

GIS in der Milchwirtschaft

Gehaltsoptimierte Zuordnung
von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten



Masterarbeit

Geographisches Institut

Lorenz Dolder, Mai 2008

Geographisches Institut

Zürich, Mai 2008

Universität Zürich

Masterarbeit

GIS in der Milchwirtschaft

Gehaltsoptimierte Zuordnung von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten

MSc in Geographie, mit Spezialisierung in
Geographischer Informationswissenschaft

Lorenz Dolder

Betreuer:

Prof. Dr. Robert Weibel (Fakultätsvertreter)

Dipl. Ing. ETH Tom Zbinden (ESRI Geoinformatik)

Bruno Feer (Emmi)

Reto Hübscher (Emmi)

Zusammenfassung

Das Einsammeln von Milch von verschiedenen Bauernhöfen und danach das Verteilen dieser Milch zu verschiedenen Verarbeitungsorten ist ein komplexer Prozess. Zur qualitativen und quantitativen Steigerung gewisser Produkte könnte es zudem von Bedeutung sein, bereits beim Abholen der Milch diese so zu sortieren, dass Milch mit gewissen Eigenschaften zusammen eingesammelt und an spezielle Orte geleitet wird. Über den Aufwand und Nutzen, der dadurch entstehen würde, gibt es bis jetzt noch keine Angaben.

Unter diesem Aspekt soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob es möglich ist, eine Zuordnung von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten zu erzielen, so dass an den einzelnen Zentren eine möglichst optimale Zusammensetzung der Milch erreicht wird. Die gewünschte Zusammensetzung hängt dabei davon ab, was an dem Ort produziert wird. Zeigen muss sich diesbezüglich vor allem, ob sich ein dadurch entstehender Mehraufwand überhaupt lohnen würde.

Für die optimale Zuordnung war es erforderlich, als zentrales Element ein Algorithmus zu implementieren, welcher eine solche Zuteilung vornimmt. Dieser Algorithmus ermöglichte es, Berechnungen für verschiedene Monate und unterschiedliche Szenarien zu erstellen.

Daneben war es nötig, vorhandene Strassendaten auf ihre Eignung für die Nutzung in ländlichem Gebiet zu untersuchen. Es musste aufgezeigt werden, ob solche Daten genügend Strassen bis zu den Bauernhöfen enthalten. Um daraus resultierende Probleme zu beseitigen, soll auch aufgezeigt werden, wie eine Integration von verschiedenen Strassendatensätzen erreicht werden könnte.

Es zeigte sich schliesslich, dass für diese Berechnung der Zuordnung die kommerziellen Strassendaten von Tele Atlas genügen. Zwar besteht nicht zu jedem Bauernhof eine Strasse, das Endresultat wird jedoch auf Grund der wenigen kleinen Fehler gegenüber der gesamten Länge aller Routen nicht wesentlich beeinflusst.

Für die Berechnung einer gehaltsoptimierten Zuordnung konnte erfolgreich ein Algorithmus implementiert werden. Es stellte sich zudem heraus, dass sich eine solche gehaltsoptimierte Zuordnung lohnen könnte. In der Folge müsste gezeigt werden, ob sich diese Zuordnungsmethode beim Milchverarbeiter gewinnbringend umsetzen liesse.

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Personen, die mich während des Studiums und bei der Umsetzung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Besonders geht dieser Dank an:

Dr. Prof. Weibel vom Geographischen Institut der Universität Zürich für die Unterstützung während der Erarbeitung und für die zahlreichen kritischen und hilfreichen Hinweise zur Implementierung der Arbeit.

Tom Zbinden von ESRI Geoinformatik AG möchte ich einen speziellen Dank aussprechen für die Ermöglichung dieser Arbeit sowie für die gute Betreuung und Unterstützung bei der Realisierung des Projektes. Zudem geht ein grosser Dank an die gesamte Firma ESRI Geoinformatik AG, welche mich in verschiedensten Bereichen entscheidend unterstützt hat.

Von der Firma Emmi möchte ich mich ganz herzlich bei Bruno Feer und Reto Hübscher bedanken. Sie standen mir verschiedentlich für Fragen zur Verfügung und lieferten durch ihre fachlichen Erläuterungen einen entscheidenden Teil zum Gelingen der Arbeit bei.

Auch möchte ich mich bei der Firma Röllin AG bedanken, durch welche ich eine Milchsammeltour hautnah erleben konnte. Dies half mir entscheidend, die Problemstellung zu konkretisieren.

Schliesslich möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Freundin Kathrin Keller für die tatkräftige Unterstützung während des gesamten Studiums, sowie für die vielen Entbehrungen während der intensiven Zeit der Masterarbeit bedanken.

Zürich, Mai 2008

Lorenz Dolder

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzungen und Fragestellungen	3
1.3	Vorgehen	4
1.4	Aufbau der Arbeit	6
1.5	Erklärung zur Schreibweise	7
2	Theorie und Stand der Forschung	9
2.1	GIS in der Logistikplanung	9
2.2	Tourenbildung	12
2.2.1	Vehicle Routing Problem	13
2.2.2	Lösungsstrategien für das VRP	14
2.2.3	MDVRP Algorithmen	16
2.3	Integration von Strassendaten	22
2.3.1	Vorhandene Strassendatensätze	22
2.3.2	Integrationsmethoden	24
2.3.3	Vorgehen für die Integration	26
3	Grundlagen	29
3.1	Milchdaten	29
3.1.1	Milchtouren	29
3.1.2	Bauernhofdaten	31
3.1.3	Milchpreise und Fahrkosten	37
3.2	Strassendaten	38
3.3	Software und Programmiersprachen	39
3.3.1	Network Analyst	39
3.3.2	ArcLogistics Route	39
3.3.3	Jump - Road Matcher	40
3.3.4	Python	40
4	Integration der Strassendatensätze	43
4.1	Notwendigkeit einer Datenintegration	43
4.1.1	Qualitativer Vergleich des Matching-Resultates	43
4.1.2	Quantitativer Vergleich des Matching-Resultates	45
4.1.3	Konsequenz der Vergleiche	46
4.2	Durchführen der Datenintegration	47
4.2.1	Vorbereitungen	48
4.2.2	Integration der Datensätze	49

4.2.3	Nachbearbeitung	50
4.3	Resultat der Datenintegration	51
5	Zuordnung der Bauernhöfe	55
5.1	Problemdefinition	55
5.2	Herleitung der Algorithmen	57
5.2.1	Berechnung der Distanzen	58
5.2.2	Erweiterte parallele Zuordnung	58
5.2.3	Berechnung des Koeffizienten	59
5.2.4	Anpassung an mögliche Szenarien	61
5.3	Durchführung der Zuordnung	62
5.3.1	Schritt I: Distanzberechnung	64
5.3.2	Schritt II: Zuordnung der Bauernhöfe	66
5.3.3	Schritt III: Berechnung der Routenlängen	70
6	Resultate	75
6.1	Problem der exakten Tourzuordnung	75
6.2	Mögliche Mehreinnahmen	76
6.3	Mehraufwand durch längere Strecken	79
6.4	Gesamthafte Änderung der Einnahmen	81
6.5	Resultate in Abhängigkeit der Transportkosten	83
7	Diskussion	85
7.1	Notwendigkeit der Integration von Strassendaten	85
7.2	Berechnung der Routen mit GIS	86
7.3	Neuzuordnung der Bauernhöfe	87
7.4	Treffen der exakten Milchmenge	89
8	Schlussfolgerung und Ausblick	91
8.1	Ergebnis	91
8.2	Erkenntnisse	92
8.3	Offene Fragen	93
8.4	Ausblick	93
A	Ausgangsdaten	99
B	Resultate	101
C	Code	109
C.1	Code von Variante 3	109
C.2	Zusammenfassen der Höfe zu Touren	115
C.3	Neueinteilen der Touren	116

Abbildungsverzeichnis

1.1	Vorgehen	5
2.1	Konzeptuelles Modell der Milchroutenbildung	10
2.2	Decision Support Modell für Vehicle Routing	11
2.3	Zulieferer, Kunde und gemischtes Milchtouren-Netzwerk	12
2.4	Basisvarianten des VRP	14
2.5	Lösungswege des VRP	17
2.6	Zuordnung durch Dringlichkeit	19
2.7	Vergleich von Strassen in VECTOR25 und MultiNet	23
2.8	Homogenisierung der Geometrie	25
2.9	Semantische Integration	25
2.10	Datenintegration nach Goesseln und Sester	26
3.1	Impressionen einer Milchsammeltour	30
3.2	Geräte zur Datenaufnahme im Milchsammelwagen	31
3.3	Übersichtskarte	33
3.4	Histogramm der Lagefehler der Bauernhofdaten	36
4.1	Lücken in den Strassendaten	44
4.2	Matching Beispiel	45
4.3	Ablauf der Datenintegration	47
4.4	Resultat nach automatischem Matching mit Road Matcher	50
4.5	Integrationsresultat I	53
4.6	Integrationsresultat II	54
5.1	Erweiterte parallele Zuordnung	59
5.2	Zusammenfassung verschiedener Bauernhöfe zu einer Tour	62
5.3	Schematischer Ablauf der Zuordnung	63
5.4	ArcGIS ModelBuilder	64
5.5	Berechnungen Schritt 1 (Distanzberechnung)	65
5.6	Berechnungen Schritt 2 (Zuordnung der Bauernhöfe)	66
5.7	Attribute des Shapefiles nach Zuordnung	72
5.8	Gebiete der Transporteure	73
6.1	Einuss der Zuordnung einer Tour	76
6.2	Berechnete Mehreinnahmen Februar 2008	77
6.3	Skalierte Mehreinnahmen Februar 2008	78
6.4	Mehrfahrten 4. und 5. Februar, 2008	80
6.5	Visueller Vergleich der Ergebnisse für Variante 1, Februar 2008	81

6.6	Effektive Mehreinnahmen 4. und 5. Februar, 2008	82
6.7	Mehreinnahmen abhängig vom Transportpreis Februar 2008	84
A.1	Ausschnitt aus Zuordnungstabelle	99
A.2	Ausschnitt aus Bauernhoftabelle	100
B.1	Berechnete Mehreinnahmen August 2007	101
B.2	Skalierte Mehreinnahmen August 2007	102
B.3	Mehrfahrten 1. und 2. August, 2007	103
B.4	Effektive Mehreinnahmen 1. und 2. August	104
B.5	Mehreinnahmen abhängig vom Transportpreis August 2007	105

Tabellenverzeichnis

1.1	Rechenbeispiel, Austausch zweier Touren	3
3.1	Attribute der Bauernhofdaten	32
3.2	Zusammenfassung der Bauernhofdaten	34
3.3	Genauigkeit der Bauernhofdaten	35
3.4	Attribute der Tabelle für die Zuordnung der Touren zu Verarbeitungsorten	36
3.5	Gehaltszahlungen für Fett und Eiweisswerte	37
3.6	Geschätzte Zusatzpreise für Inhaltsstoffe der Milch	38
3.7	Attribute Strassenlayer VECTOR25	39
4.1	Vergleich des Resultates	46
4.2	Unterschied der Routen	52
5.1	Resultat der OD-Cost Matrix Berechnung	65
5.2	Attribute das Shapefiles nach Zuordnung	70
6.1	Mehrfahrten 4. und 5. Februar, 2008	80
7.1	Fehler durch lückenhafte Strassendaten	85
B.1	Mehrfahrten 1. und 2. August, 2007	101
B.2	Ergebnis 1. und 2. August 2007	106
B.3	Ergebnis 4. und 5. Februar 2008	107

Abkürzungsverzeichnis

ArcGIS Desktop	Desktop GIS der Firma ESRI Inc
ATKIS	Amtliches Topografisches Kartografisches Informationssystem, Vektordatensatz von Deutschland
CVRP	Capacited (auch: capacitated) Vehicle Routing Problem
DCVRP	Distance-Constrained Capacited Vehicle Routing Problem
DSS	Decision Support System
GDF	Geographic Data File, Datenstandard für navigationsfähige Routendatensätze
GIS	Geografisches Informationssystem
GUI	Graphical User Interface
JUMP	JAVA Unified Mapping Platform, Open Source Desktop GIS
MDVRP	Multi Depot Vehicle Routing Problem
MultiNet	Vektor Datensatz der Firma Tele Atlas, welcher speziell für die Autonavigation entwickelt wurde.
NP	Nichtdeterministisch polynomial lösbar
OD Matrix	Origin Destination Matrix. Berechnung der Distanzen zwischen allen Orten
OR	Operations Research
VECTOR25	Vektordatensatz der Swisstopo
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhaul
VRPPD	Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows

1 Einleitung

Die Milchwirtschaft ist ein wichtiger Bestandteil der Nahrungsmittelindustrie. Ein nicht vernachlässigbarer Faktor dieses Wirtschaftszweiges ist die Logistik. So muss die Milch von vielen verschiedenen übers Land verteilten Standorten, den Bauernhöfen, an zentrale Verarbeitungsorte gebracht werden. Dort wird die Milch zu Käse oder anderen Milchprodukten verarbeitet. Danach muss die verarbeitete Milch wiederum an verschiedene Standorte verteilt werden. Es ist somit nicht erstaunlich, dass ein beachtlicher Teil der Kosten der Milch auf die Logistik entfällt. Diese Arbeit soll aufzeigen, wie der zur Planung der Logistik notwendige Prozess mithilfe von Geografischen Informationssystemen (GIS) verbessert werden könnte. Zu beachten sind die spezifischen und komplexen Anforderungen der Milchwirtschaft. Speziell soll der Thematik nachgegangen werden, ob es Sinn machen würde, Milch mit verschiedenen Fett- und Eiweissgehalten getrennt einzusammeln, um damit mehr Käse zu produzieren und dadurch mehr Gewinn zu erzielen.

Weiter müssen die spezifischen Verhältnisse in einem Alpenland wie der Schweiz berücksichtigt werden. Ein Beispiel dazu ist sicherlich die Vielzahl von abgelegenen Höfen. Diese sind teilweise nur über schlechte Strassen erreichbar, welche bei einer GIS-gestützten Planung im digitalen Strassennetz vorhanden sein sollten.

1.1 Motivation

In der vorliegenden Arbeit wird ausschliesslich der Prozess des Einsammelns der Milch von den Bauernhöfen und deren Lieferung an die Zentren untersucht. Um diese Problemstellung umzusetzen, wurde mit der Firma Emmi, welche die grösste Milchverarbeitungsfirma der Schweiz ist, zusammengearbeitet. Emmi steht damit als Beispiel generell für einen Milchverarbeitungskonzern. Der Prozess der Milcheinsammlung geschieht durch verschiedene Transportfirmen, welche von Emmi beauftragt sind. Jedes Transportunternehmen hat dabei fix zugeteilte Bauernhöfe. Wie die Transporteure die Bauernhöfe zu Touren zusammenlegen und wie sie konkret fahren, ist ihnen selbst überlassen. Die dadurch entstandenen Gebiete und Touren ergänzen sich auf den ersten Eindruck rein optisch relativ gut. Es bleibt jedoch offen, ob diese Gebiete überhaupt ideal sind oder ob der ganze Ablauf des Einsammelns der Milch weiter optimiert werden könnte.

