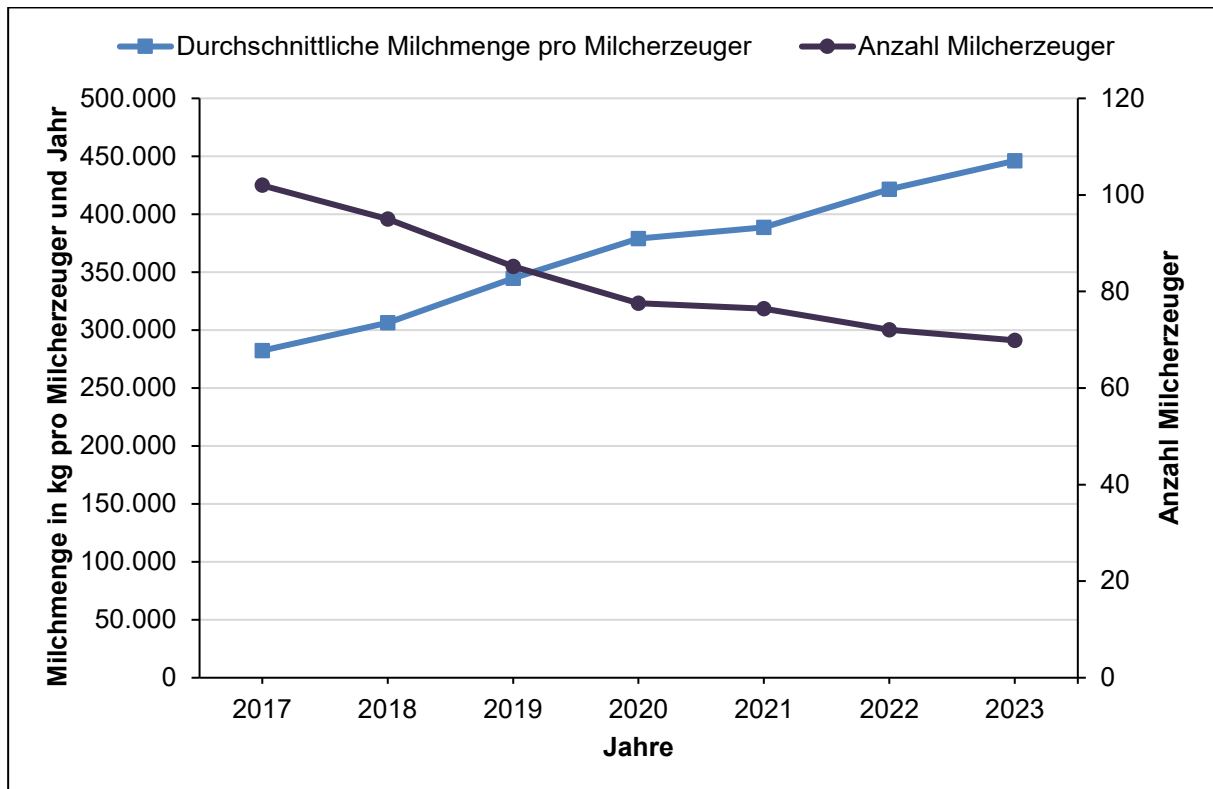


Abbildung 29: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 87; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023)

Wie aus Abbildung 29 hervorgeht, hat die Anzahl der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Nordbayern um sieben Milcherzeuger auf 95 Milcherzeuger im Jahr 2018 im Vergleich zu den Milcherzeugern im Jahr 2017 abgenommen. Basierend auf der empirischen Umfrage des Jahres 2018 prognostizieren 25 Milcherzeuger eine Betriebsaufgabe bis zum Jahr 2023, so dass 70 Milcherzeuger im Jahr 2023 eine aktive Milcherzeugung planen. Damit beabsichtigen während des Prognosezeitraumes von 2018 bis 2023, 25 Milcherzeuger eine Betriebsaufgabe, das einem durchschnittlichen relativen Rückgang von 4,99 % pro Jahr entspricht. Unter Berücksichtigung der prognostizierten absoluten Milchmengensteigerung und des Rückgangs der Anzahl an Betrieben wird sich die durchschnittlich abgelieferte Milchmenge pro Betrieb im Milcheinzugsgebiet Nordbayern von 282.372 kg pro Milcherzeuger und Jahr im Kalenderjahr 2017 auf 446.093 kg pro Milcherzeuger und Jahr im Kalenderjahr 2023 erhöhen. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Milchmenge beträgt die durchschnittliche jährliche relative Steigerung der

Milchmenge 6,47 % pro Milcherzeuger und Jahr während des betrachteten Simulationszeitraumes.

Die rekonstruierten mittelfristigen Milchmengen des Milcheinzugsgebietes Nordbayern für das Jahr 2017 sind in nachfolgender Abbildung 30 in lila im Vergleich zur tatsächlichen angelieferten Milchmenge in der Farbe blau dargestellt.

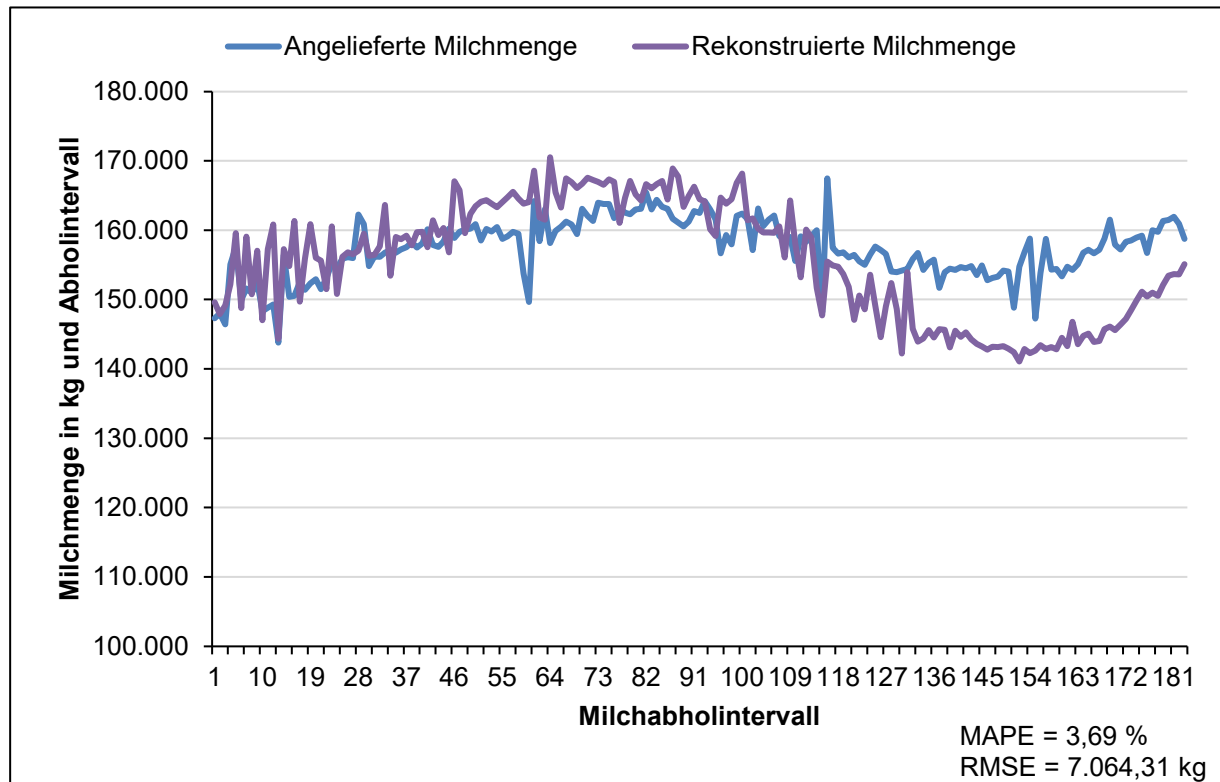


Abbildung 30: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern des Jahres 2017 (n = 105)

Die Präzision der rekonstruierten Milchmenge auf Abholintervallebene differiert zwischen der prognostizierten und angelieferten Milchmenge von 14.397,40 kg im Abholintervall 60 bis zu - 16.540,32 kg im Abholintervall 154. Mit einer Genauigkeit von -48,47 kg wird die Milchmenge im Abholintervall 93 am genauesten rekonstruiert. Das deutliche Überschreiten der angelieferten Milchmenge im Vergleich zu der rekonstruierten Milchmenge verdeutlicht ab Abholintervall 116 die Vergrößerung des „Herbstmilchtales“ im Jahr 2017. Wie aus Abbildung 30 hervorgeht, liegt der MAPE bei 3,69 %, während der RMSE 7.064,31 kg aufweist. Die kurzfristig prognostizierte Milchmenge im Vergleich zu der angelieferten Milchmenge des Jahres 2017 zeigt für das Milcheinzugsgebiet Nordbayern nachfolgende Abbildung 31.

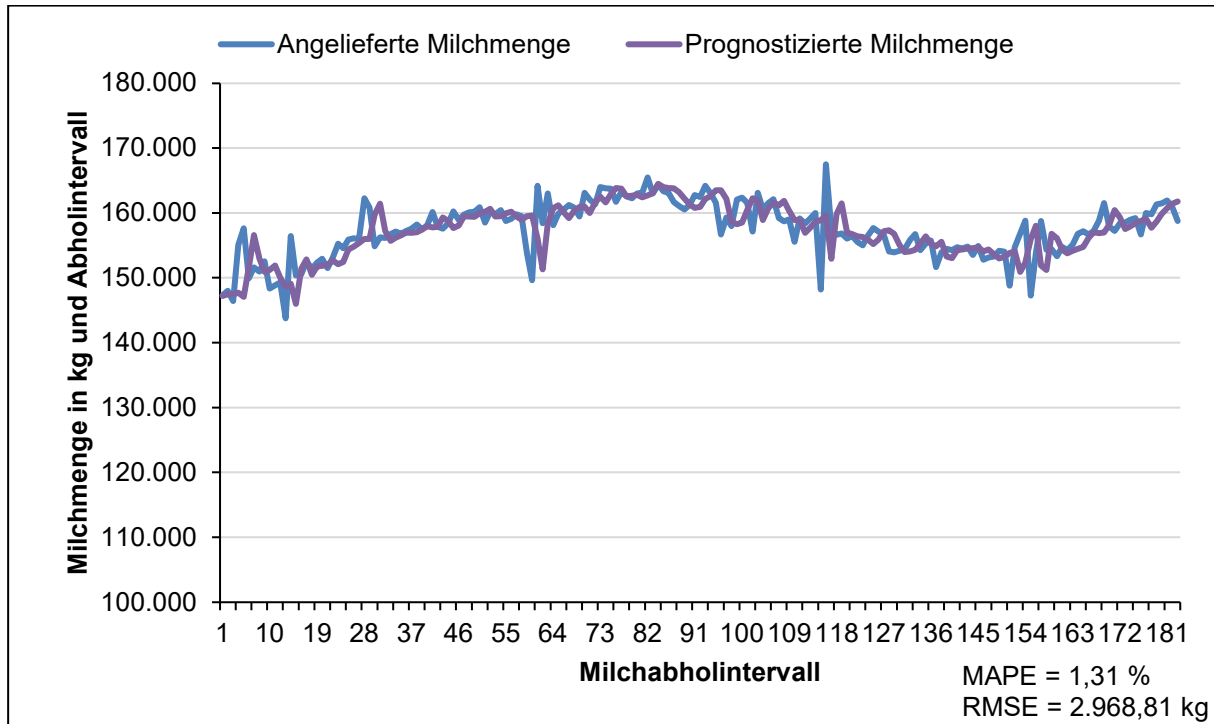


Abbildung 31: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017

Die Prägnanz der kurzfristigen Milchmengenprognose zwischen der angelieferten Milchmenge und kurzfristig prognostizierten Milchmenge variiert von 10.568,60 kg im Abholintervall fünf bis zu -10.633,93 kg in Abholintervall 115, wie aus Abbildung 31 hervorgeht. Die höchste Genauigkeit der prognostizierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge wird im Abholintervall 42 mit einer höheren Prognose von 0,19 kg Milch/Abholintervall im Vergleich zur tatsächlich angelieferten Milchmenge erzielt. Mit einem MAPE von 1,31 % und einem RMSE von 2.968,81 kg weist die kurzfristige Milchmengenprognose eine höhere Genauigkeit als die mittelfristige Milchmengenprognose auf.

5.4.3 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik

Die gegenwärtigen und zukünftigen verfahrensartspezifischen Milcherfassungs- und Milchtransportstrecken sind im Anhang 32 und die verfahrensartspezifische Anzahl an Milcherfassungs- und Milchtransportfahrten sind im Anhang 33 beigefügt. Die spezifischen verfahrensartabhängigen Vollkosten der gegenwärtigen und zukünftigen Milchlogistik sind, differenziert in die Komponenten Milcherfassung und Milchtransport in nachfolgender Abbildung 32 dargestellt. Die spezifischen Zahlenwerte beinhaltet Anhang 34.

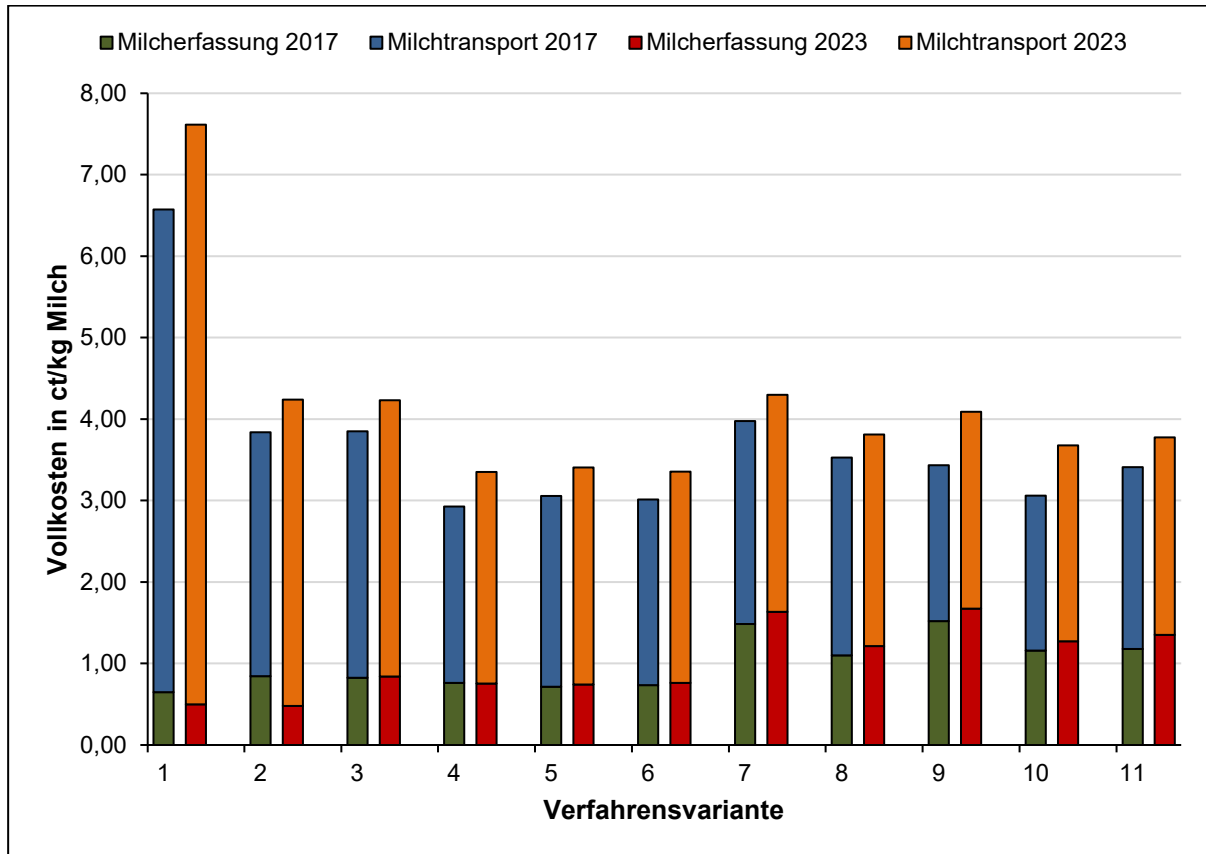


Abbildung 32: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Wie aus Abbildung 32 hervorgeht, liegen für die ungebrochenen Verfahrensvarianten die analysierten spezifischen verfahrensartabhängigen Vollkosten der Milchlogistik im Betrachtungsjahr 2017 des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Bereich von 2,93 ct/kg (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 6,57 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Bei isolierter Betrachtung der gebrochenen Verfahrensvarianten im Jahr 2017 reichen die Vollkosten der Milchlogistik von 3,06 ct/kg (Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen) bis zu 3,98 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen). Die Vollkosten der Milchlogistik setzen sich in der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017 aus der Komponente Milcherfassung in Höhe von 0,76 ct/kg Milch (25,94 %) und der Komponente Milchtransport in Höhe von 2,17 ct/kg Milch (74,06 %) zusammen (Abbildung 32).

Damit können im Jahr 2017 durch die Auswahl der kostengünstigsten Verfahrensvariante im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten aus Sicht eines Fuhrunternehmers 3,64 ct/kg Milch und 5.750,71 €/Abholintervall eingespart werden. Bezogen auf die gesamt abgelieferte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2017 beträgt dieses ökonomische Einsparpotential damit 1,05 Mio. € pro Jahr.

Unter Implementierung des prognostizierten Strukturwandels der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Nordbayern variieren im Jahr 2023 die analysierten verfahrensartspezifischen Vollkosten im Bereich von 3,35 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 7,62 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik reichen die spezifischen Vollkosten der Milchlogistik von 3,06 ct/kg (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen) und 3,98 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen). Die Vollkosten der Milchlogistik der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo betragen bei der Komponente Milcherfassung 0,75 ct/kg Milch bzw. 22,47 % bei der Komponente Milchtransport 2,60 ct/kg Milch bzw. 77,53 %.

Damit liegt die ökonomische Differenz zwischen der Verfahrensvariante mit den niedrigsten und der Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten bei 4,26 ct/kg im Jahr 2023. Bezogen auf die prognostizierte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern beträgt das ökonomische Einsparungspotential durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten der Milchlogistik 7.282,65 €/Abholintervall. Damit können im Jahr 2023 1,33 Mio. € durch die Wahl der kostengünstigsten Verfahrensvariante im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten eingespart werden.

Der Vergleich zwischen den verfahrensartabhängigen Vollkosten der Jahre 2017 und 2023 des Milcheinzugsgebietes Nordbayern zeigt für alle betrachteten Verfahrensvarianten eine Erhöhung der Vollkosten im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Diese Erhöhung der Vollkosten liegt im Bereich von 0,29 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) und 1,04 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo).

5.4.4 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Nachfolgend werden die spezifischen verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Nordbayern differenziert für die Jahre 2017 und 2023 aufgezeigt (Abbildung 33). Dazu sind in Anhang 35 die zugehörigen Zahlenwerte beigefügt.

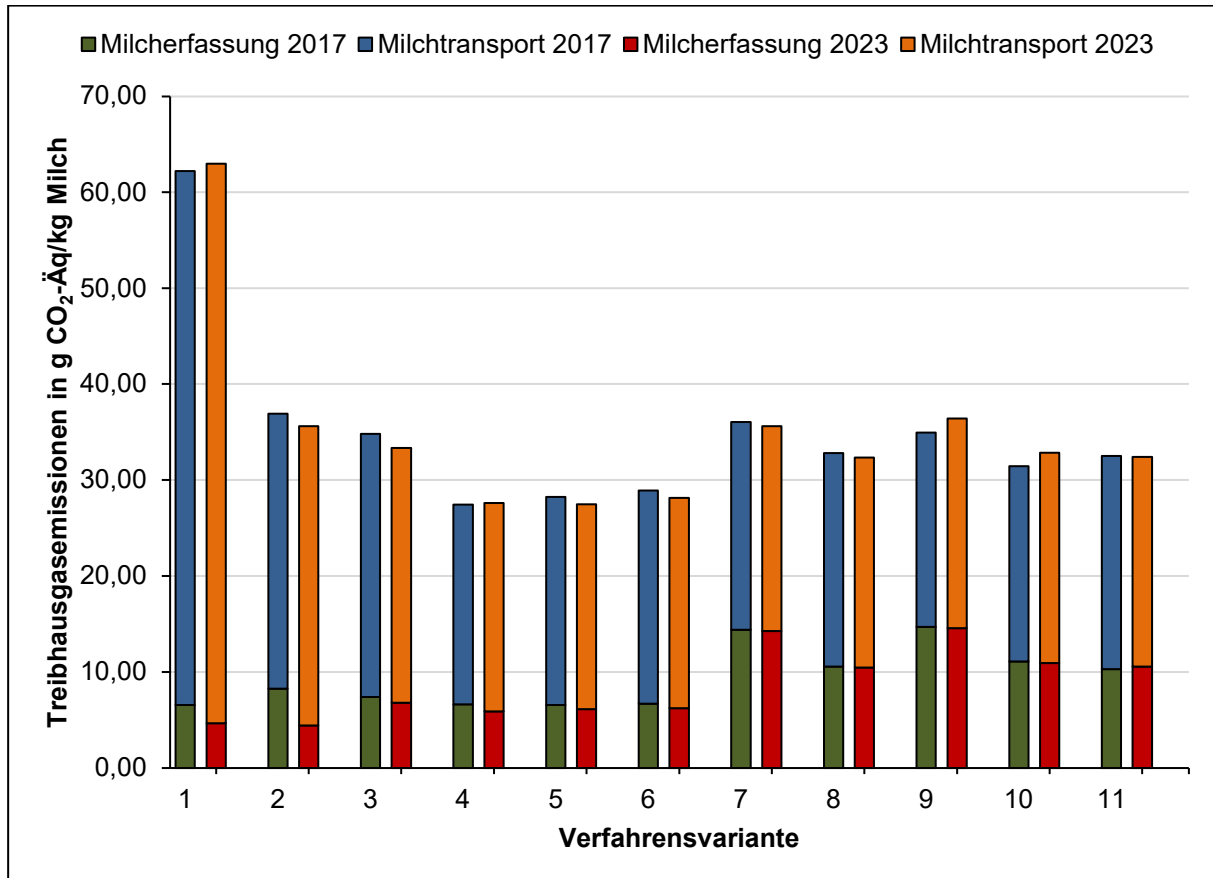


Abbildung 33: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die in Abbildung 33 dargestellten verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen im Simulationsjahr 2017 variieren bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten zwischen 27,45 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 62,20 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten liegen die spezifischen Treibhausgasemissionen zwischen 32,41 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) und 36,40 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen). Bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo setzen sich die Treibhausgasemissionen mit 5,90 g CO₂-Äq/kg Milch (21,37 %) aus der Milcherfassung und mit 21,70 g CO₂-Äq/kg Milch (78,63 %) aus dem Rohmilchtransport zusammen.

Durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Treibhausgasemissionen können somit im Kalenderjahr 2017 35,36 g CO₂-Äq und 6.040,25 kg CO₂-Äq pro Abholintervall eingespart werden. Bezogen auf die abgelieferte Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern beträgt dieses ökologische Einsparungspotential 1.102,35 t CO₂-Äq im Jahr 2017.

Unter Berücksichtigung des prognostizierten Strukturwandels im Milcheinzugsgebiet Nordbayern variieren im Simulationsjahr 2023 bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten die Treibhausgasemissionen zwischen 27,47 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger ungebrochen) und 62,96 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Damit können pro kg Milch 35,36 g CO₂-Äq/kg Milch eingespart werden, woraus ein ökologisches Einsparpotential von 6.040,25 kg/Abholintervall resultiert. Bezogen auf die prognostizierte Milchmenge des Jahres 2023 liegt dieses ökologische Einsparungspotential bei 901,56 t CO₂-Äq/Jahr.

Aus dem Vergleich zwischen den spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvarianten Dreiachser LKW solo in den Jahren 2017 und 2023 resultiert im Jahr 2023 eine Reduzierung der spezifischen Treibhausgasemissionen von bis zu 1,46 g CO₂-Äq/kg Milch (Abbildung 33, Anhang 32). Dagegen ergibt die Analyse trotz des ökologischen Einsparungspotentials bei der Milcherfassung bei allen analysierten Verfahrensvarianten mit Ausnahme der Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen, eine Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 beim Milchtransport bei den Verfahrensvarianten eins, vier, neun und zehn. Bei Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo werden aufgrund des relativ geringen Anteiles der Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Milcherfassung und der geringeren Auslastung der Transportkapazität im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017, höhere Treibhausgasemissionen von 0,76 g CO₂-Äq/kg Milch emittiert. Die Notwendigkeit eines jeweiligen zusätzlichen Milchtransportauflegers bei den Verfahrensvarianten neun und zehn mit geringerer Auslastung der Nutzlast im Vergleich zur Auslastung der Transportkapazität im Jahr 2017, induziert die höheren spezifischen Treibhausgasemissionen.

5.4.5 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik

Die spezifischen Zeitbedarfskennzahlen für die betrachteten Verfahrensvarianten veranschaulicht jeweils für die Simulationsjahre 2017 und 2023 differenziert für die Komponenten Milcherfassung und Transport nachfolgende Abbildung 34. Die zugehörigen Zahlenwerte sind im Anhang 36 beigefügt.

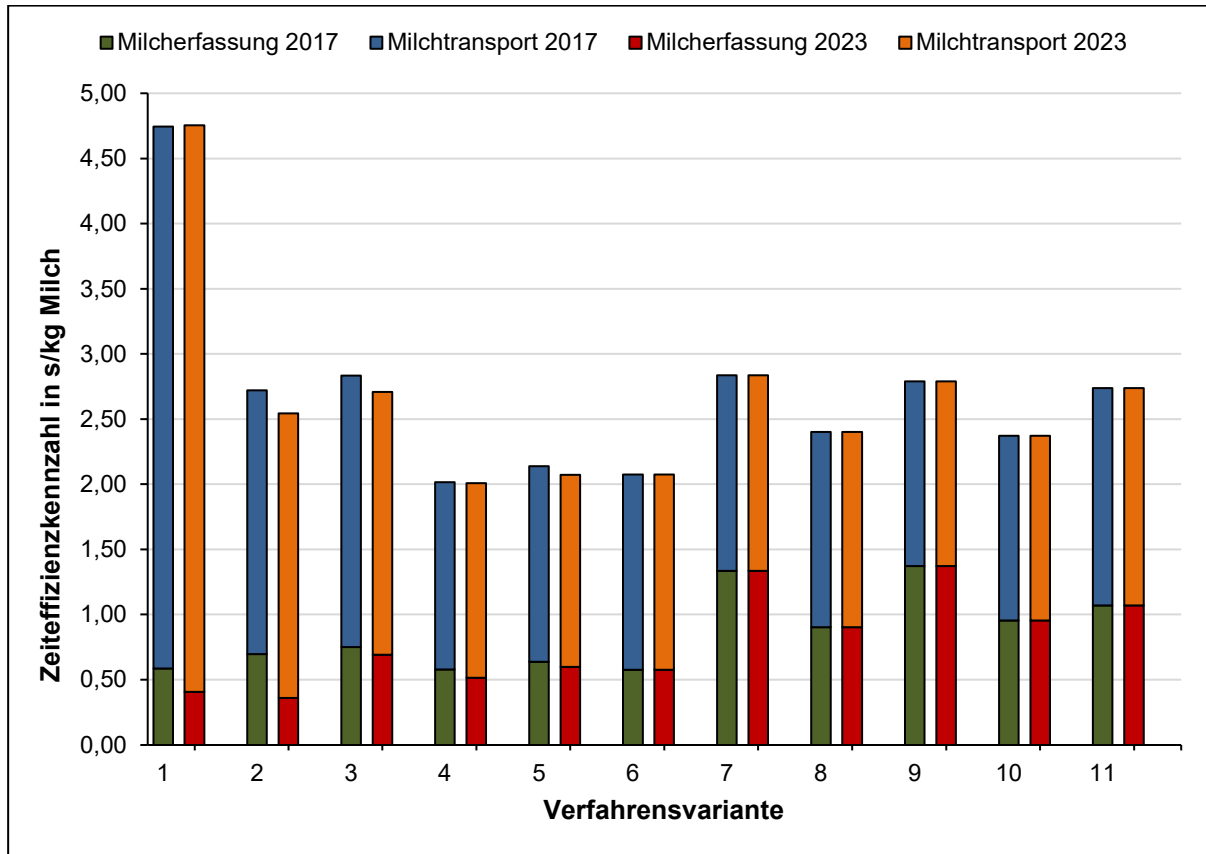


Abbildung 34: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die in Abbildung 34 dargestellten verfahrensartspezifischen Zeiteffizienzkennzahlen variieren im Milcheinzugsgebiet Nordbayern im Jahr 2017 von 2,02 s/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) bis zu 4,75 s/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo nimmt die Komponente Milcherfassung 0,58 s/kg bzw. 28,71 % der gesamten Zeiteffizienzkennzahl ein, während die Komponente Milchtransport 1,44 s/kg und 71,29 % umfasst. Unter Analyse der gebrochenen Verfahrensvariante im Jahr 2017 reichen die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen von 2,36 s/kg (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) bis zu 2,90 s/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen).

Basierend auf der Differenz der Zeiteffizienzkennzahl des Simulationsjahres 2017 zwischen der Verfahrensvariante mit der höchsten Zeitbedarfskennzahl und der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeitbedarfskennzahl beträgt das zeitliche Einsparungspotential 2,73 s/kg Milch. Damit lassen sich pro Abholintervall 119,70 h einsparen, das einem Reduzierungspotential von 21.846,11 h pro Jahr entspricht.

Unter den für das Jahr 2023 prognostizierten strukturellen Gegebenheiten im Milcheinzugsgebiet Nordbayern liegen die Zeitbedarfskennzahlen zwischen 2,01 s/kg Milch

(Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 4,75 s/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Die Zeiteffizienzkennzahlen der gebrochenen Verfahrensvarianten reichen im Simulationsjahr 2023 von 2,36 s/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) bis hin zu 2,90 s/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen). Damit können im Simulationsjahr 2023 durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienzkennzahl im Vergleich zur Verfahrensvariante mit der höchsten Zeiteffizienzkennzahl im Milcheinzugsgebiet Nordbayern 2,75 s/kg Milch eingespart werden, das einem Reduzierungspotential von 130,35 h pro Abholintervall entspricht. Demnach lassen sich im Jahr 2023 durch den Einsatz der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeitbedarfskennzahl im Vergleich zur Verfahrensvariante mit der höchsten Zeitbedarfskennzahl 23.789,19 h pro Abholintervall einsparen.

Beim Vergleich zwischen den spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen des Jahres 2023 und des Jahres 2017 wird im Jahr 2023 eine Reduzierung der Zeiteffizienzkennzahl bei sieben der elf betrachteten Verfahrensvarianten von bis zu 0,18 s/kg bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW solo simuliert. Die Senkung der Zeiteffizienzkennzahl der Milcherfassung bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten mit Ausnahme der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo veranschaulicht die Effizienzsteigerung der Milcherfassung. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten liegen die Zeiteffizienzkennzahlen des Bereiches Milcherfassung der Jahre 2017 und 2023 auf ähnlichem Niveau. Die höhere prognostizierte zukünftige Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Nordbayern im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 begründet die höhere Anzahl erforderlicher Transportmittel pro Abholintervall (Anhang 37).

5.5 Milcheinzugsgebiet Südbayern

5.5.1 Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018

Die empirische Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Südbayern des Jahres 2017 kann mit einer Rücklaufquote von 100 % abgeschlossen werden. Damit ist keine Analyse bezüglich der Qualität der Vollerhebung erforderlich.

Bei der empirischen Milchmengenumfrage des Jahres 2018 nahmen 160 von 172 Milcherzeugern des Milcheinzugsgebietes Südbayern teil, so dass die Rücklaufquote 93,02 % beträgt. Nachfolgende Tabelle 10 zeigt den Chi-Quadrat Test auf Repräsentativität hinsichtlich Jahresmilchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern.

Tabelle 10: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2018

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test	
< 100.000 kg	51	49,92	1,08		
bis 250.000 kg	69	70,64	-1,64	Chi-Quadrat	1,06
bis 500.000 kg	35	33,91	1,09	df	6
bis 750.000 kg	5	4,71	0,29		
bis 1.000.000 kg	0	0,00	0,00		
bis 1.250.000 kg	0	0,00	0,00		
> 1.250.000 kg	0	0,94	-0,94		
Gesamt	160				

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,05$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; 0,95 = 12,59

1,06 < 12,59: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Wie aus Tabelle 10 hervorgeht, meldeten sich in den Größenklassen mit Ausnahme der Größenklasse > 1.250.000 kg mehr Milcherzeuger zurück als erwartet. Da der erhobene Chi-Quadrat-Wert von 1,06 kleiner als $\chi^2_{(6; 95\%)} = 12,59$ ist, ist die Umfrage des Milcheinzugsgebietes Südbayern des Jahres 2018 repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge. Damit können die Ergebnisse der beiden Umfragen zur Prognose der Milchmenge verwendet werden.

5.5.2 Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose

Die langfristig zu erwartende Milchmengen des Milcheinzugsgebietes Südbayern unter Berücksichtigung der empirischen Milchmengenumfragen der Jahre 2017 und 2018 zeigt nachfolgende Abbildung 35.

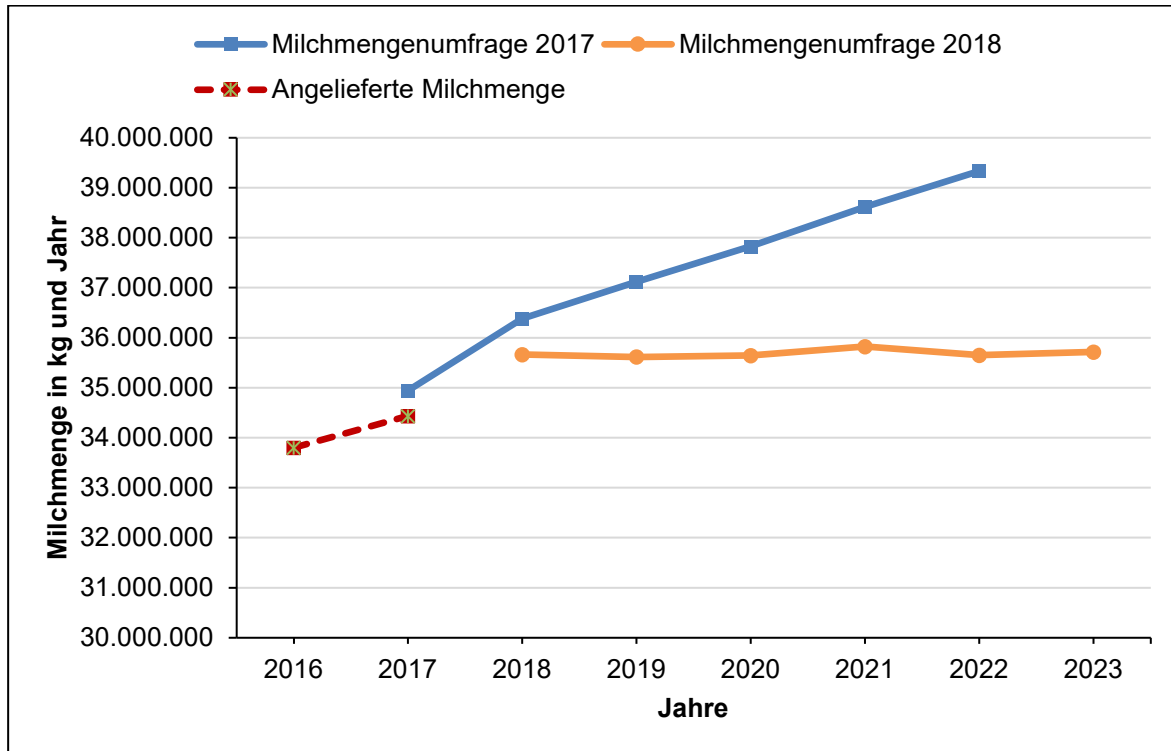


Abbildung 35: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Südbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 182; 2018: n = 160)

Die von den Milcherzeugern des Südbayerngebietes erwartete Milchmenge lag im Jahr 2017 mit 505.717,96 kg über der abgelieferten Milchmenge von 34,44 Mio. kg (Abbildung 35). Demnach wurde die prognostizierte Milchmenge um 1,45 % zu hoch prognostiziert. Basierend auf der empirischen Milchmengenumfrage 2017 prognostizieren die Milcherzeuger eine Steigerung der Milchmengenanlieferung um 4.392.052 kg zwischen 2017 und 2023, das einer relativen Erhöhung von 12,57 % entspricht. Somit erwarten die Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern basierend auf dem Ergebnis der Milchmengenumfrage 2017 eine jährliche Steigerung der Milchanlieferung von 1,95 % pro Jahr. Im Vergleich zur empirischen Umfrage 2017 erwarteten die Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern nur eine geringe Steigerung von 51.256 kg Milch oder 0,14 % während des Betrachtungszeitraumes, das einer durchschnittlichen Erhöhung der Milchanlieferung von 0,024 % pro Jahr entspricht. Im Hinblick auf die strukturelle prognostizierte Veränderung während des Simulationszeitraumes basierend auf der empirischen Milchmengenumfrage 2018 gibt nachfolgende Abbildung 36 Auskunft.