Bei Emmi ist schon verschiedentlich die Frage aufgeworfen worden, ob es sich lohnen würde, Milch mit einem hohen Fett- oder Eiweissgehalt separat abzuholen und dafür eventuell die bisherige Einteilung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten zu ändern. Diese Frage stellt sich, da die Menge des produzierten Käses wesentlich von der Menge des Eiweisses und Fettes in der Milch abhängt. Als Faustregel kann gelten, dass der Käse je zu einem Drittel aus Fett, Eiweiss und Wasser besteht. Berücksichtigt man die Gehaltswerte der Milch, welche bei durchschnittlich 4% für Fett und 3.3% für Eiweiss liegen, so sind dies klar die limitierenden Faktoren bei der Käseproduktion. Ist deren Gehalt in der Milch höher, kann damit auch mehr Käse hergestellt werden.

Im Falle von zu Trinkmilch verarbeiteter Milch sieht die Situation anders aus. Dort ist vor allem wichtig, dass die Milch unverändert von der Kuh zum Konsumenten gelangt. Die Zusammensetzung, also auch die Eiweiss- und Fettgehalte, spielt in diesem Fall keine entscheidende Rolle.

Von Seiten der Logistikplaner konnte jedoch bis anhin nicht abgeschätzt werden, ob sich eine solche neue Zuordnung überhaupt lohnen würde. Auch über Möglichkeiten einer Umsetzung hat man sich bis anhin keine Gedanken gemacht. Insofern soll diese Arbeit abklären, ob eine Zuordnung nach Gehaltswerten durchführbar ist und ob daraus wirklich auch ein Mehrgewinn erzielt werden könnte.

Ein einfaches Beispiel soll veranschaulichen, dass bereits kleinste Änderungen in der Zuteilung von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten eine positive Wirkung auf den Ertrag, welchen man aus der Milch erzielt, haben können. Dargestellt sind in Tabelle 1.1 zwei Touren, wobei eine dem Standort Suhr zugeordnet ist, wo vor allem Trinkmilch hergestellt wird. Die andere Tour ist dem Standort Emmen zugeteilt. Dort ist Milch mit höheren Fett- bzw. Eiweissgehalten mehr wert, da Käse produziert wird. Aus der Aufstellung der Touren wird sichtbar, dass die Tour nach Suhr höhere Gehaltswerte hat als diejenige nach Emmen. Tauscht man diese beiden Touren aus, also dass Tour 8013 nach Emmen fährt und Tour 5204 nach Suhr, so werden zwar etwa 430 Kilometer mehr gefahren, es resultiert jedoch trotzdem ein Mehrertrag von 1 433 Franken. Dieses Beispiel zeigt damit auf, dass sich eine solche gehaltsoptimierte Zuteilung möglicherweise lohnen könnte. Alle in diesem Beispiel verwendeten Annahmen, wie Milchpreise und Fahrkosten werden an den entsprechenden Stellen in der Arbeit noch genauer erläutert.

Neben diesem Hauptthema besteht ein weiteres wichtiges Nebenthema. Zum Zeitpunkt der ersten Kontakte mit dem Milchverarbeiter gab es von dessen Seite grosse Bedenken, dass die Resultate sowieso unbrauchbar seien. Bereits vor einigen Jahren seien Versuche zur Planung der Routen mit GIS gemacht worden. Damals scheiterte das Unterfangen offenbar daran, dass die Strassendaten nicht vollständig waren. Schliesslich war die Aussage der damaligen Tests, dass durch eine optimierte Routenplanung ein beachtlicher Teil der

Tour	Abladeort	Menge [kg]	Eiweissgehalt [%]	Fettghalt [%]	Originalzuteilung Gewinn	Neuzuordnung Gewinn	Strecke Original [km]	Strecke Neuzuteilung [km]
8013	Suhr	21267	3.41	4.31	Fr. 5'499.65	Fr. 21'877.36	52.153	362.892
5204	Emmen	15316	3.34	4.18	Fr. 15'355.82	Fr. 3'841.25	123.803	241.74
Summe					Fr. 20'855.47	Fr. 25'718.62		
Preis für Fahrten							Fr. 1'407.65	Fr. 4'837.06
Mehrgewinn						Fr. 4'863.15		
Mehraufwand						Fr. 3'429.41		
Total Mehrwert						Fr. 1'433.74		

Tabelle 1.1: Rechenbeispiel, Austausch zweier Touren

gefahrenen Kilometer eingespart werden könnte. Die genaue Analyse zeigte jedoch, dass die berechneten Routen überhaupt nicht geeignet und für Lastwagen nicht befahrbar waren. Somit muss diesbezüglich abgeklärt werden, wie gut die realen Strassen heute in den vorhandenen Daten abgebildet sind. Es stellt sich aus diesem Grund die Frage, ob eine Datenintegration von verschiedenen Datensätzen sinnvoll ist und wie diese vollzogen werden könnte.

1.2 Zielsetzungen und Fragestellungen

Aus der Motivation der Arbeit ergeben sich zwei Hauptuntersuchungsgebiete. Einerseits ist dies die Untersuchung der Strassendaten. Ziel ist es, beurteilen zu können, ob vorliegende routingfähige Strassendaten genügend ins Detail gehen, um auch ein Routing zu abgelegenen Orten durchführen zu können. Falls die vorliegenden Daten für diesen Zweck nicht ausreichend sind, soll aufgezeigt werden, ob eine Integration verschiedener Datensätze eine Verbesserung des Resultates liefern würde und wie eine solche Integration erfolgen könnte. Daraus ergibt sich folgende erste Fragestellung:

Fragestellung 1:

Ist eine Integration verschiedener Strassendatensätze erforderlich, um Routen zu abgelegenen Bauernhöfen zu berechnen?

Die zweite Fragestellung soll vor allem die jetzige Situation des Milchsammelprozesses analysieren und zeigen, wie gut die aktuellen Routen sind. Dabei soll auch ermittelt werden, ob allein durch ein anderes Fahren der Touren der zu fahrende Weg verkürzt werden könnte.

Fragestellung 2:

Können durch eine GIS-gestützte Planung die bei den Milchtouren gefahrenen Strecken verkürzt werden?

Schlussendlich soll aufgezeigt werden, ob sich eine Zuordnung der Bauernhöfe zu den Zentren, welche abhängig von den Fett- und Eiweissgehalten der Milch ist, als sinnvoll erweist. Dafür müssen geeignete Methoden zur Berechnung einer solchen gehaltsoptimierten Zuordnung erarbeitet werden. Aus dieser Thematik ergibt sich die folgende Fragestellung:

Fragestellung 3:

Ist es möglich, eine gehaltsoptimierte Zuordnung von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten zu machen, so dass ein Mehrgewinn erzielt werden kann?

Da die bestehenden Strukturen des Milchverarbeiters gut funktionieren und dadurch das Interesse, etwas daran zu ändern, nicht gegeben ist, sollen verschiedene Möglichkeiten evaluiert werden, um diese gehaltsoptimierte Zuordnung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten zu erreichen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass die vorhandenen Strukturen, insbesondere ist damit die Zuteilung der Bauernhöfe zu den Transporteuren gemeint, möglichst weiter verwendet werden können und daran möglichst wenig verändert werden muss.

1.3 Vorgehen

Das Vorgehen der Arbeit wird in Abbildung 1.1 dargestellt. Begonnen wird mit einer ausführlichen Literaturrecherche, welche zu Beginn aufzeigen soll, wie und wo GIS in der Milchwirtschaft bereits verwendet werden. Zusätzlich sollen in diesem Schritt Methoden für die Zuordnung der Bauernhöfe zu den Zentren sowie zur Integration der Strassendaten gesucht werden. Damit soll das theoretische Fundament der Arbeit gelegt werden.

Als zweiter Schritt werden die Strassendaten auf ihre Eignung für das Routing geprüft. Zudem sollen in diesem Schritt zusammen mit der Literaturanalyse Wege gefunden werden, um die Daten zu optimieren, sprich verschiedene Datensätze miteinander zu integrieren. Die nächsten beiden Schritte (3 und 4) bezwecken, die Daten in Wirklichkeit zu verbessern sowie anschliessend die Strassendaten in eine Form zu bringen, die Routenberechnungen auf diesen Daten erlauben. Mit diesen Schritten sollte Fragestellung 1 grösstenteils beantwortet werden können.

Als nächster Schritt (5) müssen die Bauernhofdaten in eine passende Form umgewandelt werden. Dies wird vor die Entwicklung der Algorithmen für die Zuweisung von Bauernhöfen gesetzt, da dadurch auch der Inhalt und Aufbau dieser Daten erforscht werden soll,

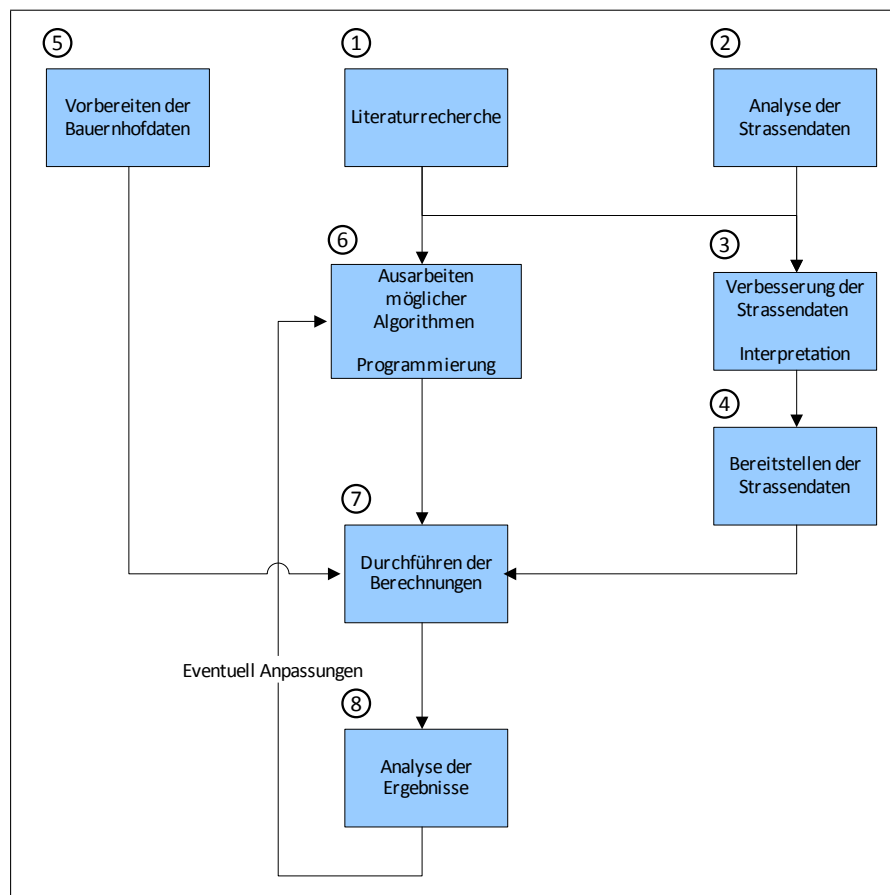


Abbildung 1.1: Vorgehen

wodurch danach die Implementierung eines geeigneten Algorithmus vereinfacht werden soll.

Schritt 6 wird daraus bestehen, aus den Erkenntnissen der Literaturrecherche einen geeigneten Algorithmus für die Zuteilung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten zu entwickeln. In Schritt 7 werden schliesslich die Berechnungen durchgeführt und danach in Schritt 8 ausgewertet und damit auch der Algorithmus validiert. Danach kann ein iterativer Prozess beginnen. Die so gewonnenen Resultate dürften anfangs noch nicht befriedigend sein. Die Ergebnisse müssen aus diesem Grund auch mit den Spezialisten von Emmi verifiziert werden. Danach muss eventuell wieder zu Schritt 6 zurückgegangen werden und der Algorithmus angepasst werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit soll sich an das in Abbildung 1.1 aufgezeigte Vorgehen anlehnen. Die Einleitung sowie die Motivation der Arbeit wurden bereits im vorliegenden Kapitel dargelegt.

Das zweite Kapitel soll den Stand der Forschung in den beiden Teilgebieten „Routenbildung in der Milchwirtschaft“ und „Integration verschiedener Strassendaten“ aufzeigen. Gestartet wird jedoch mit einem allgemeinen Abschnitt, welches verschiedene Arbeiten direkt in der Milchwirtschaft vorstellt. Darin sollen Chancen und Probleme von GIS in der Milchwirtschaft aufgezeigt werden. So sollte es möglich sein, die Arbeit in einen grösseren Rahmen zu setzen. Danach werden Algorithmen zur Tourenbildung vorgestellt. Diese Algorithmen sollen als Grundlage für den noch umzusetzenden Algorithmus zur Tourenbildung dienen. Schliesslich werden Methoden gezeigt, wie man verschiedene Strassendatensätze miteinander integrieren kann.

Im dritten Kapitel sollen alle Grundlagen erläutert werden. Unter Grundlagen werden einerseits alle Daten verstanden, andererseits auch die verwendeten Programme. Dabei werden im ersten Teil alle milchspezifischen Daten ausführlich erklärt. In einem zweiten Teil werden danach die strassenspezifischen Daten genauer vorgestellt. Zum Abschluss dieses Kapitels werden auch die verwendeten Programme und Programmiersprachen kurz erläutert.

Im vierten Kapitel wird zuerst abgeschätzt, ob es nötig ist, die zur Verfügung stehenden routingfähigen Strassendaten mit anderen Daten zu erweitern. Danach wird ein Weg, um dies umzusetzen, aufgezeigt und auch gleich realisiert. Am Ende dieses Kapitels wird das Resultat dieser Berechnung aufgezeigt und ausgewertet.

Kapitel 5 befasst sich mit der eigentlichen Tourenbildung, inklusive der Zuordnung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten. Im ersten Schritt werden die genauen Anforderungen dargelegt. Danach wird ein neuer Algorithmus entworfen und implementiert. Am Schluss dieses Kapitels wird beschrieben, wie die Berechnungen konkret durchgeführt wurden.

Die aus allen Berechnungen gewonnenen Resultate werden in Kapitel 6 dargestellt. Zuerst wird auf aufgetretene Probleme eingegangen und analysiert, wie sich diese auf die Resultate auswirken. Danach wird verifiziert ob der erarbeitete Algorithmus wunschgemäss funktioniert. Zum Schluss dieses Kapitels wird erläutert, was die erarbeiteten Massnahmen dem Milchverarbeiter bringen könnten.

In der Diskussion in Kapitel 7 sollten einerseits die Fragestellungen definitiv beantwortet werden. Andererseits soll konkretisiert werden, was die Resultate bedeuten, und darauf hingewiesen werden, wo Schwächen liegen könnten.

Im Kapitel 8 werden die Schlussfolgerungen der Arbeit gezogen und es wird ein Ausblick gegeben. Dabei wird einerseits dargestellt, wie in Zukunft praktisch vorgegangen werden könnte, und andererseits, wo noch Schwachpunkte ausgebessert werden müssten.

1.5 Erklärung zur Schreibweise

Zur Erleichterung der Lesbarkeit und Vereinfachung der Verständlichkeit wurden englische Ausdrücke, sofern dies möglich war, ins Deutsche übersetzt. Dort, wo keine klare Übersetzung der englischen Ausdrücke möglich war oder die englischen Ausdrücke gebräuchlicher sind, wurden die englischen Ausdrücke nicht ins Deutsche übersetzt. Daher werden Ausdrücke wie Routing, Buffer oder ähnliche in der Arbeit verwendet.

2 Theorie und Stand der Forschung

Im vorliegenden Kapitel wird in Abschnitt 2.1 vorerst auf die Verwendung von GIS in der Milchwirtschaft sowie in verwandten Gebieten eingegangen. Dies soll aufzeigen, wo ein GIS-Einsatz Sinn machen würde, sowie auch, welche Vorteile dies bringen könnte. Danach wird in Abschnitt 2.2 auf verschiedene Verfahren der Tourenbildung eingegangen. Diese Ausführungen sollen als theoretische Basis für den zu implementierenden Algorithmus zur Zuordnung der Bauernhöfe dienen. In Abschnitt 2.3, wird die Integration von verschiedenen Strassendatensätzen erläutert. Dadurch können mögliche Strategien zur Integration der vorliegenden Strassendaten entworfen werden.

2.1 GIS in der Logistikplanung

An sich ist die Einführung von GIS in der Milchwirtschaft kein neuer Prozess. Dies wurde schon verschiedentlich gemacht und auch erfolgreich getestet. Zu anmerken sind an dieser Stelle ausführliche Versuche in Neuseeland durch Basnet et al. (1997). Sie haben ein Decision Support System (DSS) entworfen, welches sich in die Logistikplanung eines Milchverarbeitungsbetriebs einfügen soll. Schematisch ist dieses System in Abbildung 2.1 skizziert. Sehr zentral ist dabei ein *Transport Manager*, welcher über das User-System Interface alle Einteilungen steuert. Daneben ist eine Datenbank sehr wichtig. Darin werden Informationen, wie beispielsweise zu bereits gefahrenen Touren, gespeichert. Auf der anderen Seite erwähnen sie drei Algorithmen. Erstens einen *Sweep Algorithmus*, welcher von Gillett und Miller (1974) entworfen wurde. Mit diesem sollen die einzelnen Bauernhöfe zu Touren zusammengefasst werden. Dann nennen sie einen *Farthest insertion Algorithmus*, welcher eine optimale Tour berechnen soll, was soviel heisst, wie, in welcher Reihenfolge die Bauernhöfe angefahren werden sollen. Am Schluss erwähnen sie *Forecasting*. Dabei möchten sie jeden Tag die Menge Milch abschätzen, welche von jedem Bauernhof zu erwarten ist. Dies mit dem Ziel, dass somit an jedem Tag die Routen neu kalkuliert werden sollten. Die Algorithmen werden an dieser Stelle nicht weiter erklärt. Darauf wird in Abschnitt 2.2 vertieft eingegangen.

Festzustellen ist, dass dieses System noch sehr wenig räumlichen Bezug hat und auch nicht wirklich in einem GIS umgesetzt wird. Sehr wesentlich bei diesem Ansatz ist ein Mensch, welche die Tourenbildung überwacht. Der Prozess kann also nicht rein durch Berechnungen durchgeführt werden, sondern das Wissen eines Experten ist sehr wichtig.

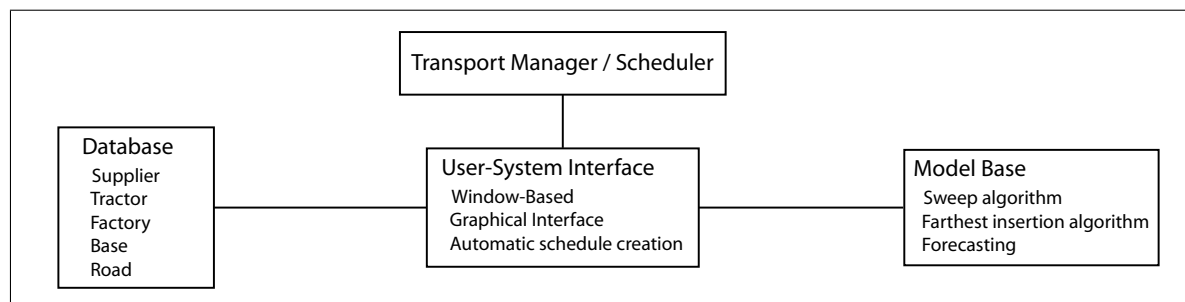


Abbildung 2.1: Konzeptuelles Modell der Milchroutenbildung
(Basnet et al., 1997)

Dieser Ansatz wird auch von Xu (2005) aufgenommen und ergänzt. Er schlägt ein Decision Support Modell für das gesamte Vehicle Routing in einer Unternehmung vor. Dabei sind seine Ausführungen nicht nur auf die Milchindustrie beschränkt. Gemäss Abbildung 2.2 schlägt er einen Ablauf vor, der wie folgt beschrieben werden kann: In der *Management Database* werden Fakten gespeichert, nach welchen Kriterien das Routing erfolgen soll, wie zum Beispiel die schnellste Route oder diejenige mit den geringsten Kosten ermittelt werden kann. Von diesen Informationen sind vor allem die Algorithmen für die Routenberechnung abhängig. Unter *Consumer Data* versteht er alle Informationen über den Kunden, also wo der Kunde ist, was beim Klienten abgeholt werden muss und ob es auch zeitliche Einschränkungen gibt. Zu den *Vehicle Data* gehören Daten zu den Fahrzeugen, wie beispielsweise die Anzahl und deren Eigenschaften. Das GIS wird im Zusammenhang mit allen räumlichen Informationen verwendet, also zur Speicherung des Strassennetzwerks oder auch zur Lokalisierung der Kunden. Schliesslich wird ein Output erzeugt, nämlich der berechnete Routenplan, welcher dann vom Operateur benutzt werden kann. Auch hier wird das Routing durch einen Menschen überwacht und eventuell angepasst.

Ähnlich, jedoch mit einem viel stärkeren räumlichen Bezug, ist ein Beispiel von einem Milchverarbeitungsunternehmen in Uruguay. Dort hat Gonzalez M. (1998) ein solches Problem gelöst und in ArcGIS implementiert. Er hat festgestellt, dass das klassische Travelling Salesman Problem, welches die Distanzen zwischen verschiedenen Kunden minimieren soll, nicht für die Lösung dieses Problems ausreicht. So müssen folgende Punkte zu den Grundbedingungen hinzugefügt werden:

- Mehrere Verarbeitungsorte.
- Heterogene Lastwagenflotte (unterschiedliche Kapazitäten)
- Zeitliche Restriktionen
- Über das Jahr schwankende Milchmengen der einzelnen Bauernhöfe

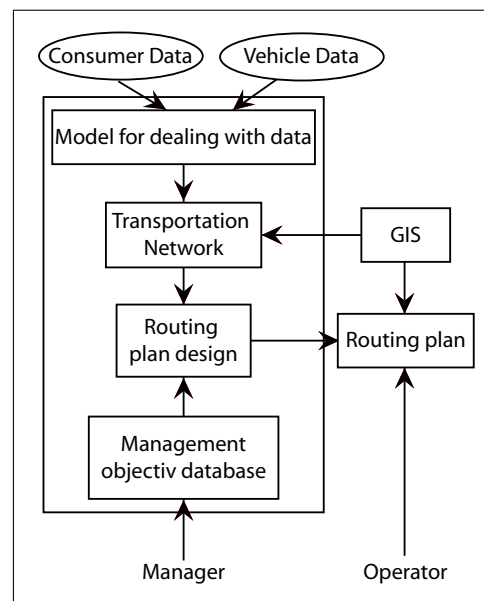


Abbildung 2.2: Decision Support Modell für Vehicle Routing
(Xu, 2005)

Neuste Ansätze, wie beispielsweise von Du et al. (2007), versuchen die Zuordnung in Echtzeit zu lösen und erweitern die Fragestellung zusätzlich. Der klassische Fall, dass ein Fahrzeug die Milch bei den Bauern einsammelt und an einen Ort bringt, erweitern sie, indem die gleichen Fahrzeuge, welche die Milch abholen, die Milch später an Kunden des Milchverarbeiters verteilen können. Somit kann es entweder Touren geben, die nur Milch bei Bauern einsammeln, solche die nur an Kunden liefern, sowie solche, die beides machen. Dargestellt ist dieser Vorgang schematisch in Abbildung 2.3. Du et al. nennen das Ganze ein *crossdocking network*.

Die Echtzeit-Komponente rechtfertigen sie damit, dass sofort auf geänderte Anforderungen, zum Beispiel von Kunden, reagiert werden müsse. Die Routen müssten im Falle einer Änderung während des Tages sofort neu bestimmt werden können.

Eine weitere Arbeit, die unter anderem das Routingproblem im Milchsektor analysiert, wurde von Tarantilis und Kiranoudis (2007) verfasst. Sie erkennen wie auch Du et al. (2007), dass es sehr wichtig ist, dass eine gemischte Wagenflotte angenommen wird. Selten sind alle Fahrzeuge gleich. Dies ist jedoch genau eine Bedingung, welche viele Algorithmen voraussetzen, wie sich in Abschnitt 2.2 zeigen wird. Auch sie implementieren die Algorithmen zur Tourenbildung in einem DSS, welches aus einer Kundendatenbank, einer räumlichen Datenbank, einem kürzesten Weg Modul, einem Vehicle Routing Modul sowie einer graphischen Benutzerschnittstelle (GUI) besteht. Damit werden im Grunde dieselben Module, wie sie auch in Abbildung 2.1 verwendet wurden, benutzt. Die Auswertungen von Tarantilis und

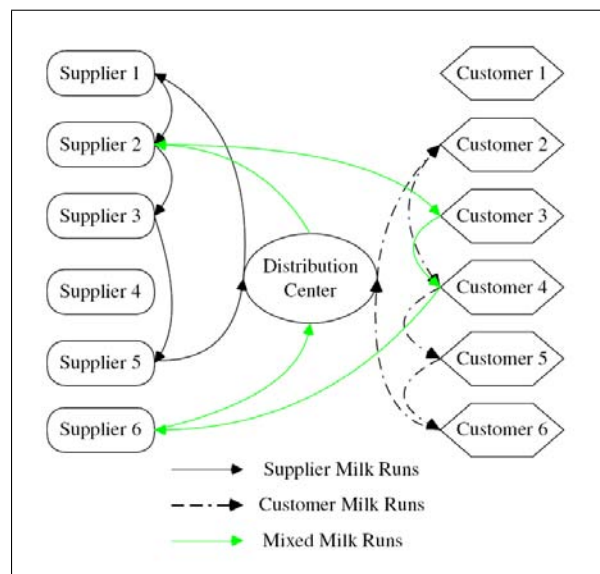


Abbildung 2.3: Zulieferer, Kunde und gemischtes Milchtouren-Netzwerk (Du et al., 2007)

Kiranoudis (2007) hatten zum Resultat, dass die Routen, welche mit Computerhilfe erstellt wurden, besser waren als die bis anhin intuitiv gefahrenen Routen, was die Transportverantwortlichen anfänglich nicht wahrhaben wollten. So konnten durch ihre Berechnungen die Routen um durchschnittlich 28 Prozent verkürzt werden und zudem mussten nicht mehr alle Strecken gefahren werden.

Es darf somit wohl angenommen werden, dass durch eine rechnergestützte Tourenplanung auch in der Milchwirtschaft der Aufwand in der Logistik reduziert werden kann. Sehr wesentlich ist jedoch in allen bisherigen Arbeiten ein Operateur, der am Schluss der Berechnung die definitive Zuordnung vornehmen muss. Es wird damit kaum möglich sein, ein System zu gestalten, welches alleine und ohne das Wissen von Spezialisten perfekte Ergebnisse liefert. Wichtig ist auch, dass man sich vor Augen führt, welche der oben genannten Komponenten für ein solches System verwendet werden müssen. Ein zentrales Element all dieser Systeme ist sicherlich die Tourenbildung. Im folgenden Kapitel wird aus diesem Grund auf diesen Vorgang vertieft eingegangen. Ein anderes zentrales Modul ist die Datenbasis, auf welche einerseits später in Kapitel 3 eingegangen wird, andererseits werden spezifische Methoden zur Aufbereitung der Strassendaten in Abschnitt 2.3 beschrieben.

2.2 Tourenbildung

Bei der Tourenbildung im Sinne der vorliegenden Arbeit, handelt es sich um die Zuordnung von vielen Bauernhöfen oder generalisiert gesprochen Kunden zu verschiedenen Touren,

welche an einen Verarbeitungsort oder anders gesagt in ein Depot führen. Dafür muss jeder Kunde einer Tour zugeordnet werden, danach müssen alle Touren den Verarbeitungsorten zugeordnet werden, und schliesslich muss berechnet werden, wie die Routen gefahren werden können.

Dies ist ein Problem, welches in vielen Gebieten der Transportindustrie sehr oft gelöst werden muss. Dadurch wurde diese Aufgabenstellung auch schon verschiedentlich erforscht und es gibt eine sehr grosse Menge an Literatur darüber, welche fast in beliebigen Komplexitätsstufen zu haben ist. In der Folge wird versucht, diese Problemstellung aus einem Teil dieser Literatur zu beschreiben, und Lösungsstrategien dafür zu erarbeiten.

2.2.1 Vehicle Routing Problem

Gegeben sind im Falle des Vehicle Routing Problem (VRP) eine Anzahl an Kunden mit bekannten Anforderungen, welche besucht werden müssen, daneben ein Depot sowie ein oder mehrere Fahrzeuge mit einer bestimmten Kapazität. Die Routen starten und enden im Depot und bedienen alle Kunden. Jeder Kunde wird genau einmal bedient und die Kapazität der Fahrzeuge darf zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. In den meisten der beschriebenen Vehicle Routing Probleme gibt es damit die folgenden Konditionen, welche beispielsweise von Toth (2001) wie folgt aufgelistet werden:

- Minimieren der globalen Transportkosten, welche sich zusammensetzen aus den Fahrtkosten und den Fixkosten der Fahrzeuge.
- Minimieren der Anzahl an benutzten Fahrzeugen, um alle Kunden zu bedienen.
- Ausgleichen der Touren im Hinblick auf Fahrzeiten und Lademengen.