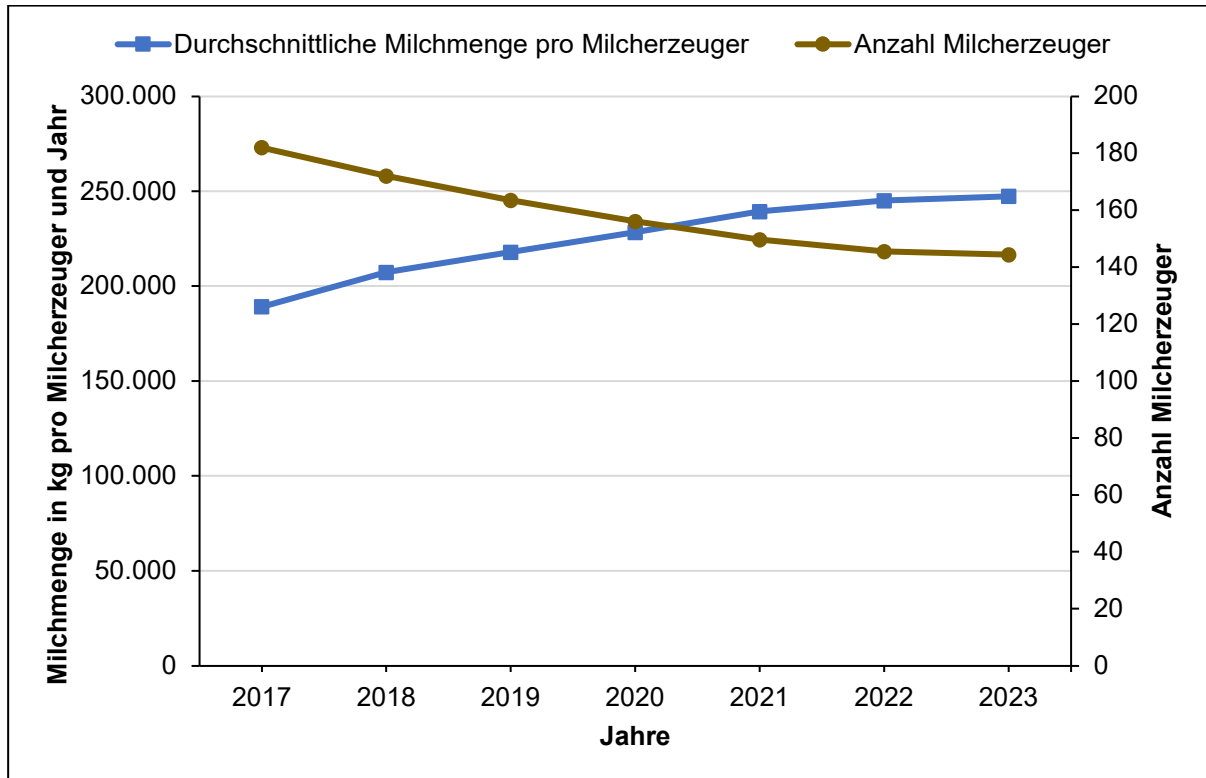


Abbildung 36: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 160; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023)

Die 182 Milcherzeuger lieferten im Jahr 2017 pro Betrieb durchschnittlich 189.222 kg Milch an. Vom Jahr 2017 auf das Jahr 2018 hat sich die Anzahl an Milcherzeuger im Milcheinzugsgebiet Südbayerngebiet um zehn Milcherzeuger auf 172 Milcherzeuger reduziert. Basierend auf der empirischen Milcherzeugerumfrage 2018 prognostizieren 28 Milcherzeuger eine Betriebsaufgabe während des Simulationszeitraumes. Folglich wird ein Strukturwandel von 2,92 % pro Jahr während des Simulationszeitraumes vorhergesagt. Aufgrund der marginalen Milchmengenerhöhung (Abbildung 35), fußend auf der empirischen Milchmengenumfrage des Jahres 2018, und der erwarteten Betriebsaufgabe wird sich die durchschnittliche Milchmengenanlieferung auf 247.359 kg pro Milcherzeuger und Jahr im Jahr 2023 erhöhen. Damit wird im Milcheinzugsgebiet Südbayern eine Steigerung der durchschnittlichen Milchmenge von 2,90 % pro Jahr und Milcherzeuger prognostiziert. Nachfolgende Abbildung 37 zeigt das Ergebnis der rekonstruierten mittelfristig geschätzten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern.

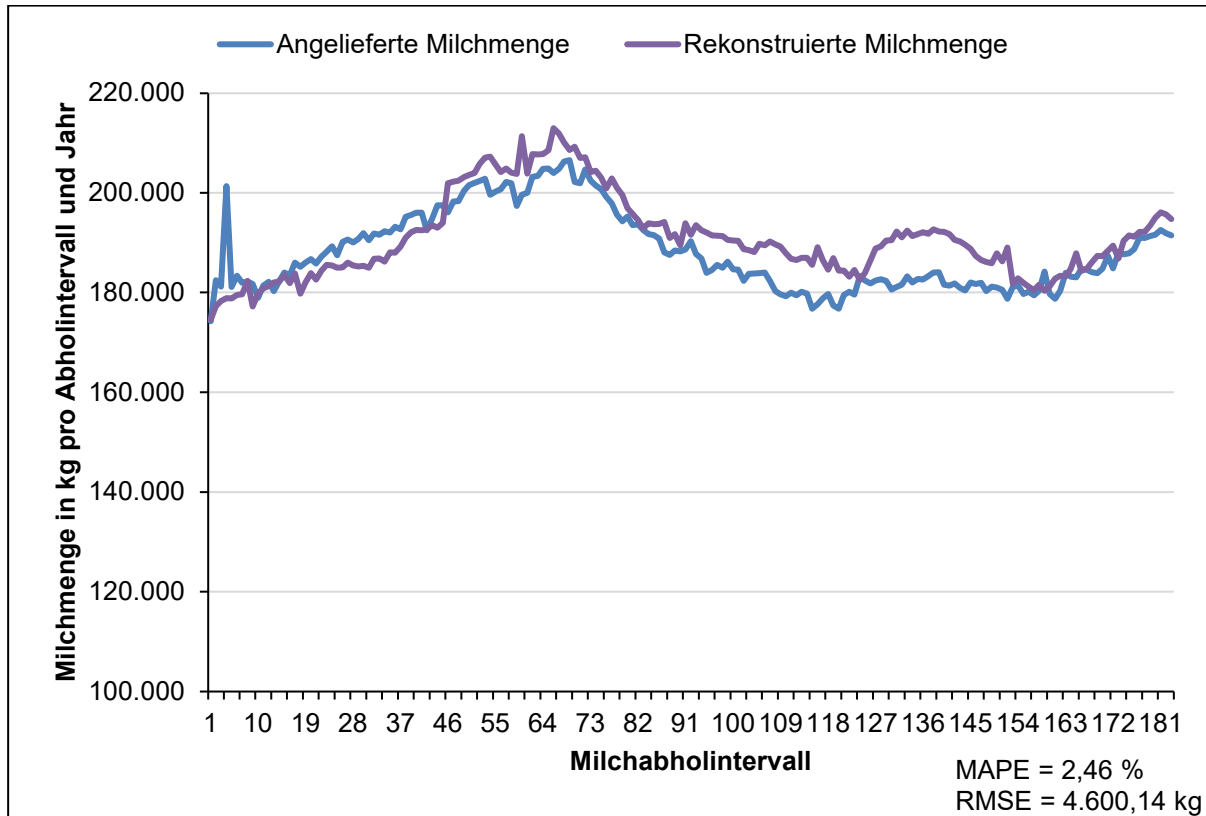


Abbildung 37: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern des Jahres 2017 (n = 182)

Die Genauigkeit auf Abholintervallebene der rekonstruierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge liegt im Bereich von 11.718,16 kg im Abholintervall 60 bis zu - 22.492,76 kg im Abholintervall vier. Die höchste Präzision der Schätzung wird im Abholintervall 14 erzielt. Dabei wird die prognostizierte Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge um 73,80 kg/Abholintervall unterschritten. Wie aus Abbildung 37 hervorgeht, liegt die angelieferte Milchmenge zwischen den Abholintervallen 92 und 153 weitgehend unter der rekonstruierten Milchmenge. Bezogen auf die 183 Abholintervalle der prognostizierten mittelfristigen Milchmengenprognose liegt der RMSE bei 4.600,14 kg, während der MAPE bei 2,46 % resultiert. Das Ergebnis der kurzfristigen Milchmengenprognose veranschaulicht nachfolgende Abbildung 38.

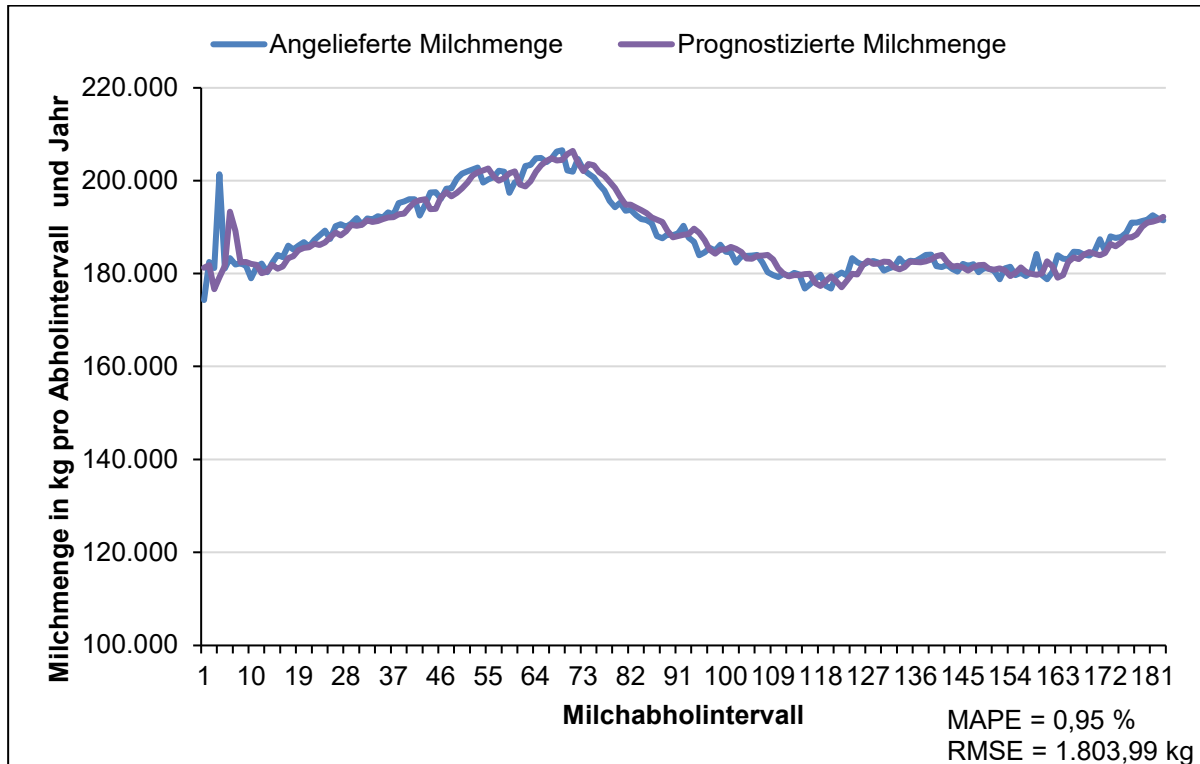


Abbildung 38: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2017

Die Präzision der angelieferten Milchmenge im Vergleich zur kurzfristig prognostizierten Milchmenge liegt im Bereich von 22.131,81 kg im Abholintervall vier bis zu -9.934,63 kg im Abholintervall sechs, wie aus Abbildung 38 hervorgeht. Die höchste Genauigkeit der prognostizierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge wird in Abholintervall 14 in Höhe von -73,79 kg erzielt. Mit einem RMSE von 1.803.95 kg und einem MAPE von 0,95 % stellt die kurzfristig prognostizierte Milchmenge eine höhere Genauigkeit als die mittelfristig prognostizierte Milchmenge dar.

5.5.3 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik

Die in Abhängigkeit der Verfahrensvariante optimierten Milcherfassungs- und Milchtransportstrecken enthält Anhang 38. Die pro Verfahrensvariante erforderliche Anzahl an Milchsammel- und Milchtransportfahrten stellt Anhang 39 dar. Die spezifischen verfahrensartabhängigen Vollkosten der Milchlogistik jeweils für die beiden Simulationsjahre 2017 und 2023 zeigt nachfolgende Abbildung 39. Im Anhang 40 sind die zugehörigen Zahlenwerte beigefügt.

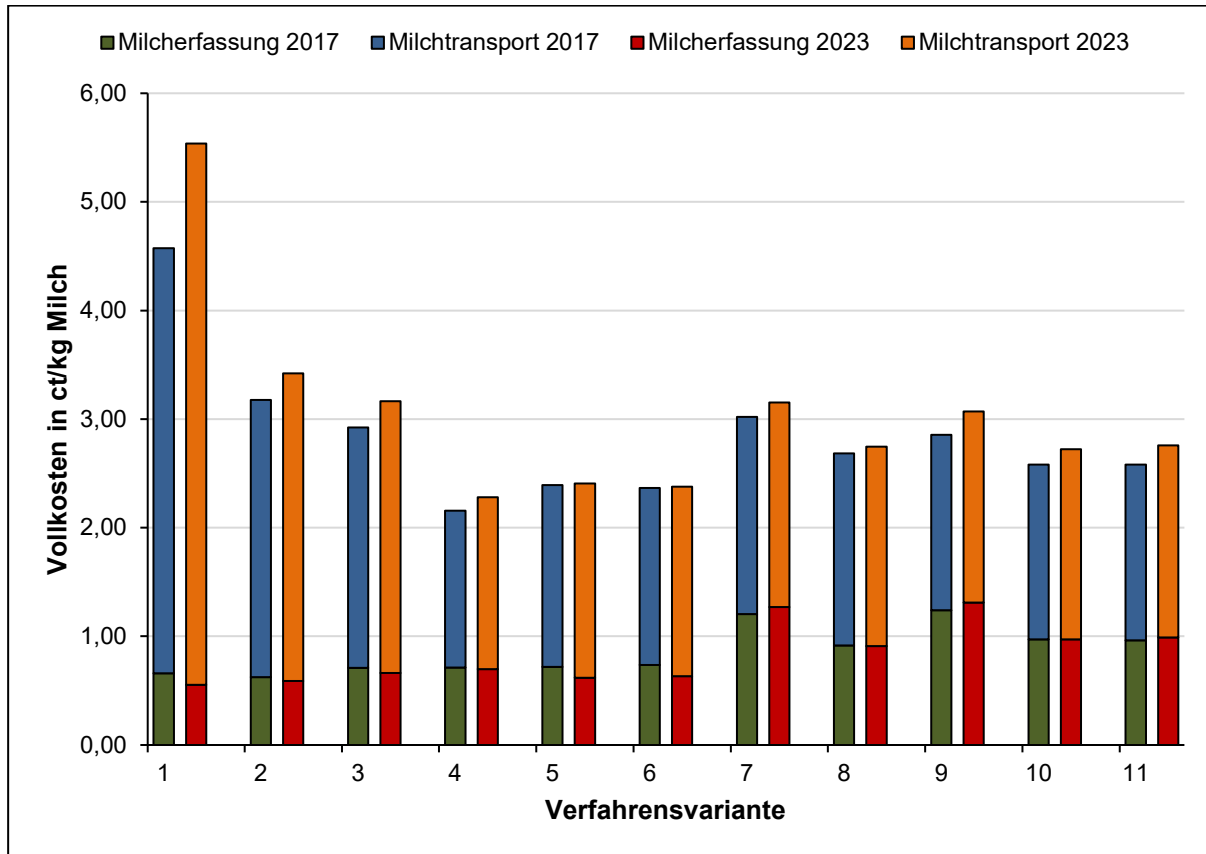


Abbildung 39: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die in Abbildung 39 dargestellten spezifischen Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes reichen im Jahr 2017 von 2,15 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) bis hin zu 4,57 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Unter den gebrochenen Verfahrensvarianten weist die Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen die niedrigsten Vollkosten auf, während die Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen die höchsten Vollkosten in Höhe von 3,02 ct/kg Milch verursacht. Die spezifischen Vollkosten der Milchlogistik sind bei der kostengünstigsten Verfahrensvariante Sammelaufleger solo mit 0,71 ct/kg Milch bzw. 33,10 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 1,44 ct/kg Milch bzw. 66,90 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt.

Durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten können im Milcheinzugsgebiet Südbayern im Jahr 2017 im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Vollkosten 2,42 ct/kg Milch eingespart werden. Bezogen auf die abgelieferte Milchmenge pro Abholintervall können die Vollkosten der Milchlogistik um 4.563,87 €/Abholintervall reduziert werden, so dass bezogen auf die angelieferte

Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Südbayern die Vollkosten der Milchlogistik um 832.905,50 € reduziert werden können.

Unter der Zugrundelegung der prognostizierten Struktur des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2023 reichen die erhobenen Vollkosten der Milchlogistik von 2,28 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) bis hin zu 5,54 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Die Komponente Milcherfassung trägt mit 0,70 ct/kg Milch bzw. 30,59 % zu den Vollkosten der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2023 bei, während die Komponente Milchtransport 1,58 ct/kg bzw. 69,41 % einnimmt. Damit erhöht sich durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik das ökonomische Einsparpotential auf 3,26 ct/kg. Bezogen auf die prognostizierte Milchmenge und die Struktur des Milcheinzugsgebietes Südbayern können so im Jahr 2023 pro Abholintervall 6.373,76 € eingespart werden, woraus sich eine Einsparung in Höhe von 1,16 Mio. € pro Jahr ergibt. Die Vollkosten der gebrochenen Verfahrensvarianten variieren im Simulationsjahr 2023 zwischen 2,72 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen) und 3,15 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen).

Im verfahrensartabhängigen Vergleich zwischen den spezifischen Vollkosten der Milchlogistik im Jahr 2017 und 2023 weisen alle Verfahrensvarianten höhere Vollkosten im Bereich von 0,01 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger ungebrochen) und 0,96 ct/kg (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo) auf, wie Anhang 40 zeigt.

5.5.4 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Die erhobenen verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Südbayern zeigt jeweils für die Jahre 2017 und 2023 nachfolgende Abbildung 40. Die zugehörigen Zahlenwerte sind im Anhang 41 beigefügt.

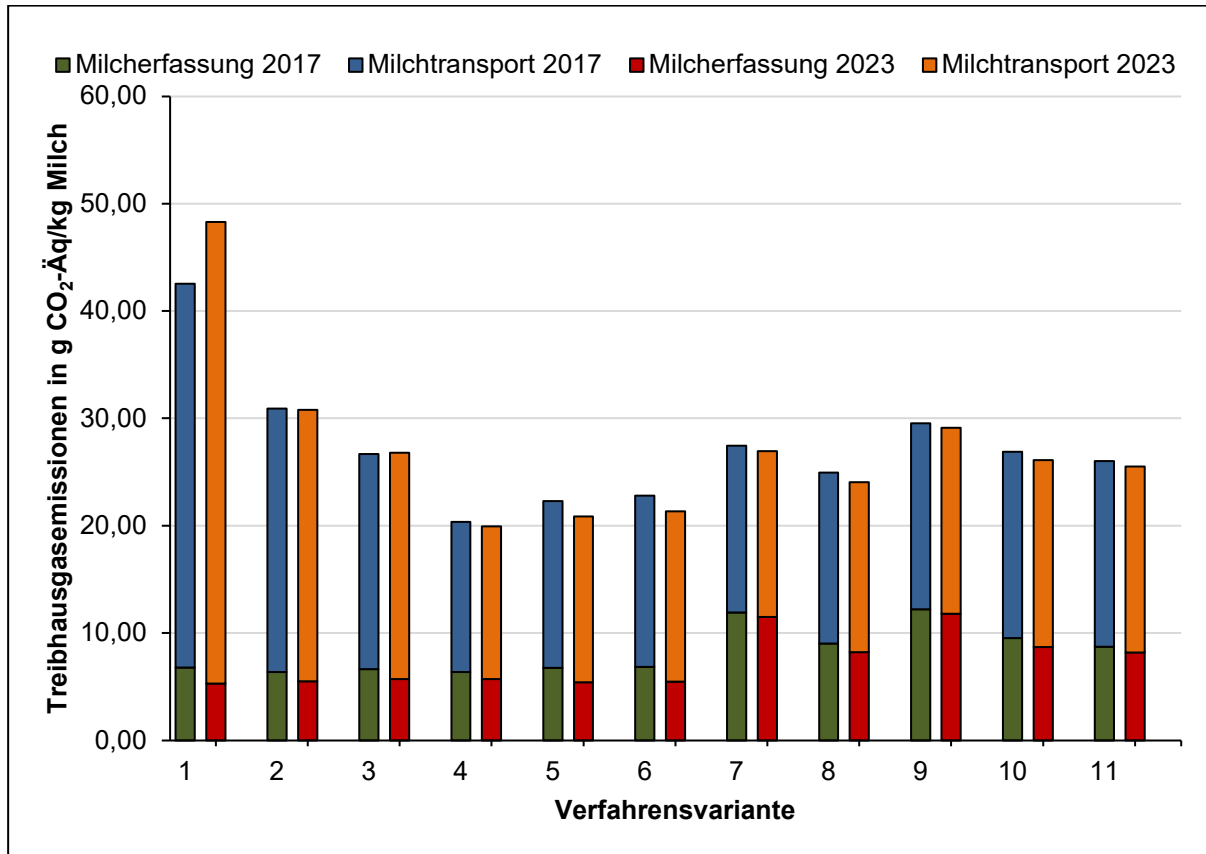


Abbildung 40: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die spezifischen Treibhausgasemissionen variieren im Simulationsjahr 2017 von 20,34 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) bis zu 42,52 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Wie aus Abbildung 40 hervorgeht, bestehen die spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017 mit 6,37 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 31,30 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 13,97 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 68,70 % aus der Komponente Milchtransport. Innerhalb der analysierten gebrochenen Verfahrensvarianten resultieren die niedrigsten spezifischen Treibhausgasemissionen bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen von 24,95 g CO₂-Äq/kg Milch. Die höchsten Treibhausgasemissionen unter den gebrochenen Verfahrensvarianten in Höhe von 29,53 g CO₂-Äq/kg Milch resultieren bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen.

Bezogen auf die angelieferte Milchmenge und der vorherrschenden Struktur können im Milcheinzugsgebiet Südbayern durch den simulierten Einsatz der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Treibhausgasemissionen pro kg Milch 22,18 g CO₂-Äq eingespart werden, so

dass die Treibhausgasemissionen um bis zu 4.185,01 kg CO₂-Äq pro Abholintervall reduziert werden können. Bezogen auf die angelieferte Milchmenge des Jahres 2017 liegt das ökologische Einsparpotential bei 763,76 t CO₂-Äq.

Basierend auf die Logistiksimulation der prognostizierten Struktur im Jahr 2023 des Milcheinzugsgebietes Südbayern liegen die spezifischen Treibhausgasemissionen im Bereich von 19,93 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 48,28 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Die Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo sind mit 5,70 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 28,61 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 14,23 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 71,39 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt (Abbildung 40). Die spezifischen Treibhausgasemissionen der gebrochenen Verfahrensvarianten variieren von 25,51 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Vierachser LKW und Milchtransportaufleger gebrochen bis zu 29,10 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiaxanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen.

Bei Betrachtung der beiden minimalen und maximalen verfahrensvariantenspezifischen Treibhausgasemissionen unter der prognostizierten Struktur im Jahr 2023 beträgt das zeitliche Einsparpotential durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen 28,35 g CO₂-Äq/kg Milch, so dass pro Abholintervall im Jahr 2023 5.548,27 kg CO₂-Äq eingespart werden können. Damit können bezogen auf die prognostizierte Jahresmilchmenge der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2023 durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den geringsten Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten Treibhausgasemissionen 1.012,56 t CO₂-Äq eingespart werden.

Der verfahrensartabhängige Vergleich zwischen den Treibhausgasemissionen der gegenwärtigen Struktur des Jahres 2017 und der prognostizierten Struktur des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2023 zeigt eine Reduzierung bei neun der elf betrachteten Verfahrensvarianten der Milchlogistik um bis zu 1,46 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen (Anhang 41). Den tendenziellen Rückgang der Treibhausgasemissionen wird durch den Strukturwandel bei den Milcherzeuger begründet, wonach weniger Strecke zur Milcherfassung nötig ist. Gleichzeitig stellen die verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen der Milchtransporte der Jahre 2017 und 2023 einen ähnlichen Wert dar.

5.5.5 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik

Die verfahrensartabhängigen Zeitbedarfskennzahlen jeweils für die Jahre 2017 und 2023 veranschaulicht nachfolgende Abbildung 41. Im Anhang 42 sind die zugehörigen Zahlenwerte beigefügt.

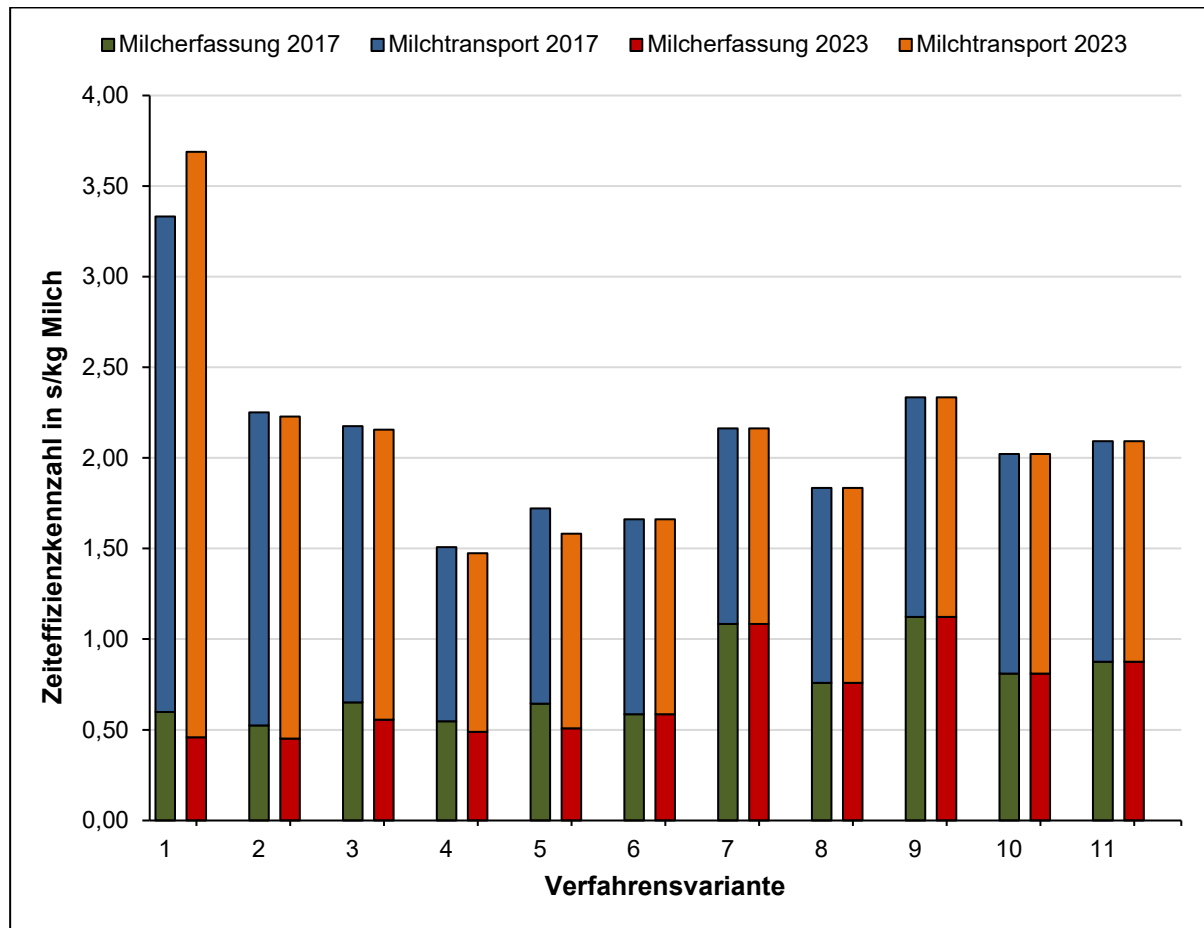


Abbildung 41: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Im Milcheinzugsgebiet Südbayern liegen im Simulationsjahr 2017 die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen im Bereich von 1,51 s/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 3,33 s/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Die Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo besteht mit 0,55 s/kg bzw. 36,29 % aus der Komponente Milcherfassung, und mit 0,96 s/kg bzw. 63,71 % aus der Komponente Milchtransport. Die verfahrensartabhängigen Zeiteffizienzkennzahlen der gebrochenen Verfahrensvarianten reichen von 1,83 s/kg Milch bei Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger gebrochen bis zu 2,33 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen.

Basierend auf der Betrachtung der Verfahrensvariante mit der höchsten und der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienzkennzahl können pro kg Milch 1,82 s eingespart werden, das einem zeitlichen Einsparungspotential von 95,54 h/Abholintervall entspricht. Bezogen auf die abgelieferte Milchmenge im gegenwärtigen Jahr 2017 umfasst damit das zeitliche Einsparungspotential 17.436,60 h.

Unter Simulation des prognostizierten Strukturwandels des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2023 differieren die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen von 1,47 s/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 3,69 s/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Dabei setzt sich die spezifische Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Simulationsjahr 2023 mit der Komponente Milcherfassung von 0,49 s/kg bzw. 33,20 % und der Komponente Milchtransport in Höhe von 0,98 s/kg Milch bzw. 66,82 % zusammen. Unter den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik ergibt das entwickelte Simulationsmodell für das Jahr 2023 im Milcheinzugsgebiet Südbayern spezifische Zeiteffizienzkennzahlen im Bereich von 1,76 s/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen) und 2,30 s/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen).

Die Differenz zwischen der Verfahrensvariante mit der höchsten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienzkennzahl beträgt im Jahr 2023 2,21 s/kg Milch. Bezogen auf die prognostizierte Milchmenge im Jahr 2023 können somit durch den praktischen Einsatz der Verfahrensvariante mit der niedrigsten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit der höchsten Zeiteffizienzkennzahl 120,38 h/Abholintervall eingespart werden, das einem Reduzierungspotential Zeiteffizienzkennzahl von 21.696,20 h im Jahr 2023 entspricht. Im Vergleich zwischen den jeweiligen Zeiteffizienzkennzahlen der Verfahrensvariante im Jahr 2023 und 2017 resultiert bei zehn der betrachteten elf Verfahrensvarianten eine Reduzierung der spezifischen Zeitbedarfskennzahl um bis zu 0,14 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen.

5.6 Milcheinzugsgebiet Zentralbayern

5.6.1 Qualität der empirischen Umfragen der Jahre 2017 und 2018

Die empirische Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern des Jahres 2017 kann mit 260 auswertbaren Umfragebögen geschlossen werden, das bei der Vollerhebung einer Rücklaufquote von 87,67 % entspricht. Nachfolgende Tabelle 11 zeigt den Chi-Quadrat-Test zur Erhebung der Repräsentativität hinsichtlich der

Jahresmilchmenge der befragten Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017.

Tabelle 11: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test	
< 100.000 kg	43	42,96	0,04		
bis 250.000 kg	91	93,81	-2,81	Chi-Quadrat	0,57
bis 500.000 kg	76	72,77	3,23	df	6
bis 750.000 kg	41	37,70	3,30		
bis 1.000.000 kg	6	6,14	-0,14		
bis 1.250.000 kg	2	1,75	0,25		
> 1.250.000 kg	1	0,88	0,12		
Gesamt	260				

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn Chi-Quadrat-Wert > Chi-Quadrat df; ($1-\alpha=0,05$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; 0,95 = 12,59

0,57 < 12,59: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Mit Ausnahme der Betriebsgrößenklasse bis 250.000 kg wurden in allen Betriebsgrößenklassen mehr Umfragebögen zurückgesendet als erwartet. Da der errechnete Chi-Quadrat-Wert von 0,57 kleiner als der Chi-Quadrat-Tabellenwert von 12,59 ist, kann die Nullhypothese angenommen werden. Damit sind die Ergebnisse der empirischen Milchmengenumfrage 2017 des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern repräsentativ hinsichtlich der Milchmenge. Nachfolgende Tabelle 12 zeigt den Chi-Quadrat-Test zur Analyse der Repräsentativität der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2018.

Tabelle 12: Test auf Repräsentativität hinsichtlich der Jahresmilchmenge der empirischen Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2018

Klasse	Zurückgemeldete Milcherzeuger	Erwartete Rückmeldungen	Residuum	Statistik für den Test	
< 100.000 kg	31	32,07	-1,07		
bis 250.000 kg	71	75,95	-4,95	Chi-Quadrat	0,82
bis 500.000 kg	75	70,04	4,96	df	6
bis 750.000 kg	38	37,13	0,87		
bis 1.000.000 kg	9	9,28	-0,28		
bis 1.250.000 kg	2	1,69	0,31		
> 1.250.000 kg	1	0,84	0,16		
Gesamt	227				

H_0 : Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

H_1 : Ergebnisse sind nicht repräsentativ

H_0 ablehnen, wenn ChiQuadrat-Wert > ChiQuadrat df; ($1-\alpha=0,05$)

Chi-Quadrat-Wert bei 6; 0,95 = 12,59

0,82 < 12,59: H_0 beibehalten, Ergebnisse sind repräsentativ bezüglich Jahresmilchmenge

Von den 269 befragten Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern konnten 227 Umfragebögen vollständig ausgewertet werden, so dass die Rücklaufquote bei der empirischen Milchmengenumfrage 2018 bei 84,39 % lag. Wie aus Tabelle 12 hervorgeht, wurden lediglich in den Betriebsgrößenklassen < 100.000 kg bis 250.000 kg und bis 1.000.000 kg weniger Umfragebögen zurückgesendet als erwartet. Da der bei der durchgeführten empirischen Milchmengenumfrage 2018 des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern errechnete Chi-Quadrat-Wert von 0,82 kleiner als der Chi-Quadrat-Tabellenwert von 12,59 ist, kann die Nullhypothese angenommen werden. Weil die beiden empirisch durchgeführten Milchmengenumfragen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern repräsentativ hinsichtlich der Jahresmilchmenge sind, können Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern getroffen werden.

5.6.2 Zeitskalenabhängige Milchmengenprognose

Die langfristig anvisierten abgelieferten Milchmengen unter Berücksichtigung der empirischen Milchmengenumfragen der Jahre 2017 und 2018 des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern zeigt nachfolgende Abbildung 42.

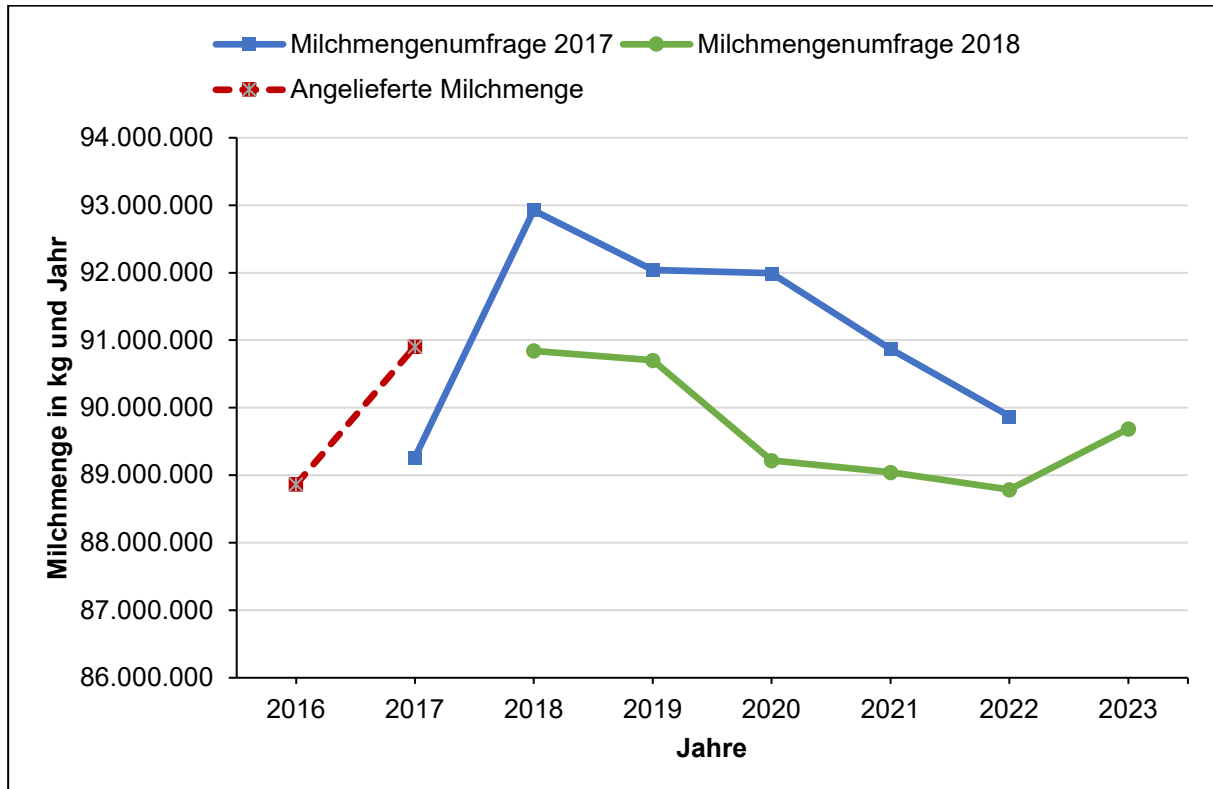


Abbildung 42: Ergebnis der langfristigen Milchmengenprognose des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern der Jahre 2017 bis 2023 (2017: n = 256; 2018: n = 227)

Im Jahr 2017 lag die angelieferte Milchmenge um 1,64 Mio. über der von den Milcherzeugern des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern für das Jahr 2017 prognostizierten Milchmenge von 89,27 Mio. kg (Abbildung 42). Somit überschritt die angelieferte Milchmenge die prognostizierte Milchmenge um 1,81 %. Die von den Milcherzeugern im Jahr 2017 prognostizierten abgelieferten Milchmengen zeigen bis zum Jahr 2018 einen deutlichen Anstieg der Milchmenge auf bis zu 92,93 Mio. kg. Ab dem Jahr 2018 bis zum Jahr 2022 wird jedoch eine Reduzierung der angelieferten Milchmenge auf 89,88 Mio. kg erwartet. Damit wird trotz des erwarteten Milchmengenrückganges eine absolute Steigerung der Gesamtmilchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2022 um 609.374,18 kg bzw. 0,68 % im Vergleich zur prognostizierten Milchmenge im Jahr 2017 erwartet. Demnach wird eine durchschnittliche Steigerung der Milchmenge während des bei der schriftlichen Milchmengenumfrage des Jahres 2017 zugrunde gelegten Analysezeitraumes von 0,11 % pro Jahr prognostiziert.