Die Basisvariante des VRP ist gemäss Toth (2001) das Capacited (auch: capacitated) VRP (CVRP). In diesem Falle haben die Waren der Kunden sowie auch die Fahrzeuge eine bestimmte Kapazität, welche im voraus bekannt ist. Es gelten zudem die Einschränkungen, dass die Ware der einzelnen Lieferanten nicht aufgeteilt werden kann, es nur ein Depot gibt, sowie alle Fahrzeuge gleich sind (gleiche Kapazität aufweisen). Abbildung 2.4 zeigt gut, welche Basisversionen des VRP es gibt und wie diese zusammenhängen.

Im VRP with Time Windows (VRPTW) gibt es ergänzend zu den bisher genannten Einschränkungen die Bedingung, dass jeder Kunde in einem bestimmten Zeitfenster angefahren werden muss. An dieser Stelle kann das Beispiel eines Möbellieferanten angebracht werden, welcher von jedem Kunde ein Zeitfenster hat, in welchem die Lieferung dem Kunden versprochen wurde. Beim Berechnen der Routen muss darauf geachtet werden, dass die Kunden möglichst in diesen Zeitfenstern besucht werden. Meistens wird diese Aufgabe als

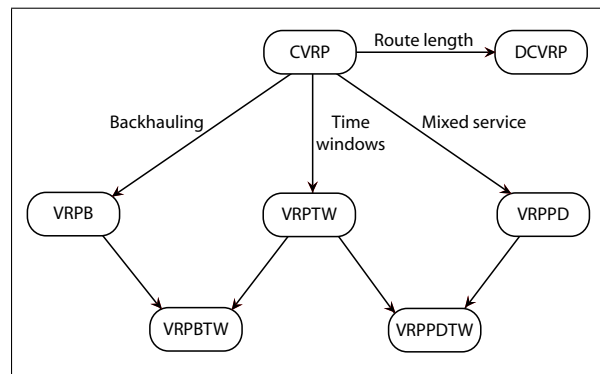


Abbildung 2.4: Basisvarianten des VRP
(Toth, 2001)

soft constraint umgesetzt. Das heisst, dass die Voraussetzung nach Möglichkeit erfüllt sein sollte, dies jedoch nicht um jeden Preis (Solomon, 1987).

Bei dem VRP with Pick up and Delivery (VRPPD) können bei jedem Kunden Waren abgeladen sowie abgeholt werden. In eine ähnliche Richtung geht das VRP with Backhaul (VRPB). In diesem Falle kann beim Kunden jeweils entweder Ware abgeladen oder aufgeladen werden. Dies stellt somit ein ähnliches Problem wie dasjenige von Abbildung 2.3 dar.

Schliesslich legt das Distance-Constrained CVRP (DCVRP) fest, dass es eine maximale Distanz oder eine maximale Zeit gibt, welche ein Fahrzeug fahren kann. Solche Varianten machen dann Sinn, wenn man den Fahrzeugen einen maximalen Operationsradius geben oder auch Arbeitszeiten für die Chauffeure festlegen möchte.

Ein weiteres sehr wichtiges Problem stellt sich, wenn zusätzlich zu den oben genannten Bedingungen mehrere Depots zur Verfügung stehen. Dieses Problem wird in der Fachliteratur mit Multi Depot VRP (MDVRP) bezeichnet. Es ist so nicht in Abbildung 2.4 aufgezeigt. Auch diese Fragestellung wird jedoch schon seit ziemlich langer Zeit, beispielsweise in Bodin et al. (1983), beschrieben.

2.2.2 Lösungsstrategien für das VRP

Lösungswege für das VRP sind an sich sehr komplex. Dies liegt daran, dass dies ein NP-schweres Problem (engl. NP hard) ist (Solomon, 1987). NP heisst soviel, wie nicht deterministisch polynomial lösbar, was bedeutet, dass ein solches Problem nicht mit polynomialem Aufwand lösbar ist (Schauer, 2007). Einfach gesagt bedeutet dies, dass solche Probleme so rechenaufwändig sind, dass sie in der Praxis kaum exakt gerechnet werden können. Auch durch schnellere Rechner werden solche Probleme kaum einfacher handhabbar (Clemens, 1993).

Aus diesem Grund wurden verschiedene Lösungen dieses Problems vor allem anfänglich im Umfeld der *Operations Research* (OR) entwickelt (Butler et al., 2005). Unter OR versteht man:

„Unternehmensforschung, die mit Hilfe mathematischer Verfahren zu optimalen Entscheidungen führen soll. Zum OR gehören Rechenverfahren wie beispielsweise mathematische Programmierung, Spieltheorie, Wahrscheinlichkeitstheorie oder Simulationsmodelle.“ Leser (2001)

Diese Modelle vereinfachten die wahren Gegebenheiten jedoch oft zu stark und gaben nicht immer befriedigende Resultate (Butler et al., 2005). Trotzdem haben Techniken aus der OR-Forschung noch immer bei verschiedenen Lösungen einen zentralen Charakter (Weigel und Cao, 1999).

Gemäss Bott und Ballou (1986) gibt es vier grundlegend unterschiedliche Methoden, wie Vehicle Routing Probleme angegangen werden können. Es sind dies heuristische, exakte, interaktive und kombinierte Ansätze. Dabei werden hier vor allem die heuristischen Ansätze, welche unter anderem auch aus OR-Techniken entstanden sind, ausführlich beschrieben. Exakte Ansätze wären zwar gemäss Bott und Ballou (1986) erstrebenswert, jedoch aufgrund der Komplexität des NP-schweren Problems nur sehr schlecht realisierbar und beschränken sich aus diesem Grund nur auf kleine Datenmengen (wenige Fahrzeuge, Kunden und Routen).

Demgegenüber sind heuristische Ansätze bereits ausführlich erforscht worden. Bott und Ballou (1986) nennen vier verschiedene Ansätze, um das Problem zu lösen.

- *Cluster first, Route second Ansätze*: Als erstes werden die Kunden in Cluster eingeteilt, danach können auf die einzelnen Cluster Routen berechnet werden. Zur Einteilung der Cluster kann beispielsweise ein zufälliger Kunde genommen werden und danach werden die Kunden im Uhrzeigersinn einem Cluster zugeordnet, solange bis die maximale Kapazität der Tour erreicht ist, dann beginnt die zweite Tour.
- *Route first, Cluster second Ansätze*: Zuerst wird mit allen zur Verfügung stehenden Kunden eine Route gemacht. Danach wird diese in realistische Teilstücke aufgeteilt. Dieser Ansatz eignet sich nicht für kleine Probleme.
- *Savings or insertion Ansätze*: Dieser Ansatz ordnet neue Kunden derjenigen Route zu, wo dies am wenigsten Mehrkosten ergibt. Zudem können die einzelnen Kunden zwischen den Touren ausgetauscht werden, sofern dies eine Kostenersparnis bewirkt. Diese Methoden neigen dazu, Routen zu bilden, welche sich überkreuzen und deshalb oft nicht optimal sind.

- *Exchange or improvement Ansätze*: Auch diese Ansätze arbeiten damit, Standorte von Routen auszutauschen, wenn dies Kosten spart. Zudem wird noch darauf geachtet, dass die Routen durchführbar sind. Die Lösungen dieser Ansätze wären grundsätzlich sehr gut, nahezu exakt, jedoch ist der rechnerische Aufwand hoch.

Ein Beispiel, welches einen *Exchange or improvement* Ansatz verwendet, wird in Foulds und Wilson (1997) beschrieben. Dort sollte die Zuordnung von den Bauernhöfen zu den Verarbeitungsorten so vollzogen werden, dass möglichst die Nachfragen in allen Verarbeitungsorten mengenmässig erfüllt sind und zudem die anfallenden Kosten minimiert werden. Die Autoren präsentieren einen heuristischen Algorithmus, welcher nach ihren Analysen praktisch exakte Ergebnisse liefert. Zuerst nehmen sie eine Zuordnung der Bauernhöfe vor, so dass die Transportkosten minimiert werden. Da diese Zuordnung eventuell noch nicht optimal ist im Hinblick auf das exakte Treffen der geforderten Kapazitäten in den Verarbeitungsorten, wird danach versucht, durch den Austausch verschiedener Bauern Unterkapazitäten von Verarbeitungsorten mit Überkapazitäten von anderen Verarbeitungsorten zu kompensieren. Ausgetauscht wird nach einem Kriterium, welches festlegt, dass die Distanzen durch das Austauschen nicht zu stark wachsen sollten.

2.2.3 MDVRP Algorithmen

In dem folgenden Abschnitt werden die hinter dem MDVRP steckenden Überlegungen kurz erläutert. In der Folge wird nur auf das MDVRP weiter eingegangen, da auch die Problemstellung der vorliegenden Arbeit ein MDVRP ist. Zu beachten ist auch bei diesem Thema, dass es NP-schwer ist und daher für grössere Probleme heuristische Ansätze unerlässlich sind. Zudem zeigt sich aus der Literatur, dass es zwei grundsätzlich verschiedene Wege gibt, um dieses Problem zu lösen.

Grundsätzliches

Im ersten Weg wird das Grundproblem in zwei Schritte aufgeteilt. In diesem Falle wird zuerst die Zuordnung der Kunden zu den Depots mithilfe einer heuristischen Methode gemacht und danach das Routing vorgenommen. Gemäss Giosa et al. (2002) kommt man für grössere Probleme mit rund 1000 Kunden oder mehr nur auf diesem Weg mit einem angemessenen Aufwand zu einem guten Resultat. Dieser Ansatz ist somit sehr ähnlich wie der oben genannte Ansatz *Cluster First, Route Second*.

Den anderen Lösungsweg vertreten beispielsweise Lim und Wang (2005). Sie gehen davon aus, dass man das Gesamtproblem nicht in verschiedene Schritte aufteilen könne. Dies begründen sie damit, dass die beiden Einzelprobleme zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Anders gesagt bedeutet dies, dass eine schlechte Zuordnung immer auch

ein schlechtes Routing liefert. Auch dieser Ansatz wurde bereits beim VRP beschrieben, er ist am ehesten mit einem Ansatz wie *Exchange or improvement* zu vergleichen. Bei diesen Ansätzen wird meistens zuerst eine erste Einteilung der Routen gemacht. Danach wird versucht, mit verschiedenen Methoden, wie beispielsweise Austauschen von Kunden, diese Routen weiter zu optimieren (Waters, 1987).

Der Unterschied der beiden verschiedenen Vorgehensweisen wird durch die Abbildung 2.5 schematisch dargestellt.

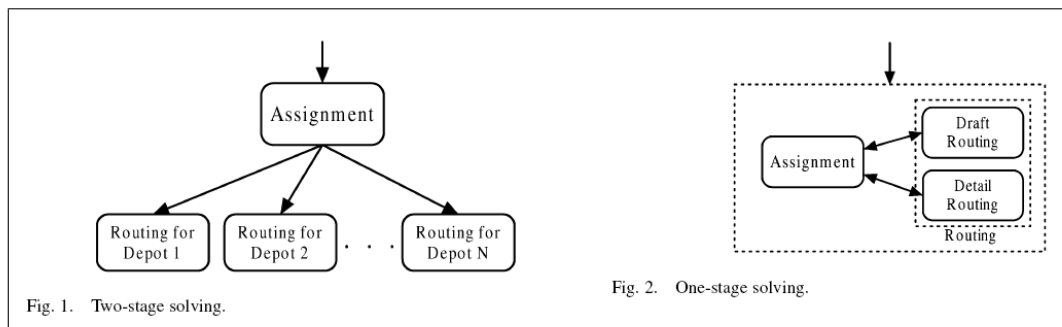


Abbildung 2.5: Lösungswege des VRP
(Lim und Wang, 2005)

Selbstverständlich hängen auch im ersten Ansatz die beiden Teilprobleme zusammen und es kann nicht von einer nur einseitigen Abhängigkeit gesprochen werden. Es ist schnell einleuchtend, dass eine schlechte Zuordnung auch ein schlechtes Routing ergeben wird, beziehungsweise als Resultat ein Routing mit höheren Kosten (Giosa et al., 2002).

Um den Rahmen für die vorliegende Arbeit zu begrenzen, wurden nur Varianten, welche mit zwei Schritten arbeiten, berücksichtigt. Dies aus dem Grund, da es für das eigentliche Routing bereits Methoden in ArcGIS implementiert gibt, auf welche zurückgegriffen werden kann. Für diese in ArcGIS verfügbaren Routingoperationen wurde angenommen, dass sie nahezu optimale Lösungen berechnen.

Im zweigeteilten Ansatz gibt es drei unterschiedliche Methoden, um die Zuordnung der Kunden zu den Depots zu vollziehen. Dies kann durch Dringlichkeit, zyklische Zuordnung oder Zuordnung nach Clustern erfolgen. Ausführlich wird dies in Giosa et al. (2002) beschrieben, weshalb sich auch die folgenden Ausführungen, wo nicht anders erwähnt, darauf abstützen.

Zweigeteilter Ansatz

- **Zuordnung durch Dringlichkeit**

In der Zuordnung durch Dringlichkeit wird für jeden Kunden ein Wert berechnet, aus welchem die Reihenfolge, in der die Kunden zu den Depots hinzugefügt werden,

bestimmt wird. Dies äussert sich schliesslich darin, dass die Kunden in absteigender Reihenfolge den Depots zugeordnet werden, solange jeweils die Depots noch über Kapazität verfügen. Ein Kunde der bei einem Depot hinzugefügt werden sollte, welches keine Kapazität mehr hat, wird dem nächstbesten Depot zugeordnet. In der englischsprachigen Literatur wird diese Methode als *urgency assignment* bezeichnet. Diese Methode kann wiederum in verschiedene Untergruppen unterteilt werden, je nachdem auf welche Art und Weise die Dringlichkeiten berechnet werden:

– *Parallele Zuordnung*

In diesem Fall werden die Distanzen zwischen einem Kunden und den verschiedenen Depots verglichen. Eigentlich sollte die Ware jedes Kunden zum nächstgelegenen Depot gebracht werden, was durch die vorgegebenen Kapazitäten der verschiedenen Verarbeitungsorte jedoch nicht immer möglich ist. Somit muss auf irgend eine Art und Weise entschieden werden, welche Kunden zuerst einem bestimmten Ort zugewiesen werden können.

In diesem Fall geschieht dies über einen Algorithmus, welcher für jeden Kunden von jeder berechneten Distanz die Distanz zu dem am nächsten gelegenen Depot abzieht. Danach werden alle diese berechneten Distanzen pro Kunde addiert. Aus dem Ganzen resultiert die Formel 2.1:

$$\mu_c = \sum_{dep \in D} (d(c, dep) - d(c, dep')) \quad (2.1)$$

Dabei ist $d(c, dep)$ die Distanz zwischen dem Kunden c und dem Depot dep , D sind alle Depots und dep' ist das nächstgelegene Depot. Somit ist $d(c, dep')$ die Distanz zwischen einem Kunden und dem nächstgelegenen Depot. In Abbildung 2.6 ist dieser Prozess dargestellt. Der Kunde mit dem grössten μ wird dem nächstgelegenen Depot zugeordnet, danach wird der Kunde mit dem zweithöchsten Wert zugeordnet und so geht es weiter, bis alle Kunden zugeordnet sind.