Basierend auf der empirischen Milcherzeugerumfrage 2018 werden für das Jahr 2018 90,85 Mio. kg anvisiert, die auf gleichem Niveau der im Jahr 2017 abgelieferten Milchmenge liegt. Dabei wird ausgehend vom Jahr 2018 eine fallende Milchmenge bis zum Jahr 2022 erwartet, bevor zum Jahr 2023 wieder eine Steigerung der Milchmenge um 899.182,23 kg angekündigt wird. Trotzdem wird während des bei der schriftlichen Umfrage zu Grunde gelegten Betrachtungszeitraumes von 2018 bis 2023 ein Rückgang der Milchmenge von

1,16 Mio. kg und 1,30 % erwartet, das einem jährlichen Rückgang der Milchablieferung von 0,21 % pro Jahr entspricht. Die zu erwartende strukturelle Entwicklung bis zum Jahr 2023 des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern zeigt nachfolgende Abbildung 43.

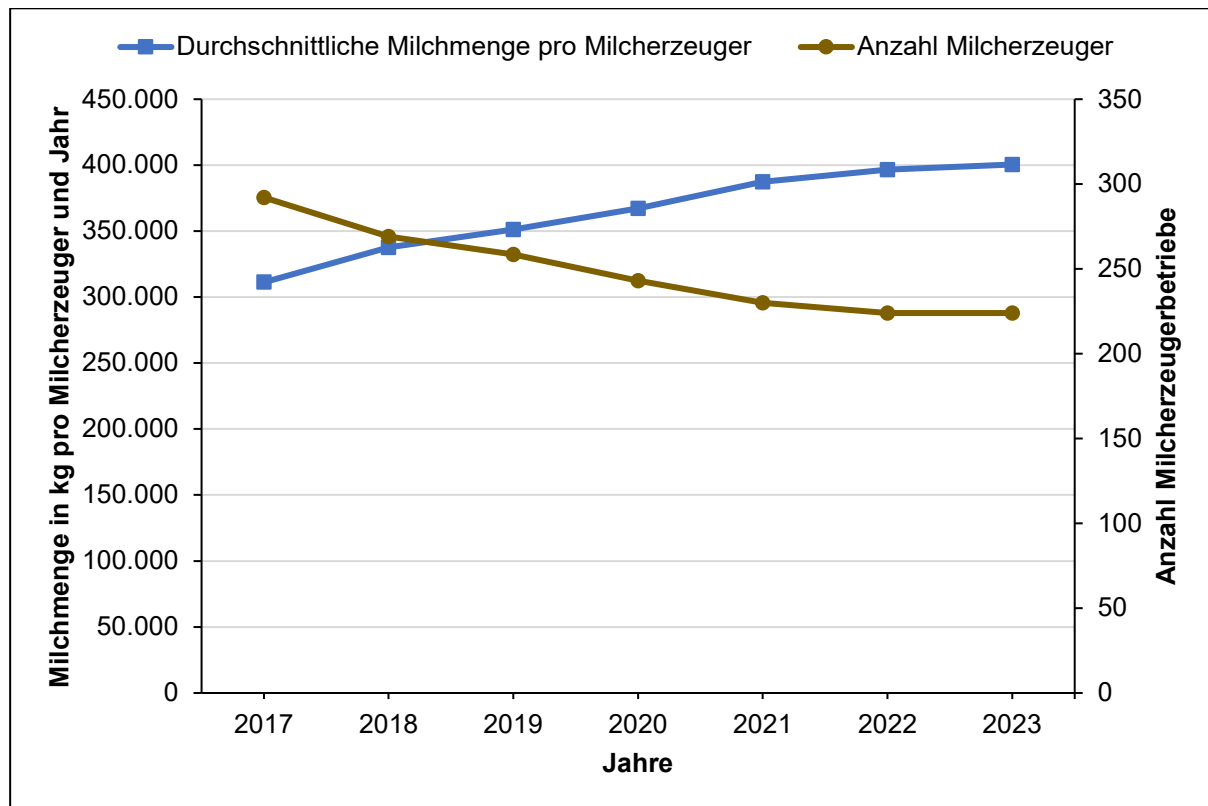


Abbildung 43: Prognostizierte strukturelle Entwicklung des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Zeitraum von 2017 bis 2023 (n = 227; reale Kennzahl im Jahr 2017; prognostizierte Kennzahlen von 2018 bis 2023)

Die 292 Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern lieferten im Jahr 2017 durchschnittlich 311.238 kg Milch/Milcherzeuger an die Molkerei an. Basierend auf der schriftlichen Milchmengenumfrage, durchgeführt im Jahr 2018 wird sich die Anzahl an Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern von 269 Milcherzeuger im Jahr 2018 auf 224 Milcherzeuger im Jahr 2023 reduzieren. Demnach werden während des Prognosezeitraumes vom Jahr 2018 bis zum Jahr 2023 45 Milcherzeuger die Produktion aufgeben, woraus ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 7,5 Milcherzeuger oder 3,01 % pro Jahr hervorgeht. Eine zunehmende durchschnittliche Milchmengenanlieferung pro Milcherzeuger wird aufgrund der Abnahme der Milcherzeuger und der leicht rückläufigen Milchmenge (Abbildung 42) begründet. Somit wird eine durchschnittliche Steigerung der Milchmenge von 337.714 kg pro Betrieb im Jahr 2018 auf 400.448 kg Milch pro Betrieb im Jahr 2023 erwartet, das einer relativen Milchmengensteigerung von 2,80 % pro Milcherzeuger und Jahr entspricht. Die auf Abholintervall rekonstruierte Milchmenge basierend auf der prognostizierten Milchmenge der Milcherzeuger für das Jahr 2017 veranschaulicht nachfolgende Abbildung 44.

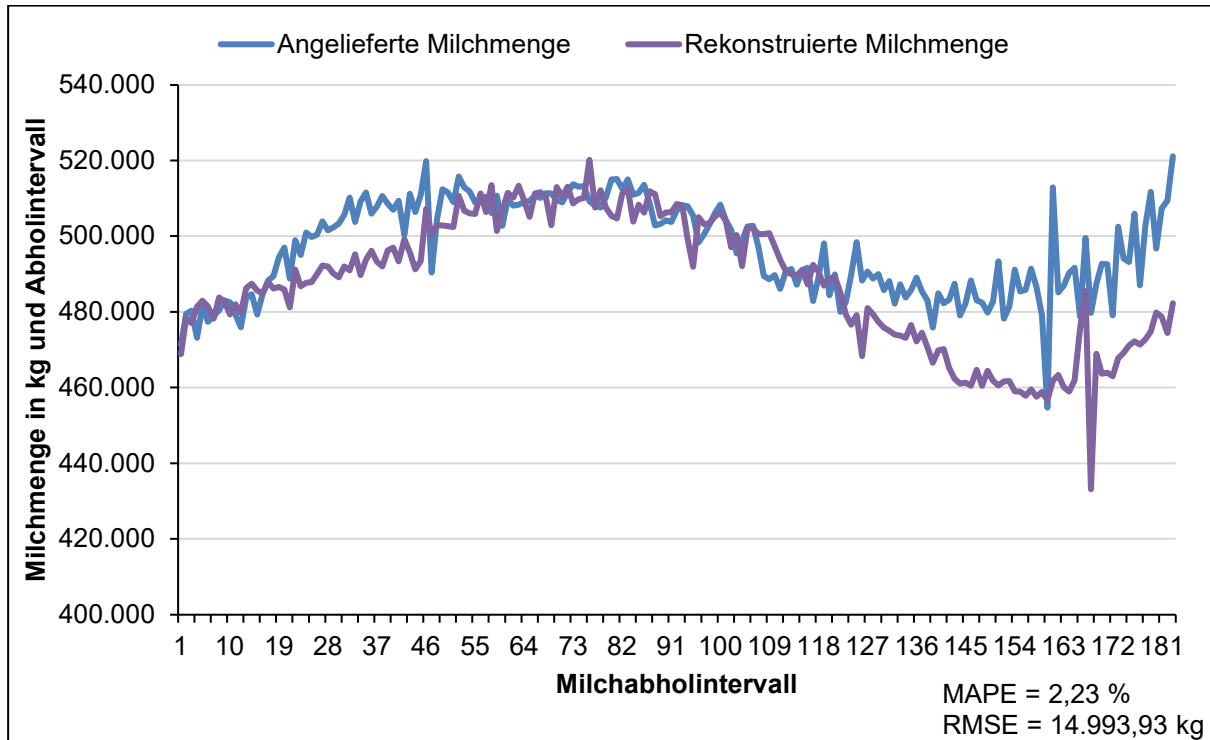


Abbildung 44: Rekonstruierte mittelfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern des Jahres 2017 (n = 256)

Die in Abbildung 44 dargestellte angelieferte Milchmenge (blau) variierte im Jahr 2017 zwischen der geringsten Milchmenge von 456.755,91 kg im Abholintervall 160 bis hin zur größten Milchmenge von 521.178,16 kg im Abholintervall 183. Die Prägnanz der prognostizierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern lag im Jahr 2017 zwischen 12.188,50 kg im Abholintervall 109 bis hin zu -51.093,01 kg im Abholintervall 161. Die genaueste Milchmengenprognose konnte mit -32,14 kg im Abholintervall 112 erzielt werden. Deutliche Abweichungen zwischen prognostizierter und angelieferter Milchmengen zeigen sich in den Abholintervallen 18 bis 47 und ab Abholintervall 124. Über die gesamten Abholintervalle beträgt der MAPE 2,23 %, während der RMSE 14.993,93 kg aufweist. Nachfolgende Abbildung 45 veranschaulicht die kurzfristig prognostizierte Milchmenge in der Farbe lila im Vergleich zu den tatsächlich angelieferten Milchmengen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern auf Abholintervallebene im Jahr 2017.

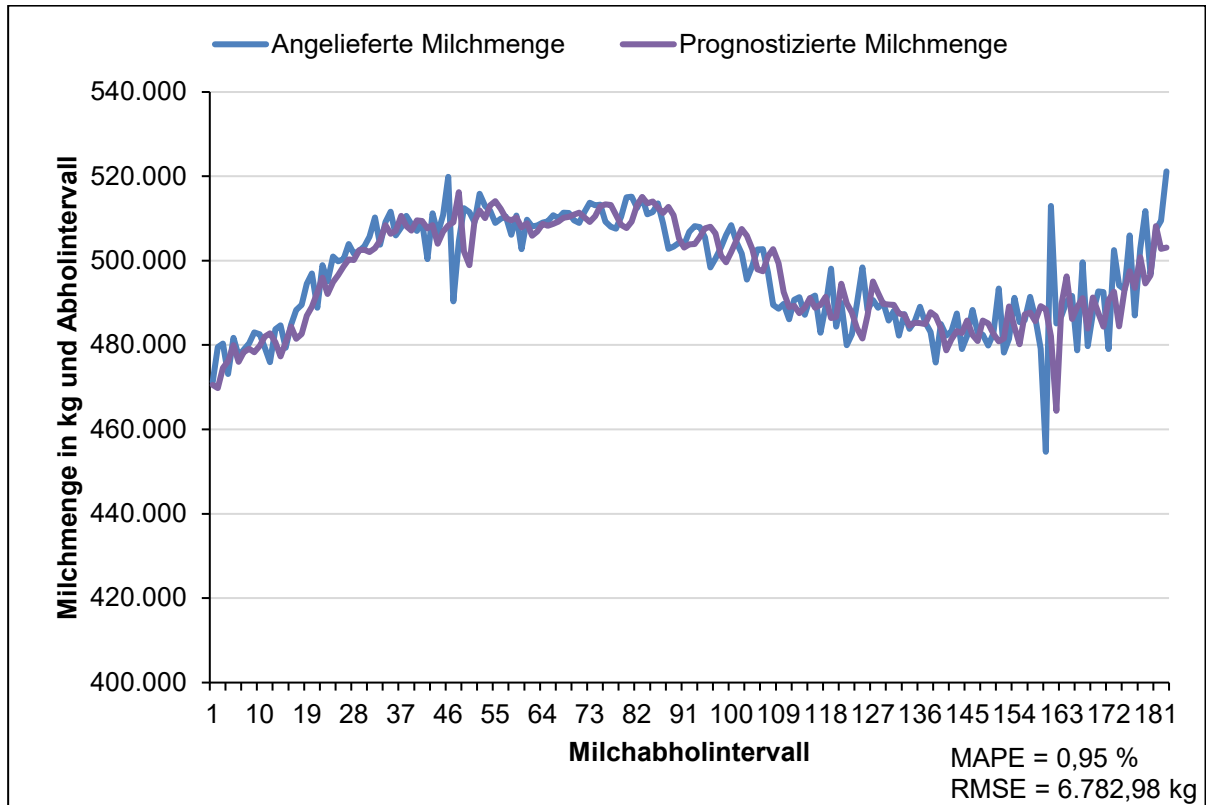


Abbildung 45: Prognostizierte kurzfristige Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017

Im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern variiert die Genauigkeit der prognostizierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge zwischen 30.868,21 kg im Abholintervall 161 bis zu -33.749,60 kg Milch im Abholintervall 160. Mit einer erhöhten Prognose von 21,35 kg im Vergleich zur angelieferten Milchmenge wird die genaueste Prognose in Abholintervall 150 erzielt. Wie aus Abbildung 45 hervorgeht, liegt die Genauigkeit der kurzfristigen Milchmengenprognose mit einem MAPE von 0,95 % und einem RMSE von 6.782,98 kg höher als die Präzision der mittelfristigen Milchmengenprognose.

5.6.3 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik

Die optimierten verfahrensartspezifischen Strecken der Milcherfassung und des Milchtransportes des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern enthält Anhang 44. Die verfahrensartspezifische Anzahl an Sammel- und Milchtransporttouren ist im Anhang 45 beigefügt. Die gegenwärtigen und zukünftigen verfahrensartabhängigen Vollkosten der Milchlogistik differenziert für die Komponenten Milcherfassung und Milchtransport zeigt nachfolgende Abbildung 46. Dabei sind die dazugehörigen Zahlenwerte im Anhang 46 dargestellt.

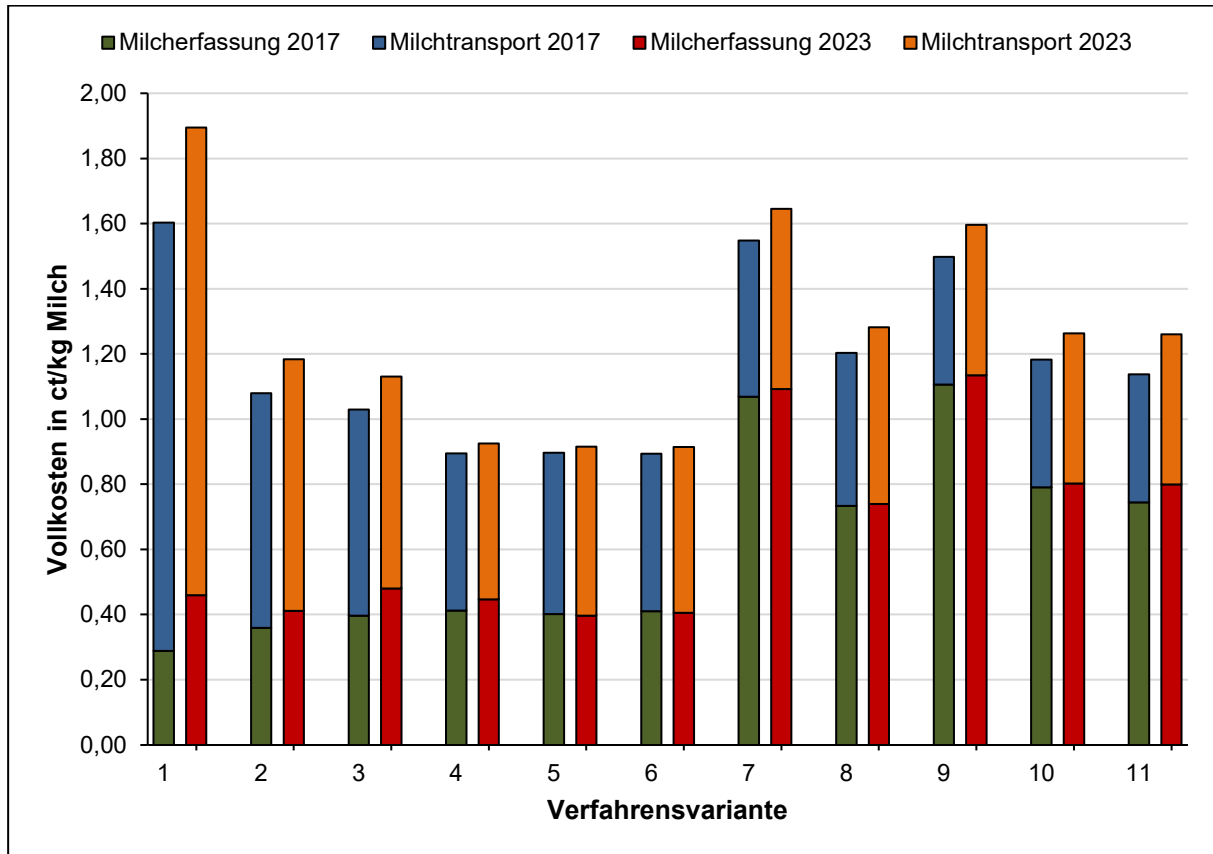


Abbildung 46: Verfahrensartabhängige Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023

Die in Abbildung 46 aufgezeigten spezifischen verfahrensartabhängigen Vollkosten der Milchlogistik variieren im Jahr 2017 im Bereich von 0,89 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen) und 1,60 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo). Die spezifischen Vollkosten der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen sind mit 0,41 ct/kg Milch bzw. 45,92 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 0,48 ct/kg Milch bzw. 54,08 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt. Bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik wird die Senkung der Vollkosten mit zunehmender Nutzlast durch die Abnahme der Milcherfassungs-, bzw. Milchsammeltouren begründet. Die gegenwärtige Vollkostensimulation ergibt für die gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik Vollkosten im Bereich von 1,14 ct/kg Milch bei der Verfahrensvariante Vierachser LKW und Milchtransportauflieger gebrochen und 1,55 ct/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen.

Somit resultiert im Jahr 2017 eine ökonomische Differenz zwischen der Verfahrensvariante mit den höchsten im Vergleich zur Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik von 0,80 ct/kg Milch. Bezogen auf die Milchmenge eines durchschnittlichen Abholintervalls im Jahr 2017 lassen sich somit durch die Auswahl der Verfahrensvariante

mit den niedrigsten spezifischen Vollkosten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den höchsten spezifischen Vollkosten 3.532,96 € pro Abholintervall einsparen, das einem ökonomischen Reduzierungspotential von 644.764,46 € pro Jahr entspricht.

Basierend auf dem prognostizierten Strukturwandel des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern bis zum Jahr 2023 variieren die spezifischen Vollkosten der Milchlogistik von 0,91 ct/kg Milch bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen solo bis hin zu 1,90 ct/kg bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo. Dabei sind die Vollkosten der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen im Simulationsjahr 2023 mit 0,40 ct/kg bzw. 44,29 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 0,51 ct/kg Milch bzw. 55,71 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt. Die Vollkosten der gebrochenen Verfahrensvarianten im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern unter den prognostizierten Strukturen im Jahr 2023 liegen im Bereich von 1,26 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Vierachser LKW und Milchtransportauflieger gebrochen) und 1,65 ct/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen). Somit beträgt die ökonomische Differenz zwischen der Verfahrensvariante mit den höchsten im Vergleich zur Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik 0,98 ct/kg Milch. Damit können hinsichtlich der prognostizierten angelieferten Milchmenge im Jahr 2023 4.819,57 € pro Abholintervall, und 879.571,10 € pro Jahr eingespart werden.

Im verfahrensartspezifischen Vergleich zwischen den jeweiligen Vollkosten im Jahr 2017 und 2023 wird bei jeder der betrachteten Verfahrensvarianten eine Kostensteigerung simuliert, die bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo 0,29 ct/kg Milch beträgt (Anhang 46). Die geringsten Vollkostensteigerungen innerhalb des analysierten Simulationszeitraumes weisen die Verfahrensvarianten Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen, und die Verfahrensvariante Zweiachser LKW und Dreiachsanhänger gebrochen in Höhe von 0,02 ct/kg Milch auf. Die nominale Vollkostensteigerung der in beiden Simulationsjahren günstigsten Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger liegt bei 0,02 ct/kg Milch. Der anschließende Abschnitt zeigt die verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen der Milchlogistik.

5.6.4 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Nachfolgende Abbildung 47 veranschaulicht die verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern der Jahre 2017 und 2023. Die zugehörigen Zahlenwerte sind im Anhang 47 beigefügt.

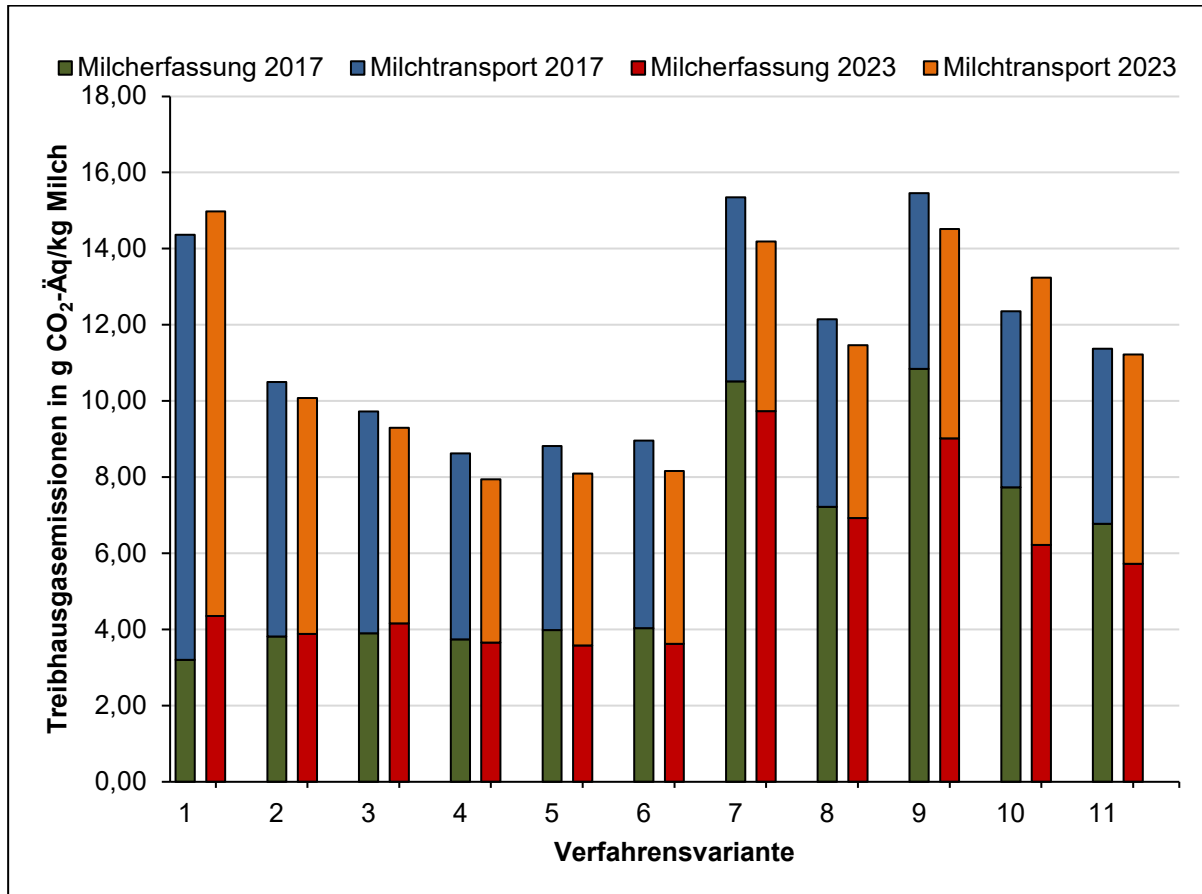


Abbildung 47: Verfahrensartabhängige Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023

Die in Abbildung 47 dargestellten verfahrensartspezifischen Treibhausgasemissionen differieren im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern im Jahr 2017 von 8,63 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) bis hin zu 14,98 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen). Die spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo sind mit 3,74 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 43,34 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 4,29 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 56,66 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt.

Der ökologische Vergleich im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern zwischen der Verfahrensvariante mit den höchsten und der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Treibhausgasemissionen liefert im gegenwärtigen Simulationsjahr 2017 ein ökologisches Einsparungspotential von 5,74 g CO₂-Äq/kg Milch. Demnach beträgt dieser ökologische Reduzierungsbereich pro Abholintervall 2.859,04 kg CO₂-Äq. Bezogen auf die gesamt angelieferte Milchmenge des Jahres 2017 liegt das ökologische Einsparungspotential bei 521,78 t CO₂-Äq/Jahr.

Basierend auf dem prognostizierten Strukturwandel des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern variieren die spezifischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2023 zwischen 7,94 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo und 14,98 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo. Dabei sind die spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo mit 3,65 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 45,97 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 4,29 g CO₂-Äq/kg Milch bzw. 54,03 % aus der Komponente Milchtransport zusammengesetzt. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik liegen die spezifischen Treibhausgasemissionen im Bereich von 11,22 g CO₂-Äq/kg Milch (Verfahrensvariante Vierachser LKW und Milchtransportaufleger gebrochen) und 14,19 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante (Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen). Im Vergleich zur ökologischen Differenz zwischen der Verfahrensvariante mit den höchsten Treibhausgasemissionen und der Verfahrensvariante mit den niedrigsten spezifischen Treibhausgasemissionen steigt das Einsparungspotential unter den zukünftigen Strukturen auf bis zu 7,04 g CO₂-Äq/kg Milch. Damit können bezogen auf die prognostizierte angelieferte Milchmenge der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern pro Abholintervall 3.457,98 kg CO₂-Äq eingespart werden, das einem Einsparpotential von 631,08 t CO₂-Äq bezogen auf die prognostizierte Milchmenge im Jahr 2023 entspricht.

Im Vergleich zwischen den spezifischen Treibhausgasemissionen innerhalb der Verfahrensvarianten zwischen den Jahren 2017 und 2023 resultiert aus der Simulation eine Reduzierung der spezifischen Treibhausgasemissionen bei sieben der betrachteten elf Verfahrensvarianten um bis zu 0,80 g CO₂-Äq/kg Milch bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen. Zu dieser Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen trägt der Strukturwandel bei den Milcherzeuger bei. Lediglich wird bei den Verfahrensvarianten Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger und der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo eine Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen identifiziert. Wie aus Abbildung 47 hervorgeht, werden bei diesen Verfahrensvarianten die spezifischen Treibhausgasemissionen der Komponente Milcherfassung zwar reduziert, jedoch erfordert die geringere Auslastung der Kapazität der Transportmittel im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 höhere spezifische Treibhausgasemissionen im Milchtransport (Anhang 44).

5.6.5 Gegenwärtige und zukünftige verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik

Die spezifischen verfahrensartabhängigen Zeiteffizienzkennzahlen zeigt differenziert für die Simulationsjahre 2017 und 2023 nachfolgende Abbildung 48. Die zugehörigen Zahlenwerte sind im Anhang 48 beigefügt.

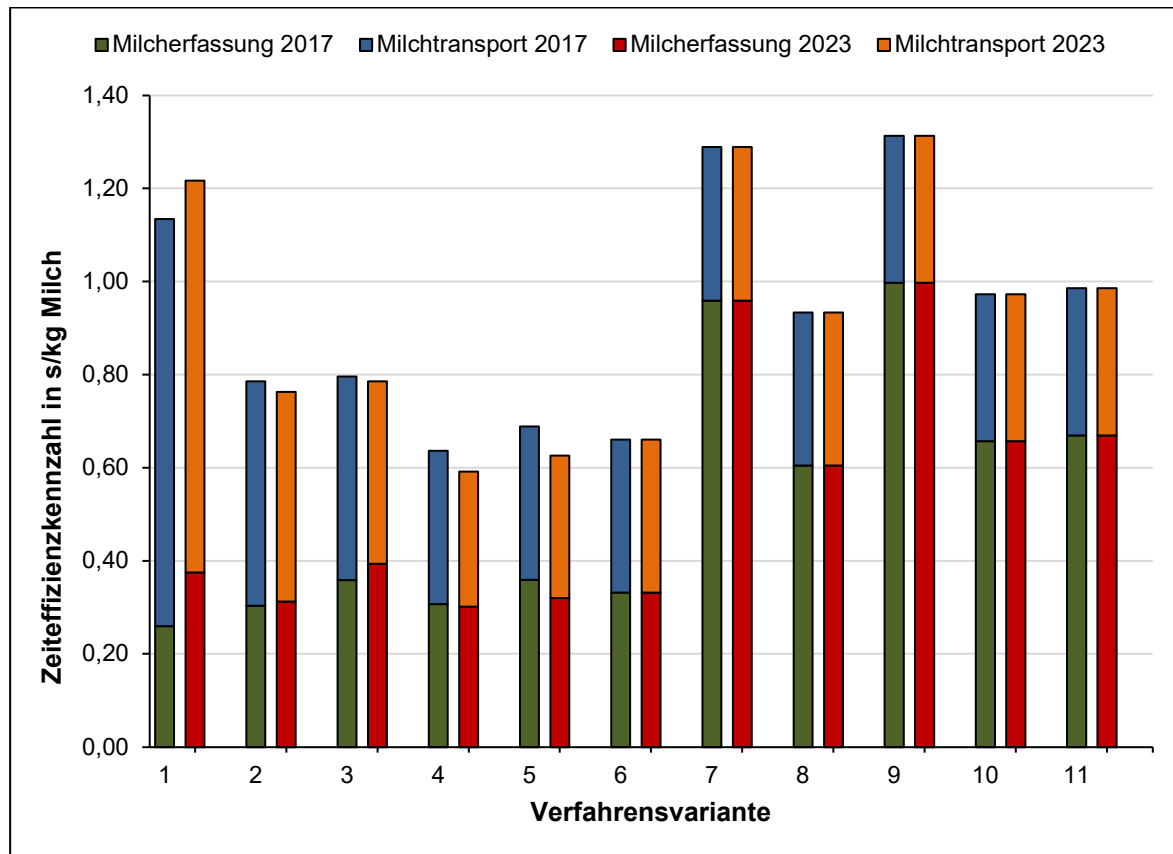


Abbildung 48: Verfahrensartabhängige Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023

Die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen liegen im Jahr 2017 im Bereich von 0,64 s/kg Milch (Verfahrensvariante Sammelaufleger solo) und 1,31 s/kg Milch (Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen). Dabei besteht die spezifische Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo mit 0,31 s/kg Milch bzw. 48,20 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 0,33 s/kg bzw. 51,80 % aus der Komponente Milchtransport. Unter den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik weist die Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo die höchste Zeiteffizienzkennzahl in Höhe von 1,13 s/kg Milch auf. Die gebrochene Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger gebrochen stellt bei reiner Betrachtung der gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik die Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienzkennzahl in Höhe von 0,93 s/kg dar.

Aus dem Vergleich zwischen der Verfahrensvariante mit der höchsten Zeiteffizienz kennzahl und der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienz kennzahl resultiert eine Differenz von 0,68 s/kg Milch. Damit können bezogen auf die abgelieferte Milchmenge der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 pro Abholintervall 93,60 h und pro Jahr 17.082,66 h eingespart werden.

Unter Betrachtung der prognostizierten Struktur und Milchmenge der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern variieren die spezifischen Zeiteffizienz kennzahlen im Jahr 2023 zwischen 0,59 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo und 1,24 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen. Die spezifische Zeiteffizienz kennzahl der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Simulationsjahr 2023 besteht mit 0,30 s/kg bzw. 50,85 % aus der Komponente Milcherfassung und mit 0,29 s/kg bzw. 49,15 % aus der Komponente Milchtransport. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten im Simulationsjahr 2023 differieren die spezifischen Zeiteffizienz kennzahlen von 0,85 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger gebrochen und 1,24 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser mit Dreiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen.

Aus dem Vergleich zwischen der Verfahrensvariante unter den prognostizierten Strukturen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern mit der höchsten spezifischen Zeiteffizienz kennzahl und der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Zeiteffizienz kennzahl resultiert eine zeitliche Differenz von 0,63 s/kg Milch. Damit können basierend auf der prognostizierten Milchmenge der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2023 pro Abholintervall 85,35 h eingespart werden, das einem Einsparpotential von 15.577,11 h pro Jahr durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit der niedrigsten Zeiteffizienz kennzahl im Vergleich zur Verfahrensvariante mit der höchsten Zeitbedarfskennzahl entspricht.

Im Vergleich zwischen den jeweiligen verfahrensartspezifischen Zeiteffizienz kennzahlen zwischen den Jahren 2017 und 2023 werden bei zehn der betrachteten elf Verfahrensvarianten die Zeiteffizienz kennzahlen um bis zu 0,10 s/kg Milch bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen reduziert (Anhang 48). Die Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo weist eine Steigerung der Zeiteffizienz kennzahl in Höhe von 0,08 s/kg Milch auf.

6 Diskussion

In diesem Kapitel erfolgt die Bewertung der analysierten Ergebnisse hinsichtlich der Milchmengenprognose und Milchlogistik. Zunächst werden die milcheinzugsgebietspezifischen Ergebnisse untereinander verglichen, bevor ein Vergleich mit bisherigen Veröffentlichungen hinsichtlich Genauigkeit und eine Bewertung der operativen Einsatztauglichkeit des entwickelten Managementtools erfolgt.

6.1 Milchmengenprognose

6.1.1 Vergleich der erhobenen milcheinzugsgebietspezifischen Milchmengenprognosen

Wie aus den Ergebnissen der regionalen Milchmengenprognose hervorgeht, unterscheiden sich die betrachteten Milcheinzugsgebiete nicht nur in Größe und der gegenwärtigen Struktur, sondern auch hinsichtlich der jährlich langfristig anvisierten Milchlieferungsmenge bis zum Jahr 2023 sowie der zukünftigen Struktur. Darüber hinaus liegen die betrachteten Milcheinzugsgebiete in unterschiedlichen Regionen mit verschiedenen vorherrschenden Standortfaktoren. Deshalb zeigt nachfolgende Abbildung 49 die anvisierte relative Milchmengenentwicklung während des Simulationszeitraumes. Die durchschnittlich jährlichen relativen Veränderungen sind in der Legende dargestellt. Neben den milcheinzugsgebietspezifischen Veränderungen findet sich in nachfolgender Abbildung die durchschnittliche Veränderung über die kumulierten Milcheinzugsgebiete.