Vereinfacht kann somit gesagt werden, dass je grösser μ ist, desto grösser ist die Summe der Distanzen zu den Depots (ausgenommen vom Nächstgelegenen). Dies bedeutet, dass Kunden mit einem hohen Wert abgelegten zu mehreren der Depots liegen und somit eher dem nächstgelegenen Depot zugeordnet werden sollten. Ist dagegen μ klein, so sind die Abstände zu allen Depots nicht gross, daher ist in diesem Falle die Distanz, welche mehr gefahren wird, falls der Kunde nicht dem optimalen Standort zugeordnet werden kann, nicht so gross.

– *Vereinfachte Zuordnung*

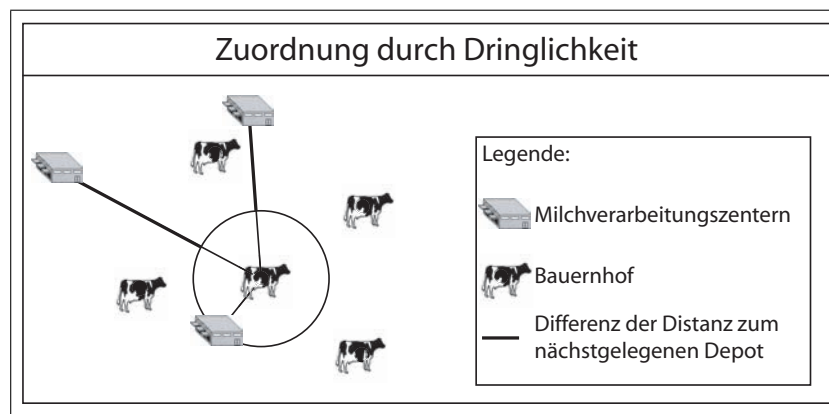


Abbildung 2.6: Zuordnung durch Dringlichkeit
Giosa et al. (2002)

Dies ist eine Vereinfachung der parallelen Zuordnung. Anstatt dass das nächstgelegene Depot mit allen anderen Depots verglichen wird, wird es nur mit dem zweitnächstgelegenen Depot verglichen. Die Idee und Umsetzung ist die Gleiche wie bei der oben beschriebenen parallelen Zuordnung. Dies ergibt die Formel 2.2:

$$\mu_c = d(c, dep'') - d(c, dep') \quad (2.2)$$

In diesem Falle ist $d(c, dep'')$ die Distanz zwischen einem Kunden und dem zweitnächstgelegenen Depot, und $d(c, dep')$ die Distanz zum nächstgelegenen Depot. Auch hier wird der Kunde mit dem grössten μ dem nächstgelegenen Depot zugeordnet.

Was mit einem Kunden passiert, welcher eingefügt werden sollte, jedoch bei beiden nächstgelegenen Depots die Kapazität bereits erschöpft ist, wird bei diesem Algorithmus nicht spezifiziert. Da dieser Fall in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht auszuschliessen war, wurde dieser Algorithmus nicht weiter verwendet.

– *Sweep Assignment*

Dieser Algorithmus wurde speziell für die Anforderungen des Transportes von Milch von den Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten entwickelt. Der zu einem Bauernhof nächste Verarbeitungsort wird mit dem Verarbeitungsort mit der momentan grössten Nachfrage verglichen. Die Kunden werden in die Richtung des Depots mit der grössten Nachfrage gezogen. Dies geschieht über die Formel 2.3:

$$\mu_c = d(c, dep^*) - d(c, dep') \quad (2.3)$$

Hier bedeutet $d(c, dep^*)$ die Distanz zwischen dem Kunden und dem Depot mit der grössten Nachfrage. Das Problem ist in diesem Falle, das Depot mit der grössten Nachfrage zu bestimmen. Leider wurde dies in Giosa et al. (2002) nicht weiter erläutert, weshalb auch dieser Algorithmus nicht weiter verwendet wurde.

- **Zyklische Zuordnung** In diesem Falle werden die Kunden in einer zyklischen Reihenfolge den Touren zugeordnet. Der nächstgelegene Kunde zu einem Depot wird als Startpunkt für eine Tour genommen. Danach wird der zu ihm nächstgelegene Kunde hinzugefügt und das solange bis die Tour voll ist. Danach wird nach dem gleichen Schema die nächste Tour gestartet. Man kann sich gut vorstellen, dass dieser Ansatz vor allem für die letzten Kunden nur sehr schlechte Resultate liefert.

Ein Ansatz der in eine ähnliche Richtung geht, wurde beispielsweise in Abschnitt 2.2.2 mit der Methode *Cluster rst, Route second* beschrieben.

- **Assignment by Cluster** Die dritte Lösungsvariante ist die Zuordnung durch Cluster. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie die Cluster um die Depots gebildet werden können. Das Grundprinzip ist, dass von einem noch nicht hinzugefügten Kunden Distanzen zu den bereits bestehenden Clustern berechnet werden und der Kunde anschliessend dort eingefügt wird, wo diese Distanzen am kleinsten sind.

Ausführlich wird ein solcher Ansatz von Kim et al. (2006) beschrieben. Das von ihnen beschriebene Beispiel findet in der Tourenbildung für Müllsammelwagen statt. Rein von der Aufgabe her ist dies sehr ähnlich mit dem Problem der vorliegende Arbeit. Auch beim Müll muss etwas eingesammelt werden, solange es im Müllsammelwagen noch Kapazität hat. Zur Lösung des Problems schlagen sie die Clusterbildung vor, da es zwischen den Routen möglichst wenig Überschneidungen geben sollte.

Als ersten Schritt berechnen sie die Kapazität von allen Clustern, beziehungsweise wie viele Cluster gebildet werden müssen. Dies erreichen sie mit der Anzahl und Kapazität der Fahrzeuge, wobei eine Fahrzeugroute ein Cluster ergibt, und der Menge des einzusammelnden Materials. Dabei ist bei ihrem Beispiel darauf zu achten, dass jedes Fahrzeug mehrere Male nacheinander fahren kann, über Mittag gibt es Lunchpausen und die Kunden können nur zu bestimmten Zeiten angefahren werden.

Die Cluster selbst werden anhand eines erweiterten K-Means Algorithmus gebildet. Bei der allgemeinen K-Means Methode werden die einzelnen Punkte dem am nächsten gelegenen Zentroid (Schwerpunkt) eines Clusters zugeordnet. In ihrem Falle berechnen Kim et al. zusätzlich den *Grand Centroid*, dies ist der Zentroid aller Zentroide. Der Punkt mit dem grössten Abstand zu diesem Grand Centroid wird zuerst dem nächsten Cluster zugeordnet. Dies natürlich nur, sofern dieses Cluster noch freie Kapazitäten hat.

Grundsätzlich ist dieser Ansatz bereits ziemlich fortgeschritten und verspricht auch ein gutes Resultat. Für die vorliegende Arbeit wird er jedoch kaum in Frage kommen, da, sobald die verschiedenen Gehalte der Milch miteinbezogen werden, kaum mehr Cluster gebildet werden können, beziehungsweise es gezwungenermassen Überschneidungen der Cluster geben würde. Dies, da die Verteilung der Gehaltswerte nicht räumlich korreliert (siehe Kapitel 3.1) und sich die Cluster daher mit grosser Sicherheit überschneiden würden oder es im Falle, dass Cluster gebildet werden, keine gehaltsoptimierte Lösung geben würde. Aus diesem Grund wurde auch diese Methode nicht weiter verwendet.

Zuordnung in einem Schritt

Eine solche Methode wird beispielsweise von Lim und Wang (2005) erarbeitet. Sie stellen einen Ansatz vor, wo jeweils das aktuelle Routingresultat direkt wieder in die Zuordnung von neuen Bauernhöfen fiesst. Da die Routingoperation sehr zeitaufwändig ist, schlagen sie vor, in einem ersten Schritt nur Entwurfsrouten zu berechnen, welche die Distanzen nur abschätzen. Da in ihrem Beispiel jeweils nur ein Kunde auf einmal zugeordnet wird, gibt es einen iterativen Vorgang, um alle Kunden zuzuordnen. Dieser läuft grob umschrieben wie folgt ab:

1. Alle noch nicht zugeordneten Kunden werden nummeriert, damit sie in jede Route an jede Position eingefügt werden können, sofern es die Kapazität der Fahrzeuge zulässt. Für jede Möglichkeit werden die Distanzen der gefahrenen Routen anhand des Entwurfsroutings berechnet. Schliesslich wird so ein Kunde mit einer Zuordnungsposition gefunden, welche die zusätzlich gefahrene Distanz minimiert.
2. Der gefundene Kunde wird in diese Route eingefügt.
3. In einem genauen Routing wird diese Route optimal berechnet, wobei die Positionen der einzelnen Kunden ausgetauscht werden können.
4. Anpassen der noch vorhandenen Kapazität im Fahrzeug.
5. Zurück zum ersten Schritt.

Da dieser Ansatz der Zuordnung und Routing in einem Schritt wie zu Beginn dieses Kapitels 2.2.3 erläutert in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet worden ist, wird nicht weiter auf diese Ansätze eingegangen.

2.3 Integration von Strassendaten

Wie bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben, stellen die Grundlagedaten, zu welchen auch die Strassen gehören, einen zentralen Faktor dar. In der Folge soll deshalb erläutert werden, wie verschiedene vorliegende Strassendatensätze miteinander verbunden werden können. Dadurch können diese Daten vervollständigt und die Berechnungen genauer werden. Auf die Hintergründe und Notwendigkeit dazu wird später in Kapitel 4 eingegangen.

Dass es verschieden aufgebaute Datensätze gibt, resultiert aus der unterschiedlichen Nutzung der Daten. So gibt es nach Goodchild (2000) die *map view*, wo es darum geht, die Objekte auf einer Karte darzustellen. In diesen Daten ist somit vor allem die Geometrie von Bedeutung. Daneben gibt es die *navigation view*, welche gebraucht wird für die Navigation. Um diese Navigationsaufgaben durchführen zu können, sind nebst der Geometrie verschiedene Attribute wichtig, wie Einbahnstrassen und andere Verkehrsregeln.

Analysiert man die in der Schweiz vorhandenen Daten, so kann man diese auch in die beiden oben genannten Kategorien einordnen. Einerseits sind dies Daten, welche die Swisstopo aufgenommen hat und als VECTOR25-Datensatz vertreibt. Dieser Datensatz ist vor allem für die Repräsentation der Objekte zu gebrauchen, da er kaum Navigationsattribute beinhaltet (Bundesamt für Landestopografie, 2000). Andererseits sind es navigationsfähige Datensätze von Firmen wie Tele Atlas oder Navteq.

2.3.1 Vorhandene Strassendatensätze

Alle diese Datensätze repräsentieren zwar dieselben Realwelt-Objekte, jedoch ist ihre räumliche sowie semantische Information überall etwas anders. Diese Tatsache zeigt sich bereits durch einen optischen Vergleich gut, so wie dies aus Abbildung 2.7 ersichtlich wird. Man erkennt in dieser Abbildung relativ schnell, dass die beiden Datensätze nicht genau gleich sind. Da es aber verschiedene denkbare Situationen gibt, wo man bestrebt ist, möglichst viel Information zu haben, gibt es zu einer Integration von verschiedenen Datensätzen auch bereits verschiedene Literatur.

Sehr umfassend geht die Dissertation von Walter (1997) auf dieses Thema ein. Er zeigt die Theorie und Methoden auf, wie die Integration von verschiedenen Strassendatensätzen geschehen kann, am Beispiel von Tele Atlas (MultiNet) und ATKIS-Daten. Das Amtliche Topografische Kartografische Informationssystem (ATKIS) stellt in Deutschland das Basissystem für raumbezogene Daten dar. Es ist damit vergleichbar mit den VECTOR25 Daten der Schweiz.

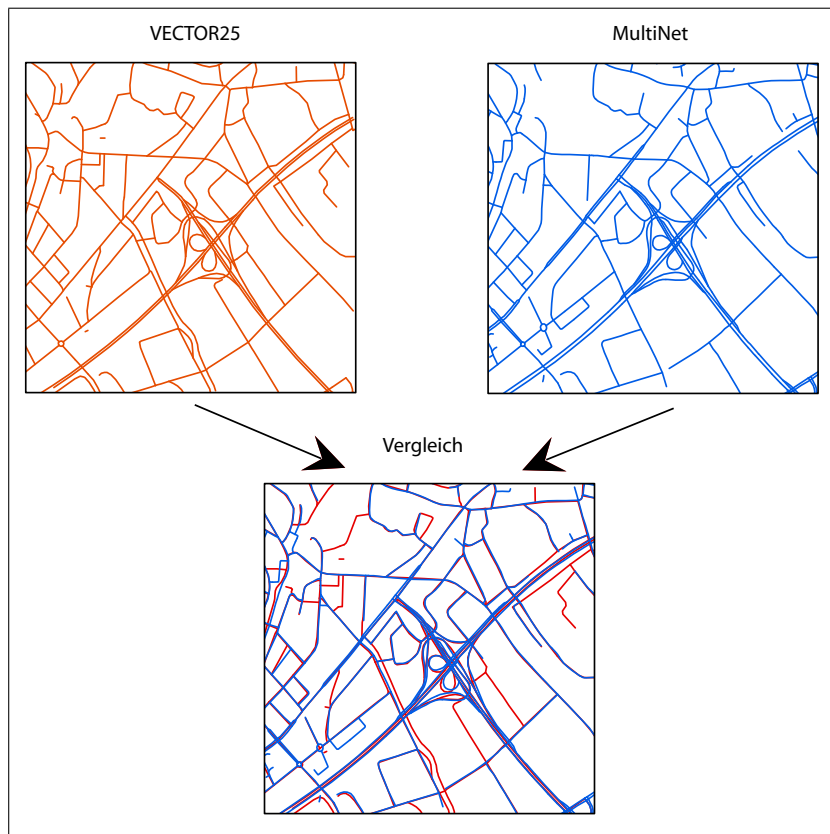


Abbildung 2.7: Vergleich von Strassen in VECTOR25 und MultiNet

VECTOR25

Der VECTOR25 Datensatz ist ein digitales Landschaftsmodell der Schweiz, welches von der Swisstopo erstellt wurde. Abgeleitet werden die Daten aus der schweizerischen Landeskarte im Massstab 1:25 000 der Swisstopo. Wiedergegeben werden künstliche und natürliche Objekte im Vektorformat. Damit ist eine sehr grosse Anzahl an Objekten vorhanden. Für die VECTOR25 Daten gibt es verschiedene Layer, die alle ein anderes Thema darstellen. Es sind dies Layer für das Strassennetz, Eisenbahnnetz, Fähren und Seilbahnen, Gewässernetz, Primär ächen, Gebäude, Hecken und Bäume, Anlagen und Einzelobjekte (Bundesamt für Landestopografie, 2000). Für die vorliegende Arbeit ist ausschliesslich der Layer mit den Strassendaten von Bedeutung.