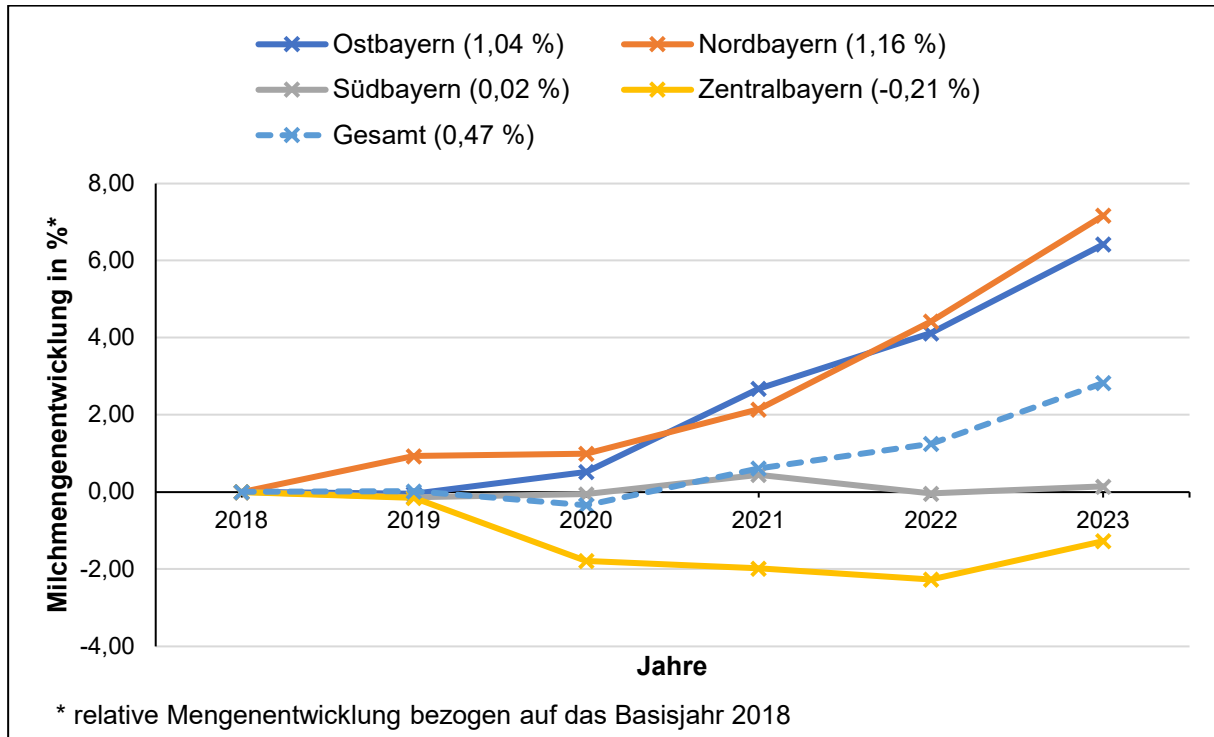


Abbildung 49: Vergleich der langfristigen Milchmengenentwicklung der betrachteten Milcheinzugsgebiete im Vergleich zur gesamt prognostizierten Milchmenge (Hinweis zur Legende: Angabe der durchschnittlich jährlichen Veränderung in Klammern hinter den betrachteten Milcheinzugsgebieten)

Im Vergleich zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten wird basierend auf der Milchmengenumfrage 2018 bei den betrachteten Milcheinzugsgebieten auf Milcherzeugerebene in den Regionen Ostbayern und Nordbayern eine höhere Steigerung der Milchanlieferung als die kumulierte gesamte durchschnittliche Steigerung von 0,47 %/Jahr zwischen den gesamten Milcheinzugsgebieten prognostiziert. Hingegen wird bei den Milcheinzugsgebieten Südbayern nur ein geringes Wachstum erwartet, während im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern ein leichter Rückgang der Milcherzeugung bis zum Jahr 2023 im Vergleich zur abgelieferten Milchmenge im Jahr 2023 vorhergesagt wird. Gleichzeitig wird über die gesamten Milcheinzugsgebiete basierend auf der empirischen Milchmengenumfrage 2018 über alle betrachteten Milcheinzugsgebiete ein jährlicher Rückgang der Milcherzeuger von 3,02 % pro Jahr und eine durchschnittlich jährliche Milchmengensteigerung von 3,98 % pro Milcherzeuger und Jahr erwartet.

Die positive Entwicklung der Milchmenge im Milcheinzugsgebiet Ostbayern konnte bereits von SCHMID (2015) im Rahmen einer Analyse der regionalen Milchmengenentwicklung in Bayern auf Landkreisebene identifiziert werden. Wie bereits im Kapitel 4.1 aufgezeigt, liegen in der gegenwärtigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Nordbayern die größten strukturellen Unterschiede zwischen Milcherzeugern mit einer niedrigen Jahresmilchmenge und Milcherzeugern mit einer hohen Jahresmilchmenge vor. In diesem Milcheinzugsgebiet

wird der größte relative Strukturwandel in Höhe von durchschnittlich 4,99 % pro Jahr prognostiziert. Darüber hinaus wird in diesem Milcheinzugsgebiet im Vergleich zu den anderen Milcheinzugsgebieten die höchste Milchmengensteigerung in Höhe von 6,47 % während des sechsjährigen Betrachtungszeitraumes und damit 1,16 % pro Jahr erwartet. Zu dieser größten prognostizierten Milchmengenanlieferung tragen die hohen Wachstumsraten der großen Milcherzeuger bei. Dies spiegelt auch die im Jahr 2023 durchschnittliche Milchmengenablieferung von 446.093 kg pro Milcherzeuger wieder.

Die Stagnation der prognostizierten Milchablieferung der Milcherzeuger des Milcheinzugsgebietes Südbayern kann durch die kleine gegenwärtige Struktur der Milcherzeuger mit einer durchschnittlichen Milchablieferungsmenge von 189.222 kg pro Milcherzeuger begründet werden. Demnach ist kleinen Milcherzeugern mit großem Investitionsstau das finanzielle Risiko für Betriebsentwicklungen zu groß, wonach oftmals der Betriebszweig Milchviehhaltung beendet wird. Wie die empirische Milchmengenumfrage des Milcheinzugsgebietes Südbayern ergab, kann jedoch der Wegfall der Milchmenge der Aufgabebetriebe gerade durch die Milchmengensteigerung der Wachstumsbetriebe kompensiert werden.

Zum Rückgang der Milchmenge im zentral gelegenen Milcheinzugsgebiet Zentralbayern zwischen den Ballungsräumen Augsburg und München gelegen können die guten alternativen Einkommensmöglichkeiten der Milcherzeuger beitragen. Darüber hinaus begünstigen die ertragreichen Böden in der Region Zentralbayern den Anbau von Marktfrüchten und Sonderkulturen, wonach sich die Flächenkosten in dieser Region erhöhen. Diese im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern vorherrschenden restriktiven Standortfaktoren bestätigen ebenfalls die unter den analysierten Milcheinzugsgebieten geringste Veränderung der einzelbetrieblichen Milchmenge von 2,88 %/Milcherzeuger und Jahr.

Unter den analysierten Milcheinzugsgebieten liegt lediglich im Milcheinzugsgebiet Südbayern eine geringere abgelieferte im Vergleich zur prognostizierten Milchmenge in Höhe von 1,45 % vor. Die höchste Überschreitung der im Jahr 2017 abgelieferten im Vergleich zur prognostizierten Milchmenge resultiert im Milcheinzugsgebiet Ostbayern von 2,09 %. Die genaueste Übereinstimmung zwischen abgelieferter Milchmenge ergibt sich im Milcheinzugsgebiet Nordbayern von 1,18 %. Da die prognostizierte Gesamtmilchmenge für das Milcheinzugsgebiet die Ausgangsgröße für die mittelfristige Milchmengenprognose darstellt, werden in nachfolgender Abbildung 50 die analysierten milcheinzugsgebietspezifischen MAPE der betrachteten Milcheinzugsgebiete, sowie den MAPE auf kumulierter Molkereiebene dargestellt.

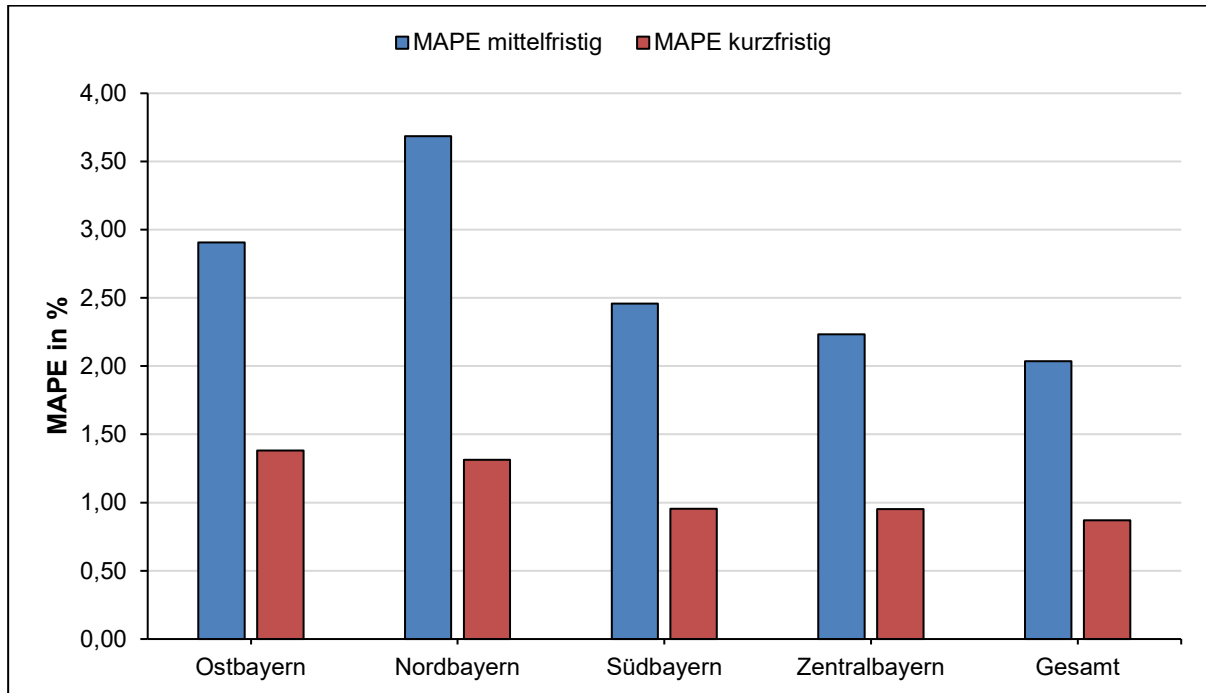


Abbildung 50: Vergleich des MAPE zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten und der kumulierten Ebene

Die in Abbildung 50 dargestellten MAPE-Werte der mittelfristigen Milchmengenprognose liegen im Bereich von 2,04 % auf kumulierter Molkereiebene und 3,69 % im Milcheinzugsgebiet Nordbayern. Dabei wird der höchste MAPE bei der kumulierten Molkereiebene erzielt, weil die Volatilität der angelieferten Milchmengen, möglicherweise hervorgerufen durch Tourverschiebungen kompensiert wird. Dagegen wird der hohe MAPE des Milcheinzugsgebietes Nordbayern durch die hohe Volatilität der abgelieferten Milchmenge auf Abholintervallebene begründet, wie aus Abbildung 30 ersichtlich wird. Diese hohe Volatilität der abgelieferten Milchmenge auf Abholintervallebene des weitest entfernten Milcheinzugsgebietes Nordbayern basiert auf Tourverschiebungen zwischen den Abholintervallen, die neben der Saisonalität von exogenen Einflussfaktoren begründet wird. Zwar wird die Volatilität der Milchablieferung durch die Berücksichtigung der historischen Milchmengen der Jahre 2015 und 2016 reduziert, jedoch verzerrt die Volatilität der abgelieferten Milchmenge zwischen den einzelnen Abholintervallen die Genauigkeit. Hervorgerufen wird diese hohe Variabilität der Milchmenge zwischen aufeinanderfolgenden Abholintervallen durch Tourverschiebungen, da die Datenbasis zur Einteilung der Milchmenge auf Abholintervallebene auf der Uhrzeit fußt. Dies ermöglicht beispielsweise die Verzerrungsquelle, dass ein Milcherzeuger, dessen Milch normalerweise im Abholintervall eins erfasst wird, dessen Milch aus Abholintervall eins in Abholintervall zwei erfasst wird. Wird die erfasste Milch in Abholintervall zwei wieder „normal“ erfasst, resultiert im Abholintervall zwei eine höhere Milchmenge als im Abholintervall eins. Demnach können die abgelieferten Milchmengendaten aufgrund exogener Einflussfaktoren, wie

beispielsweise die Verkehrslage verzerrt werden. Mit Steigerung der Entfernung des Milcheinzugsgebietes zur Molkerei nimmt deshalb aufgrund der schwierig kalkulierbaren Verkehrslage das Risiko von Verschiebungen zwischen den Abholintervallen zu. Somit sind zur genaueren Rekonstruktion der mittelfristigen Milchmenge homogene Datensätze auf Abholintervallebene erforderlich.

Neben der Homogenisierung können im entwickelten univariaten mittelfristigen Milchmengenmanagementtool keine betriebswirtschaftlichen Einflussfaktoren involviert werden. So unterschreitet beispielsweise bei der mittelfristigen Prognose der Milchmenge bei den betrachteten Milcheinzugsgebieten Ostbayern, Nordbayern und Zentralbayern ab Abholintervall 120 die rekonstruierte Milchmenge die angelieferte Milchmenge. Dazu kann möglicherweise die positive Milchmarktsituation im Jahr 2017 beitragen. Jedoch zeigen THIELE *ET AL.* (2018, S. 45); MIßFELDT UND THOMSON (2017, S. 197), dass Milcherzeuger auf Milchauszahlungspreisen oftmals sehr unelastisch reagieren, wonach die Integration der exogenen Variable „Ökonomie der Milcherzeugung“ nur bedingt möglich ist, da sich die Milcherzeuger hinsichtlich der Reaktion auf die Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung unterscheiden. Ferner ist es schwierig, neben der Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung das Wetter und somit die klimatischen Auswirkungen auf die Milchkuh einzuschätzen.

Der genauere MAPE der mittelfristigen Milchmengenprognose auf Molkereiebene in Höhe von 2,04 % (Abbildung 50) wird durch die geringere Volatilität aufgrund des systematischen Ausgleichens der Milchmenge auf Abholintervallebene begründet. Dies ist möglich, weil systematische Milchmengenschwankungen hervorgerufen durch Tourverschiebungen in den einzelnen Milcheinzugsgebieten auf Gesamtebene kompensiert werden.

Da bei der kurzfristigen Milchmengenprognose ein kürzerer Zeitraum zwischen der Prognose und dem Eintritt der Milchanlieferung vorliegt, werden höhere Genauigkeiten im Vergleich zur mittelfristigen Milchmengenprognose erreicht (Abbildung 50). Dabei liegt der MAPE im Simulationsjahr 2017 zwischen 0,87 % bei der kumulierten Molkereiebene und 1,38 % im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern. Ähnlich wie bei der Genauigkeitsbewertung der mittelfristigen Milchmengenprognose tragen die Tourverschiebungen zwischen Abholintervallen zur Reduzierung der Genauigkeit der kurzfristigen Milchmengenprognose bei. Durch die kumulierte Betrachtung auf Molkereiebene werden, die durch Tourverschiebungen auf Milcheinzugsgebietsebene hervorgerufenen Milchmengenschwankungen kompensiert, wonach die höchste Genauigkeit der Molkereiebene erreicht wird.

6.1.2 Entwickelte Milchmengenprognosemethoden zum operativen Einsatz in milchverarbeitenden Unternehmen

Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren auf die individuellen Milcherzeuger wird in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung der langfristigen Milchmenge mittels einer empirischen nicht anonym praktizierten Umfrage durchgeführt. Dabei konnte im Validierungsjahr 2017 über alle Milcheinzugsgebiete hinweg eine sehr hohe Genauigkeit erzielt werden. Da sich jedoch die Rahmenbedingungen zur Milcherzeugung und damit die Prognosen auf die individuelle Milcherzeugung laufend ändern, ist eine jährliche Durchführung der Milchmengenumfrage zum Update der einzelbetrieblich langfristig anvisierten Milchanlieferungsmengen erforderlich. In dieser sollen die Milchmengen dynamisch für das aktuelle und die folgenden fünf Jahre prognostiziert werden. Die hohe Genauigkeit des langfristigen Milchmengenprognoseergebnisses ist auf die hohe Rücklaufquote von über 90 % auf kumulierter Molkereiebene bei der empirischen Umfrage 2017 und 2018 zurückzuführen. Diese hohe Rücklaufquote konnte jedoch nur erzielt werden, da die Umfrage nicht anonym durchgeführt wurde, wonach während der Umfrage gezielt die Milcherzeuger angeschrieben werden konnten, die an der Umfrage noch nicht teilgenommen haben. Da jedoch dieses mehrmalige Nachfragen mit einem hohen Arbeitsaufwand bei der Befragung verbunden ist, sollen die Vertragslandwirte einer Molkerei beispielsweise mittels Novellierung der Milchkaufverträge zur „Obligatorischen Teilnahme“ an der jährlich stattfindenden empirischen Milchmengenumfrage verpflichtet werden. Neben der verbesserten strategischen Unternehmensausrichtung trägt die Kenntnis der langfristigen Milchmenge auf Milcherzeugerebene zur zukünftigen Milchlogistiksimulation bei.

Da meist nicht alle Milcherzeuger einer Region von einer Molkerei unter Vertrag stehen, ist zur Prognose der langfristigen Milchmenge die „Milcherzeugerebene“ genauer als eine „regionale Ebene“, wonach die Notwendigkeit zur Durchführung der Milchmengenumfrage auf Milcherzeugerebene verdeutlicht wird. Diese Notwendigkeit stellt sich vor allem im Milcheinzugsgebiet Nordbayern heraus. In einer Auswertung zur regionalen Milchmengenentwicklung in Bayern analysierte SCHMID (2015) einen starken Rückgang der Milcherzeugung in nordöstlich gelegenen Landkreisen in Bayern im Analysezeitraum von 2005 bis zum Jahr 2012. Damit steht dieses regionale Milchmengenentwicklungsergebnis nicht im Einklang mit der basierend auf einzelnen Vertragsmilcherzeugern erhobenen Milchmengenprognose. Dieses unterschiedliche Prognoseergebnis ist nicht nur auf die unterschiedlichen Simulationszeiträume zurückzuführen, sondern auch auf die Gegebenheit, dass nicht alle Milcherzeuger einer regionalen Ebene, wie beispielsweise Landkreise, Vertragslandwirte einer Molkerei sind.

Das im Rahmen der Arbeit analysierte mittelfristige Milchmengenprognosemodell basiert auf rein historischen Milchmengendaten und einer prognostizierten Milchmenge pro Milcheinzugsgebiet. Damit handelt es sich hinsichtlich der historischen Milchmengen um ein univariates Milchmengenprognosemodell, das über 183 zukünftige Abholintervalle auf Abholintervallebene die zukünftigen Milchmengen prognostiziert. Das entwickelte Modell der kurzfristigen Milchmengenprognose fußt rein auf historischen Milchmengen. Dabei ist eine Prognose der Milchmenge um einen Abholintervall in der Zukunft möglich. Dieses ermöglicht eine kurzfristige Milchmengenprognose für bis zu 48 h in der Zukunft, die der Milchlogistikplanung hinsichtlich der Transportkapazitäten dient. Darüber hinaus wird durch die kurzfristige Milchmengenprognose die Produktionsplanung einer Molkerei erleichtert. In weiteren Untersuchungen zur Umsetzung der entwickelten Milchmengenprognosemodelle ist jedoch die Kombination des mittelfristigen mit dem kurzfristigen Milchmengenprognosemodell erforderlich. Diese Kombination trägt zu einer höheren Genauigkeit bei, die zu einer effizienten Produktionsplanung führt.

Wie bereits im vorherigen Kapitel eruiert wurde, basieren die zur mittel- und kurzfristigen Milchmengenprognose zu Grunde gelegten Milchmengen der betrachteten Milcherzeuger auf Abholintervallebene. Da jedoch das Datum der angenommenen Milchmenge aus Gründen des Milchtransportes oftmals nicht dem Datum der in der Molkerei angelieferten Milchmenge entspricht, können hierbei entsprechende Abweichungen entstehen. Jedoch wurde in der vorliegenden Arbeit aus Gründen der verfügbaren Daten auf die Milchmengen bei der Milchannahme zurückgegriffen. In der praktischen Umsetzung des kurz- und mittelfristigen Milchmengenprognosemodells zur Produktionsplanung soll der Zeitpunkt der Milchentladung in der Molkerei verwendet werden.

6.1.3 Vergleich der analysierten Milchmengenprognoseergebnisse mit ausgewählten Veröffentlichungen

Im Vergleich zu dem von der europäischen Kommission prognostizierten Wachstum der Kuhmilcherzeugung in Europa von 0,9 Prozent pro Jahr liegt die kumulierte analysierte Milchmengensteigerung von 0,43 Prozent pro Jahr der betrachteten Milcheinzugsgebiete während des Simulationszeitraumes unter der von der europäischen Kommission erwarteten Milchmengensteigerung. Diese Differenz kann dadurch begründet werden, dass die im Rahmen dieser Arbeit analysierten Milcheinzugsgebiete in Süddeutschland liegen, in deren Region aufgrund der vorherrschenden Standortfaktoren große Konkurrenz zu alternativen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren zur Milcherzeugung besteht. Darüber hinaus bieten außerlandwirtschaftliche Berufe in den betrachteten Einzugsgebieten sehr gute alternative Einkommensquellen. Weiterhin kann der

Unterschied in der Prognose im unterschiedlichen Prognoseverfahren liegen Die Hauptwachstumsregionen der Milcherzeugung in Europa werden hauptsächlich an den Küstenstandorten mit maritimem Klima und einem hohen Dauergrünlandflächenanteil erwartet (EUROPEAN COMMISSION 2018a). Diese unterschiedlichen Standortfaktoren auf die Milcherzeugung in den analysierten Milcheinzugsgebieten der betrachteten Molkerei konnten in der Analyse identifiziert werden. So wird sich die Milcherzeugung sowohl in Bayern als auch in Europa auf Standorte konzentrieren, an denen sich die Milch am wettbewerbsfähigsten erzeugen lässt. Diese Standorte sind mit einem hohen Dauergrünlandflächenanteil und geringen alternativen Einkommensmöglichkeiten charakterisiert (SCHMID 2015). Die Prognose des IFCN mit einer Steigerung der Weltmilcherzeugung bis zum Jahr 2030 in Höhe von 2,3 % pro Jahr liegt ebenfalls über der analysierten prognostizierten Milchlieferung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung. Ursächlich hierfür ist, dass die Hauptwachstumsländer Südasien Wachstumsquoten von 5 bis 6 % pro Jahr für die gesamte Kuh-, Schaf-, Büffel- und Ziegenmilch aufweisen (IFCN 2018). Damit resultiert die prognostizierte Milchmengensteigerung der kumulierten Milcheinzugsgebiete langfristig sowohl unter der auf internationaler Ebene als auch unter auf europäischer Ebene prognostizierten Milchmengensteigerung.

Jedoch stellt der von Wyrzykowski *ET AL.* (2018) prognostizierte internationale Strukturwandel in der Milcherzeugung von einem Prozent einen geringeren analysierten prognostizierten Strukturwandel von 3,02 Prozent pro Jahr dar. Der geringe wirtschaftliche Fortschritt in Entwicklungsländern begründet den niedrigeren Strukturwandel im Vergleich zu den analysierten Milcheinzugsgebieten im Rahmen der Untersuchung in Höhe von 4,99 Prozent pro Jahr.

Neben der geringeren analysierten Milchmengensteigerung im internationalen Vergleich weist die Präzision in Höhe von 1,38 % der summiert mittelfristig prognostizierten Milchmenge eine höhere Genauigkeit als die von THIELE *ET AL.* (2018) analysierte Genauigkeit auf. Dabei wurde durch eine empirische Umfrage bei Molkereiunternehmen eine Abweichung von 3,1 % bei der Prognose der Milchmenge von zwölf Monaten im Voraus identifiziert. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführte Untersuchung liefert eine höhere Genauigkeit, da die langfristige Milchmengenprognose auf Milcherzeugerebene durchgeführt wurde, die mit einer sehr hohen Rücklaufquote von 89 % über die gesamten Milcheinzugsgebiete geschlossen wurde. Demgegenüber steht die von THIELE *ET AL.* (2018) analysierte geringe Beteiligung zwischen 24,2 % und 31,0 % der Milcherzeuger bei der Befragung zur Prognose der Milchmenge. Diese Rücklaufquote entspricht auch der von WOLTER *ET AL.* (2010) erzielten Rücklaufquote bei der Prognose der Milchmenge für die Molkerei Frischli. Darüber hinaus wird die hohe Genauigkeit der

langfristigen Milchmengenprognose durch die nicht anonyme Durchführung der Befragung begründet. Diese Systematik erlaubt das gezielte Nachfassen bei Milcherzeuger, die noch keinen Umfragebogen zurückgesendet haben. Darüber hinaus wird mit der „nicht anonymen Befragungssystematik“ die Wichtigkeit zur Teilnahme der Umfrage erhöht. Gleichzeitig erreicht der schlichte Umfragebogen mit der tabellarischen Eintragung eine höhere Akzeptanz zur Teilnahme, als die von WOLTER *ET AL.* (2010) durchgeführte Analyse von vorherrschenden Standortfaktoren zur Milcherzeugung des befragten Milcherzeugers. Weiter ist zur dynamischen Simulation der zukünftigen Milchlogistik die Prognose der Milchmenge auf Milcherzeugerebene erforderlich.

Der Vergleich zwischen dem RMSE der auf Molkereiebene durchgeführten mittelfristigen und kurzfristigen Milchmengenprognose zeigt, dass mit der Abnahme des Prognosezeitraumes die Genauigkeit der prognostizierten Milchmenge im Vergleich zur angelieferten Milchmenge zunimmt. Die Berücksichtigung der historischen Milchmengen im kurzfristigen Prognosezeitraum begründet den geringeren MAPE von 0,87 % bei der erhobenen kurzfristigen Milchmengenprognose im Vergleich zum analysierten MAPE von 2,04 % bei der mittelfristigen Milchmengenprognose.

Der von MURPHY *ET AL.* (2014) analysierte MAPE der 305-Tagesmilchmengenprognose für eine Milchviehherde im Bereich von 8,59 % und 12,03 % weist eine höhere Ungenauigkeit als die mittelfristig quantifizierte Milchmengenprognose mit einem MAPE in Höhe von 2,04 % auf. Diese höhere im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erreichte Genauigkeit der prognostizierten im Vergleich zur angelieferten Milchmenge wird durch die Rekonstruktion der prognostizierten Milchmenge auf Abholintervalle über das gesamte Einzugsgebiet erzielt. Dabei werden die erzeugerspezifischen Milchmengenvolatilitäten durch die Verwendung der milcheinzugsgebietspezifischen saisonalen Figur von den vorherigen zwei Jahren kompensiert. Die von ZHANG *ET AL.* (2016) analysierte Genauigkeit der mittelfristigen Milchanlieferung mittels eines Kurvenanpassungsmodelles mit einem MAPE von 8,40 % unterliegt ebenfalls der im Rahmen der Untersuchung erhobenen Genauigkeit der mittelfristigen Milchmengenprognose.

Neben den hohen Genauigkeiten des analysierten mittelfristigen Milchmengenprognosetools liefert das kurzfristige Milchmengenprognosemodell mit einem MAPE von 0,87 % auf kumulierter Gesamtebene eine höhere Präzision auf, als der von MURPHY *ET AL.* (2014) erhobenen MAPE. Dieser liegt im Bereich von 5,84 % und 10,70 %. Darüber hinaus werden auch die Genauigkeiten von 7,10 % der kurzfristigen Milchmengenprognose auf Herdenebene von ZHANG *ET AL.* (2016) übertroffen. ZHANG *ET AL.*

(2016) legen jedoch bei der kurzfristigen Milchmengenprognose einen Zeithorizont von zehn Tagen zu Grunde.

6.2 Interpretation der analysierten Logistikkennzahlen innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete unter dem prognostizierten Strukturwandel

Die erhobenen Logistikkennzahlen zeigen nicht nur unterschiedliche Werte zwischen den analysierten Verfahrensvarianten, sondern auch zwischen den betrachteten Milcheinzugsgebieten. Die zunehmende ökonomische Vorzüglichkeit der gebrochenen Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen wird in der gegenwärtigen Struktur im Milcheinzugsgebiet Ostbayern durch die hohe Entfernung von ca. 230 km zur Molkerei begründet. Bei dieser Simulation liegen die Vollkosten dieser gebrochenen Verfahrensvariante unter den Vollkosten der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo, weil durch den Transport der Rohmilch mit dem nutzlastoptimierten Milchtransportauflieger die Anzahl an Milchtransporttouren um eine Fahrt im Vergleich zur Verfahrensvariante Sammelaufleger solo während eines Abholintervalls reduziert werden kann. Die höchste Anzahl an Milchsammeltouren und Transportfahrten und damit auch gesamt zurückgelegter Strecke mit dem Sammelwagen begründen die höchsten Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik unter den simulierten Verfahrensvarianten bei Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Ostbayern. Da der Zweiachser LKW bei der gebrochenen Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger gebrochen aufgrund der niedrigen Nutzlast eine hohe Anzahl an Sammeltouren erfordert und höhere Milchtransportkosten als das Transportmittel Milchtransportauflieger aufweist, ergibt die Simulation bei dieser Verfahrensvariante die höchsten Vollkosten unter den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik.

Die Abnahme der Anzahl der Hin- und Rückfahrten in das Milcheinzugsgebiet begründet die Abnahme der spezifischen Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeitansprüche der Verfahrensvarianten mit zunehmender Nutzlast in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Ostbayern. Die höheren spezifischen Streckenkosten im Jahr 2023 aufgrund höherer spezifischer Kostensätze im Vergleich zu den simulierten Kostensätzen im Jahr 2017 und die geringere absolute Streckenerhöhung aufgrund der niedrigeren Milcherfassungstrecke der gebrochenen Verfahrensvariante begründen die niedrigsten Vollkosten der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo zwischen den

simulierten Verfahrensvarianten im Jahr 2023. Die Effizienzsteigerung in der Milchlogistik hervorgerufen durch den Strukturwandel begründet die Senkung der spezifischen Treibhausgasemissionen und Zeitbedarfskennzahlen bei den meisten der simulierten Verfahrensvarianten im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 im Milcheinzugsgebiet Ostbayern.

Im Milcheinzugsgebiet Nordbayern stellt sowohl in der gegenwärtigen als auch in der zukünftigen Struktur die Verfahrensvariante Sammelaufleger solo die Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik dar. Die hohe Entfernung des Milcheinzugsgebietes Nordbayern begründet die Abnahme der Vollkosten der Milchlogistik mit Zunahme der Nutzlast der jeweiligen Transportmittel pro Verfahrensvariante. So zeigt beispielsweise die Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo sowohl in der gegenwärtigen als auch in der zukünftigen Struktur die höchsten Vollkosten der Milchlogistik. Aufgrund der Kostensteigerung der spezifischen Streckenkosten weist auch diese Verfahrensvariante die höchste Kostensteigerung des Jahres 2023 im Vergleich zu den spezifischen Vollkosten im Jahr 2017 auf. Trotz der höheren Milchtransportkosten der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo sowohl in der gegenwärtigen, als auch in der zukünftigen Struktur im Vergleich zur kostengünstigsten gebrochenen Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen stellt diese sowohl im Simulationsjahr 2017 als auch im Simulationsjahr 2023 die kostengünstigste Verfahrensvariante da. Dies begründen die um 54,43 % höheren Milcherfassungskosten im Jahr 2017 und 72,99 % im Jahr 2023 der ungebrochenen Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen. Diese Differenz veranschaulicht die hohe gegenwärtige und zukünftige Zwischenerzeugerentfernung verbunden mit einer geringen Milchdichte des Milcheinzugsgebietes Nordbayern.

Dies unterstreicht der hohe prognostizierte Strukturwandel des Milcheinzugsgebietes Nordbayern mit einer durchschnittlichen Betriebsaufgabe von durchschnittlich 4,99 % pro Jahr und einer durchschnittlichen Milchmengensteigerung von 6,47 % pro Milcherzeuger und Jahr während des Betrachtungszeitraumes. Damit zeigt der Milcherfassungsstreckenvergleich der Jahre 2023 und 2017 bei der ungebrochenen Verfahrensvariante Sammelaufleger solo aufgrund des Strukturwandels eine Reduzierung der Milcherfassungstrecke, wonach die Milchdichte im Milcheinzugsgebiet erhöht wird. Diese Effizienzsteigerung in der Milcherfassung bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten veranschaulicht ebenfalls die Abnahme der Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienz-kennzahlen der Komponente Milcherfassung bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Jedoch zeigt die Zunahme der Milcherfassungstrecke der gebrochenen

Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen im Simulationsjahr 2023 im Vergleich zum Simulationsjahr 2017, dass gerade Milcherzeuger in Randgebieten des Milcheinzugsgebietes Nordbayern ihre Milcherzeugung ausweiten, wonach sich eine Zunahme der Erfassungstrecke ergibt.

Im Milcheinzugsgebiet Südbayern weist die Verfahrensvariante Sammelaufleger solo sowohl in der gegenwärtigen als auch in der zukünftigen Struktur die niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik auf. Diese geringen Kosten der ungebrochenen Verfahrensvariante Sammelaufleger solo sind durch die geringste zurückgelegte Strecke zwischen den betrachteten Verfahrensvarianten begründet. Dabei können durch den prognostizierten Strukturwandel, die Reduzierung der Milcherfassungskosten von 0,04 ct/kg im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 durch den Rückgang der Milcherzeuger und Steigerung der einzelbetrieblichen Milchmenge während des Simulationszeitraumes begründet werden. Diese Effizienzsteigerung in der Milcherfassung zeigen auch die geringere Treibhausgasemission und die geringere Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Die weite Milcherfassungstrecke der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten unter den gebrochenen Verfahrensvarianten Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen erklärt die höheren Vollkosten der Milchlogistik im Vergleich zur ungebrochenen Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017 und im Jahr 2023. Die höheren verfahrensartspezifischen Vollkosten der Milchlogistik bei allen betrachteten Verfahrensvarianten des Milcheinzugsgebietes Südbayern im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 basieren auf den höheren spezifischen Streckenkosten im Jahr 2023.

Da das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern nur 27 km von der Molkerei entfernt liegt, ist im Vergleich zu den bereits diskutierten Milcheinzugsgebieten die ökonomische, ökologische und zeitliche Differenz zwischen den analysierten Verfahrensvarianten sowohl innerhalb des Simulationsjahres 2017, als auch im direkten Vergleich zum Simulationsjahr 2023 geringer. Dabei nimmt bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik mit Zunahme der Nutzlast die zurückgelegte Strecke innerhalb der Simulationsjahres ab, so dass bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik mit höheren Nutzlasten geringere Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik resultieren. Darüber hinaus weisen die Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und die Verfahrensvariante Zweiachser LKW mit Dreiachsanhänger und Milchtransportauflieger gebrochen unter den gebrochenen Verfahrensvarianten aufgrund der höchsten Milcherfassungstrecke die höchsten spezifischen Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen auf. Die höchsten Vollkosten der Milchlogistik der

ungebrochenen Verfahrensvarianten können ebenfalls im Simulationsjahr 2023 identifiziert werden. Aufgrund der schlechteren Auslastung der Transportmittel hinsichtlich Nutzlast der gebrochenen Verfahrensvarianten kombiniert mit dem Milchtransportaufleger im Simulationsjahr 2023 im Vergleich zum Simulationsjahr 2017 liegen die spezifischen Treibhausgasemissionen dieser Verfahrensvarianten jeweils im Jahr 2023 über den spezifischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2017. Jedoch ergibt das entwickelte Simulationsmodell bei allen betrachteten gebrochenen Verfahrensvarianten eine Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen der Komponente Milcherfassung. Diese Reduktion wird durch den verfahrensartspezifischen Rückgang der Milcherfassungstrecke begründet, da von den Milcherzeugern des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern ein Rückgang der Milcherzeuger von 3,01 Prozent pro Jahr und der einzelbetrieblichen Milchmengensteigerung von 2,88 Prozent pro Milcherzeuger prognostiziert wird. Die bei der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo analysierten höheren spezifischen Treibhausgasemissionen resultieren aus der höheren Milcherfassungstrecke im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017, die möglicherweise auf einer ineffizienten Tourenplanung des verwendeten Streckensimulationsmodelles basiert. Eine Diskussion des verwendeten Modelles erfolgt in Kapitel 6.3.2. Die höhere Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensvariante Zweiachser LKW solo im Simulationsjahr 2023 wird ebenfalls durch die höhere Milcherfassungstrecke im Jahr 2023 hervorgerufen.

6.3 Milchlogistik

Zunächst werden die kostengünstigsten Verfahrensvarianten zwischen den Milcheinzugsgebieten und das entwickelte dynamische Milchlogistiksimulationsmodell mit ausgewählten Veröffentlichungen verglichen, bevor das Milchlogistiksimulationsmodell abschließend vor dem Hintergrund des praktischen Einsatzes in milchverarbeitenden Unternehmen diskutiert wird.

6.3.1 Vergleich der optimalen Verfahrensvarianten zwischen den Milcheinzugsgebieten

In der vorliegenden Arbeit wird ein dynamisches Milchlogistiksimulationsmodell entwickelt und evaluiert, in dem die prognostizierten Milchmengen auf Milcherzeugerebene integriert werden können. Dieses Simulationsmodell ermöglicht die Erhebung der spezifischen Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen jeweils für elf verschiedene Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Dabei resultiert aus Sicht einer Molkerei das Ziel, Verfahrensvarianten, primär mit niedrigen spezifischen Vollkosten und sekundär, mit niedrigen spezifischen Treibhausgasemissionen einzusetzen. Da tendenziell

Verfahrensvarianten mit niedrigen spezifischen Vollkosten innerhalb eines Milcheinzugsgebietes niedrige Treibhausgasemissionen aufweisen, fußt die nachfolgende Diskussion und Empfehlung auf den praktischen Einsatz ausgewählter Verfahrensvarianten. Dabei werden pro Milcheinzugsgebiet jeweils eine gebrochene und eine ungebrochene Verfahrensvariante mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik pro Simulationsjahr ausgewählt, sowohl in der gegenwärtigen als auch in der zukünftigen Struktur im Jahr 2023. Nachfolgende Abbildung 51 veranschaulicht den verfahrensartspezifischen Kosten- und Treibhausgasemissionsverlauf zwischen den betrachteten Verfahrensvarianten am Beispiel des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017.