Vom Umfang her enthält die Strassenebene der VECTOR25-Daten das gesamte Strassen- und Wegnetz der Landeskarte 1:25 000. Die Klassierung erfolgt ebenso nach derjenigen der Landeskarte (Bundesamt für Landestopografie, 2000).

Tele Atlas MultiNet-Daten

Das GDF-Format ist ein europäischer Standard, der für den Austausch von digitalen Strassendaten entwickelt wurde. Es gibt verschiedene Firmen, welche nach diesem Standard Strassen aufnehmen, eine davon ist Tele Atlas, welche das Produkt MultiNet nach diesem Standard erfasst. Entwickelt wurde dieser Standard zur Fahrzeugnavigation. Er enthält damit vor allem Elemente und Attribute, die für eine solche Navigation wichtig sind. Dies können beispielsweise Geschwindigkeitsbegrenzungen, Spurangaben oder ähnliche Verkehrsregeln sein. Aus diesem Grund ergibt sich eine Schnittmenge zwischen den MultiNet-Daten sowie denen aus ATKIS (in der Schweiz VECTOR25), über welche eine Integration durchgeführt werden kann (Walter, 1997).

2.3.2 Integrationsmethoden

Um eine geeignete Integrationsstrategie auszuarbeiten, muss zuerst das vorliegende Integrationsproblem definiert werden. Gemäss Walter und Fritsch (1999) können Datenintegrationen zwischen folgenden unterschiedlichen Datentypen vollzogen werden:

1. Daten stammen aus demselben Datensatz ab, wurden aber unabhängig voneinander fortgeführt.
2. Daten haben das gleiche Datenmodell, wurden aber von verschiedenen Operateuren erfasst.
3. Daten sind in ähnlichen, jedoch nicht identischen Datenmodellen gespeichert.
4. Daten sind in komplett unterschiedlichen Datenmodellen gespeichert, haben beispielsweise unterschiedliche Massstäbe oder unterschiedliche thematische Inhalte.

Je nachdem, welcher Typen der Integration vorliegt, müssen andere Lösungswege angewendet werden. Das Verhältnis von VECTOR25 und den Tele Atlas Daten entspricht am ehesten dem dritten Typ.

Für die Datenintegration gibt es nach Walter (1997) zwei verschiedene Arten. Es ist dies einerseits die geometrische Integration und andererseits die semantische Integration.

Geometrische Integration

Wenn die Daten rein geometrisch integriert werden sollen, wird mit Fangkreisen versucht, entsprechende Knoten miteinander zu verschmelzen. Dies funktioniert nach dem Prinzip, wie es in Abbildung 2.8 gezeigt wird. Als Erweiterung können Punkte, von welchen man weiss, dass sie eine höhere Genauigkeit haben, stärker gewichtet werden. Ein bei diesem

Vorgang bekanntes Problem ist, dass nach der Integration die Koordinaten der Punkte des einen Datensatzes nicht mehr vorhanden sind, es sei denn diese werden vorgängig gespeichert. Im eigentlichen Sinne handelt es sich bei der geometrischen Integration um eine reine Homogenisierung der Geometrien (Walter, 1997).

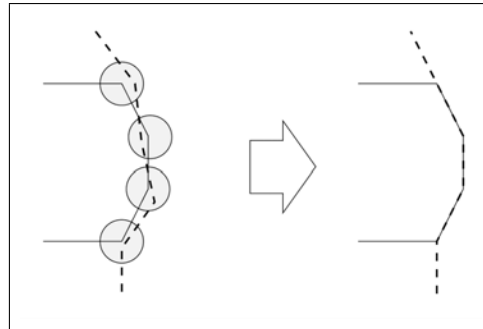


Abbildung 2.8: Homogenisierung der Geometrie (Walter, 1997)

Semantische Integration

Bei der semantischen Integration werden nebst den Elementen der geometrischen Integration zusätzlich Sachdaten integriert. Diese Daten werden auch für die Integration gebraucht. Dargestellt ist eine solche Integration in Abbildung 2.9. In dieser Abbildung liegen zwei verschiedene Strassendatensätze vor, welche sowohl eine unterschiedliche Geometrie wie auch unterschiedliche Attribute haben. Bei der Integration werden die Geometrie homogenisiert sowie die Attribute beider Datensätze zusammengefasst (Walter, 1997).

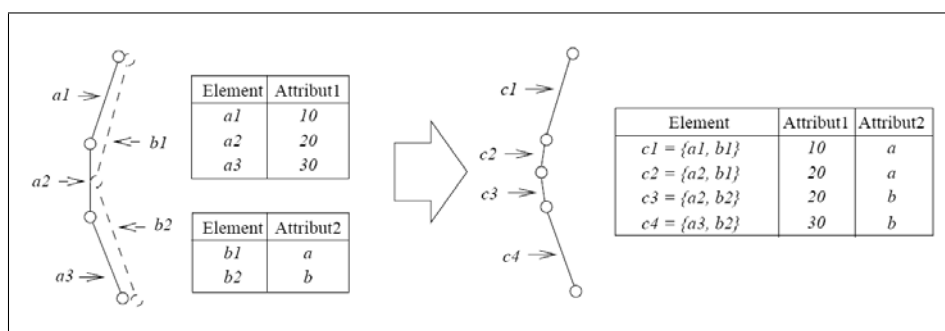


Abbildung 2.9: Semantische Integration (Walter, 1997)

2.3.3 Vorgehen für die Integration

Walter und Fritsch (1999) präsentieren einen Weg für die Integration von Strassendaten, welche aus einem unterschiedlichen Datenmodell entstanden sind. Gemäss der Aufzählung in Walter und Fritsch (1999) gehört dieses Problem somit zum Punkt 3. Grob umschrieben gehen sie folgende Punkte durch:

1. *Vorverarbeitung*: Systematische Fehler sollen dadurch vermieden werden. Topologie überprüfen und doppelte Knoten entfernen.
2. *Mögliche gleiche Strassenstücke finden*: Über einen Buffer werden potentielle zusammengehörige Strassenstücke gefunden.
3. *Geometrische Einschränkungen anwenden*: Ausschliessen der möglichen Zuordnungen, welche unwahrscheinlich die gleiche Strasse darstellen. Diese werden durch zu unterschiedliche Längen, Winkel und andere Kriterien gefunden.
4. *Evaluieren der zusammengehörenden Strassenstücke*: Über eine statistische Funktion werden die noch verbleibenden Paare beurteilt, wie wahrscheinlich ihre Zusammengehörigkeit ist.
5. *Berechnen des Endresultates*: Berechnen, welche Zuordnung von Strassenstücken das beste Resultat liefert.

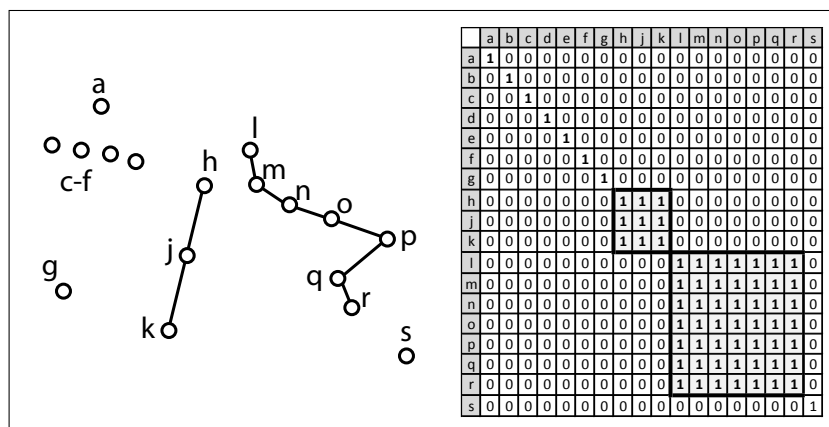


Abbildung 2.10: Objekte, die einen Graph bilden (links), formen Gruppen in der Nachbarschaftsmatrix (rechts), (von Goesseln und Sester, 2003)

Einen anderen Weg in der Integration von verschiedenen Datensätzen beschreiben von Goesseln und Sester (2003). Obwohl sie nicht Strassendaten verbinden, soll ihr Ansatz an dieser Stelle kurz aufgezeigt werden. Ihr Ansatz zielt darauf ab, Veränderungen in Datensätzen festzustellen, um danach in einem diese Änderungen anzupassen. Sie nehmen das

Matching von Objekten in beiden Datensätzen über eine Nachbarschaftsmatrix vor. Diese Matrix stellt dar, welche Objekte sich in einem Datensatz berühren. Durch die Verbindungen entstehen in der Matrix Cluster, die auch im anderen Datensatz so gefunden werden können (siehe Abbildung 2.10). Danach wenden sie einen Algorithmus an, um herauszufinden, welche Objekte sich in beiden Datensätzen entsprechen.

3 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen an Daten und Software dieser Arbeit vorgestellt. Die Datengrundlage lässt sich aufteilen in die bauernhofspezifischen Daten sowie die Strassendaten. In diesem Kapitel wird vorerst beschrieben, wie man sich eine Milchtour vorstellen muss und wie eine solche abläuft. Daraus ergibt sich unter anderem auch, wie die Daten zu den Bauernhöfen erstellt wurden. Dies wird in Abschnitt 3.1 beschrieben. Danach soll im selben Abschnitt dargelegt werden, welche Qualität diese Daten haben und auch wie sie für die Weiterverarbeitung aufbereitet werden mussten. Anschliessend wird in Abschnitt 3.2 auf die verwendeten Strassendatensätze eingegangen. Zum Abschluss des Kapitels werden in Abschnitt 3.3 wichtige, nicht alltägliche Programme sowie die Programmiersprache Python kurz vorgestellt.

3.1 Milchdaten

3.1.1 Milchtouren

Das Einsammeln der Milch ist ein komplexer Prozess, welcher zur Veranschaulichung in der Folge kurz erklärt werden soll. Alle Bauernhöfe, die Milch an den Milchverarbeiter (Emmi) liefern, sind fest einer Sammeltour eines Transporteurs zugeordnet. Eine Tour lässt sich umschreiben als Abfolge von Bauernhöfen, welche von einem Milchsammellastwagen angefahren werden, um die Milch einzusammeln. Die gesamte Milch einer Tour bzw. Route wird schliesslich an einen Verarbeitungsort geliefert. Auf einer durchschnittlichen Tour werden rund 20 000 Liter Milch eingesammelt, von den einzelnen Bauernhöfen sind durchschnittlich etwa 500 - 1 000 Liter Milch zu erwarten. Somit wird auch ersichtlich, dass in einer Tour die Milch von verschiedenen Bauern gesammelt wird. Als Folge dieses Vorganges wird die Milch, deren Anteile an Eiweiss und Milchfett bei jedem Bauern unterschiedlich sind, im Tankwagen durchmischt und der Milchverarbeiter erhält ein Mischprodukt, auf welches er keinen Einfluss hat.

Die Sache wird durch verschiedenste Einschränkungen kompliziert. Beispielsweise wird oft mit relativ kleinen Zugfahrzeugen gefahren, die nur etwa 8 000 Liter Milch aufnehmen können. Dies deshalb, weil die Strassen zu den Höfen und die dortigen Platzverhältnisse oftmals grössere Fahrzeuge nicht zulassen würden. Damit auf einer Tour jedoch trotzdem



(a) Abpumpen der Milch beim Bauern



(b) Abfüllen der Milch in den Lastwagen



(c) Milchsammelwagen beim Bauernhof



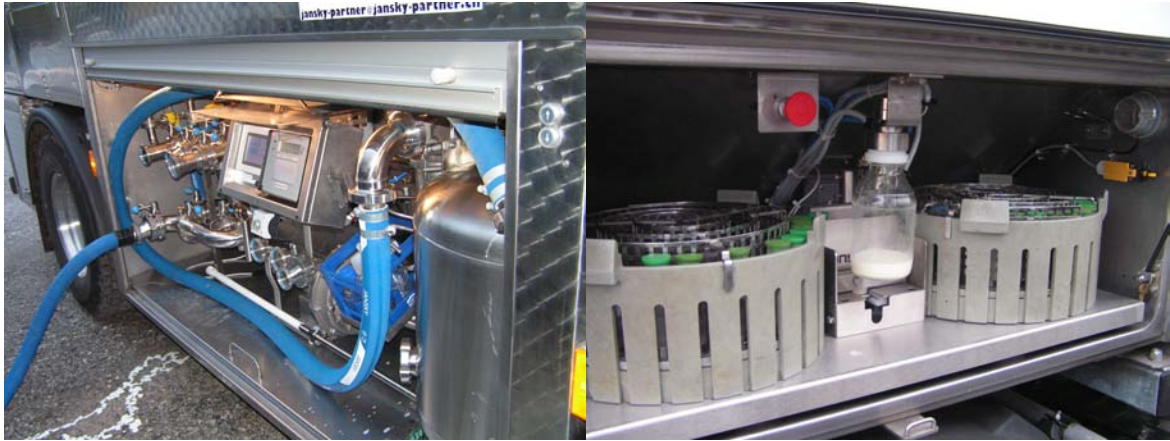
(d) Abladen der Milch

Abbildung 3.1: Impressionen einer Milchsammeltour (Bilder L. Dolder)

mehr Milch gesammelt werden kann, wird der Inhalt des Zugfahrzeugs, sobald dieses gefüllt ist, in einen grossen Anhänger umpumpt, welcher irgendwo abgestellt ist. Solche Anhänger können bis zu 20 000 Liter Milch fassen. Ein Zugfahrzeug kann also mehrere Male Milch in den Anhänger umpumpen. Sobald alle Milch eingesammelt ist, kann das Zugfahrzeug mitsamt dem Anhänger die Milch an den Verarbeitungsort bringen.

Damit im Falle von Verunreinigungen nachgewiesen werden kann, wo deren Ursprung liegt, hat jeder Milchsammelwagen eine Vorrichtung, welche automatisch bei jedem Bauernhof eine Milchprobe nimmt (siehe Abbildung 3.2). Aus diesen Proben werden periodisch auch die Fett- sowie Eiweissgehalte der Milch berechnet. Auf diesen Daten basieren die Berechnungen der vorliegenden Arbeit. Mehr zu den Daten wird in Abschnitt 3.1.2 ausgeführt. Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass sich diese Werte, wie auch die Menge der Milch, die

ein Bauernhof liefert, jahreszeitlich ändern. Dies wird in der Analyse jedoch nicht behandelt, da es nicht Ziel der Arbeit ist, einen Plan für eine langfristige Planung zu erarbeiten.



(a) Vorrichtung zur Registrierung verschiedener Werte

(b) Vorrichtung zur Probenentnahme

Abbildung 3.2: Geräte zur Datenaufnahme im Milchsammelwagen (Bilder L. Dolder)

Die jeweiligen Transporteure, welche von Emmi beauftragt sind, die Milch einzusammeln, können die Routen fahren wie sie wollen. Der Milchverarbeiter hat darauf keinen Einfluss. Eingreifend kann Emmi nur wirken, indem sie Touren an einen gewünschten Verarbeitungsort leitet, um Kapazitätsschwankungen auszugleichen. Solche Kapazitätsschwankungen können an Verarbeitungsorten auftreten, weil nicht jeder Betrieb jeden Tag gleich viel Milch verarbeiten kann.

Aus diesem Grunde liegen dem Milchverarbeiter auch keine genauen Routendaten der verschiedenen Routen vor. Es ist damit nicht bekannt, welche Strassen die Lastwagen benutzt haben. Es ist einzig durch die Milchproben bekannt, wann eine Tour an welchem Hof war und Milch bezogen hat.

3.1.2 Bauernhofdaten

Sämtliche Daten zu den Bauernhöfen und den bestehenden Sammeltouren stammen von Emmi und wurden wie oben beschrieben aufgenommen. Daten waren einerseits für den gesamten August 2007 vorhanden, zudem wurden auch Analysen mit Daten aus dem Monat Februar 2008 gemacht. Dies einerseits, da im Verlaufe der Arbeit an den Daten aus dem Monat August einige Fehler erkannt wurden, andererseits da die Zusammensetzung der Milch im Winter anders ist als im Sommer. Die Fehler in den Daten des Augusts liegen vor allem in vielen Datenlücken. So waren für einige Bauernhöfe keine Gehaltswerte vorhanden.

Bereitgestellt wurden die Daten in Form einer Excel Tabelle, welche für jeden einzelnen Milchbezug eine Zeile beinhaltet. In Abbildung A.2 im Anhang ist ein Ausschnitt dieser

Tabelle dargestellt. Aus Gründen der Diskretion sind anstelle der Namen der Bauern und der Transporteure Platzhalter eingefügt worden.

Enthalten in den Daten waren die Informationen gemäss der Tabelle 3.1.

Variable	Inhalt
Gen	Nummer der Milchgenossenschaft
CB	ID des Bauernhofes (setzt sich zusammen aus Gen und einer Bauernhofnummer)
Art	Art der Milch (Vollmilch oder Biomilch)
Kunde	Name des Bauers
Sammelplatz	Falls es sich um einen Sammelplatz handelt, Nummer dessen
Transporteur	Name des Transporteurs, welcher die Milch eingesammelt hat
X	X-Koordinate des Bauernhofes
Y	Y-Koordinate des Bauernhofes
Tour	Nummer der Tour
Datum	Datum der Sammlung
Zeit	Zeit der Sammlung beim jeweiligen Bauer
Lt	Abholte Milch in Liter
Kg	Abholte Milch in Kilogramm
Ø Fettgehalt	Fettgehalt
Ø Eiweissgehalt	Eiweissgehalt

Tabelle 3.1: Attribute der Bauernhofdaten

Datenaufbereitung

In diesem Unterkapitel wird aufgezeigt, wie die bauernhofspezifischen Daten für die weitere Arbeit vorbereitet wurden.

Mittels der X und Y Spalte konnten die Bauernhöfe georeferenziert und in einer *Featureclass* abgespeichert werden. Der Grossteil der Koordinaten war in Form von Schweizer Landeskoordinaten (CH1903) gegeben. Jedoch sind die Bauernhöfe einiger Routen nicht in demselben Referenzsystem gespeichert, sondern als WGS84. Die Koordinaten waren zudem nicht alle gleich formatiert. So gab es solche, bei welchen die Nachkommastellen bereits Bogenminuten waren, und eine zweite Gruppe, wo die gesamte Zahl Grad repräsentierte. Folglich mussten die verschiedenen Gruppen separat bearbeitet werden. Dies geschah, indem die Ausgangsdaten in drei Files aufgeteilt wurden, für jedes Bezugssystem und jede unterschiedliche Formatierung eines. Die unterschiedlichen Formatierungen konnten danach in Excel in die richtige Form gebracht werden. Später konnten alle Excel-Dokumente separat in ArcGIS Desktop eingelesen und wieder zu einer *Featureclass* verbunden werden. Dadurch lag schliesslich ein Layer vor, welcher die gesamten Daten für die Bauernhöfe beinhaltet (siehe Abbildung 3.3). Dabei ist zu beachten, dass jeder Bauernhof mehrere Male vorhanden ist, nämlich genau so oft Mal, wie er von einem Lastwagen angefahren wird.

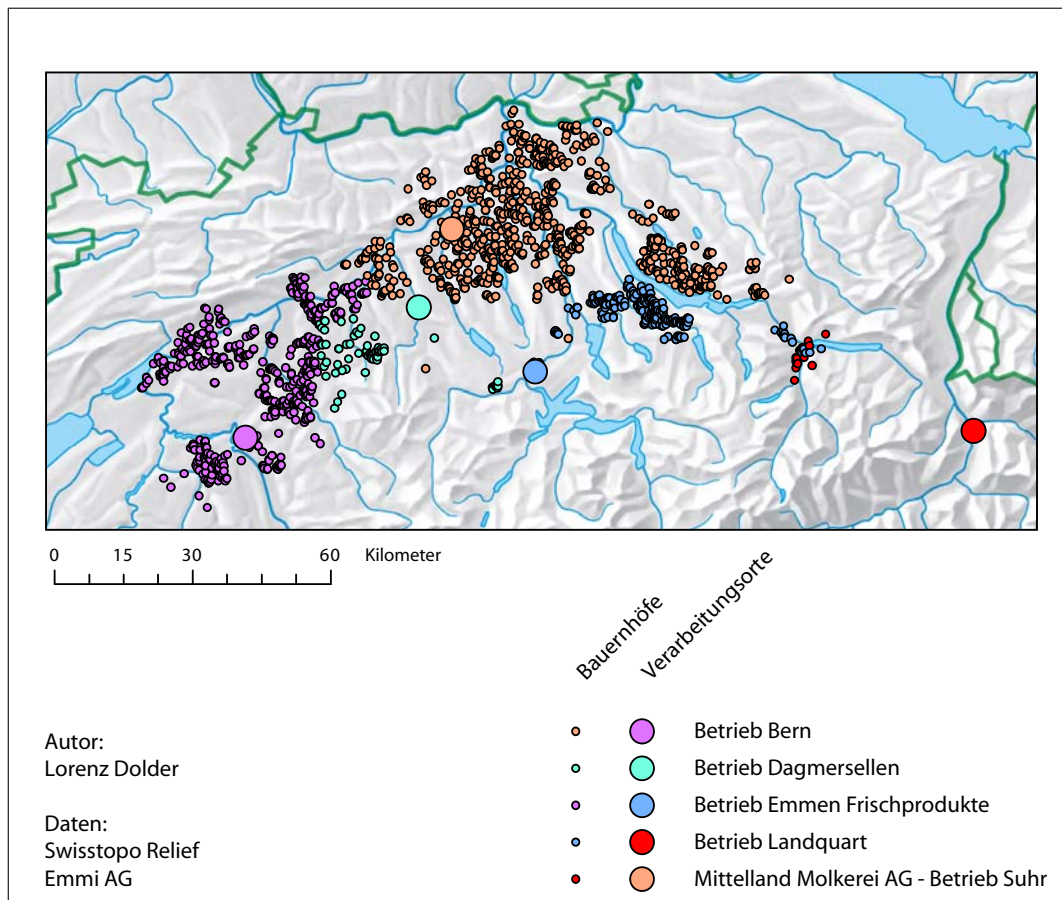


Abbildung 3.3: Übersichtskarte

Um die Berechnungen vorzunehmen, war jedoch erwünscht, dass jeder Bauernhof nur einmal vorkommt. Aus diesem Grund wurden jeweils nur die Daten zweier aufeinanderfolgender Tage weiter verwendet. Dies deshalb, weil jeder Bauernhof nur an jedem zweiten Tag angefahren wird und man somit alle Bauernhöfe erfasst, wenn man zwei aufeinanderfolgende Tage auswählt. Dadurch erfüllt man auch die Bedingung, dass die ganzen Berechnungen auf einem einzigen Turnus basieren und die vorhandenen Daten stark eingeschränkt werden. Dies wird jedoch als nicht weiter schlimm angesehen, da die Milchmengenwerte während dieses Monats nur marginal schwanken und im Falle des Eiweiss- und Fettgehaltes alle gleich sind. Dies rührt davon, dass diese Werte nur periodisch, einmal im Monat, neu berechnet werden.

Bei einer genaueren Analyse der Daten fiel auf, dass in gewissen Touren trotz der oben genannten Massnahmen einige Höfe noch doppelt vorkamen. Es stellte sich heraus, dass die Bauernhöfe einiger Touren doppelt erfasst wurden. Sämtliche Werte dieser doppelt erfassten Einträge waren identisch und jeweils einer dieser Einträge musste gelöscht werden. Da die

Anzahl dieser doppelt erfassten Bauernhöfe nicht gross war, wurde dies manuell gemacht. Hätte das für eine grössere Menge an Punkten gemacht werden müssen, so hätte man dies sicher automatisieren müssen.

Schliesslich waren nach dieser Prozessierung noch rund 1650 Bauernhöfe vorhanden. Die genaue Anzahl sowie Durchschnittswerte sind in Tabelle 3.2 dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass es im Februar 2008 mehr Höfe gibt sowie auch höhere durchschnittliche Gehaltswerte. Dies kommt vor allem daher, dass die Daten im Februar 2008 kompletter waren, was sich dadurch äusserte, dass es kaum Einträge ohne Gehaltswerte gab.

	August	Februar
Anzahl	1649	1675
Durchschnittlicher Fettgehalt	4.03%	4.31%
Durchschnittlicher Eiweissgehalt	3.23%	3.35%
Menge Minimum [Kg]	39.7	29.4
Menge Maximum [Kg]	9655.2	11025.4
Menge Durchschnitt [Kg]	881.1	930.9

Tabelle 3.2: Zusammenfassung der Bauernhofdaten

Genauigkeit

- *Milchdaten:* Einen zentralen Faktor für die Berechnungen spielen die Eiweiss- und Fettgehaltswerte der Milch. Aus diesem Grund sollte auch etwas über deren Genauigkeit bekannt sein. In den vorhandenen Unterlagen war jeweils ein Gehaltswert in Prozent mit zwei Nachkommastellen vorhanden. Leider konnten keine quantitativen Daten über die Genauigkeit dieser Messungen in Erfahrung gebracht werden. Gemäss Aussagen der Vertreter von Emmi sollen diese Messungen sehr genau sein. Mehr war aber nicht zu erfahren. Mit Sicherheit sagen kann man nur, dass die Eiweisswerte genauer sind als die Fettwerte, da sich Fett von der Milch scheidet. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, da die Milch nur jeden zweiten Tag eingesammelt wird. Somit steht ein Teil der Milch mindestens einen Tag auf dem Bauernhof, bevor diese abgeholt wird. Das Fett scheidet sich in dieser Zeit und schwimmt oben auf. Somit entspricht der gemessene Fettgehaltswert in der Probe nicht mehr unbedingt genau dem der ganzen Milchsammlung. Dieses Problem ist bei Emmi bekannt, im jetzigen Zustand spielt dieser Messfehler für sie jedoch keine Rolle. Im Falle von Eiweiss besteht dieses Problem nicht. Das Eiweiss scheidet sich nicht von der Milch und die genommene Probe an Milch sollte somit auch den gleichen Gehaltswert haben wie die gesamte Milch.
- *Lagedaten:* Daneben ist für die Geokodierung der Bauernhöfe die Genauigkeit der Koordinaten wichtig. Durch einen ersten optischen Vergleich der Koordinatenpunkte

mit der Landeskarte 1:25 000 zeigte sich relativ rasch, dass die Genauigkeit der Erfassung der Bauernhöfe stark unterschiedlich ist. Dies rührt daher, dass die Daten auf unterschiedlichste Weise und von unterschiedlichsten Stellen erfasst wurden. Dies ist teilweise durch Emmi selbst anhand der Adressen und der Landkarten geschehen, teilweise durch die Transporteure oder auch durch externe Stellen. So gibt es Bauernhöfe, die praktisch metergenau aufgenommen wurden, bei anderen besteht eine Abweichung von 20 bis 30 Metern oder mehr. In verschiedenen Beispielen zeigte sich auch, dass das Wohnhaus als Koordinate gespeichert wurde und nicht der Stall, wo der Milchtank in Wirklichkeit steht. Dies kommt möglicherweise daher, dass die Adresse des Bauerns in solchen Fällen geokodiert wurde.

Leider ist nicht dokumentiert, welche Daten von welcher Stelle erfasst wurden und wie genau diese sind. Um abzuschätzen, wie genau die Daten sind, wurde versucht, diese für eine Stichprobe von 100 Bauernhöfen zu berechnen. In der Tabelle 3.3 sind die numerischen Resultate dieser Stichprobe aufgelistet. Noch besser wird das Resultat durch das Histogramm in Abbildung 3.4 ersichtlich. Es zeigt sich, dass ein grosser Teil der Bauernhöfe nur eine sehr kleine Abweichung aufweist. Daneben gibt es eine zweite starke Ansammlung bei rund 25 Metern. Dies sind alles Orte, wo wie oben beschrieben, der Bauernhof richtig georeferenziert wurde, jedoch nicht der Stall, sondern das Wohnhaus.

Anzahl	100
Durchschnittlicher Abstand [m]	45
Minimaler Abstand [m]	1
Maximaler Abstand [m]	150
Standardabweichung Abstand [m]	37.19

Tabelle 3.3: Genauigkeit der Bauernhofdaten

Trotz dieser vorhandenen Ungenauigkeiten wurden die Daten ohne eine weitere Bearbeitung so weiterverwendet. Dies aufgrund der Überlegung, dass diese kleinen Fehler auf das Endergebnis kaum einen Einfluss haben werden. Wäre das Ziel ein genaues Routing, beispielsweise für Karten für die Lastwagenchauffeure, müsste man diesen Bereich jedoch sicher noch genauer untersuchen und ungenaue Daten eventuell sogar nochmals neu erfassen.