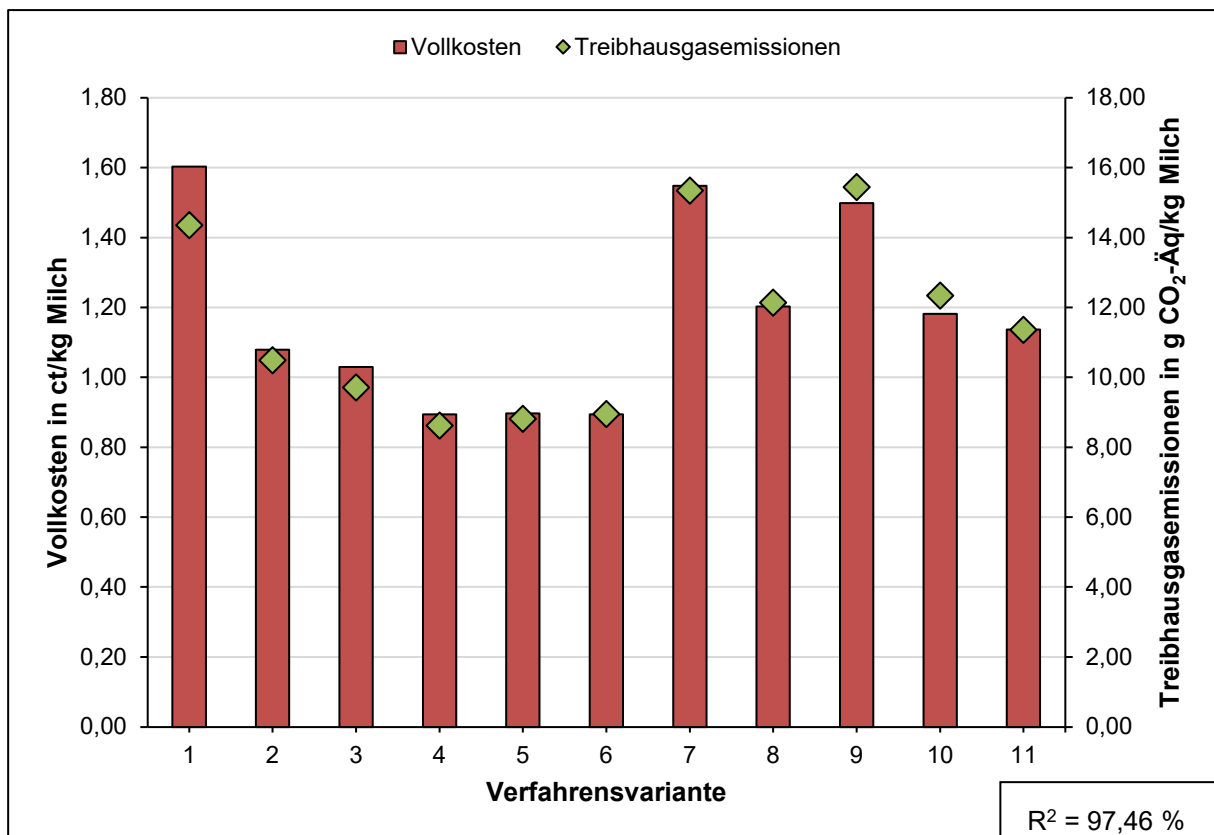


Abbildung 51: Verfahrensartabhängige Vollkosten und Treibhausgasemissionen des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017

Die in Abbildung 51 dargestellten spezifischen verfahrensartspezifischen Vollkosten und Treibhausgasemissionen weisen eine hohe Korrelation von 97,46 % auf. Diese begründet die nachfolgende Diskussion hinsichtlich der Fokussierung auf die ökonomische Komponente. Da gegenwärtig nicht alle Milcherzeugerbetriebe aus innerbetrieblich-logistischen Gründen mit einem Anhänger oder Transportauflieger befahren werden können, erfolgt die Diskussion des gegenwärtigen und zukünftigen Einsatzes jeweils für eine ungebrochene und eine gebrochene Verfahrensvariante der Milchlogistik. Hierfür stellt nachfolgende Abbildung 52 jeweils die kostengünstigste gebrochene und ungebrochene Verfahrensvariante dar. Diese zweiseitige Auflistung pro Milcheinzugsgebiet ist dadurch

begründet, da nicht jeder Milcherzeuger innerhalb der betrachteten Milcheinzugsgebiete mit jeder ungebrochenen Verfahrensvariante zur Milchannahme befahren werden kann. Dieser Sachverhalt beschreibt vor allem die Problematik, dass aus innerbetrieblich logistischen Gründen nicht alle Höfe mit ungebrochenen Verfahrensvarianten befahren werden können, die einen Anhänger oder einen Auflieger beinhalten. Eine Diskussion der Befahrbarkeit aus ökonomischer Perspektive der Milcherzeuger mit Anhänger schließt dieses Kapitel. Nachfolgende Abbildung 52 zeigt die Vollkosten der kostengünstigsten ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvarianten für die analysierten Milcheinzugsgebiete im Jahr 2017.

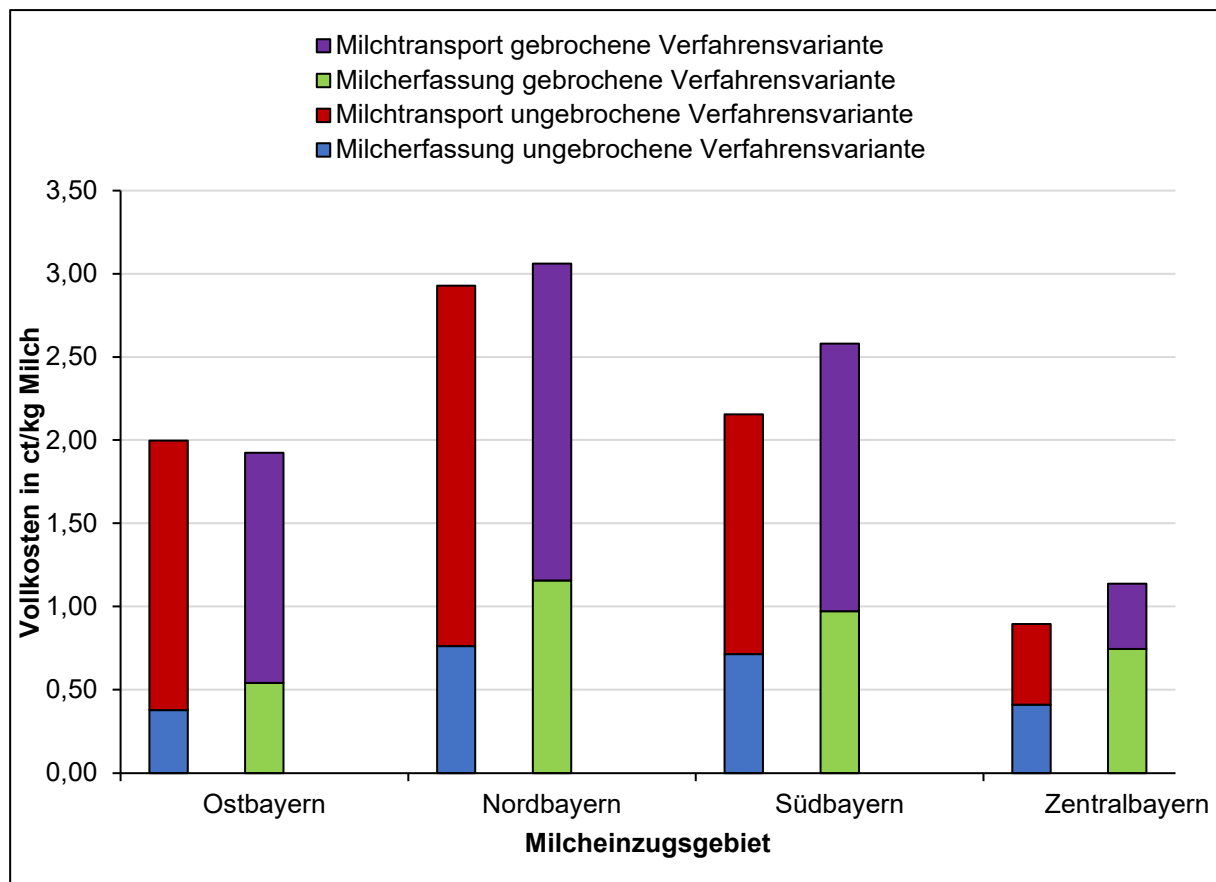


Abbildung 52: Vergleich der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik pro Milcheinzugsgebiet im Jahr 2017

Die Milchdichtefaktoren der in Abbildung 52 dargestellten Verfahrensvarianten beinhaltet Anhang 50. Bei isolierter Betrachtung der kostengünstigsten ungebrochenen Verfahrensvarianten variieren die Vollkosten der Milchlogistik zwischen 0,91 ct/kg Milch im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern und 2,93 ct/kg Milch im Milcheinzugsgebiet Nordbayern. Im Bereich von 1,14 ct/kg Milch im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern und 3,06 ct/kg Milch im Milcheinzugsgebiet Nordbayern liegen die spezifischen Vollkosten der innerhalb der Milcheinzugsgebiete simulierten kostengünstigsten Verfahrensvarianten der gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Mit Ausnahme des Milcheinzugsgebietes Ostbayern,

in dem die Verfahrensvariante Dreiachser LKW und Zweiachsanhänger gebrochen die geringsten Vollkosten aufweist, stellt die Verfahrensvariante Sammelaufleger solo die kostengünstigste Verfahrensvariante zwischen den betrachteten Milcheinzugsgebieten dar. Im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern resultieren in der gegenwärtigen Struktur aufgrund der hohen Milchdichte von 795,16 kg/km bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo und der geringen durchschnittlichen Hin- und Rückfahrtstrecke summiert von 73,79 km die geringsten Vollkosten der Milchlogistik zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten. Das vergleichsweise sehr günstig hinsichtlich Milchdichte strukturierte Milcheinzugsgebiet Ostbayern mit einer Milchdichte in Höhe von 484,53 kg/km bei der Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen weist aufgrund der höheren Transportstrecke von 320,72 km pro Fahrt höhere Vollkosten als das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern auf.

Somit stellt im Vergleich zwischen den betrachteten Milcheinzugsgebieten das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern aufgrund der hohen gegenwärtigen Milchdichte und der Nähe zur Molkerei das Milcheinzugsgebiet mit den niedrigsten Logistikkosten, sowohl bei den gebrochenen als auch bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten dar. Das Milcheinzugsgebiet Nordbayern weist aufgrund der längsten Transportstrecke von 395,83 km pro Fahrt und der geringsten Milchdichte von 302,46 kg/km bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo die höchsten Vollkosten der Milchlogistik zwischen den betrachteten Milcheinzugsgebieten auf. Die Vollkosten der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo des Milcheinzugsgebietes Südbayern liegen zwischen den Vollkosten der kostengünstigsten ungebrochenen Verfahrensvarianten des Milcheinzugsgebietes Ostbayern und Nordbayern.

Die nachfolgende Abbildung 53 zeigt die für die analysierten Milcheinzugsgebiete erhobenen Vollkosten der Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten innerhalb eines Milcheinzugsgebietes unter Berücksichtigung der erzeugerspezifischen Milchmengenprognose für das Jahr 2023. Dabei werden jeweils die Vollkosten der Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvarianten aufgezeigt.

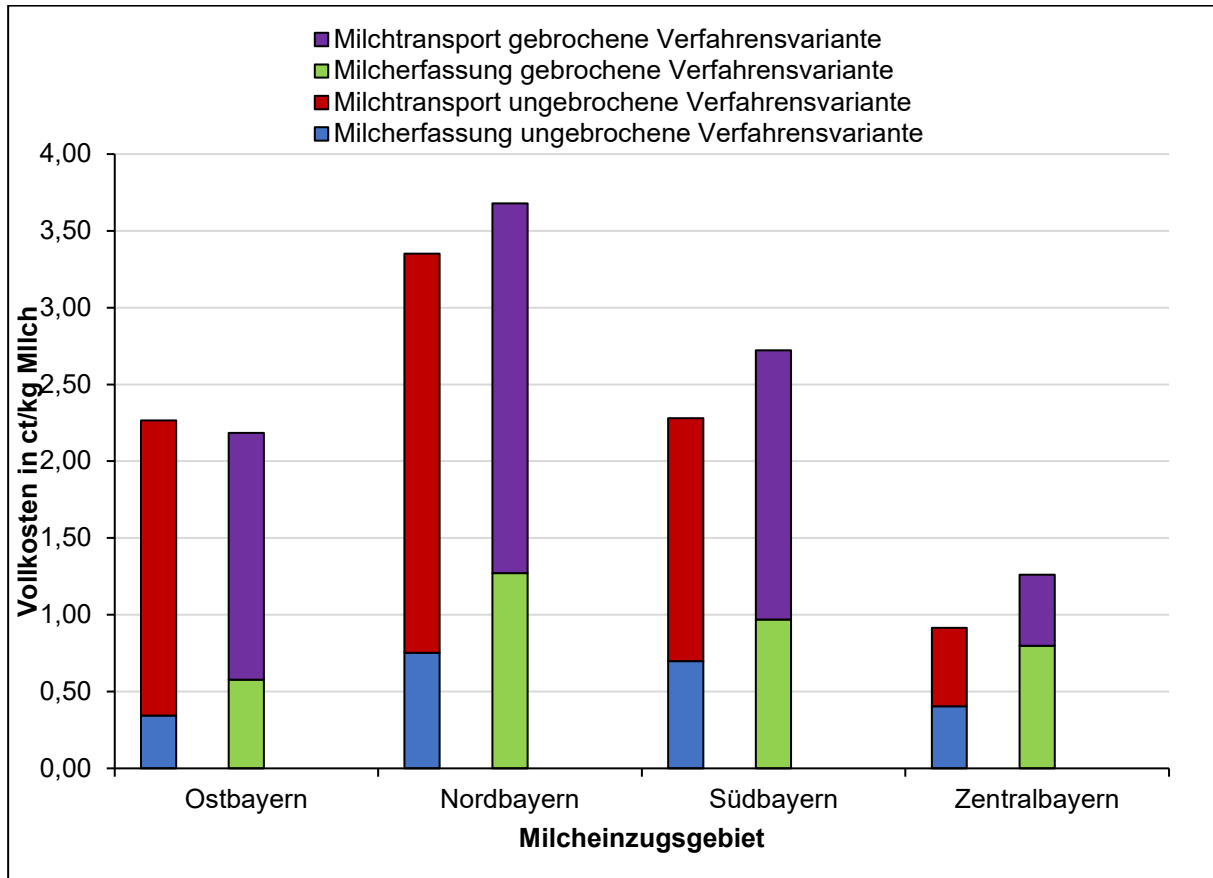


Abbildung 53: Vergleich der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten der Milchlogistik pro Milcheinzugsgebiet im Jahr 2023

Bei den in Abbildung 53 dargestellten spezifischen Vollkosten der Milchlogistik resultiert die Verfahrensvariante Sammelaufleger solo bei den Milcheinzugsgebieten Nordbayern und Südbayern aufgrund der höchsten Nutzlast als die kostengünstigste Verfahrensvariante unter den simulierten ungebrochenen Verfahrensvarianten. Unter den gebrochenen Verfahrensvarianten erweist sich mit Ausnahme des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern für jedes der betrachteten Milcheinzugsgebiete die Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger gebrochen als die günstigste Verfahrensvariante. Im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern ergibt die Simulation für die Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen die kostengünstigste Verfahrensvariante unter den gebrochenen Verfahrensvarianten.

Im Vergleich zwischen den analysierten milcheinzugsgebietspezifischen geringsten Vollkosten der ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvarianten stellt das Milcheinzugsgebiet Ostbayern das einzige Milcheinzugsgebiet dar, in dem die kostengünstigste gebrochene Verfahrensvariante geringere Vollkosten, als die kostengünstigste ungebrochene Verfahrensvariante sowohl in der gegenwärtigen, als auch in der zukünftigen Logistiksimulation aufweist. Die im Milcheinzugsgebiet Ostbayern geringeren Vollkosten der gebrochenen Verfahrensvariante in der gegenwärtigen und

zukünftigen Struktur wird durch die reduzierten Hin- und Rückfahrten begründet. Diese Reduzierung ermöglicht der Einsatz des nutzlastoptimierten Milchtransportauflegers.

Trotz der zunehmenden Milchdichten der betrachteten Milcheinzugsgebiete, verursacht durch den Strukturwandel, resultieren höhere milcheinzugsgebietsspezifische Vollkosten der Milchlogistik aufgrund der steigenden spezifischen Streckenkosten im Simulationsjahr 2023 im Vergleich zu den simulierten Vollkosten im Jahr 2017 (vgl. Kapitel 5.1). Diese nominale Kostensteigerung verursacht basierend auf der Milchlogistiksimulation nicht nur steigende spezifische Vollkosten der Milchlogistik, sondern trägt auch zur Erhöhung der ökonomischen Differenz zwischen der kostengünstigsten Verfahrensvarianten der ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvariante der Milchlogistik bei. Weist die analysierte ungebrochene Verfahrensvariante pro Milcheinzugsgebiet niedrigere Vollkosten als die gebrochene Verfahrensvariante auf, könnte den Milcherzeugern im Milcheinzugsgebiet ein ökonomischer Anreiz zur Verbesserung der innerbetrieblichen Logistik geboten werden. Dieser ökonomische Anreiz wird als Anhängerzuschlag bezeichnet. Diesen stellt innerhalb eines Milcheinzugsgebietes die ökonomische Differenz zwischen den Vollkosten der kostengünstigsten gebrochenen Verfahrensvariante und der kostengünstigsten ungebrochenen Verfahrensvariante mit Anhänger dar. Dieser Betrag könnte maximal aus Sicht einer Molkerei an die Milcherzeuger bezahlt werden.

Da sich die analysierten Milcheinzugsgebiete untereinander und in ihrer gegenwärtigen und zukünftigen Struktur und der Transportentfernung unterscheiden, weist der Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag keinen pauschalen Betrag dar. Wie sich durch die Analyse herausstellte, steigt mit Abnahme der Milchdichte eines Milcheinzugsgebietes die spezifische Milcherfassungstrecke pro kg Milch, wonach der Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag steigt. Dies zeigt die geringere Milchdichte des Milcheinzugsgebietes Südbayern mit einem Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag von 0,42 ct/kg in der gegenwärtigen Struktur 2017 im Vergleich zum Milcheinzugsgebiet Zentralbayern mit einer höheren Milchdichte und einem Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag von 0,25 ct/kg Milch. Weil im Milcheinzugsgebiet Ostbayern im Jahr 2017 die spezifischen Vollkosten der kostengünstigsten ungebrochenen Verfahrensvariante größer als die spezifischen Vollkosten der kostengünstigsten gebrochenen Verfahrensvariante sind, ist dabei kein Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag gegeben. Jedoch zeigt auch der Anhänger- oder Sammelaufleger solo Zuschlag des weit entferntesten Milcheinzugsgebietes Nordbayern in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur, dass dieser bei weit entfernten Milcheinzugsgebieten abnimmt, da der relative und absolute Kostenanteil der Komponente Milchtransport zunimmt. Dies wird dadurch begründet, da der Einsatz der alternativen Verfahrensvariante, die den Großteil

der Milch mittels Milchtransportauflieger zur Molkerei transportiert eine höhere Nutzlast als die ungebrochene optimale Verfahrensvariante aufweist. Aufgrund der Kostenerhöhung trotz Milchdichteerhöhung steigt der maximale Anhänger- oder Sammelauflieger solo Zuschlag im Jahr 2023 auf bis zu 0,44 ct/kg Milch im Milcheinzugsgebiet Südbayern, während im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern 0,35 ct/kg Milch resultieren. Im Milcheinzugsgebiet Ostbayern beträgt der ökonomisch gerechtfertigte Anhänger- oder Sammelauflieger solo Zuschlag im Jahr 2023 0,35 ct/kg Milch.

Die Simulation für Verfahrensvarianten, die das Transportmittel Zweiachser LKW enthalten, ergibt meist höhere Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeitbedarfskennzahlen, als entsprechende Verfahrensvarianten, bei denen die Milcherfassung mittels Dreiachser LKW erfolgt. Dies wird dadurch begründet, dass der Zweiachser LKW aufgrund der geringen Nutzlast von 8.000 kg mehr Transportstrecke zurücklegt als der Dreiachser LKW solo. Auch bei den gebrochenen Verfahrensvarianten weist in allen analysierten Milcheinzugsgebieten in der gegenwärtigen und in der zukünftigen Struktur, die Verfahrensvarianten mit dem Transportmittel Dreiachser LKW im Vergleich zu Verfahrensvarianten mit dem Zweiachser LKW, niedrigere Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik auf, weil die Milcherfassungsstrecke mit zunehmender Nutzlast reduziert wird.

Hinsichtlich der gebrochenen Verfahrensvarianten bezüglich des Einsatzes von Milchtransportaufliegern resultiert aus den Untersuchungen, dass die Integration des Milchtransportauflegers beim Einsatz einer gebrochenen Verfahrensvariante bereits im nah gelegenen Milcheinzugsgebiet Zentralbayern aus ökonomischer Perspektive mit einer Transportdistanz von 37 km ökonomisch gerechtfertigt ist. Dies wird durch die Kombination mit dem Milchtransportauflieger und die geringeren spezifischen Milchtransportkosten begründet, die aufgrund der höheren Nutzlast des Milchtransportauflegers durch das Fehlen der Milchannahmereinrichtung realisiert werden. Darüber hinaus wird im Simulationsmodell für den Fahrer des Milchtransportauflegers aufgrund des geringeren Fachwissens im Vergleich zum Sammelwagenfahrer ein niedrigerer Lohnansatz zu Grunde gelegt. Demgegenüber stehen marginale Kosten der bei den gebrochenen Verfahrensvarianten kombiniert mit dem Milchtransportauflieger notwendigen Verfahrensschritte. Dabei sind höhere Kosten für das Umpumpen der höheren Rohmilchmenge und des Umsatteln des Transportauflegers erforderlich, dessen Komponenten jedoch durch den Wegfall des zahlreichen An- und Abkuppelns des Anhängers an den Sammelwagen kompensiert werden. Eine disaggregierte Analyse der Vollkosten und Treibhausgasemissionen der Milchlogistik erfolgt im nächsten Kapitel.

Der Vergleich der erhobenen milcheinzugsgebietspezifischen Logistikkennzahlen zeigt, dass mit zunehmender Entfernung des Milcheinzugsgebietes zur Molkerei das ökonomische, ökologische und zeitliche Einsparpotential durch die Auswahl der Verfahrensvariante mit den niedrigsten Logistikkennzahlen aufgrund des „Leverage-Effekt“ zunimmt. Dies stellte sich in der vorliegenden Untersuchung vor allem durch die zunehmende ökonomische Differenz mit steigender Entfernung zwischen Verfahrensvarianten mit niedriger Nutzlast im Vergleich zu Verfahrensvarianten mit hoher Nutzlast heraus.

6.3.2 Vergleich der erhobenen Logistikkennzahlen mit ausgewählten Untersuchungen

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewählte Ergebnisauswertung erfolgt im Vergleich zu der von QUINLAN *ET AL.* (2012) differenziert für die beiden Komponenten Milcherfassung und Milchtransport. Diese in der vorliegenden Arbeit gewählte Bewertungssystematik hat den Vorteil, dass die Ergebnisse der analysierten Milcheinzugsgebiete untereinander systematischer hinsichtlich Struktur und Entfernung zur Molkerei verglichen werden können. Diese Bewertungssystematik stellt vor allem zum Vergleich für sehr unterschiedlich strukturierte und unterschiedlich zur Molkerei entfernte Milcheinzugsgebiete einen systematischen Vorteil dar.

Im Vergleich zu den von QUINLAN *ET AL.* (2012) für Irland zu Zeiten nach der Milchquote kalkulierten Vollkosten der Milchlogistik im Bereich von 0,83 ct/kg Milch und 1,02 ct/kg Milch weisen die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysierten Milcheinzugsgebiete mit Ausnahme des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern höhere Werte auf. Diese niedrigen Vollkosten der Milchlogistik in Irland werden durch die günstige Struktur hinsichtlich Milchdichte im Einzugsgebiet und die geringen Distanzen für den Milchtransport ermöglicht. Dabei variieren die simulierten Milchdichten in Abhängigkeit der Saisonalität im Bereich von 235,11 kg/km und Abholintervall und 1.645,76 kg/km und Abholintervall, das einer durchschnittlichen Milchdichte von 940,43 kg/km und Abholintervall entspricht. Damit liegt der für das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern analysierte gegenwärtige Milchdichtefaktor von 795,16 kg/km der ungebrochenen Verfahrensvariante Sammelaufleger solo unter den für die Milcheinzugsgebiete erhobenen Verfahrensvarianten mit den niedrigsten Vollkosten unter den für irische Verhältnisse simulierten Milchdichtefaktor. Somit ist die gegenwärtige Struktur des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern mit den vorherrschenden Strukturen hinsichtlich Milchdichte innerhalb des Milcheinzugsgebietes mit den irischen Strukturen vergleichbar.

Im Vergleich zu den von QUINLAN *ET AL.* (2012) erhobenen spezifischen Treibhausgasemissionen weist das im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit irischen Strukturen vergleichbare Milcheinzugsgebiet Zentralbayern um ca. 4 g CO₂-Äq/kg Milch höhere spezifische Treibhausgasemissionen auf, als für die irische Milchlogistik im Zeitalter nach der Milchquote.

6.3.3 Disaggregierte Logistikkennzahlbetrachtung des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern

Zur Analyse der bedeutsamen Einflussfaktoren auf die analysierten Logistikkennzahlen werden in diesem Kapitel die Logistikkennzahlen nach dem Verursacherprinzip disaggregiert dargestellt. Zur Analyse wird das der Molkerei nah gelegene Milcheinzugsgebiet Zentralbayern sowohl in der gegenwärtigen als auch in der zukünftigen Struktur disaggregiert analysiert. Nachfolgende Abbildung 54 vergleicht die Kostenkomponentenverteilung hinsichtlich Verfahrensschritte der Milchlogistik zwischen der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo in Irland und das für irische Verhältnisse ähnliche Milcheinzugsgebiet Zentralbayern in der gegenwärtigen Struktur. Dabei liegen die von QUINLAN *ET AL.* (2012) für Irland analysierten Vollkosten der Milchlogistik bei 0,93 ct/kg Milch, während die Analyse für das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern in der gegenwärtigen Struktur 0,93 ct/kg Milch ergibt. Anhang 21 beinhaltet die in nachfolgender Abbildung mit Buchstaben auf horizontaler Achse dargestellten Verfahrensschritte der Milchlogistik.

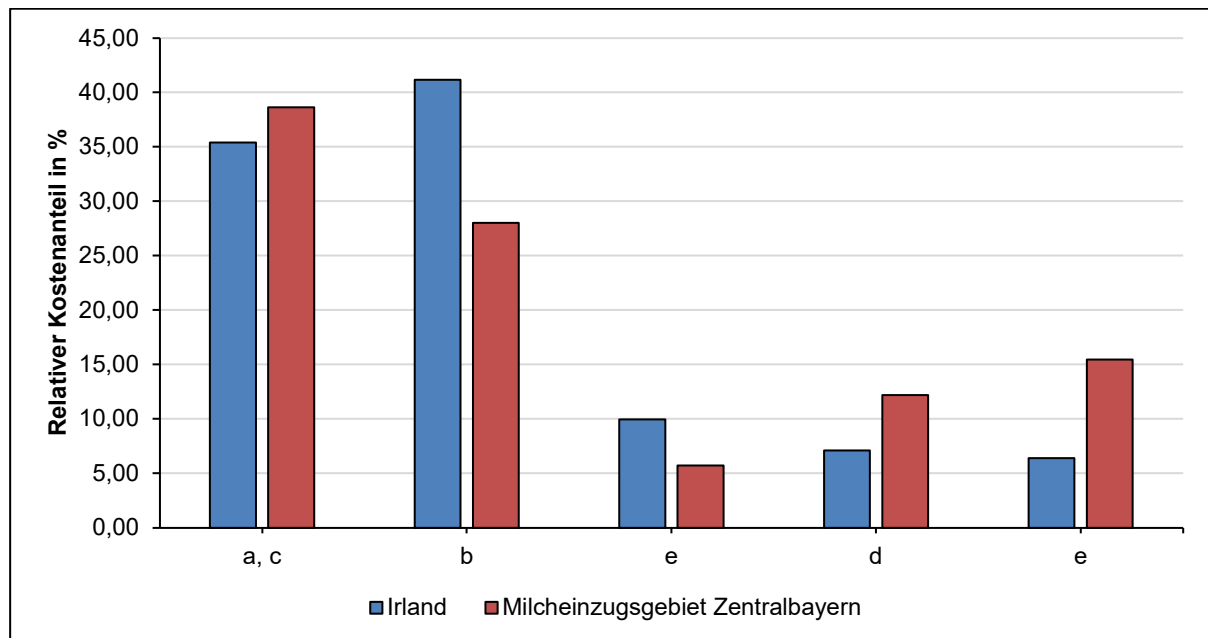


Abbildung 54: Vergleich der relativen Kostenkomponenten der Verfahrensschritte der Milchlogistik in Irland (blau) und des analysierten Milcheinzugsgebietes Zentralbayern (rot) der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im Jahr 2017 (Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an: QUINLAN *ET AL.* 2005).

Wie Abbildung 54 darstellt, umfasst mit 41,16 Prozent im Milcheinzugsgebiet Irland die Kostenkomponente Zwischenerzeugerfahrt, während dieser Verfahrensschritt in der gegenwärtigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern lediglich 28,01 Prozent einnimmt. Den hinsichtlich relativer Kostenverteilung höchsten Anteil beanspruchen im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern die Verfahrensschritte Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet und Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet in Höhe von 38,63 Prozent, die in Irland lediglich 35,41 Prozent an den Vollkosten der Milchlogistik umfassen. Die höheren Vollkostenanteile der Routinetätigkeit beim Milcherzeuger des irischen Milcheinzugsgebietes im Vergleich zum Milcheinzugsgebiet Zentralbayern wird durch den um 3,8 min höheren Zeitbedarf zu Grunde gelegten Routinearbeitszeit in Irland begründet. Da in der vorliegenden Simulation die spezifischen Kapitalkosten des Sammelwagenaufbaues proportional den Milchumpumpvorgängen zugeordnet werden, umfasst der Verfahrensschritt Milcheinsaugen beim Milcherzeuger im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern bei der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo einen höheren Kostenanteil als im irischen Milcheinzugsgebiet. Die Kostenkomponente Milchentladung in der Molkerei nimmt im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern einen um 9,07 % höheren Kostenanteil als im Milcheinzugsgebiet in Irland ein, da in dieser Komponente im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern eine um 100 l/min geringere Abladeleistung im Simulationsmodell zugrunde gelegt wird. Darüber hinaus enthält diese Kostenkomponente im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern die Kosten für die Milchanalyse zum Wareneingang, sowie die Vollkosten für die innere Reinigung des Sammelaufleger solos, wonach hinsichtlich des Zeitansatzes von 33,63 min entsprechende Vollkosten hinsichtlich des Lohnansatzes anfallen. Damit bleibt die Kostenkomponente für die innere Reinigung des Sammelwagens, die aufgrund der Verderblichkeit der Rohmilch (vgl. Kapitel 2.2.1) erforderlich ist, im Simulationsmodell von QUINLAN *ET AL.* (2005) unberücksichtigt. Somit liegen auch die für die analysierten Milcheinzugsgebiete deklarierten ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten (Abbildung 52) mit Ausnahme des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern über den von WEINDLMAIER UND BETZ (2009) analysierten Vollkosten der Milchlogistik für Deutschland und Österreich. Diese höheren Vollkosten der Milchlogistik werden mit den weiteren Transportentfernung der betrachteten Milcheinzugsgebiete zur Molkerei begründet.

Nach dem Vergleich der Kosten hinsichtlich Verfahrensschritte der Verfahrensvariante Sammelaufleger solo im analysierten Milcheinzugsgebiet Zentralbayern mit Irland soll eine disaggregierte Kostenverteilung der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern sowohl für die gebrochenen als auch ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik aufgezeigt werden.

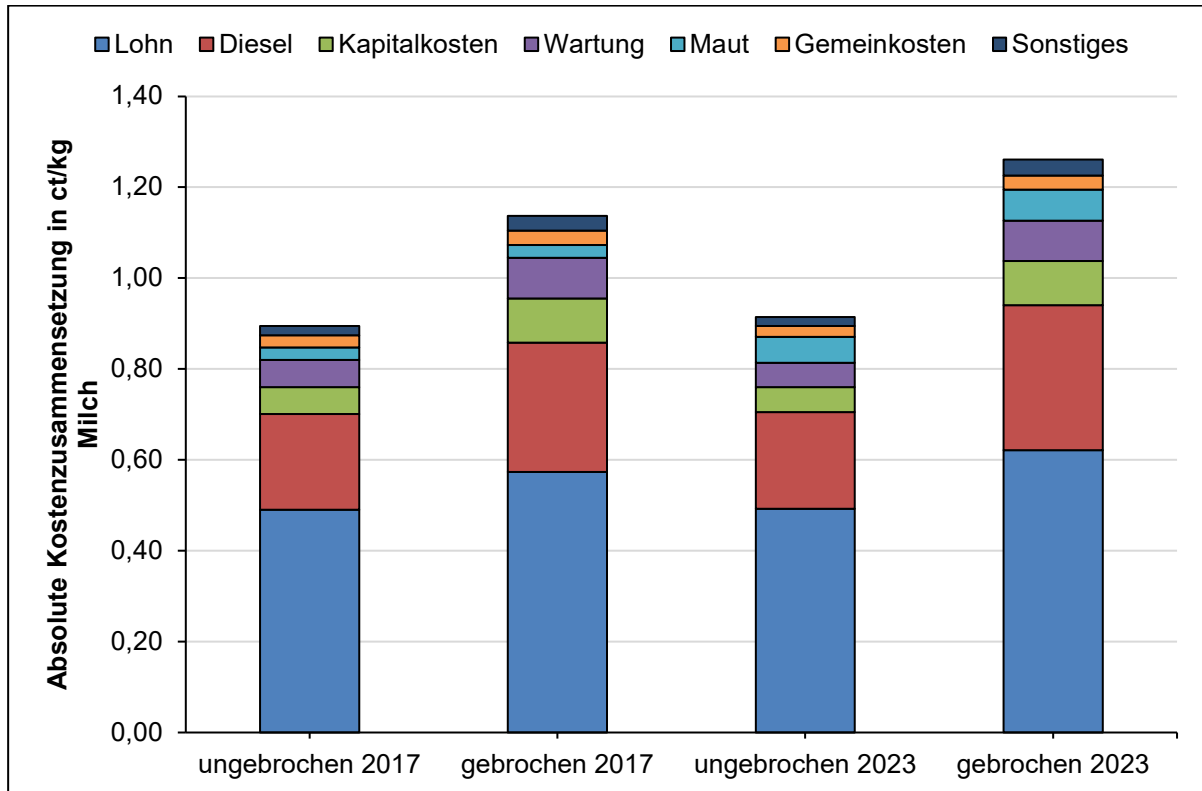


Abbildung 55: Disaggregierte Vollkostenzusammensetzung der Milchlogistik für die kostengünstigsten Verfahrensvarianten in der gegenwärtigen und zukünftigen Struktur des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern

Die in Abbildung 55 dargestellten disaggregierten spezifischen Vollkosten der jeweils ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten der Milchlogistik zeigen, dass die Vollkostenkomponente Lohn den größten Anteil innerhalb der Vollkosten der Milchlogistik einnimmt. Dabei beansprucht der relative Anteil der Lohnkosten einen ähnlichen Anteil in Höhe von 0,49 ct/kg Milch bei der kostenoptimalen ungebrochenen Verfahrensvariante im Jahr 2017 und im Jahr 2023. Die Stagnation der Kostenkomponente Lohn trotz eines höheren Lohnansatzes im Jahr 2023 wird durch die Reduzierung der Zeitbedarfskennzahl der Milchlogistik aufgrund des prognostizierten Strukturwandels begründet. Dagegen steigen die Vollkosten der Kostenkomponente Lohnansatz aufgrund des höheren Zeitbedarfes der gebrochenen Verfahrensvarianten im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017.

Den zweithöchsten Vollkostenanteil nehmen die Kosten für den Diesel ein. Da im vorliegenden Milcheinzugsgebiet Zentralbayern bei der gebrochenen Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen im Vergleich zur ungebrochenen Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger mehr Strecke zur Milcherfassung zurückgelegt wird, liegen die einzelnen Kostenkomponenten der gebrochenen Verfahrensvariante über den spezifischen Vollkosten der ungebrochenen Verfahrensvariante. Die höhere Effizienz der Milcherfassung bedingt durch den

Strukturwandel, begründet die gleichen Dieselmkosten von 0,21 ct/kg Milch bei der ungebrochenen Verfahrensvariante im Jahr 2023 im Vergleich zur ungebrochenen Verfahrensvariante 2017 trotz höherer zu Grunde gelegter Dieselmkosten im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Dagegen begründet die nur bedingte Streckeneinsparung bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten die Kostensteigerung der spezifischen Dieselmkosten im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017. Aufgrund der hohen Auslastung der betrachteten Transportmittel liegen die Vollkosten für die Kapitalkosten im Bereich von 0,06 ct/kg Milch bei der ungebrochenen Verfahrensvariante und 0,10 ct/kg Milch bei der gebrochenen Verfahrensvariante der Milchlogistik im gegenwärtigen und zukünftigen Zustand des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern.

Aufgrund des prognostizierten Strukturwandels bis zum Jahr 2023, der einen geringeren Fahrstreckenaufwand pro kg Milch bei der ökonomisch optimalen ungebrochenen Verfahrensvariante erfordert, werden die nominalen Wartungskosten im Jahr 2023 um 0,01 ct/kg Milch auf 0,05 ct/kg sinken. Dagegen liegen die spezifischen Wartungskosten bei den gebrochenen Verfahrensvarianten sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2023 bei 0,09 ct/kg Milch.

Die höheren spezifischen Mautkosten der Milchlogistik der gebrochenen im Vergleich zu den ungebrochenen Verfahrensvarianten werden sowohl in der gegenwärtigen, als auch in der zukünftigen Struktur durch die längere zurückgelegte Strecke begründet. Deshalb soll zur Analyse der zusätzlichen Mautkosten durch die Novellierung der Maut zum 1. Januar 2019 (vgl. Kapitel 4.5) ein ökonomischer Vergleich der Mautzusatzkosten durch die Novellierung der Maut der zukünftigen Struktur der betrachteten Milcheinzugsgebiete sowohl für die zukünftig kostengünstigste gebrochene als auch zukünftig kostengünstigste ungebrochene Verfahrensvariante der Milchlogistik erfolgen. Diese Systematik zum Mautkostenvergleich ist erforderlich, da ein Vergleich zwischen den spezifischen Mautkosten einer Verfahrensvariante im Jahr 2023 und 2017 den zukünftigen Strukturwandel miteinpreisen würde. Dies erschwert jedoch den direkten Mautkostenvergleich. Nachfolgende Abbildung 56 veranschaulicht die milcheinzugsgebietsabhängigen ökonomischen Mautdifferenzen der analysierten Milcheinzugsgebiete jeweils für die pro Milcheinzugsgebiet ökonomisch optimalen gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten im Jahr 2023. Dabei liegen die pro Milcheinzugsgebiet im Jahr 2023 ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten der Milchlogistik zugrunde, die aus Kapitel 6.3.1 hervorgehen.

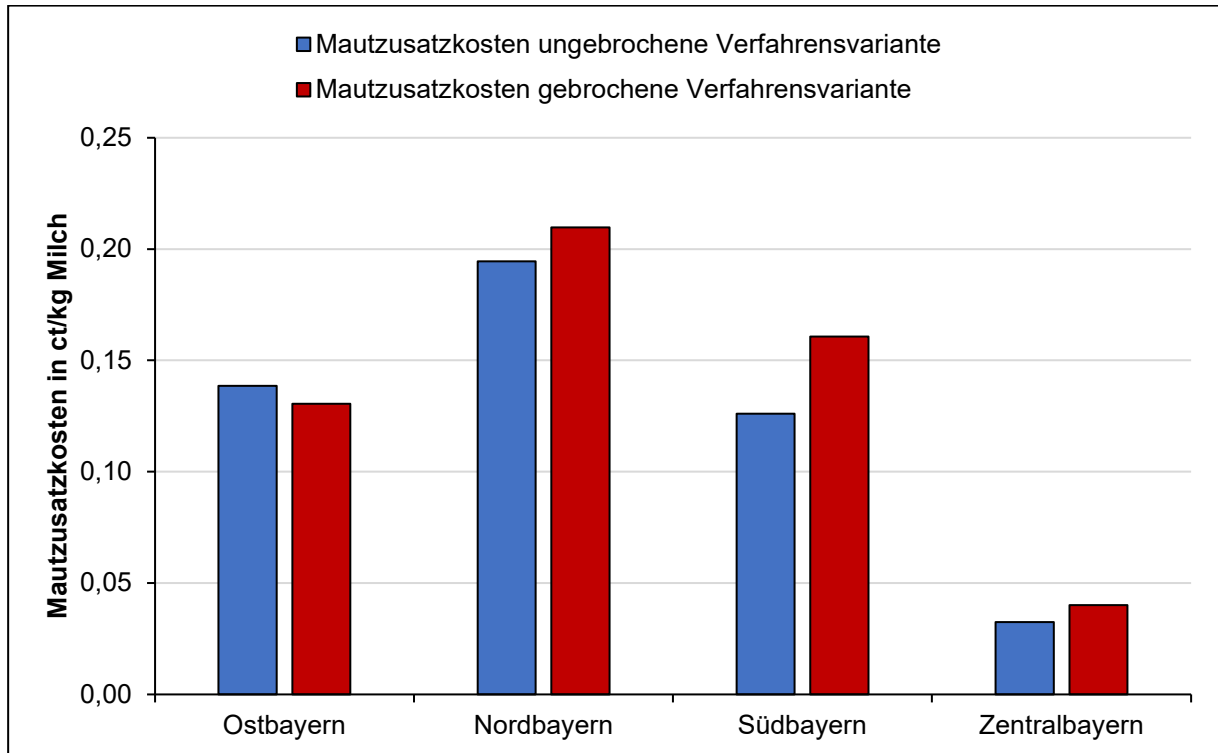


Abbildung 56: Zusätzliche milcheinzugsgebietsspezifische Mautkosten durch die Novellierung der Maut zum 1. Januar 2019

Wegen der höheren zurückgelegten Strecke bei den gebrochenen Verfahrensvarianten liegen im Vergleich zu den ungebrochenen Verfahrensvarianten die zusätzlichen Mautkosten pro kg Milch über den zusätzlichen Mautkosten der gebrochenen Verfahrensvarianten (Abbildung 56). Aufgrund der hohen Milchdichte des Milcheinzugsgebietes Ostbayern und der hohen Milchmenge, verbunden mit einer hohen Milchmenge können durch den Einsatz der gebrochenen Verfahrensvarianten mit dem Milchtransportauflieger im Vergleich zur ungebrochenen Verfahrensvarianten zwei Transportfahrten eingespart werden, so dass die Mauterhöhung durch die Mautnovellierung niedriger ausfällt. Bezogen auf die gesamt abgelieferte Milchmenge der vier analysierten Milcheinzugsgebiete unter dem praktischen Einsatz der ungebrochenen Verfahrensvarianten betragen die zusätzlichen Kosten 275.084,52 €/Jahr für die gesamte Milch. Demnach resultieren die durchschnittlichen spezifischen Zusatzkosten der Mautnovellierung bei 0,107 ct/kg Milch unter den ökonomisch optimalen ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten liegen diese spezifischen Zusatzkosten bei 0,113 ct/kg Milch, woraus aus der Steigerung der Mautkosten über alle betrachteten Milcheinzugsgebiete Zusatzkosten in Höhe von 290.988,43 €/Jahr resultieren.

Aufgrund der unterschiedlichen Anwendung der betrachteten Verfahrensschritte der Milchlogistik bei den ungebrochenen und gebrochenen Verfahrensvarianten unterscheidet

sich die relative Zusammensetzung der spezifischen Verfahrensschritte der Milchlogistik. Vor diesem Hintergrund werden in der nachfolgenden Abbildung 57 die nach den analysierten Verfahrensschritten disaggregierten relativen Treibhausgasemissionsanteile dargestellt. Dabei werden die für das Milcheinzugsgebiet Zentralbayern ökonomisch optimalen gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten, jeweils für die gegenwärtige und zukünftige Struktur aufgezeigt. Die zugehörigen absoluten spezifischen Treibhausgasemissionen der analysierten Verfahrensschritte sind im Anhang 51 beigefügt.

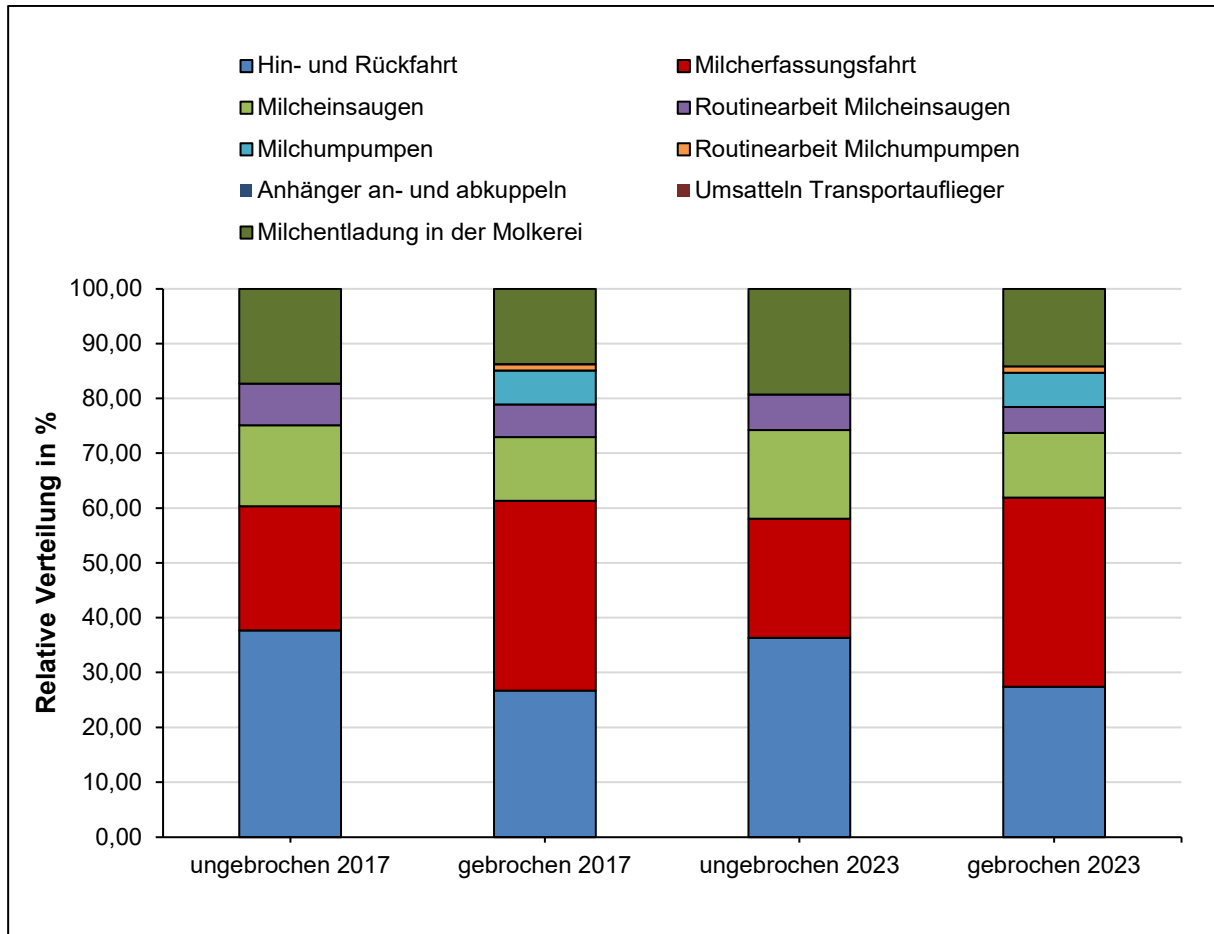


Abbildung 57: Verfahrensschrittabhängige Zusammensetzung der Treibhausgasemissionen der gegenwärtig und zukünftig ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern

Über alle in Abbildung 57 dargestellten Verfahrensvarianten liegen die spezifischen Treibhausgasemissionen der Verfahrensschritte Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet, Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet und Milcherfassungsfahrt summiert im Bereich von 60 %. Da bei den gebrochenen Verfahrensvarianten die Milcherfassungstrecke aufgrund der Rückfahrt zum Anhänger und/oder Milchtransportaufleger höher ist als bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten, liegt der relative Treibhausgasemissionsanteil bei den gebrochenen Verfahrensvarianten höher als bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Aufgrund des geringen Dieselbedarfes der

Verfahrensschritte Routearbeit beim Milchumpumpen und das Umsatteln des Transportauflegers, umfasst der summierte relative Anteil an den gesamt spezifischen Treibhausgasmissionen im Jahr 2017 lediglich 1,16 % und im Jahr 2023 lediglich 1,19 %. Das nicht Vorhandensein eines Anhängers bei der gebrochenen Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen begründet die mit Null ausgewiesenen Treibhausgasemissionen für das An- und Abkuppeln des Anhängers. Die Reinigung der Milchsammelwägen trägt mit 1,5 g CO₂-Äq/kg an den spezifischen Treibhausgasemissionen pro kg Milch bei.

Aus der spezifischen disaggregierten Treibhausgasemissionsaufteilung geht hervor, dass den größten Treibhausgasreduzierungshebel die Verfahrensschritte Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet, Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet sowie die Milcherfassungsfahrt aufweisen. Damit ist zu erwarten, dass bei steigenden Distanzen zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei aufgrund der Streckenausweitung und damit des steigenden Dieselbedarfes der relative Anteil der Treibhausgasemissionen des Verfahrensschrittes Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet und Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet zunimmt. So erhöhen sich bei der Steigerung der Entfernung von 100 km zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei in der gegenwärtigen Struktur die spezifischen Treibhausgasemissionen bei der ökonomisch optimalen Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger ungebrochen im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern von 8,96 g CO₂-Äq/kg Milch, das einer Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen um 8,14 g CO₂-Äq/kg Milch entspricht. Damit erhöhen sich die spezifischen Treibhausgasemissionen in der betrachteten Verfahrensvariante auf 17,10 g CO₂-Äq/kg Milch, woraus sich eine Zunahme von 90,84 % ergibt. Da bei der ökonomisch optimalen gebrochenen Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen der Großteil des Milchtransportes über den nutzlastoptimierten Milchtransportaufleger erfolgt, liegt die absolute Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen bei einer Zunahme der Distanz von 100 km zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei bei lediglich 4,71 g CO₂-Äq/kg Milch, woraus eine relative Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen von 41,42 % resultiert.

Im Hinblick auf die Erhöhung der Milcherfassungstrecke von 20 % des gegenwärtigen Zustandes des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern, verbunden mit einer Reduzierung der Milchdichte im Einzugsgebiet resultiert eine Steigerung der spezifischen Treibhausgasemissionen bei der ungebrochenen Verfahrensvariante Dreiachser LKW mit Zweiachsanhänger gebrochen von 0,4 g CO₂-Äq/kg Milch. Bei der gebrochenen Verfahrensvariante Vierachser LKW mit Milchtransportaufleger gebrochen liegt die spezifische Treibhausgasemissionssteigerung um 0,79 g CO₂-Äq/kg Milch höher als die bei

der ungebrochenen Verfahrensvariante hervorgerufenen Treibhausgasemissionssteigerung. Dies wird durch die höhere Milcherfassungstrecke bei den gebrochenen Verfahrensvarianten begründet.

Jedoch stellt innerhalb der Ökobilanz von Milchprodukten der relative Treibhausgasemissionsanteil der Logistik im Vergleich zur Milcherzeugung am landwirtschaftlichen Betrieb einen geringen Anteil dar. Bei der Milcherzeugung liegen die Treibhausgasemissionen pro kg Milch bei im Bereich von 1,17 kg CO₂-Äq/kg Milch und 1,61 kg CO₂-Äq/kg Milch (EIDE 2002). Trotz des größeren Treibhausgasreduzierungspotentials in der Milcherzeugung und in der Milchverarbeitung können durch die Auswahl der Verfahrensvarianten spezifische Kosten und Treibhausgasemissionen eingespart werden, wie die durchgeführte Analyse im Rahmen dieser Arbeit ergab.

Neben der disaggregierten Bewertung hinsichtlich der Verfahrensschritte der ökonomisch optimalen Verfahrensvarianten und der Treibhausgasemissionen erfolgt die disaggregierte Betrachtung der Zeiteffizienzkennzahlen. Nachfolgende Abbildung 58 veranschaulicht die Zusammensetzung der spezifischen Zeiteffizienzkennzahl hinsichtlich der Verfahrensschritte der ökonomisch optimalen gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im gegenwärtigen und zukünftigen Zustand. Die zugehörigen absoluten Zeiteffizienzkennzahlen sind im Anhang 52 beigefügt.

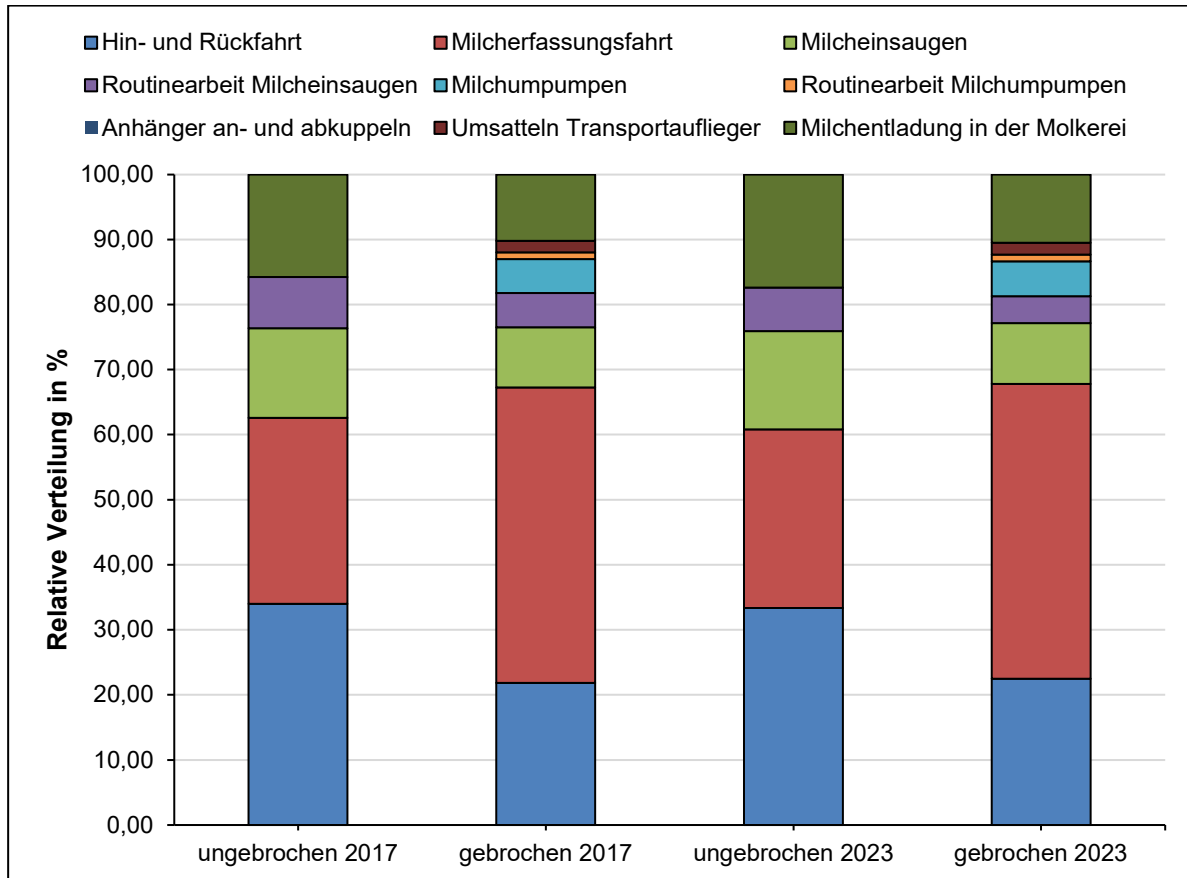


Abbildung 58: Verfahrensschrittabhängige Zusammensetzung der Zeiteffizienzkennzahl der gegenwärtig und zukünftig ökonomisch optimalen Verfahrensvariante im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern

Wie aus Abbildung 58 hervorgeht, liegt der relative Anteil der Zeiteffizienzkennzahl der Verfahrensschritte Hinfahrt und Rückfahrt bei den betrachteten ungebrochenen Verfahrensvarianten sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2023 bei mehr als 60 %. Die Zeiteffizienzkennzahlen der ungebrochenen Verfahrensvariante im Jahr 2017 und 2023 tragen mit gut 60 % die Anteile der Hin- und Rückfahrt in das Milcheinzugsgebiet und der Milcherfassungsfahrt bei. Die absoluten Anteile der bei der gebrochenen Verfahrensvariante zusätzlichen Verfahrensschritte Milchumpumpen, Routinearbeit Milchumpumpen, Anhänger An- und Abkuppeln und das Umsatteln des Milchtransportaufliegers, betragen 0,0791 s/kg Milch bei der gebrochenen Verfahrensvariante im Jahr 2017. Damit nehmen diese Verfahrensschritte 8,03 % an der spezifischen Zeiteffizienzkennzahl ein. Der spezifische relative und absolute Zeitbedarf des Verfahrensschrittes Milcherfassungsfahrt ist bei den gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik höher als bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten, weil die höhere Milcherfassungstrecke bedingt durch die Rückfahrten zum regionalen Umschlagplatz einen höheren Zeitbedarf als bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten erfordert. Aufgrund der höheren Nutzlast des Transportaufliegers im Vergleich zu den

Transportmitteln bei den ungebrochenen Verfahrensvarianten verbunden mit einer Reduktion der Anzahl an Abladungen, weist die spezifische Zeiteffizienzkennzahl des Verfahrensschrittes Milchentladung der gebrochenen im Vergleich zu den ungebrochenen Verfahrensvarianten einen niedrigeren Wert auf. Im Vergleich zwischen der relativen Verteilung der Verfahrensschritte zeigen sowohl die gegenwärtigen und die zukünftig gebrochenen Verfahrensvarianten als auch die gegenwärtig ungebrochenen und die zukünftig ungebrochenen eine ähnliche Zeiteffizienzkennzahlverteilung auf.

6.3.4 Strategisches Milchlogistiksimulationsmodell für den täglichen Einsatz in milchverarbeitenden Unternehmen

Zur Simulation der betrachteten Milchlogistikvarianten wird das Vehicle Routing Problem verwendet. Die Anbindung an Bing Maps zur Simulation ermöglicht reale Distanzen zwischen den einzelnen Milcherzeugern, aber auch zwischen den Molkereien und Milcherzeugern (ERDOGAN 2017a). Der große Vorteil dieser aktiven Kartenanbindung besteht vor allem darin, dass reale Streckendistanzen und keine pauschalen Durchschnittswerte hinsichtlich zurückgelegter Strecken zu Grunde gelegt werden, da zwischen den einzelnen Milcherzeugern eines Milcheinzugsgebietes Unterschiede sowohl innerhalb der gegenwärtigen Struktur, als auch innerhalb der zukünftigen Struktur vorliegen. Dies konnte in der vorliegenden Arbeit vor allem im Milcheinzugsgebiet Nordbayern identifiziert werden. Darüber hinaus ermöglicht die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Simulationsmethode im Vergleich zu der von QUINLAN *ET AL.* (2012) erstellten Methode eine Simulation von gebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Das dabei verwendete Simulationsmodell für die gesamte irische Molkereiindustrie mit pauschalen Distanzen zwischen den Milcherzeugern und mit pauschal angenommenen Milchmengen ist jedoch nur bedingt zur Logistiksimulation aus Sicht einer Molkerei geeignet, da die pauschalen Annahmen hinsichtlich der Erzeugerstandorte und der abgelieferten Milchmengen der Milcherzeuger zu ungenau ist, woraus nur approximative Simulationsergebnisse resultieren. Neben den Vorteilen der genaueren Simulation ermöglicht das dynamische Simulationsmodell auch die Bewertung der zeitlichen Effizienz, woraus sich die zur strategischen Milchlogistikplanung Anzahl notwendiger Transportmittel innerhalb einer Verfahrensvariante ermitteln lässt. Diese Kenntnis kann damit zur Tourenplanung verwendet werden.

Neben der hohen Approximation des entwickelten dynamischen Simulationsmodells an die Realität realisieren das erstellte Milchlogistiksimulationsmodell und die transportmittel spezifischen Daten eine Simulation verschiedener Verfahrensvarianten der Milchlogistik. Damit können durch den technischen Fortschritt hervorgerufene Verfahrensvarianten

bereits vor der Investition auf die praktische Einsatzfähigkeit analysiert werden. Jedoch wird in der vorliegenden Arbeit bei der Simulation auf strategischer Modellebene zu Grunde gelegt, dass jeder Milcherzeuger mit jedem Transportmittel innerhalb der betrachteten Verfahrensvarianten angefahren werden kann. Deshalb ist zur Überführung des Modelles auf die taktische Modellebene eine Analyse einer jeden der betrachteten Verfahrensvarianten erforderlich, welche Verfahrensvariante beim jeweiligen Milcherzeuger aus innerbetrieblich logistischen Gründen umsetzbar ist. Demnach ist der praktische und kombinierte Einsatz verschiedener Verfahrensvarianten der Milchlogistik erforderlich. Da jedoch in der vorliegenden Arbeit die Zielstellung gilt, aus Sicht einer Molkerei auf strategischer Modellebene zur Beratung der im Milcheinzugsgebiet ansässigen Fuhrunternehmer die Logistik zu planen, ist die Berücksichtigung der Anfahrbarkeit des individuellen Milcherzeugers unerheblich.

Damit können mit dem im Rahmen der Arbeit entwickelten Milchlogistiksimulationsmodell nicht nur innerhalb bestehender Milcheinzugsgebiete aus Sicht einer Molkerei unterschiedliche Verfahrensvarianten simuliert werden, sondern es können auch vor der Aufnahme neuer Milcheinzugsgebiete die einsetzbaren Verfahrensvarianten hinsichtlich Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen verglichen werden. Daraus leiten sich für die am Milcheinzugsgebiet oder an einzelnen Milcherzeuger interessierte Molkerei Vorteile in der Auswahl der Verfahrensvariante und der notwendigen Anzahl an Transportmitteln in Abhängigkeit des geplanten Abholintervalls pro Verfahrensvariante und des bestehenden oder eines neuen Milcheinzugsgebietes ab. Darüber hinaus können durch den berücksichtigten Ansatz zur Treibhausgasbilanzierung in $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q}$ die Auswahl der Verfahrensvarianten hinsichtlich $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q}$ neutraler Verfahrensvarianten ausgerichtet werden. Somit können auch vor der Aufnahme neuer Milcheinzugsgebiete oder einzelner Milcherzeuger die spezifischen Treibhausgasemissionen hervorgerufen durch die Milcherfassung und den Milchtransport erhoben und analysiert werden. Diese Bewertung erfährt nicht nur aufgrund der zunehmenden nationalen und internationalen Klimaschutzziele aus Sicht einer Molkerei an Bedeutung, sondern auch aufgrund der in Zukunft zu erwartenden Auslobung von Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen des „Carbon Footprintes“ auf Milchprodukten. Dabei deklariert das österreichische Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen Hofer seit 2010 die Produkte der Bio-Handelsmarke „Zurück zum Ursprung“ mit einem CO_2 -Fußabdruck (LINDENTHAL ET AL. 2012). Daraus wird deutlich, dass die CO_2 -Bilanzierung von der Produktion bis zum Konsumenten vor dem Hintergrund steigender nationaler und internationaler Vorgaben hinsichtlich Klimaschutzziele und gesellschaftlicher Ansprüche zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Neben den Vorteilen im Bereich der Simulation der verfahrensartabhängigen Treibhausgasemissionen ermöglicht das entwickelte strategische Milchlogistiksimulationsmodell eine Bewertung der getrennten Milcherfassung und des getrennten Milchtransportes verschiedener Milchsorten innerhalb eines Milcheinzugsgebietes. Diese Simulation der Milchlogistik, hervorgerufen durch verschiedene Milchsorten hat in den letzten Jahren aufgrund der diversifizierten Konsumentenpräferenzen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dabei ist in Milcheinzugsgebieten mit einer niedrigen Milchkichte im Vergleich zu Milcheinzugsgebieten mit einer hohen Milchkichte bei der Umstellung auf zwei Milchsorten mit zunehmenden Kosten, Treibhausgasemissionen und höheren Zeitanprüchen aufgrund der steigenden Milcherfassungstrecke zu erwarten.

Jedoch ist zur praktischen Umsetzung des entwickelten Managementtools auf taktischer Modellebene die Berücksichtigung der spezifisch verfügbaren Milchannahmezeiten beim Milcherzeuger erforderlich, da während der erzeugerspezifischen Melkzeit und Reinigungszeit keine Milch beim Milcherzeuger angenommen werden kann, weshalb auf taktischer Modellebene die Berücksichtigung dieser Zeitslots erforderlich ist. Weiter sind bei der Umsetzung der Logistiksimulation auf taktischer Modellebene aus Sicht einer Molkerei die in der Abtankhalle verfügbaren Milchablademöglichkeiten zu berücksichtigen, wonach eine zusätzliche Restriktion an die Milchlogistiksimulation auf taktischer Modellebene erforderlich ist. Die Integration der erzeugerspezifischen Milchannahmezeitfenster und der Entladungszeiten der Milch in der Molkerei sind zwar im von ERDOGAN (2017b) verwendeten Vehicle Routing Problem – Spreadsheet – Solver umsetzbar, hätten aber den Rahmen in der vorliegenden Arbeit zur strategischen Simulation und Planung verschiedener Verfahrensvarianten der Milchlogistik übertroffen. Dies unterstreicht die in der Praxis der analysierten Molkerei aufgezeigte Strategie, dass einzelne geografisch zusammenhängende Milcheinzugsgebiete zur Milcherfassung und zum Milchtransport einem regional im Milcheinzugsgebiet ansässigen Fuhrunternehmer übergeben werden, der die praktische Milcherfassung und den praktischen Milchtransport ausführt. Dabei ist jedoch aus Sicht einer Molkerei zur strategischen Beratung hinsichtlich der zukünftig einzusetzenden Verfahrensvarianten ein objektives Simulationstool aus Sicht einer Molkerei erforderlich.

Allerdings erweist sich der in der vorliegenden Arbeit verwendete Simulationsansatz für das durchschnittliche Abholintervall jeweils nur für Milcheinzugsgebiete mit ganzjähriger Abkalbung der Milchkühe, da bei Milcheinzugsgebieten mit saisonaler Blockabkalbung aufgrund der saisonal sehr unterschiedlichen Milchmengen eine Jahresbewertung auf mindestens Monatsebene erforderlich ist. Diese Systematik entspricht der von O'CALLAGHAN *ET AL.* (2018) durchgeführten Streckensimulation für ein irisches

Milcheinzugsgebiet. Jedoch würde das im Rahmen der Arbeit verwendete verfahrensartspezifische Milchlogistiksimulationsmodell eine monatliche Simulation mit entsprechend saisonalen Milchmengenverläufen ermöglichen. Aufgrund der höchsten Milchmenge und damit der höchsten Milchkichte werden dann innerhalb eines Milcheinzugsgebietes und einer Verfahrensvariante die niedrigsten Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen erzielt. Die auf Jahresebenen erzielten Milchlogistikkenzahlen hinsichtlich Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen können aus der Analyse des gewichteten Mittelwertes ermittelt werden.

7 Schlussfolgerungen

Als Zielstellung dieser Arbeit galt, für milchverarbeitende Unternehmen ein Managementtool zur zeitskalenabhängigen Milchmengenprognose zu entwickeln, dessen Prognoseergebnis zur Simulation verschiedener Verfahrensvarianten der Rohmilchlogistik verwendet werden kann. Zur Bewertung des entwickelten Milchmengenprognosetools und zur Simulation der verschiedenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik wurden vier reale Milcheinzugsgebiete analysiert, die sich innerhalb der Struktur und der Entfernung zur Molkerei unterscheiden.

Da ein Großteil der verwendeten Daten zur Validierung des entwickelten Managementtools zur kurz- und mittelfristigen Milchmengenprognose auf dem Zeitfenster eines Abholintervalls innerhalb definierter Uhrzeiten fußt, wurden nach Tourverschiebungen, beispielsweise hervorgerufen durch Tourumstellungen, große Ungenauigkeiten ermittelt. Demnach ist zur genaueren kurz- und mittelfristigen Milchmengenprognose eine Anwendung erforderlich, mit der systematisch bedingte Fehler korrigiert werden können.

Die vorliegende Arbeit zeigte hinsichtlich der Logistikkennzahlen, dass sich diese zwischen den Milcheinzugsgebieten und zwischen den Verfahrensvarianten innerhalb der analysierten Milcheinzugsgebiete unterscheiden. Darüber hinaus stellte sich heraus, dass mit steigenden Distanzen zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei, und Abnahme der Milchdichte das ökonomische, ökologische und zeitliche Einsparungspotential durch die Auswahl der optimalen Verfahrensvariante der Milchlogistik steigt. Damit wird vor dem Hintergrund des zunehmenden Konzentrationsprozesses milchverarbeitender Betriebsstätten und dem Strukturwandel bei den Milcherzeugern die Auswahl der optimalen Verfahrensvariante der Milchlogistik zunehmend an Bedeutung gewinnen. Trotz des auf Milcherzeugerebene prognostizierten Strukturwandels resultierte aus der zukünftigen Rohmilchlogistiksimulation, dass in den betrachteten Milcheinzugsgebieten die Vollkosten der Milchlogistik aller simulierten Verfahrensvarianten aufgrund der höher zu Grunde gelegten Kostenansätze für Diesel, Lohn und Maut steigen.

Für milchverarbeitende Unternehmen auf operativer Ebene ist es ratsam, zum Update der langfristig prognostizierten Milchmenge und zur genaueren Prognose der mittelfristigen Milchmenge die empirische Milchmengenumfrage auf Erzeugerebene jährlich nicht anonym durchzuführen. Durch die systematisch jährlich durchgeführte empirische Umfrage steigt sowohl die Genauigkeit der Prognose, als auch die Akzeptanz der Milcherzeuger an der Umfrage teilzunehmen. Das Ergebnis der gegenwärtigen Rohmilchlogistiksimulation ermöglicht den milchverarbeitenden Unternehmen die Kenntnis der gegenwärtigen

Rohmilchlogistiksituation auf Einzugsgebietsebene, deren spezifische Kennzahlen in Abhängigkeit der Verfahrensvariante beispielsweise zur Frachtkostenabrechnung aus Sicht einer Molkerei herangezogen werden können. Durch die dynamische Integration prognostizierter Milchmengen auf Milcherzeugerebene können bereits vor dem Kauf spezieller Transportmittel die verschiedenen Verfahrensvarianten auf Milcheinzugsgebietsebenen ökonomisch, ökologisch und zeitlich analysiert werden. Neben der zukünftigen Simulation können die Ergebnisse der verfahrensvariantenspezifischen Treibhausgasemissionsbilanzierung als approximativer Baustein für die Erhebung des CO₂-Fußabdruckes von Milchprodukten herangezogen werden. Damit tragen die entwickelten Prognosemodelle und Milchlogistiksimulationsmodelle nicht nur zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit milchverarbeitender Unternehmen bei, sondern auch zum Erreichen der nationalen und internationalen Zielsetzung und Richtlinien zur Treibhausgasreduzierung.

Jedoch soll in weiterführenden Arbeiten zur Analyse der Rohmilchlogistik auf taktischer Ebene analysiert werden, wie sich der Einsatz gemischter Verfahrensvarianten vor dem Hintergrund der Befahrbarkeit der Milchannahmeplätze mit kostenoptimalen ungebrochenen Verfahrensvarianten der betrachteten Milcheinzugsgebiete auswirkt.

8 Zusammenfassung

Diese Untersuchung für milchverarbeitende Unternehmen zielt auf die Entwicklung eines Managementtools zur dynamischen Milchmengenprognose und Rohmilchlogistiksimulation. Der Strukturwandel bei den Milcherzeugern und den milchverarbeitenden Unternehmen in der Wertschöpfungskette Milch, verbunden mit einem zunehmenden Wettbewerbsdruck zwischen den milchverarbeitenden Unternehmen erfordert zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, die Optimierung und damit Effizienzsteigerung in allen Bereichen milchverarbeitender Unternehmen. Dabei gewinnt die Optimierung der Milchmengenplanung zur effizienten Produktionsauslastung und die Optimierung der Rohmilchlogistik zunehmend an Bedeutung. Gleichzeitig wird der steigende Optimierungsbedarf durch die regionale Konzentration der Milcherzeugung in den letzten Jahren unterstrichen, wodurch größere Entfernungen zur Rohmilchlogistik zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei hervorgerufen werden. Darüber hinaus bietet der technische Fortschritt im Bereich der Rohmilchlogistik neue Verfahrensvarianten zur Milcherfassung und zum Milchtransport.

Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz elf verschiedener Verfahrensvarianten der Rohmilchlogistik hinsichtlich Vollkosten, Treibhausgasemission und Zeit sowohl in der gegenwärtigen Struktur vier verschiedener Milcheinzugsgebiete ($n = 849$ Milcherzeuger) simuliert. Dabei erfolgt eine differenzierte Simulation sowohl unter der gegenwärtigen Struktur im Jahr 2017 als auch unter Berücksichtigung der Milcherzeuger spezifischen prognostizierten Milchmengen im Jahr 2023. Zur dynamischen Rohmilchlogistiksimulation wird ein Managementtool unter Verwendung der Methode Vehicle Routing Problem entwickelt, dass die Bewertung der betrachteten Verfahrensvarianten mittels der Logistikkennzahlen ct/kg Milch, g CO₂-Äq/kg Milch und s/kg Milch erlaubt.

Die langfristige Milchmengenprognose ergibt kumuliert über alle analysierten Milcheinzugsgebiete ein durchschnittlich jährliches dynamisches Wachstum der Milchanlieferung von 0,47 % pro Jahr während des Simulationszeitraumes von 2017 bis 2023. Diese Steigerung der Milchanlieferung geht jedoch mit einer durchschnittlichen Betriebsaufgabe von 3,02 % pro Jahr und einer durchschnittlichen Steigerung der einzelbetrieblichen Milchmenge von 4,07 % pro Milcherzeuger und Jahr einher. Aufgrund der unterschiedlich vorherrschenden Standortfaktoren innerhalb der untersuchten Milcheinzugsgebiete werden differenzierte Milchmengenentwicklungen zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten identifiziert. Diese liegen im Bereich von -0,21 % pro Jahr im Milcheinzugsgebiet Zentralbayern bis hin zu 1,16 % pro Jahr im Milcheinzugsgebiet Nordbayern. Zum Evaluationsjahr der prognostizierten im Vergleich zu den angelieferten

Milchmengen wird das Jahr 2017 zu Grunde gelegt. Da bei der kurzfristigen Milchmengenprognose im Vergleich zur mittelfristigen Milchmengenprognose ein kürzerer Zeitraum zwischen Prognose und Milchlieferung vorliegt, resultiert eine geringere Abweichung auf Gesamteinzugsgebietsebene von 0,87 %. Diese liegt bei der mittelfristigen Milchmengenprognose bei 2,04 %. Da sich jedoch die einzelbetrieblichen Einflussfaktoren auf die Milcherzeugung in einem dynamischen Zustand befinden, ist zum Update der Prognose zur langfristigen und mittelfristigen Milchmengenplanung eine jährliche Milchmengenprognose anhand einer empirisch durchgeführten nicht anonymen Umfrage erforderlich.

Zwischen den analysierten Milcheinzugsgebieten variieren in der gegenwärtigen Struktur die spezifischen Vollkosten der Milchlogistik der ökonomisch pro Milcheinzugsgebiet günstigsten Verfahrensvarianten zwischen 0,89 ct/kg im nächst zur Molkerei gelegenen Milcheinzugsgebiet Zentralbayern und 3,06 € Ct/kg im weit entferntesten Milcheinzugsgebiet Nordbayern. Dabei werden spezifische Treibhausgasemissionen im Bereich von 8,63 g CO₂-Äq/kg Milch und 32,90 g CO₂-Äq/kg Milch identifiziert, während die spezifischen Zeiteffizienzkennzahlen im Bereich von 0,64 s/kg und 2,37 s/kg variieren. Aufgrund der höheren Kostenansätze für den Lohn und Diesel im zukünftigen Jahr 2023 sowie die Novellierung der Maut zum 1. Januar 2019 ergibt das Simulationsmodell für alle Verfahrensvarianten eine Kostensteigerung im Simulationsjahr 2023 im Vergleich zum Simulationsjahr 2017 von bis zu 22,4 %. Dabei liegen die spezifischen Zusatzkosten durch die Mautnovellierung durchschnittlich bei 0,107 ct/kg Milch gewichtet über die analysierten Milcheinzugsgebiete. Jedoch werden hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und der Zeiteffizienzkennzahlen Reduzierungen im Jahr 2023 im Vergleich zum Jahr 2017 aufgrund des prognostizierten Strukturwandels bei den Milcherzeugern erzielt. Da sich die analysierten Milcheinzugsgebiete sowohl in ihrer gegenwärtigen Struktur untereinander als auch zwischen der zukünftigen Struktur unterscheiden und der Entfernung zur Molkerei differieren, gibt es keine optimale Verfahrensvariante per se für alle Milcheinzugsgebiete. Jedoch zeichnet sich unter den ungebrochenen Verfahrensvarianten die Verfahrensvariante Sammelaufleger solo als eine effiziente Verfahrensvariante aus. Bei den gebrochenen Verfahrensvarianten stellt der Dreiaxser LKW mit Zweiachsanhänger und Milchtransportaufleger eine vorteilhafte Verfahrensvariante zwischen den simulierten Verfahrensvarianten dar. Die Verfahrensvarianten, die das Transportmittel Zweiachser LKW enthalten, erweisen sich jedoch aufgrund der geringen Nutzlast dieses Transportmittels verbunden mit hohen Transportstrecken sowohl in der gegenwärtigen Struktur, als auch in der zukünftigen Struktur der betrachteten Verfahrensvariante als keine zeitgemäße Verfahrensvarianten. Die Simulationsergebnisse zeigen im Vergleich zwischen

den analysierten Verfahrensvarianten mit Zunahme der Entfernung zwischen Milcheinzugsgebiet und Molkerei und einer Abnahme der Milchdichte im Milcheinzugsgebiet eine Steigerung des ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Einsparpotentials. Vor diesem Hintergrund wird durch den analysierten Strukturwandel bei den Milcherzeugern die dynamische Simulation der Rohmilchlogistik, verknüpft mit der Milchmengenprognose zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Damit liefert das entwickelte Managementtool für milchverarbeitende Unternehmen einen Simulationsansatz, der die Prognose der Milchmenge und die Logistiksimulation dynamisch miteinander verknüpft. Deshalb werden durch die analysierten Ergebnisse und die Implementierung dieser in den operativen Einsatz ein Meilenstein zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit milchverarbeitender Unternehmen aufgrund effizienter Planung und Kosteneinsparung erzielt. Darüber hinaus wird durch den operativen Einsatz des entwickelten Managementtools ein Beitrag zum aktiven Klimaschutz vor dem Hintergrund zunehmender nationaler und internationaler Klimaschutzziele erreicht.

9 Summary

This research paper aims at the development of a management tool for a dynamic prediction of milk quantity and raw milk logistics simulation for milk purchasing companies. The structural transformation among milk producers and milk processing companies in the milk value chain, combined with growing competitive pressure between the dairies requires optimization to increase the competitiveness. The optimization of milk quantity planning for efficient production utilization and the optimization of raw milk logistics are becoming increasingly important. At the same time, the increasing demand for optimization requires the regional concentration of milk production in recent years which has led to growing distances between the milk catchment area and the dairies in addition to it. The technical progress of the raw milk logistics offers new variants of process for milk collecting and milk transport.

Against this background, in this paper the use of eleven different variants of process of raw milk logistics will be simulated of four different milk catchment areas ($n = 849$ dairy farmers) regarding full costs, greenhouse gas emissions and time. A differentiated simulation is carried out both current structure in 2017 and the consideration of the milk producers' specific forecast of milk volume in 2023. For the dynamic raw milk logistics simulation, a management tool will be developed using the method called "Vehicle Routing Problem". This management tool allows the evaluation of the process variants using the logistics key figures eurocent in ct per kg milk, grams greenhouse gas emissions in g CO₂-eq per kg milk and seconds in s per kg milk.

The long-term prediction of the milk volume results in an average annual dynamic growth of milk collection of 0.47 % per year. The results are cumulated across the examined milk catchment areas over the simulation period from 2017 to 2023. However, the growing milk delivery is accompanied by an average farm abandonment of 3.02 % per year and an average increase in individual farm milk volumes of 4.07 % per milk producer per year. Due to the different prevailing location factors within the investigated milk catchment areas are identified differentiated milk quantity developments between the analyzed milk catchment areas. These developments range from -0.21 % per year in the catchment area "Central Bavaria" up to 1.16 % per year in the catchment area "Northern Bavaria". The year 2017 is used as the basis year for the evaluation of the forecasted milk volumes in comparison with the effectively delivered milk quantity to the dairy. The deviation of the short-term prediction of milk volume is less than 0.87 % at the milk catchment areas because of the shorter period between forecast and milk delivery compared to the medium-term forecast of milk volume with a derivation of 2.04 %. However, the individual factors influencing milk producers

remain in a dynamic state. Therefore, an annual empirical anonymous survey of the farmers' prediction of the milk volume is necessary to update the forecasts of long-term and medium-term milk quantity planning.

The specific milk logistics full costs of the economically most favorable process variants per milk catchment area vary in the current structure between 0.89 ct per kg in the closest milk catchment area "Central Bavaria" and 3.06 ct per kg in the farthest milk catchment area "Northern Bavaria". The greenhouse gas emissions are identified in the range of 8.63 g CO₂-eq/kg milk and 32.90 g CO₂-eq/kg milk and the specific time efficiency indicators vary in the range of 0.64 s/kg and 2.37 s/kg. Due to the higher cost approach for wages and diesel in the year 2023 and the amendment of the toll by 01/01/2019 the simulation model results in a cost increase of up to 22.4 % for all process variants in the simulation year 2023 compared to the simulation year 2017. The specific additional charges weighted over the analyzed milk catchment areas resulting from the toll amendment are 0.107 ct per kg milk. Although, the greenhouse gas emissions and the time efficiency indicators will drop by the year 2023 compared to the year 2017 due to the projected structural change at the milk producers.

The analyzed milk catchment areas differ in their present structure as well as in their future structure and distance to the dairy by which means there is no optimal process variant per se for all milk catchment areas. The process variant collection semitrailer solo is the most efficient process variant among the unbroken process variants. Within the broken process variants, the three-axle truck combined with a two-axle trailer and the milk transport trailer represent the most advantageous process variant of the simulated process variants. The process variants which include the two-axle truck turned out to be not contemporary because of the low payload accompanied with high transport distances both in the present structure and in the prospective structure. The simulation results show a growth in economical, ecological and time saving potential in comparison between the analyzed process variants with an increasing distance between the milk catchment area and the dairy and a decrease in the milk density in the milk catchment area. Against this background, the dynamic simulation of raw milk logistics combined with a prediction of the milk quantity will become increasingly important due to the analyzed structural change among milk producers.

The management tool developed for milk processing companies yields an approach for logistic simulation which dynamically connects the prediction of milk quantity and the logistic simulation. The operative use of the analyzed results represents a milestone in rising the competitiveness of milk manufacturing companies because of the efficient planning and cost savings. Against the background of rising national and international climate protection

targets the operational use of the developed management tool additionally contributes to an active climate protection.

10 Literaturverzeichnis

ADEDIRAN, S.A.; RATKOWSKY, D.A.; DONAGHY, D.J.; MALAU-ADULI, A.E.O. (2012): Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 95 (6), S. 5344–5356.

AGRARMARKT INFORMATIONS-GESELLSCHAFT (2018): Dairy World Marktwoche Milch. 10. Jahrgang, KW 48, Bonn.

AKTER, S.; RAHMAN, S. (2010): Agribusiness Forecasting with univariate time series modelling techniques: The case of a dairy cooperative in the UK. In: *Journal of Farm Management* 13 (11), S. 747–764.

ALVAREZ-CUADRADO, F.; POSCHKE, M. (2011): Structural Change Out of Agriculture: Labor Push versus Labor Pull. In: *American Economic Journal: Macroeconomics* 3 (3), S. 127–158.

ATTESLANDER, P.; CROMM, J. (2006): Methoden der empirischen Sozialforschung. 11. Aufl. Berlin: Schmidt. ISBN 3503097406.

BAKE, H. (2012): Handbuch der Milch- und Molkereitechnik. Essen: Th. Mann. ISBN 9783786201465.

BALTES, W. (2000): Lebensmittelchemie. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 9783662082812.

BEYER, F. (1986): Hemmstoffe in Milch aus technologischer Sicht. In: *Deutsche Molkereizeitung* (107), S. 898–899.

BOCXE, M.A.G.; TILANUS, C.B. (1985): Testing vehicle scheduling programs for milk collection. In: *European Journal of Operational Research* 20 (1), S. 25–33.

BROUCEK, J.; HANUS, A.; MIHINA, S.; RYBA, S.; KISAC, P.; UHRINCAT, M.; TONGEL, P. (2006): Effects of high air temperatures on milk efficiency in dairy cows. In: *Czech Journal of Animal Science* 51 (3), S. 93–101.

BRYANT, J.; OGLE, G.; MARSHALL, P.; GLASSEY, C.; LANCASTER, J.; GARCIA, S.; HOLMES, C. (2010): Description and evaluation of the farmex dairy production support model. In: *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53 (1), S. 13–28.

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2019): Milch und Milcherzeugnisse. Daten und Berichte für Deutschland. Online verfügbar unter https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/milch-milcherzeugnisse_node.html#doc8985378bodyText4, zuletzt geprüft am 23.03.2019.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (2018b): Lkw-Maut. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Strasse/LKW-Maut/lkw-maut.html>, zuletzt geprüft am 12.12.2018.

BUNDESREGIERUNG (2019): Was tut die Bundesregierung für den Klimaschutz? Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/bregde/themen/klimaschutz/bundesregierung-klimapolitik-1637146>, zuletzt aktualisiert am 27.12.2019.

BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG E. V. (2018a): Dieselpreis-Informationen (Großverbraucher). vom 19. Dezember 2018. Frankfurt am Main.

BUNDESVERBAND GÜTERKRAFTVERKEHR LOGISTIK UND ENTSORGUNG E. V. (2018b): Gesamtkostenveränderung durch Ausweitung des mautpflichtigen Straßennetzes zum 1.7.2018. Online verfügbar unter http://www.bgl-ev.de/web/der_bgl/informationen/infos_durchschnittsmaut_rechner.htm, zuletzt geprüft am 30.12.2018.

BUTLER, M.; HERLIHY, P.; KEENAN, P. (2005): Integrating information technology and operational research in the management of milk collection. In: *Journal of Food Engineering* 70 (3), S. 341–349.

BUTLER, M.; WILLIAMS, H. P.; YARROW, L. (1997): The Two-Period Travelling Salesman Problem Applied to Milk Collection in Ireland. In: *Computational Optimization and Applications* (7), S. 291–306.

CARIA, M.; TODDE, G.; PAZZONA, A. (2018): Modelling the Collection and Delivery of Sheep Milk: a Tool to Optimise the Logistics Costs of Cheese Factories. In: *Agriculture* 8 (1), S. 1–11.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. (2014): Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. In: *Geoscientific Model Development Discussions* 7 (1), S. 1525–1534.

COLLARD, B. L.; BOETTCHER, P. J.; DEKKERS, J. C. M. (2000): Relationships between Energy Balance and Health Traits of Dairy Cattle in Early Lactation. In: *Journal of Dairy Science* 83 (11), S. 2683–2690.

DANTZIG, G.; RAMSER, J. (1959): The Truck Dispatching Problem. In: *Management Science* 1 (6), S. 80–91.

- DE NARDI, R.; MARCHESINI, G.; STEFANI, A.-L.; BARBERIO, A.; ANDRIGHETTO, I.; SEGATO, S. (2013): Effect of feeding fine maize particles on the reticular pH, milk yield and composition of dairy cows. In: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98 (3), S. 504–510.
- DESHMUKH, S. S.; PARAMASIVAM, R. (2016): Forecasting of milk production in India with ARIMA and VAR time series models. In: *Asian Journal Dairy & Food Research* 35 (1), S. 17–22.
- DEUMELANDT, F.; LASSEN, B.; SCHIERHOLZ, F.; WAGNER, P. (2010): Entwicklungstendenzen der Milchproduktion in Schweden - Ergebnisse einer Befragung von Milcherzeugern. Braunschweig: vTI.
- DEWDNEY, J.M.; MEAS, L.; RAYNAUD, J.P.; BLANC, F.; SCHEID, J.P.; JACKSON, T. et al. (1991): Risk assesment of antibiotic residues of β -lactams and macrolides in food products with regard to their immuno-allergic potential. In: *Food and Chemical Toxicology* 29 (7), S. 477–483.
- DÖHRN, R. (2014): Konjunkturdiagnose und -prognose. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer Gabler. ISBN 9783642364976.
- DOOLEY, A. E. (2002): Milk Segregation on Dairy Farms. Massey: Massey University.
- DOOLEY, A.E.; PARKER, W.J.; BLAIR, H.T. (2005): Modelling of transport costs and logistics for on farm milk seggregation in New Zealand dairying. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 48 (2), S. 75–91.
- DSLVL DEUTSCHER SPEDITIONS- UND LOGISTIKVERBAND E.V. (2013): Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258. Begriffe, Methoden, Beispiele. 2. aktualisierte Auflage. Bonn.
- ECKHARDT, K. (2013): Stochastik. Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Landwirtschaft. Stuttgart: Ulmer. ISBN 9783825240066.
- EIDE, M. H. (2002): Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. In: *International Journal of Life Cycle Assessment* 115 (7), S. 115–126.
- ERDOGAN, G. (2017a): An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. In: *Computers and Operation Research* 84, S. 62–72.
- ERDOGAN, G. (2017b): VRP Spreadsheet Solver. Excel VRP Solver. Online verfügbar unter <http://people.bath.ac.uk/ge277/index.php/vrp-spreadsheet-solver/>, zuletzt geprüft am 02.01.2019.

- EUROPEAN COMMISSION (2018a): EU Agricultural Outlook. For Markets and income 2018 - 2030. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/medium-term-outlook-2018-report_en.pdf, zuletzt geprüft am 31.12.2018.
- EUROPEAN COMMISSION (2018b): Short-term outlook for EU agricultural markets - autumn 2018. Brussels. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/outlook/short-term_de, zuletzt geprüft am 20.12.2018.
- FIDLER, A. P.; DEVENDER, K. VAN (2002): Heat Stress in Dairy Cattle. Arkansas.
- FISCHER, M. (1995): Vehicle routing. In: *Handbooks in Operations Research and Management Science* 8, S. 1–33.
- FU, M. C. (1994): Optimization via simulation: A review. In: *Annals of Operations Research* (53), S. 199–247.
- GARCIA III, A.; MEDINA, B. (1988): On-farm Membrane Concentration of Milk. In: *American Society of Agricultural Engineers* 31, S. 274–278.
- GÖBBEL, T. (2014): 40 % weniger Milchbauern. In: *DLG-Mitteilungen* (10), S. 88–91.
- GRZESIAK, W.; LACROIX, R.; WOJCIK, J.; BLASZCZYK, P. (2003): A comparison of neuronal network and multiple regression predictions for 305-day lactation yield using partial lactation records. In: *Canadian Journal of animal Science* 82 (2), S. 307–310.
- GUDEHUS, T. (2011): Logistik. Grundlagen - Strategien - Anwendungen. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 9783540893899.
- HEINSCHINK, K.; SHALLOO, L.; WALLACE, M. (2013): Milk production seasonality post quota removal: Economic implications for Ireland's milk processing sector. In: *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* (22), S. 121–130.
- HILGERS, M. (2017): Einsatzoptimierte Fahrzeuge, Aufbauten und Anhänger. Wiesbaden: Springer. ISBN 9783658146443.
- IFCN (2018): Dairy Report 2018. For a better understanding of the world. Kiel.
- IRNICH, S.; TOTH, P.; VIGO, D. (2002): The vehicle routing problem. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. ISBN 9780898714982.
- ISERMAYER, F.; BROCKMEIER, M.; GÖMANN, H.; HARGENS, R.; KLEPPER, R.; KREINS, P. et al. (2006): Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt. Braunschweig. ISBN 9783865760241.

JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L. R. (2010): Recursive relationships between milk yield and somatic cell score of Canadian Holsteins from finite mixture random regression models. In: *Journal of Dairy Science* 93 11, S. 5474–5486.

KAENE, M. (1986): *The economics of Milk Transport*. Cork.

KIRCHGEßNER, M.; SCHWARZ, F. J.; STANGL, G. I.; ROTH, F. X. (2011): *Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis*. 13. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verlag. ISBN 9783769008036.

KOPFER, H. W.; SCHÖNBERGER, J.; KOPFER, H. (2014): Reducing greenhouse gas emissions of a heterogeneous vehicle fleet. In: *Flexible Services and Manufacturing Journal* 26 (1-2), S. 221–248.

KORN, M.; LEUPOLD, A.; SCHNEIDER, C.; HARTWIG, K.; DANIELS, H. (2018): *Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2018 bis 2022*. Weimar, Leipzig, Aachen, Münster, Köln: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

KRANKE, A.; SCHMIED, M.; SCHÖN, A. D. (2011): *CO2-Berechnung in der Logistik. Datenquellen, Formeln, Standards*. München: Vogel. ISBN 9783574260957.

KRESS, C. (2010): *Untersuchungen zur Anwendbarkeit eines integrierten Nachweissystems für Penicillin-Rückstände in Kuhmilch und Ziegenmilch*. Gießen: Lauferweiler Verlag.

LACHRINI, N.; CRAINIC, T.G.; GENDREAU, M.; REI, W.; ROSSEAU, L.-M. (2015): Strategic Analysis of the Dairy Transportation Problem. In: *Journal of the Operational Research Society* 66 (1), S. 44–56.

LASSEN, B.; BUSCH, G. (2009): *Entwicklungsperspektiven der Milchproduktion in verschiedenen Regionen Niedersachsens. - ein agri benchmark dairy-Projekt*. Braunschweig.

LASSEN, B.; ISERMEYER, F.; FRIEDRICH, C. (2008): *Milchproduktion im Übergang - eine Analyse von regionalen Potenzialen und Gestaltungsspielräumen. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie*. Braunschweig.

LFL (2018): *Milcherzeugerorganisationen (MEO) in Bayern*. Online verfügbar unter <https://www.lfl.bayern.de/iem/milchwirtschaft/019304/index.php>, zuletzt geprüft am 19.02.2019.

LINDENTHAL, T.; MARKUT, T.; HÖRTENHUBER, S. (2012): *Klimaschutzzertifikat für die Marke "Zurück zum Ursprung"*. Wien.

- LOUGHREY, J.; O'CONNOR, D.; DONNELLAN, T.; HENNESSY, T.; THORNE, F. (2018): An evaluation of suitable tools to manage price/income volatility at dairy farm level in Ireland. Cork.
- MAACK, K.; KREFT, J.; VOß, E. (2005): Zukunft der Milchwirtschaft. Auswirkungen von EU-Agrarreform, Strukturwandel und Internationalisierung. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung (155). ISBN 3865930328.
- MCKENZIE, J. (2011): Mean absolute percentage error and bias in economic forecasting. In: *Economic Letter* 113 (3), S. 259–262.
- MELLADO, M.; ANTONIO-CHIRINO, E.; MEZA-HERRERA, C.; VELIZ, F. G.; ARAVALO, J. R.; MELLADO, J.; DE SANTIAGO, A. (2011): Effect of lactation number, year, and season of initiation of lactation on milk yield of cows hormonally induced into lactation and treated with recombinant bovine somatotropin. In: *Journal of Dairy Science* 94 (6), S. 4524–4530.
- MELLALIEU, P.J.; HALL, K.R. (1983): An interactive planning model for the New Zealand Dairy industry. In: *Journal of Operational Research Society* 43 (6), S. 521–532.
- MILCHINDUSTRIE-VERBAND E.V. (2017): Einblick. Analysen & Perspektiven Geschäftsbericht 2016/2017. Berlin.
- MILCHINDUSTRIE-VERBAND E.V. (2018): TOP 30 Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen (LEH) in Deutschland 2019. Online verfügbar unter https://milchindustrie.de/wp-content/uploads/2019/03/Top_30_LEH_Homepage_2019.pdf, zuletzt geprüft am 02.01.2019.
- MISFELDT, F.; THOMSON, J. (2017): Ökonomie der Milcherzeugung. Österröfeld: Grüner Kamp.
- MURPHY, M. D.; O'MAHONY, M. J.; SHALLO, L.; FRENCH, P.; UPTON, J. (2014): Comparison of modeling techniques for milk-production forecasting. In: *Journal of Dairy Science* 97 (6), S. 3352–3363.
- O'CALLAGHAN, S.; O'CONNOR, D.; GOULDING, D. (2018): Distance optimisation of milk transportation from dairy farms to a processor over a national road network. In: *Agriculture & Food* 6, S. 279–296.
- O'DWYER, T.; KEANE, M. (1971): Increasing efficiency in milk assembly. In: *Irish Journal of Agricultural Economics and Rural Sociology*, S. 125–143.
- OFFERMANN, F.; BANSE, M.; FREUND, F.; HAß, M.; KREINS, P.; LAQUAI, V. et al. (2018): Thünen-Baseline 2017 - 2027. Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. ISBN 9783865761804.

OLORI, V.E.; BROTHERSTONE, S.; HILL, W.G.; MCGUIRK, B.J. (1999): Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. In: *Livestock production Science* 58 (1), S. 55–63.

ORSI, F.; MURATORI, M.; ROCCO, M.; COLOMBO, E.; RIZZONI, G. (2016): A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions: Primary energy consumption, CO2 emissions, and economic cost. In: *Applied Energy* (169), S. 197–209.

PETERSEN, J.; HESS, S. (2018): Die Zukunft der Milch-Lieferbeziehungen aus Sicht deutscher Landwirte. In: *German Journal of Agricultural Economics* (2), S. 80–94.

PFOHL, H. (2018): Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 9. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. ISBN 9783662562284.

PISINGER, D.; ROPKE, S. (2010): Large neighborhood search. In: *Handbook of Metaheuristics. Springer* (2), S. 399–419.

PISSINGER, D.; ROPKE, S. (2007): A general heuristic for vehicle routing problems. In: *Computers and Operation Research* 8 (34), S. 2403–2435.

PRATT, J.; NOVAKOVIC, A.; STEPHENSON, M.; BISHOP, P.; ERBA, E. (1996): U.S. Dairy Sector Simulator - A Spatially Disaggregated Model of the U.S. Dairy Industry. Cornell.

QUINLAN, C.; ENRIGHT, P.; KAENE, M.; O'CONNOR, D. (2006): The Milk Transport Cost Implications of Alternative Dairy Factory Location. Cork.

QUINLAN, C.; KAENE, M.; CONNOR, D. O.; ENRIGHT, P. (2005): The cost and efficiency of milk transport from farms in Ireland. Cork.

QUINLAN, C.; KAENE, M.; CONNOR, D. O.; SHALLOO, L. (2012): Milk transport costs under differing seasonality assumptions for the Irish dairy industry. In: *International journal of dairy technology* 65 (1), S. 22–31.

QUINLAN, C.; KEANE, M.; O'CONNOR, D.; SHALLOO, L. (2010): The transport implications for Ireland of the elimination of the milk quota regime in 2015. In: *Proceedings of ITRN 2010*, S. 1–15.

REINELT, G. (1994): The traveling salesman. Computational solutions for TSP applications. Berlin: Springer (840). ISBN 3540583343.

ROBINSON, K. (2002): Dairy microbiology handbook. 3rd ed. New York: Wiley Interscience. ISBN 0471385964.

- RONEN, D. (1988): Perspectives on practical aspects of truck routing and scheduling. In: *European Journal of Operational Research* 35 (2), S. 137–145.
- ROZINAT, A.; MANS, R.S.; SONG, M.; VAN DER AALST, W.M.P. (2009): Discovering simulation models. In: *Information Systems* 34 (3), S. 305–327.
- SCARIA, C. T.; JOSEPH, J. (2014): Optimization of Transportation Route for a Milk Dairy. In: *International Journal of Engineering Research & Technology* 11 (3), S. 854–859.
- SCHLECHT, S.; SPILLER, A. (2009): Procurement strategies of the German dairy sector: Empirical evidence on contract design between dairies and their agricultural suppliers. Göttingen.
- SCHMID, M. (2015): Analyse der regionalen Milchmengenentwicklung in Bayern auf Landkreisebene. Freising.
- SCHNELL, R.; HILL, P. B.; ESSER, E. (2014): Methoden der empirischen Sozialforschung. München: Oldenbourg Verlag. ISBN 9783486728996.
- SCHUBERT, M.; GÄRTNER, F. (2017): Definition und Begriffe. Bericht zur Markt- und Versorgungslage mit Milch und Milcherzeugnissen. Bonn.
- SCHWARTE GROUP GMBH (2019): Fahrzeugbau. Online verfügbar unter <https://www.schwarte-jansky.com/fahrzeugbau/milchsammelfahrzeuge/msw-aufbauten>, zuletzt geprüft am 25.03.2019.
- SHALLOO, L.; DILLON, P.; RATH, M.; WALLACE, M. (2004): Description and Validation of the Moorepark Dairy System Model. In: *Journal of Dairy Science* 87 (6), S. 1945–1959.
- SHARMA, A. K.; SHARMA, R. K.; KASANA, H. S. (2007): Prediction of first lactation 305-daymilk yield in Karan Fries dairy cattle using ANN modelling. In: *Apply Soft Computers* (7), S. 1112–1120.
- SMITH, L. P. (1967): Forecasting Annual Milk Yields. In: *Agricultural Meteorology*, S. 209–214.
- SMYTH, P.; HARTE, L.; HENNESSY, H. (2009): Seasonality and Costs of Production on Irish dairy farms from 2000-2007. Dublin.
- SOLAKIVI, T.; TÖYLI, J.; OJALA, L. (2013): Logistics outsourcing, its motives and the level of logistics costs in manufacturing and trading companies operating in Finland. In: *Production Planning & Control* (24), S. 388–398.
- SOPRA (2012): Milchmengenmanagement im Internet. Ismaning.

SØRENSEN, I.; JENSEN, S.; OTTOSEN, N.; NEVE, T.; WIKING, L. (2016): Chemical Quality of Raw Milk Retentate processed by Ultra-filtration or Reverse Osmosis at the dairy farm. In: *International journal of dairy technology* 69 (1), S. 31–37.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2018a): Average annual OPEC crude oil price from 1960 to 2018. Online verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/>, zuletzt geprüft am 20.04.2018.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2018b): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 2-/3-/4-Steller). Online verfügbar unter https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data;sid=5D32807A0FDE91B400BE65E956DE2C95.GO_1_2?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=2&levelid=1556372169142&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&selectionname=42271-0002&auswahltext=&nummer=9&variable=9&name=WZ08X3&werteabruf=Werteabruf, zuletzt geprüft am 15.02.2019.

STEFFEN, N.; SCHLECHT, S.; SPILLER, A. (2009): Ausgestaltung von Milchlieferverträgen nach der Quote. Göttingen.

STEINHAUSER, H.; LANGBEHN, C.; PETERS, U. (1992): Allgemeiner Teil. Produktionsgrundlagen, Produktionstheorie und Rechnungssysteme mit Planungsrechnungen; 75 Übersichten. Stuttgart: Ulmer Verlag. ISBN 3825201139.

STROHM, R. (2000): Zuckerrübenernte und -transport. Modelle zur strategischen, taktischen und operativen Logistikplanung. Bergen/Dumme: Agrimedia. ISBN 3860371274.

TEMPELMEIER, H. (2018): Planung logistischer Systeme. Berlin: Springer Vieweg (Fachwissen Logistik). ISBN 9783662577820.

THIELE, H. (2016): Das Milchpreismodell der Molkerei Sodial in Frankreich - Ausgestaltung und Wirkungsweise. In: *ife Dairy Newsletter* (3), S. 1–7.

THIELE, H. D.; BURCHARDI, H.; TÄGER, M. (2018): Übersicht, Ableitung und Bewertung von in der Praxis umsetzbaren Mengenplanungs- und Mengensteuerungsmodellen auf Molkereiebene.

VERSPUT, W. (2001): A- und B-Milch statt Superabgabe. In: *Agrarzeitung* (13), S. 2.

VOGEL, J. (2015): Prognose von Zeitreihen. Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 9783658068370.

- WEINDLMAIER, H. (2009): Mengensteuerung in der Hand der Milcherzeuger- Ansatzpunkte, Probleme und Alternativen. In: *Molkerei-Industrie* (6), S. 24–26.
- WEINDLMAIER, H. (2010): Mengensteuerung am Milchmarkt: Ein immer wieder aktuelles Problem. In: *Deutsche Molkereizeitung* (23), S. 30–33.
- WEINDLMAIER, H.; BETZ, J. (2009): Zur aktuellen Situation der Milcherfassung in Deutschland und Österreich im Jahr 2007. In: *Deutsche Milchwirtschaft* 60, S. 12–17.
- WEINDLMAIER, H.; HUBER, A. (2010): Viel Milchgeld verbrennt auf der Straße. In: *Deutsche Landwirtschaftszeitung* (2), S. 10–12.
- WOLTER, M.; SCHIERHOLZ, F.; LASSEN, B. (2010): Künftige Veränderungen in der Lieferantenstruktur einer Molkerei an drei Strandorten. -Ergebnisse einer Befragung. Braunschweig.
- WYRZYKOWSKI, L.; REINCKE, K.; HEMME, T. (2018): IFCN Long-term Dairy Outlook. The IFCN Vision of the Dairy World in 2030. Kiel.
- ZHANG, F.; MURPHY, M. D.; SHALLOO, L.; RUELLE, E.; UPTON, J. (2016): An automatic model configuration and optimization system for milk production forecasting. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 128, S. 100–111.

11 Anhang

Anhang 1: Relativer Anteil der Milchmenge in Prozent an der gesamten Milchmenge innerhalb eines Milcheinzugsgebietes in den jeweiligen Betriebsgrößenklassen der Modellmilcheinzugsgebiete im Jahr 2017

Betriebsgrößenklasse	Ostbayern	Nordbayern	Südbayern	Zentralbayern
< 99.999 kg	3,04	7,93	8,25	3,91
100.000 - 249.999 kg	18,34	12,95	36,18	17,55
250.000 - 499.999 kg	25,28	18,98	36,76	33,33
500.000 - 749.999 kg	35,51	15,07	9,21	31,49
750.000 - 999.999 kg	9,46	14,41	4,71	9,39
1.000.000 - 1.249.999 kg	3,63	3,48	0,00	2,46
> 1.250.000 kg	4,73	27,19	4,89	1,87

Anhang 2: Relativer Anteil der Milcherzeuger in Prozent an den gesamten Milcherzeuger innerhalb eines Milcheinzugsgebietes in den jeweiligen Betriebsgrößenklassen der Modellmilcheinzugsgebiete im Jahr 2017

Betriebsgrößenklasse	Ostbayern	Nordbayern	Südbayern	Zentralbayern
< 99.999 kg	15,75	45,10	34,62	20,21
100.000 - 249.999 kg	35,53	23,53	41,21	31,85
250.000 - 499.999 kg	23,44	14,71	19,78	27,74
500.000 - 749.999 kg	19,41	6,86	2,75	15,75
750.000 - 999.999 kg	3,66	4,90	1,10	3,42
1.000.000 - 1.249.999 kg	1,10	0,98	0,00	0,68
> 1.250.000 kg	1,10	3,92	0,55	0,34

Anhang 3: Anschreiben der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2017

Umfrage zur Entwicklung der Milchmenge im -Einzugsgebiet

Sehr geehrte Damen und Herren,

ein hoher Anteil an Milch von Vertragslandwirten bei gleichzeitig sehr langfristiger Rohstoffplanung zeichnet unser Unternehmen im Bereich der Milcherfassung aus. So kommunizierten wir bereits im Jahr 2009, also sechs Jahre vor Ende der europäischen Milchquotenregelung, mit den Vertretern unserer Milcherzeugerorganisationen darüber, wie Formulierungen in Milchkaufverträgen in der Zeit nach der Milchquotenregelung aussehen werden. Mit der aktuellen Erweiterung unseres Einzugsgebietes im nordbayerischen Raum haben wir erneut eine langfristige Weichenstellung in Punkto Rohstoff getroffen.

Sicherlich können Sie nachvollziehen, dass die künftig zu erwartende und zu verarbeitende Milchmenge eine schwer zu kalkulierende bzw. eine variable Größe ist, die unsere Molkerei vor große Herausforderungen bei vielen strategischen Entscheidungen

stellt. Deshalb ist unserer Überzeugung nach das Wissen um die langfristige Milchmenge ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Unternehmensstrategie, von welcher auch Sie als Milcherzeuger profitieren können.

Allerdings wird für uns die Einschätzung, welche Rohstoffmengen wir die nächsten Jahre von Ihnen, unseren Vertragslandwirten, bekommen werden, zunehmend schwieriger. Dies liegt zum einen daran, dass Betriebe unterschiedlicher Größenordnungen in unserem Einzugsgebiet ihre Produktion aufgeben. Außerdem ist es nahezu unmöglich abzuschätzen, wie sich die Milchmenge bei den verbleibenden Betrieben entwickeln wird.

Um diesen für uns derzeit unbefriedigenden Sachverhalt zu verbessern, haben wir uns dazu entschlossen, direkt bei Ihnen nachzufragen. Dies geschieht in Form einer Umfrage, die dann ein wichtiges Element für unsere weitere Unternehmensplanung sein wird.

Michael Schmid, der sich im Rahmen seiner Promotion am Lehrstuhl Agrarsystemtechnik an der Technischen Universität München am Wissenschaftszentrum Weihenstephan unter anderem mit dem Thema „Prognose der Milchlieferung“ beschäftigt, begleitet die Umfrage. Gerne steht Ihnen Herr Schmid auch bei Fragen rund um die Umfrage zur Verfügung.

Um eine repräsentative Prognose zu erstellen, sind wir auf Ihre aktive Mithilfe angewiesen. Bitte füllen Sie den nachfolgenden Fragebogen zeitnah aus und senden diesen über den Milchsammelwagenfahrer bis Donnerstag, 11. Mai 2017 wieder an uns zurück.

Wir garantieren Ihnen eine rein unternehmensinterne Auswertung der Daten, die nicht an Dritte weitergegeben wird.

Bereits jetzt bedanken wir uns für Ihre Unterstützung.

Mit freundlichen Grüßen



Michael Schmid

Milcheinkauf

Anhang 4: Fragebogen der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2017

Fragebogen zur „Entwicklung der Milchmenge im [REDACTED]-Einzugsgebiet“

1. Wo lag Ihre angelieferte Milchmenge im Jahr 2016 in kg?

2. Wie hoch sehen Sie Ihre geplante Anlieferungsmenge bis zum Jahr 2022?

Jahr	anvisierte Anlieferungsmenge in kg
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	

Anhang 5: Anschreiben der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2018

Umfrage zur Entwicklung der Milchmenge im [REDACTED]-Einzugsgebiet

Sehr geehrte Damen und Herren,

sicherlich können Sie sich an die erste schriftliche Milchmengenumfrage im letzten Jahr erinnern. Dank Ihrer großen Unterstützung konnten wir anhand einer Rücklaufquote von über 90 % die Milchmenge des Jahres 2017 ziemlich genau schätzen. Neben dem Nutzen hinsichtlich unserer Unternehmens-steuerung stellten die Ergebnisse zur Entwicklung der langfristigen Milchmenge zudem einen sehr interessanten Beitrag für Sie in den Winterversammlungen 2017/2018 dar.

Darüber hinaus können Sie mit Sicherheit nachvollziehen, dass die künftig zu erwartende und zu verarbeitende Milchmenge eine variable, schwer zu kalkulierende Größe ist, die unsere Molkerei vor große Herausforderungen bei vielen strategischen Entscheidungen stellt. Beispielsweise erhielten wir durch die Insolvenz der B.M.G im März und die Volatilität des Milchmarktes die Anfrage vieler Milcherzeuger. Deshalb ist unserer Überzeugung nach das Wissen um die langfristige Milchmenge ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Unternehmensstrategie, von welcher auch Sie als Milcherzeuger profitieren können.

Allerdings wird für uns die Einschätzung, welche Rohstoffmengen wir die nächsten Jahre von Ihnen, unseren Vertragslandwirten, bekommen werden, zunehmend schwieriger. Dies liegt zum einen daran, dass Betriebe unterschiedlicher Größenordnungen in unserem Einzugsgebiet ihre Produktion aufgeben. Zum anderen ist es nahezu unmöglich abzuschätzen, wie sich die Milchmenge bei den verbleibenden Betrieben entwickeln wird.

Um diesen für uns derzeit unbefriedigenden Sachverhalt zu verbessern, haben wir uns dazu entschlossen, jährlich bei Ihnen direkt nachzufragen. Dies geschieht in Form einer Umfrage, die dann ein wichtiges Element für unsere weitere Unternehmensplanung sein wird. Michael Schmid, der sich im Rahmen seiner Promotion am Lehrstuhl Agrarsystemtechnik an der Technischen Universität München am Wissenschaftszentrum Weihenstephan unter anderem mit dem Thema „Prognose der Milchlieferung“ beschäftigt, begleitet die Umfrage. Gerne steht Ihnen Herr Schmid auch bei Fragen rund um die Umfrage zur Verfügung.

Um eine repräsentative Prognose zu erstellen, sind wir auf Ihre aktive Mithilfe angewiesen. Bitte beantworten Sie den nachfolgenden Fragebogen zeitnah und senden Sie diesen über den Milchsammelwagenfahrer bis Freitag, 18. Mai 2018 wieder an uns zurück.

Bereits jetzt bedanken wir uns für Ihre Unterstützung.

Mit freundlichen Grüßen

i. A. M. Schmid

i. A. Michael Schmid

Milcheinkauf

Anhang 6: Fragebogen der schriftlichen Milcherzeugerumfrage 2018

Fragebogen „Entwicklung der Milchmenge im -Einzugsgebiet“

Ihre angelieferte Milchmenge lag im Kalenderjahr 2017 und dem aktuell angewendeten Umrechnungsfaktor von 1,03 kg/l bei **XXX kg**.

3. Wie hoch sehen Sie Ihre geplante Anlieferungsmenge bis zum Jahr 2023?

Jahr	anvisierte Anlieferungsmenge in kg
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	
2023	

Anhang 7: Zweiachser LKW solo



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 8: Dreiachser LKW



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 9: Vierachser LKW



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 10: Sammelaufleger solo



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 11: Dreiachsanhänger



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 12: Zweiachsanhänger



(Quelle: SCHWARTE GROUP GMBH 2019).

Anhang 13: Milchtransportauflieger



(Quelle: EIGENE AUFNAHME)

Anhang 14: Transportmittel abhängiger Dieselbedarf für ausgewählte Verfahrensschritte der Milchlogistik

Einheit	Zwei-Achser LKW solo	Drei-Achser LKW solo	Zwei-Achser LKW + Drei-Achser Anhänger	Drei-Achser LKW + Zwei-Achser Anhänger	Vier-Achser LKW solo	Sammelauflieger	Sattelzugmaschine
Einsaugen und Umpumpen	I/Std	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Hinfahrt	I/100 km	27,00	29,50	30,45	31,29	31,50	31,50
Erfassung	I/100 km	38,00	40,00	41,73	42,69	43,83	-
Rückfahrt	I/100 km	34,57	35,50	36,80	37,86	37,63	37,63

Anhang 15: Transportmittel abhängige Geschwindigkeiten für ausgewählte Verfahrensschritte der Milchlogistik

Einheit	Zwei-Achser LKW solo	Drei-Achser LKW solo	Zwei-Achser LKW + Drei-Achser Anhänger	Drei-Achser LKW + Zwei-Achser Anhänger	Vier-Achser LKW solo	Sammelauflieger	Sattelzugmaschine
Hinfahrt	km/h	52,22	53,00	46,25	48,33	49,22	46,25
Erfassung	km/h	48,71	48,22	41,50	46,79	48,30	46,79
Rückfahrt	km/h	30,88	32,13	23,75	27,60	28,73	-

Anhang 16: Transportmittel spezifische proportionale Spezialkosten der LKWs

Kennzahl	Einheit	Zwei-Achs MSW	Drei-Achs MSW	Vier-Achs MSW	Sattelzugmaschine
Wartung	€/km	0,036	0,038	0,058	0,040
Schmierstoffe/Ölwechsel	€/km	0,015	0,015	0,021	0,016
Reifen	€/km	0,040	0,047	0,080	0,048

Anhang 17: Transportmittel spezifische proportionale Spezialkosten der Anhänger und Auflieger

Kennzahl	Einheit	Zwei-Achs Anhänger	Drei-Achs Anhänger	Milchsammelauflieger	Milchtransportauflieger
Wartung	€/km	0,0166	0,0214	0,0212	0,0209
Reifen	€/km	0,0133	0,0235	0,0350	0,0259

Anhang 18: Transportkombinations- und verfahrensschrittabhängige proportionale Spezialkosten für die Maut differenziert für die Jahre 2017 und 2023

Fahrzeugkombination	2017				2023			
	Einheit	Milcherfassung	Milchtransport	Milchtransport	Milcherfassung	Milchtransport	Milcherfassung	Milchtransport
Zwei-Achser solo	€/km	0,015	0,051	0,051	0,042	0,125	0,042	0,125
Drei-Achser solo	€/km	0,020	0,067	0,067	0,055	0,166	0,055	0,166
Vier-Achser solo	€/km	0,021	0,069	0,069	0,059	0,178	0,059	0,178
Zwei-Achser LKW mit Drei-Achser Anhänger	€/km	0,023	0,078	0,078	0,059	0,178	0,059	0,178
Drei-Achser LKW mit Zwei-Achser Anhänger	€/km	0,023	0,078	0,078	0,059	0,178	0,059	0,178
Sattelzugmaschine mit Milchsammelauflieger	€/km	0,023	0,078	0,078	0,059	0,178	0,059	0,178
Sattelzugmaschine mit Milchtransportauflieger	€/km	-	0,078	0,078	-	0,178	-	0,178

Anhang 19: Anschaffungskosten und Restwert der Lastkraftwagen

	Einheit	Zwei-Achs MSW	Drei-Achs MSW	Vier-Achs MSW	Milchsammelauflieger	Sattelzugmaschine
Anschaffungskosten Aufbau	€	89.800	93.500	110.000	146.000	-
Restwert Aufbau	€	17.960	18.700	22.000	29.200	-
Anschaffungskosten Zugmaschine	€	93.000	100.000	120.000	90.000	90.000
Restwert LKW	€	18.600	20.000	24.000	18.000	18.000

Anhang 20: Anschaffungskosten und Restwert der Transportanhänger und Transportauflieger

	Einheit	Zwei-Achs Anhänger	Drei-Achs Anhänger	Milchtransportauflieger
Investitionssumme	€	54.600	44.300	60.000
Restwert Anhänger	€	10.920	8.860	12.000

Anhang 21: Verfahrensschritte der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten der Milchlogistik

Abkürzung	Verfahrensschritt
a	Hinfahrt in das Milcheinzugsgebiet
b	Zwischenerzeugetfahrt
c	Rückfahrt vom Milcheinzugsgebiet
d	Milcheinsaugen
e	Routinearbeit Milcheinsaugen
f	Milchumpumpen
g	Routinearbeit Milchumpumpen
h	Anhänger An- und abkuppeln
i	Umsatteln Transportauflieger
j	Milchentladung in der Molkerei

Anhang 22: Transportmittel- und verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik im Jahr 2017

Verfahrensschritt	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Einheit	€/km	€/km	€/km	€/kg	€/Erzeuger	€/kg	€/Vorgang	€/Vorgang	€/Vorgang	€/Entladung
Zwei-Achs LKW solo	0,9572	1,0475	1,2860	0,0011	0,8729	0,0007	1,1675	-	-	27,4164
Drei-Achs LKW solo	1,0164	1,0792	1,3833	0,0011	0,8729	0,0007	1,1675	-	-	30,2807
Vier-Achs LKW	1,1381	1,2480	1,6411	0,0011	0,8729	0,0008	1,1675	-	-	32,1492
Milchsammelaufleger	1,1117	1,1822	1,6869	0,0015	0,8729	-	-	-	-	34,6327
Zwei-Achser LKW + Drei-Achser Anhänger	1,1076	1,2194	1,6055	0,0011	0,8729	0,0007	1,1675	1,5822	-	34,4675
Drei-Achser LKW + Zwei-Achser Anhänger	1,0932	1,1677	1,6600	0,0011	0,8729	0,0007	1,1675	1,5822	-	34,4159
Milchtransportaufleger	0,9987	1,0501	-	-	-	-	-	-	3,9456	27,1829

Anhang 23: Transportmittel- und verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik im Jahr 2023

Verfahrensschritt	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Einheit	€/km	€/km	€/km	€/kg	€/Erzeuger	€/kg	€/Vorgang	€/Vorgang	€/Vorgang	€/Entladung
Zwei-Achs LKW solo	1,1054	1,2073	1,4246	0,0012	0,9684	0,0008	1,2953	-	-	29,5189
Drei-Achs LKW solo	1,1928	1,2639	1,5384	0,0012	0,9684	0,0008	1,2953	-	-	32,6656
Vier-Achs LKW	1,3299	1,4525	1,8174	0,0012	0,9684	0,0008	1,2953	-	-	34,7083
Milchsammelaufleger	1,2930	1,3726	1,8667	0,0016	0,9684	-	-	-	-	37,4095
Zwei-Achser LKW + Drei-Achser Anhänger	1,2894	1,4142	1,7783	0,0012	0,9684	0,0008	1,2953	1,7553	-	37,2303
Drei-Achser LKW + Zwei-Achser Anhänger	1,2743	1,3584	1,8383	0,0012	0,9684	0,0008	1,2953	1,7553	-	37,1746
Milchtransportaufleger	1,1819	1,2405	-	-	-	-	-	-	4,4650	30,0148

Anhang 24: Transportmittel- und verfahrensartenspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik

Verfahrensschritt	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Einheit	g CO ₂ -Äq/km	g CO ₂ -Äq/km	g CO ₂ -Äq/km	g CO ₂ -Äq/kg	g CO ₂ -Äq/Erzeuger	g CO ₂ -Äq/kg	g CO ₂ -Äq/Vorgang	g CO ₂ -Äq/Vorgang	g CO ₂ -Äq/Vorgang	g CO ₂ -Äq/Entladung
Zwei-Achs MSW solo	850,50	1.089,00	1.197,00	1,32	1.159,60	0,7296	1.551,38	-	-	13.089,00
Drei-Achs MSW solo	929,25	1.118,25	1.260,00	1,32	1.159,60	0,7296	1.551,38	-	-	23.618,25
Vier-Achs MSW	982,80	1.176,00	1.333,50	1,32	1.159,60	0,7296	1.551,38	-	-	29.976,00
Milchsammelauflieger	992,25	1.185,19	1.380,75	1,32	1.159,60	-	-	-	-	39.435,19
Zwei-Achser MSW + Drei-Achser Anhänger	959,32	1.159,20	1.314,41	1,32	1.159,60	0,7296	1.551,38	17,52	-	38.659,20
Drei-Achser MSW + Zwei-Achser Anhänger	985,50	1.192,50	1.344,81	1,32	1.159,60	0,7296	1.551,38	17,52	-	38.692,50
Milchtransportauflieger	992,25	1.185,19	-	-	-	-	-	-	17,52	41.685,19

Anhang 25: Transportmittel- und verfahrensartenspezifische Zeitanprüche der Milchlogistik

Verfahrensschritt	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Einheit	h/km	h/km	h/km	h/km	h/Erzeuger	h/kg	h/Vorgang	h/Vorgang	h/Vorgang	h/Entladung
Zwei-Achs MSW solo	0,0191	0,0205	0,0324	0,000025	0,0245	0,000015	0,0328	0,0222	-	0,97
Drei-Achs MSW solo	0,0189	0,0207	0,0311	0,000025	0,0245	0,000015	0,0328	0,0222	-	1,10
Vier-Achs MSW	0,0216	0,0241	0,0421	0,000025	0,0245	0,000015	0,0328	0,0222	-	1,18
Milchsammelauflieger	0,0207	0,0214	0,0362	0,000025	0,0245	-	-	-	-	1,29
Zwei-Achser MSW + Drei-Achser Anhänger	0,0201	0,0211	0,0398	0,000025	0,0245	0,000015	0,0328	0,0222	-	1,14
Drei-Achser MSW + Zwei-Achser Anhänger	0,0203	0,0207	0,0348	0,000025	0,0245	0,000015	0,0328	0,0222	-	1,01
Milchtransportauflieger	0,0216	0,0214	-	-	-	-	-	-	0,1335	1,32

Anhang 26: Verfahrensartabhängige Milcherfassungs- und Milchtransportstrecken des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
I (2017)	km	10.232,86	5.546,51	4.350,80	3.224,81	3.239,21	3.239,21	4.544,10	4.544,10	162,29	162,29	162,29	162,29	162,29
II (2017)	km	417,45	653,58	620,19	673,63	661,76	661,76	1.532,19	1.025,77	1.532,19	1.025,77	1.532,19	1.025,77	881,18
III (2017)	km	10.276,14	5.520,81	4.370,30	3.189,50	3.270,53	3.270,53	4.526,68	4.526,68	162,48	162,48	162,48	162,48	162,48
IV (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.921,22	2.921,22	2.921,22	2.921,22	2.921,22
V (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.924,64	2.924,64	2.924,64	2.924,64	2.924,64
I (2023)	km	2.058,70	1.103,64	806,99	548,13	660,56	660,56	722,02	722,02	227,21	227,21	227,21	227,21	227,21
II (2023)	km	1.025,97	792,77	849,66	640,69	647,38	647,38	2.941,27	1.702,98	2.941,27	1.702,98	2.941,27	1.702,98	1.425,75
III (2023)	km	2.443,12	1.109,05	838,37	653,74	676,13	676,13	737,90	737,90	226,33	226,33	226,33	226,33	226,33
IV (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	649,82	649,82	649,82	649,82	649,82
V (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	664,11	664,11	664,11	664,11	664,11

Anhang 27: Verfahrensartspezifische Anzahl an Milchsammel- und Transportfahrten des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Sammeltouren (2017)	Anzahl	63	34	26	20	20	20	63	34	63	34	63	34	26
Transportfahrten Sammelwagen (2017)	Anzahl	63	34	26	20	20	20	20	20	1	1	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2017)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18	18
Sammeltouren (2023)	Anzahl	70	38	29	22	23	23	70	38	70	38	70	38	29
Transportfahrten Sammelwagen (2023)	Anzahl	70	38	29	22	23	23	23	23	1	1	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2023)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20

Anhang 28: Verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Kostenart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	ct/kg	0,26	0,34	0,36	0,43	0,37	0,38	0,62	0,48	0,66	0,54	0,55
Milchtransport (2017)	ct/kg	4,48	2,54	2,26	1,62	1,66	1,62	2,26	2,20	1,39	1,38	1,39
Gesamtkosten (2017)	ct/kg	4,75	2,88	2,63	2,05	2,03	2,00	2,89	2,68	2,05	1,92	1,94
Milcherfassung (2023)	ct/kg	0,30	0,33	0,53	0,43	0,36	0,34	0,67	0,51	0,71	0,58	0,60
Milchtransport (2023)	ct/kg	5,11	2,98	2,53	1,86	1,97	1,92	2,69	2,63	1,61	1,61	1,61
Gesamtkosten (2023)	ct/kg	5,41	3,31	3,05	2,29	2,33	2,27	3,358	3,14	2,318	2,18	2,22
Differenz Gesamtkosten	ct/kg	0,66	0,43	0,43	0,25	0,29	0,27	0,47	0,45	0,27	0,26	0,28

Anhang 29: Verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Emissionsart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	2,96	3,62	3,62	3,83	3,71	3,75	6,37	4,92	6,69	5,44	5,16
Milchtransport (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	41,69	24,41	20,51	15,63	15,44	15,83	15,44	15,83	15,09	16,58	15,08
Gesamt (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	44,65	28,02	24,13	19,46	19,14	19,58	21,80	20,75	21,77	22,02	20,24
Milcherfassung (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	2,95	3,24	4,50	3,54	3,28	3,16	6,12	4,70	6,46	5,23	5,10
Milchtransport (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	41,43	24,58	19,75	15,54	15,82	16,22	15,82	16,22	14,92	16,47	14,92
Gesamt (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	44,39	27,82	24,24	19,08	19,10	19,38	21,94	20,91	21,38	21,71	20,02
Differenz Gesamtemissionen	g CO ₂ -Äq/kg	-0,26	-0,20	0,11	-0,38	-0,05	-0,20	0,14	0,17	-0,39	-0,32	-0,22

Anhang 30: Verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Zeiteffizienzzahl	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung 2017	s/kg	0,24	0,29	0,33	0,32	0,33	0,31	0,56	0,4008	0,59	0,4536	0,49
Milchtransport 2017	s/kg	3,13	1,72	1,56	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
Gesamt 2017	s/kg	3,37	2,01	1,89	1,40	1,40	1,38	1,63	1,47	1,65	1,51	1,55
Milcherfassung 2023	s/kg	0,24	0,26	0,43	0,29	0,29	0,25	0,54	0,38	0,57	0,44	0,49
Milchtransport 2023	s/kg	3,11	1,73	1,50	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10	1,05	1,05	1,05
Gesamt 2023	s/kg	3,35	1,99	1,94	1,37	1,39	1,35	1,63	1,48	1,62	1,49	1,54
Differenz Zeiteffizienzkennzahlen	s/kg	-0,02	-0,02	0,05	-0,03	-0,02	-0,03	0,00	0,01	-0,03	-0,03	-0,01

Anhang 31: Notwendige Anzahl an Transportmitteln pro Verfahrensvariante und Abholintervall des Milcheinzugsgebietes Ostbayern in den Jahren 2017 und 2023

Fahrzeugart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anzahl Sammelfahrzeuge (2017)	Anzahl/Abholintervall	11,64	6,92	6,52	4,82	4,85	4,76	5,62	5,08	2,16	1,68	1,80
Anzahl Transportauflieger (2017)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,54	3,54	3,54
Anzahl Sammelfahrzeuge (2023)	Anzahl/Abholintervall	12,94	7,66	7,47	5,28	5,35	5,21	6,30	5,71	2,32	1,79	1,99
Anzahl Transportauflieger (2023)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	3,94	3,94

Anhang 34: Verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Kostenart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	ct/kg	0,65	0,84	0,82	0,76	0,71	0,73	1,48	1,10	1,52	1,16	1,18
Milchtransport (2017)	ct/kg	5,92	2,99	3,03	2,17	2,34	2,28	2,49	2,43	1,91	1,90	2,23
Gesamtkosten (2017)	ct/kg	6,57	3,84	3,85	2,93	3,06	3,01	3,98	3,53	3,43	3,06	3,41
Milcherfassung (2023)	ct/kg	0,50	0,48	0,84	0,75	0,74	0,76	1,63	1,21	1,67	1,27	1,35
Milchtransport (2023)	ct/kg	7,12	3,76	3,39	2,60	2,66	2,59	2,66	2,60	2,42	2,41	2,42
Gesamtkosten (2023)	ct/kg	7,62	4,24	4,23	3,35	3,40	3,35	4,298	3,81	4,088	3,68	3,77
Differenz Gesamtkosten	ct/kg	1,04	0,40	0,38	0,42	0,35	0,34	0,32	0,29	0,66	0,62	0,37

Anhang 35: Verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Emissionsart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	2,96	3,62	3,62	3,83	3,71	3,75	6,37	4,92	6,69	5,44	5,16
Milchtransport (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	41,69	24,41	20,51	15,63	15,44	15,83	15,44	15,83	15,09	15,11	15,08
Gesamt (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	44,65	28,02	24,13	19,46	19,14	19,58	21,80	20,75	21,77	20,54	20,24
Milcherfassung (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	2,95	3,24	4,50	3,54	3,28	3,16	6,12	4,70	6,46	5,23	5,10
Milchtransport (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	41,43	24,58	19,75	15,54	15,82	16,22	15,82	16,22	14,92	14,94	14,92
Gesamt (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	44,39	27,82	24,24	19,08	19,10	19,38	21,94	20,91	21,38	20,17	20,02
Differenz Gesamtemissionen	g CO ₂ -Äq/kg	-0,26	-0,20	0,11	-0,38	-0,05	-0,20	0,14	0,17	-0,39	-0,37	-0,22

Anhang 36: Verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Zeiteffizienzzahl	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung 2017	s/kg	0,59	0,70	0,75	0,58	0,64	0,58	1,33	0,90	1,37	0,95	1,07
Milchtransport 2017	s/kg	4,16	2,02	2,08	1,44	1,50	1,50	1,50	1,50	1,42	1,42	1,67
Gesamt 2017	s/kg	4,75	2,72	2,83	2,02	2,14	2,07	2,84	2,40	2,79	2,37	2,74
Milcherfassung 2023	s/kg	0,41	0,36	0,69	0,51	0,60	0,54	1,33	0,89	1,36	0,94	1,11
Milchtransport 2023	s/kg	4,35	2,18	2,02	1,49	1,48	1,47	1,48	1,47	1,53	1,53	1,54
Gesamt 2023	s/kg	4,75	2,54	2,71	2,01	2,07	2,01	2,80	2,36	2,90	2,47	2,65
Differenz Zeiteffizienzkennzahlen	s/kg	0,01	-0,18	-0,13	-0,01	-0,07	-0,07	-0,03	-0,04	0,11	0,10	-0,09

Anhang 37: Notwendige Anzahl an Transportmitteln pro Verfahrensvariante und Abholintervall des Milcheinzugsgebietes Nordbayern in den Jahren 2017 und 2023

Fahrzeugart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anzahl Sammelfahrzeuge (2017)	Anzahl/Abholintervall	5,20	2,98	3,11	2,21	2,34	2,27	3,11	2,63	1,73	1,27	1,40
Anzahl Transportauflieger (2017)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,33	1,60
Anzahl Sammelfahrzeuge (2023)	Anzahl/Abholintervall	5,64	3,02	3,21	2,38	2,46	2,38	3,33	2,80	1,84	1,34	1,55
Anzahl Transportauflieger (2023)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	1,60	1,60

Anhang 38: Verfahrensartabhängige Milcherfassungs- und Milchtransportstrecken des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I (2017)	km	3.918,47	2.084,40	1.614,87	1.050,35	1.235,73	1.235,73	1.349,65	1.349,65	168,71	168,71	168,71	168,71
II (2017)	km	683,73	587,06	591,18	536,95	616,17	616,17	1.379,59	933,28	1.379,59	933,28	933,28	776,17
III (2017)	km	2.844,54	2.135,13	1.614,09	1.079,01	1.242,61	1.242,61	1.357,58	1.357,58	169,70	169,70	169,70	169,70
IV (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.180,94	1.180,94	1.180,94	1.180,94
V (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.187,89	1.187,89	1.187,89	1.187,89
I (2023)	km	2.058,70	1.103,64	806,99	548,13	660,56	660,56	722,02	722,02	227,21	227,21	227,21	227,21
II (2023)	km	1.025,97	792,77	849,66	640,69	647,38	647,38	2.941,27	1.702,98	2.941,27	1.702,98	1.702,98	1.425,75
III (2023)	km	2.443,12	1.109,05	838,37	653,74	676,13	676,13	737,90	737,90	226,33	226,33	226,33	226,33
IV (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	649,82	649,82	649,82	649,82
V (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	664,11	664,11	664,11	664,11

Anhang 39: Verfahrensartspezifische Anzahl an Milchsammel- und Milchtransportfahrten des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Sammeltouren (2017)	Anzahl	24	13	10	8	8	8	24	13	24	13	13	10
Transportfahrten Sammelwagen (2017)	Anzahl	24	13	10	8	8	8	8	8	1	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2017)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7
Sammeltouren (2023)	Anzahl	25	14	11	8	8	8	25	14	25	14	14	11
Transportfahrten Sammelwagen (2023)	Anzahl	25	14	11	8	8	8	8	8	1	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2023)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7

Anhang 40: Verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Kostenart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	ct/kg	0,66	0,62	0,71	0,71	0,72	0,74	1,20	0,92	1,24	0,97	0,96
Milchtransport (2017)	ct/kg	3,92	2,55	2,21	1,44	1,67	1,63	1,82	1,77	1,61	1,61	1,62
Gesamtkosten (2017)	ct/kg	4,57	3,18	2,92	2,15	2,39	2,37	3,02	2,68	2,85	2,58	2,58
Milcherfassung (2023)	ct/kg	0,55	0,59	0,66	0,70	0,62	0,63	1,27	0,91	1,31	0,97	0,99
Milchtransport (2023)	ct/kg	4,99	2,83	2,50	1,58	1,79	1,74	1,88	1,83	1,76	1,75	1,77
Gesamtkosten (2023)	ct/kg	5,54	3,42	3,16	2,28	2,41	2,38	3,153	2,74	3,070	2,72	2,76
Differenz Gesamtkosten	ct/kg	0,96	0,25	0,24	0,13	0,02	0,01	0,13	0,06	0,22	0,14	0,18

Anhang 41: Verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Emissionsart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	6,78	6,36	6,62	6,37	6,73	6,83	11,90	9,00	12,21	9,51	8,70
Milchtransport (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	35,74	24,54	20,06	13,97	15,55	15,95	15,55	15,95	17,32	17,38	17,31
Gesamt (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	42,52	30,90	26,68	20,34	22,29	22,78	27,45	24,95	29,53	26,88	26,02
Milcherfassung (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	5,28	5,51	5,69	5,70	5,40	5,47	11,47	8,21	11,78	8,69	8,19
Milchtransport (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	43,00	25,27	21,10	14,23	15,45	15,84	15,45	15,84	17,32	17,39	17,33
Gesamt (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	48,28	30,77	26,80	19,93	20,85	21,32	26,92	24,05	29,10	26,09	25,51
Differenz Gesamtemissionen	g CO ₂ -Äq/kg	5,76	-0,13	0,12	-0,41	-1,44	-1,46	-0,53	-0,90	-0,43	-0,80	-0,50

Anhang 42: Verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Zeiteffizienzzahl	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung 2017	s/kg	0,60	0,52	0,65	0,55	0,64	0,59	1,08	0,7584	1,12	0,8107	0,88
Milchtransport 2017	s/kg	2,73	1,73	1,52	0,96	1,08	1,08	1,08	1,08	1,21	1,21	1,22
Gesamt 2017	s/kg	3,33	2,25	2,18	1,51	1,72	1,66	2,16	1,83	2,33	2,02	2,09
Milcherfassung 2023	s/kg	0,46	0,45	0,56	0,49	0,51	0,46	1,05	0,69	1,09	0,74	0,83
Milchtransport 2023	s/kg	3,23	1,78	1,60	0,98	1,07	1,07	1,07	1,07	1,21	1,21	1,22
Gesamt 2023	s/kg	3,69	2,23	2,16	1,47	1,58	1,54	2,12	1,76	2,30	1,95	2,04
Differenz Zeiteffizienzkennzahlen	s/kg	0,36	-0,02	-0,02	-0,04	-0,14	-0,13	-0,04	-0,07	-0,04	-0,07	-0,05

Anhang 43: Notwendige Anzahl an Transportmitteln pro Verfahrensvariante und Abholintervall des Milcheinzugsgebietes Südbayern in den Jahren 2017 und 2023

Fahrzeugart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anzahl Sammelfahrzeuge (2017)	Anzahl/Abholintervall	4,37	2,95	2,85	1,98	2,26	2,18	2,83	2,40	1,63	1,22	1,31
Anzahl Transportauflieger (2017)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	1,43	1,43
Anzahl Sammelfahrzeuge (2023)	Anzahl/Abholintervall	5,01	3,03	2,93	2,00	2,15	2,09	2,89	2,40	1,69	1,22	1,35
Anzahl Transportauflieger (2023)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	1,43	1,43

Anhang 44: Verfahrensartabhängige Milcherfassungs- und Milchtransportstrecken des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I (2017)	km	1.927,63	1.019,44	687,52	534,73	581,57	581,57	722,02	722,02	722,02	36,10	36,10	36,10
II (2017)	km	498,68	715,61	709,13	626,45	751,62	751,62	3.243,34	1.918,16	3.243,34	1.918,16	1.918,16	1.469,96
III (2017)	km	2.844,54	1.411,68	1.228,42	941,11	928,95	928,95	737,90	737,90	737,90	36,90	36,90	36,90
IV (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	649,82	649,82	649,82
V (2017)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	664,11	664,11	664,11
I (2023)	km	2.058,70	1.103,64	806,99	548,13	660,56	660,56	722,02	722,02	722,02	227,21	227,21	227,21
II (2023)	km	1.025,97	792,77	849,66	640,69	647,38	647,38	2.941,27	1.702,98	2.941,27	1.702,98	1.702,98	1.425,75
III (2023)	km	2.443,12	1.109,05	838,37	653,74	676,13	676,13	737,90	737,90	737,90	226,33	226,33	226,33
IV (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	649,82	649,82	649,82
V (2023)	km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	664,11	664,11	664,11

Anhang 45: Verfahrensartspezifische Anzahl an Milchsammel- und Transportfahrten des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023

Logistikart	Einheit	Verfahrensvariante											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Sammeltouren (2017)	Anzahl	63	34	26	20	20	20	20	63	34	63	34	26
Transportfahrten Sammelwagen (2017)	Anzahl	63	34	26	20	20	20	20	20	20	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2017)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18
Sammeltouren (2023)	Anzahl	62	33	26	20	20	20	20	62	33	62	33	26
Transportfahrten Sammelwagen (2023)	Anzahl	62	33	26	20	20	20	20	20	20	1	1	1
Transportfahrten Transportauflieger (2023)	Anzahl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18

Anhang 46: Verfahrensartspezifische Vollkosten der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023

Kostenart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	€Ct/kg	0,29	0,36	0,40	0,41	0,40	0,41	1,07	0,73	1,11	0,79	0,74
Milchtransport (2017)	€Ct/kg	1,32	0,72	0,63	0,48	0,50	0,48	0,48	0,47	0,39	0,39	0,39
Gesamtkosten (2017)	€Ct/kg	1,60	1,08	1,03	0,89	0,90	0,89	1,55	1,20	1,50	1,18	1,14
Milcherfassung (2023)	€Ct/kg	0,46	0,41	0,48	0,45	0,40	0,40	1,09	0,74	1,13	0,80	0,80
Milchtransport (2023)	€Ct/kg	1,44	0,77	0,65	0,48	0,52	0,51	0,55	0,54	0,46	0,46	0,46
Gesamtkosten (2023)	€Ct/kg	1,90	1,18	1,13	0,93	0,92	0,91	1,646	1,28	1,596	1,26	1,26
Differenz Gesamtkosten	€Ct/kg	0,29	0,10	0,10	0,03	0,02	0,02	0,10	0,08	0,10	0,08	0,12

Anhang 47: Verfahrensartspezifische Treibhausgasemissionen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023

Emissionsart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	3,20	3,81	3,90	3,74	3,98	4,03	10,52	7,22	10,84	7,73	6,77
Milchtransport (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	11,17	6,68	5,82	4,89	4,83	4,93	4,83	4,93	4,61	4,62	4,60
Gesamt (2017)	g CO ₂ -Äq/kg	14,37	10,49	9,72	8,63	8,82	8,96	15,35	12,14	15,45	12,35	11,37
Milcherfassung (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	4,35	3,88	4,16	3,65	3,58	3,62	9,73	6,92	9,01	6,22	5,72
Milchtransport (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	10,63	6,20	5,14	4,29	4,51	4,54	4,46	4,54	5,50	7,02	5,50
Gesamt (2023)	g CO ₂ -Äq/kg	14,98	10,08	9,29	7,94	8,09	8,16	14,19	11,46	14,51	13,24	11,22
Differenz Gesamtemissionen	g CO ₂ -Äq/kg	0,61	-0,42	-0,43	-0,68	-0,72	-0,80	-1,16	-0,68	-0,94	0,89	-0,15

Anhang 48: Verfahrensartspezifische Zeiteffizienzkennzahlen der Milchlogistik des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern in den Jahren 2017 und 2023

Zeiteffizienzkennzahl	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Milcherfassung 2017	s/kg	0,26	0,30	0,36	0,31	0,36	0,33	0,96	0,6044	1,00	0,6571	0,67
Milchtransport 2017	s/kg	0,88	0,48	0,44	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32
Gesamt 2017	s/kg	1,13	0,79	0,80	0,64	0,69	0,66	1,29	0,93	1,31	0,97	0,99
Milcherfassung 2023	s/kg	0,37	0,31	0,39	0,30	0,32	0,30	0,89	0,55	0,92	0,60	0,65
Milchtransport 2023	s/kg	0,84	0,45	0,39	0,29	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32
Gesamt 2023	s/kg	1,22	0,76	0,79	0,59	0,63	0,60	1,19	0,85	1,24	0,92	0,97
Differenz Zeiteffizienzkennzahlen	s/kg	0,08	-0,02	-0,01	-0,04	-0,06	-0,06	-0,10	-0,08	-0,07	-0,05	-0,01

Anhang 49: Notwendige Anzahl an Transportmitteln pro Verfahrensvariante und Abholintervall des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern im Jahr 2017 und 2023

Fahrzeugart	Einheit	Verfahrensvariante										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anzahl Sammelfahrzeuge (2017)	Anzahl/Abholintervall	3,92	2,72	2,75	2,20	2,38	2,28	4,46	3,23	3,43	2,26	2,30
Anzahl Transportauflieger (2017)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,11	1,11
Anzahl Sammelfahrzeuge (2023)	Anzahl/Abholintervall	4,15	2,60	2,68	2,02	2,14	2,05	4,07	2,92	3,14	2,04	2,21
Anzahl Transportauflieger (2023)	Anzahl/Abholintervall	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,11	1,11

Anhang 50: Gegenwärtige und zukünftige Milchdichtefaktoren der gebrochenen und ungebrochenen Verfahrensvarianten mit den geringsten Vollkosten pro Milcheinzugsgebiet

Einheit	2017		2023	
	gebrochen	ungebrochen	gebrochen	ungebrochen
Ostbayern	484,53	751,05	494,22	990,28
Nordbayern	153,85	303,46	152,02	336,56
Südbayern	202,19	351,43	221,92	391,49
Zentralbayern	338,87	795,16	344,69	759,13

Anhang 51: Verfahrensschritt disaggregierte Treibhausgasemissionen der ökonomisch optimalen gegenwärtigen und zukünftigen Verfahrensvariante des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern

Verfahrensschritt	Einheit	2017		2023	
		gebrochen 2017	ungebrochen 2017	gebrochen 2023	ungebrochen 2023
Hinfahrt, Rückfahrt	g CO ₂ -Äq/kg	3,37	3,03	2,97	3,07
Zwischenerzeugerfahrt	g CO ₂ -Äq/kg	2,03	3,94	1,77	3,87
Milcheinsaugen beim Milcherzeugerbetrieb	g CO ₂ -Äq/kg	1,32	1,32	1,32	1,32
Routinetätigkeit beim Milcherzeugerbetrieb	g CO ₂ -Äq/kg	0,68	0,68	0,53	0,53
Milchumpumpen	g CO ₂ -Äq/kg	-	0,70	-	0,70
Routinetätigkeit Milchumladen	g CO ₂ -Äq/kg	-	0,13	-	0,13
An-/Abkuppeln Anhänger an Sammelwagen	g CO ₂ -Äq/kg	-	-	-	-
Umsatteln Transportaufleger	g CO ₂ -Äq/kg	-	0,00	-	0,00
Milchentladung in der Molkerei	g CO ₂ -Äq/kg	1,55	1,57	1,57	1,59
Gesamt	g CO ₂ -Äq/kg	8,96	11,37	8,16	11,22

Anhang 52: Verfahrensschritt disaggregierte Zeiteffizienzkennzahlen der ökonomisch optimalen gegenwärtigen und zukünftigen Verfahrensvariante des Milcheinzugsgebietes Zentralbayern

Verfahrensschritt	Einheit	ungebrochen 2017	gebrochen 2017	ungebrochen 2023	gebrochen 2023
Hinfahrt, Rückfahrt	s/kg	0,2244	0,2155	0,2009	0,2184
Zwischenerzeugerfahrt	s/kg	0,1891	0,4473	0,1651	0,4398
Milcheinsaugen beim Milcherzeugerbetrieb	s/kg	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909
Routinetätigkeit beim Milcherzeugerbetrieb	s/kg	0,0518	0,0518	0,0403	0,0403
Milchumpumpen	s/kg	-	0,0518	-	0,0518
Routinetätigkeit Milchumladen	s/kg	-	0,0100	-	0,0101
An-/Abkuppeln Anhänger an Sammelwagen	s/kg	-	-	-	-
Umsatteln Transportaufleger	s/kg	-	0,0174	-	0,0176
Milchentladung in der Molkerei	s/kg	0,1043	0,1008	0,1049	0,1022
Gesamt	s/kg	0,6606	0,9854	0,6020	0,9710