Tourenzuordnungen

In den oben vorgestellten Daten ist noch keine Beziehung zu den Abladeorten der verschiedenen Touren vorhanden. Diese Beziehung musste mit einer weiteren Tabelle erstellt

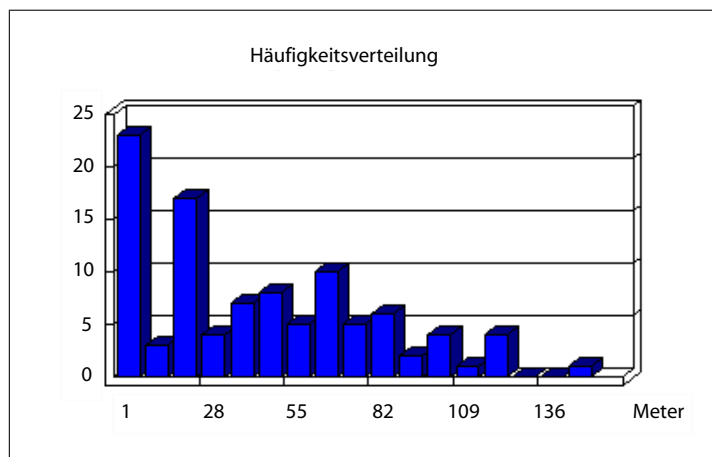


Abbildung 3.4: Histogramm der Lagefehler der Bauernhofdaten

werden. Diese stammt ebenfalls vom Milchverarbeiter. Ein Ausschnitt der Tabelle ist im Anhang in Tabelle A.1 exemplarisch dargestellt. Da die Touren nicht fix einem Verarbeitungsstandort zugeordnet sind, kann eine Tour an verschiedenen Tagen an verschiedene Orte gehen. In den meisten Fällen führen die Touren zwar immer an denselben Ort, es gibt jedoch auch Ausnahmen. So gibt es beispielsweise Standorte, wo grosse Mengen an Milch mit einem geringen Anteil an Personalarbeit verarbeitet werden. Ein solcher Standort wird am Wochenende stärker genutzt als ein Standort, wo viel Arbeit direkt durch Personen getätigt werden muss. Dies wird so gemacht, um die Kosten möglichst tief zu halten.

Variable	Inhalt
Betrieb	Name des Betriebes
Ablade Nr	Nummer des Betriebes
Artikel	Art der Milch (Vollmilch oder Biomilch)
Tour	Nummer der Tour
Total	Totale Menge Milch die während dem Monat geliefert wurde in Kilogramm
01.08.	Menge der Milch die am 01.08.2007 geliefert wurde in Kilogramm
02.08.	Menge der Milch die am 02.08.2007 geliefert wurde in Kilogramm
...	...

Tabelle 3.4: Attribute der Tabelle für die Zuordnung der Touren zu Verarbeitungsstellen

Wie aus der Tabelle 3.4 ersichtlich wird, sind in diesem Falle keine Koordinaten gegeben. Somit mussten die Verarbeitungsstellen auf eine andere Weise georeferenziert werden. Über die Adressen und die Tele Atlas Daten, welche unter anderem auch die Namen aller Strassen beinhalten, konnten die Standorte lokalisiert und in einer *Featureclass* gespeichert werden. Damit wurden die Standorte der Verarbeitungsstellen aufgenommen.

Erläutert muss noch werden, dass die Annahme, dass von diesen Standorten die Lastwagen am Morgen losfahren und am Abend wieder dorthin zurückkehren, nicht korrekt wäre. Die Lastwagen sind bei den einzelnen Transporteuren stationiert, von wo aus sie am Morgen losfahren und am Abend wieder zurückkehren. Das Ganze verkompliziert sich jedoch noch dadurch, dass die Transporteure teilweise Lastwagen an verschiedenen Orten stationiert haben. Da all dies schlecht zu modellieren ist, wurden nur die Routen von den Verarbeitungsorten und wieder zurück zu diesen berechnet. Für die Standorte der Transportfirmen wurde angenommen, dass sich diese im Gebiet der jeweiligen Routen befinden und deshalb diese nicht stark verändern. Diese Annahme entspricht auch der Meinung der Spezialisten von Emmi, welchen gleichgültig ist, wo die Fahrzeuge stationiert sind, und die nur an der effektiven Route interessiert sind.

3.1.3 Milchpreise und Fahrkosten

Von grosser Bedeutung für die Berechnung der eventuell möglichen Mehreinnahmen sind die Milchpreise. Zu unterscheiden sind zwei verschiedene Preise. Einerseits sind dies die Preise, welche Emmi den Bauern bezahlt. Dieser Preis setzt sich aus einem Fixpreis und einem variablen Teil zusammen. Der Fixpreis liegt bei 63.3 Rappen pro Kilogramm Milch (Stand Winter 2008). Daneben gibt es einen variablen Teil, welcher abhängig vom Fett- beziehungsweise Eiweissgehalt der Milch ist. Dieser setzt sich wie in der Tabelle 3.5 aufgezeigt wird zusammen.

Fettgehalt		Eiweissgehalt	
usw.		usw.	
3.75 bis 3.84 %	- 0.80 Rp./Kg	3.05 bis 3.14 %	- 1.00 Rp./Kg
3.85 bis 3.94 %	- 0.40 Rp./Kg	3.15 bis 3.24 %	- 0.50 Rp./Kg
3.95 bis 4.04 %	Neutral	3.25 bis 3.34 %	Neutral
4.05 bis 4.14 %	+ 0.40 Rp./Kg	3.35 bis 3.44 %	+ 0.50 Rp./Kg
4.15 bis 4.24 %	+ 0.80 Rp./Kg	3.45 bis 3.54 %	+ 1.00 Rp./Kg
usw.		usw.	

Tabelle 3.5: Gehaltszahlungen für Fett und Eiweisswerte

Auf der anderen Seite kann Emmi aus der Milch an den verschiedenen Verarbeitungsorten einen unterschiedlichen Ertrag, je nach Fett- beziehungsweise Eiweissgehalt der Milch, erwirtschaften. Um das Ganze quantifizierbar zu machen, wurde von Seiten Emmi dafür ein Wert pro Kilogramm Eiweiss sowie pro Kilogramm Fett geschätzt. Dargestellt sind diese Schätzungen in Tabelle 3.6.

Wichtig für die Berechnungen der Fahrkosten sind die Kosten pro gefahrenen Kilometer. Diese hängen in Wirklichkeit von verschiedensten Faktoren ab, wie dem Benzinpreis, der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) sowie Kosten für das Fahrzeug und

	Fett [Fr./kg]	Eiweiss [Fr./kg]
Betrieb Bern	12	30
Betrieb Dagmersellen	12	15
Betrieb Emmen Frischprodukte	12	55
Betrieb Landquart	12	70
Mittelland Molkerei AG - Betrieb Suhr	6	0

Tabelle 3.6: Geschätzte Zusatzpreise für Inhaltsstoffe der Milch

den Fahrer. Da diese Preise jedoch im Falle der vorliegenden Arbeit noch von anderen Faktoren abhängen, wodurch es unmöglich wurde, die genauen Kosten zu beziffern, wurde von Emmi ein Durchschnittswert von 6 - 8 Franken pro gefahrenen Kilometer vorgeschlagen. In der Analyse der Resultate soll nebst anderem auch versucht werden aufzuzeigen, welchen Einfluss Schwankungen dieses Preises bewirken würden.

3.2 Strassendaten

Sämtliche Berechnungen basieren nebst den Daten der Bauernhöfe auf Daten des Strassennetzes. Im Kapitel 2.3 wurde bereits ausführlich aufgezeigt, welche Daten in der Schweiz verfügbar sind. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle nur noch kurz darauf eingegangen.

Wie bereits besprochen, gibt es kommerzielle routingfähige Strassendaten, wie sie beispielsweise die Firma Tele Atlas herstellt. Daneben gibt es die VECTOR25-Daten der Swiss-topo, welche ebenfalls ein Strassennetz enthalten.

In der vorliegenden Arbeit wurde von der Firma Tele Atlas der MultiNet-Datensatz verwendet. Dies ist ein nach dem GDF-Standard aufgebauter Datensatz, welcher wie beschrieben routingfähig ist. Damit enthält er verschiedene Attribute speziell für Autofahrer. Da mit den Strassendaten wirkliche Routen berechnet werden müssen, wird dieser Datensatz als Hauptgrundlage verwendet. Dieser Datensatz steht für die gesamte Schweiz zur Verfügung.

Um dieses Netzwerk zu verfeinern, wurde daneben zusätzlich aus den VECTOR25-Daten der Layer mit dem Strassennetz verwendet. Dieser Layer enthält die in der Tabelle 3.7 erwähnten Attribute. Gut ersichtlich wird daraus, dass es keine routingrelevanten Attribute darin gibt. Im Gegensatz zu den MultiNet-Daten ist dieser Datensatz am Geographischen Institut nicht für die gesamte Schweiz vorhanden, sondern nur für das Gebiet des Kantons Zürich. Dies stellt somit eine Einschränkung für die gesamte Arbeit dar, wodurch die Datenintegration nur über dieses Gebiet durchgeführt werden konnte.

Name	Beschreibung
ObejctId	Eindeutiger und stabiler Identifikationsschlüssel
ObjectOrigin	Herkunft der Daten
ObjectVal	Objektart
YearOfChange	Nachführungsjahr des Objektes
BridgeType	Brückentyp
TunnelType	Tunneltyp
Strada-id	Strada-DB Attribut
HikingType	Typ des Wanderweges

Tabelle 3.7: Attribute Strassenlayer VECTOR25
(Bundesamt für Landestopografie, 2000)

3.3 Software und Programmiersprachen

3.3.1 Network Analyst

Der Network Analyst ist eine Erweiterung zu ArcGIS, um netzwerkbasierete Berechnungen wie *Routing* oder *Closest Facility Analysen* durchzuführen (ESRI Inc., 2008b).

Zur Berechnung von Routen benötigt der Network Analyst die Strassendaten in einer speziellen Form. Aus diesem Grunde müssen die MultiNet-Daten, bevor sie im Network Analyst verwendet werden können, vorverarbeitet werden. Die Daten müssen einerseits ein Strassennetzwerk enthalten. In diesem ist natürlich die Geometrie gespeichert sowie auch Attribute betreffend Strassenregeln wie beispielsweise die zulässige Geschwindigkeit. Diese Attribute können bei der Berechnung der Route beispielsweise als Kostenattribute benutzt werden. Über das Attribut Geschwindigkeit sowie Länge eines Strassenstücks kann die benötigte Zeit einer Route berechnet werden. Daneben kann es Restriktionsattribute geben. Dies wäre beispielsweise ein Attribut, welches Einbahnstrassen festlegt.

Daneben ist eine sogenannte *Turn feature class* erforderlich. Darin wird gespeichert, welche Abbiegemanöver erlaubt sind und wo es Restriktionen gibt (ESRI Inc., 2008a).

Wie konkret das Netzwerk vom MultiNet-Format in die für den Network Analyst angepasste Form gebracht wurde, wird in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt, da dies ein softwarespezifischer Routinevorgang ist. Der Vorgang kann jedoch in der Literatur nachgeschlagen werden (ESRI Inc, 2005).

3.3.2 ArcLogistics Route

ArcLogistics Route ist eine von ArcGIS unabhängige Software, welche speziell für die Logistikbranche entwickelt wurde. Sie ermöglicht die optimierte Tourenbildung und die Einteilung von Fahrzeugen. Mit einfachen Mitteln können verschiedene Depots sowie Lastwagen

platziert werden. Jeder Lastwagen kann unterschiedliche Eigenschaften, wie beispielsweise Ladegewicht oder Ladevolumen haben, und einem Depot zugeordnet werden. Daneben können spezifische Aufträge hinzugefügt werden. Auch diese können Gewichts- und andere Einschränkungen haben. Schliesslich können die optimale Zuordnung der Kunden zu den Depots sowie die Routen berechnet werden (ESRI Inc., 2008c).

Das gesamte Problem, jedoch ohne die Gehaltsoptimierung der Milch, könnte mit dieser Software gelöst werden. Dies würde jedoch den Sinn der Arbeit in Frage stellen. Aus diesem Grund wurde dieses Tool nur für gewisse Berechnungen zur Abschätzung der definitiven Routenlängen benutzt.

3.3.3 Jump - Road Matcher

JUMP (Java Unified Mapping Platform) ist ein Opensource GIS, welches eine einfache Benutzeroberfläche zur Verfügung stellt. Darauf wurden verschiedene Erweiterungen entwickelt. Eine davon ist die Software Road Matcher. Dies ist ein auf Java-Basis entwickeltes Werkzeug, welches die Integration von verschiedenen Strassendatensätzen erlaubt. Dabei stellt Road Matcher eine Schnittstelle für eine automatische sowie eine benutzergesteuerte Verbindung zweier solcher Datensätze zur Verfügung.

Der implementierte Algorithmus startet zuerst mit einem Node-Matching. Das heisst, dass innerhalb einer Distanz eines Nodes des einen Datensatzes alle Nodes des anderen Datensatzes gesucht werden und danach versucht wird, zwei sich entsprechende Nodes einander zuzuordnen. In diesem Schritt wird auch versucht, die Kanten wo möglich zu verbinden. Danach wird ein stärkerer Fokus auf die Kanten gelegt, sowie auf das Aufteilen dieser. Findet der Algorithmus zwei Kanten, die sich entsprechen könnten, jedoch an unterschiedlichen Stellen Nodes haben, so unterteilt er die Kanten in Einzelstücke, damit sich die Geometrien besser entsprechen (Stigmar, 2005).

Um diesen Prozess durchzuführen, stehen entweder automatische Methoden zur Verfügung oder es besteht auch die Möglichkeit, die Integration interaktiv durchzuführen. Am Ende jeder automatischen Integration werden zudem sämtliche Stellen angezeigt, wo noch Probleme bestehen, welche noch behoben werden müssen. Zum Schluss kann ein integrierter Datensatz mit allen Strassen und sämtlichen Attributen exportiert werden (The JUMP-Project.Org, 2005).

3.3.4 Python

Python ist eine objektorientierte plattformunabhängige Programmiersprache. Python wurde so entworfen, dass die Programmiersprache möglichst einfach und übersichtlich ist. Dies führt dazu, dass man sich sehr schnell in einem Code zurechtfindet und auch sehr schnell

selbst etwas umsetzen kann. Dies rührt daher, dass es sehr klare Regeln gibt, wie der Code aufgebaut sein muss. Diese Regeln wiederum sind so aufgebaut, dass der Code sehr einfach lesbar ist. Als Beispiel können an dieser Stelle Schleifen genannt werden, die nicht wie in Java in Klammern gesetzt werden müssen, sondern rein durch Einrücken des Schleifeninhaltes definiert werden (Lutz, 2006). Ein weiterer Vorteil von Python liegt darin, dass andere Programmiersprachen eingebettet werden können. Diese Funktionalität wird auch von ArcGIS benützt. So können in Python Geoprocessingfunktionen aufgerufen werden. Damit kann problemlos mit räumlichen Daten gearbeitet werden, womit es auf einfachste Weise möglich ist, praktisch alle Funktionen von ArcGIS in Python-Programmen zu benutzen.

4 Integration der Strassendatensätze

Im folgenden Kapitel soll vertieft auf die verwendeten Strassendaten eingegangen werden. Im ersten Teil in Abschnitt 4.1 werden Gründe für eine mögliche Datenintegration aufgezeigt. Danach wird in Abschnitt 4.2 gezeigt wie die Datenintegration durchgeführt wurde und schliesslich wird in Abschnitt 4.3 das Resultat der Datenintegration aufgezeigt. Da dieser Teil etwas losgelöst vom Rest der Arbeit ist, soll versucht werden, die erste Fragestellung bereits am Ende dieses Kapitels zu beantworten.

4.1 Notwendigkeit einer Datenintegration

Für die Berechnung von Routen zwischen verschiedenen Orten muss auf irgend eine Art und Weise sichergestellt werden, dass die Orte richtig in Verbindung mit dem Strassendatenetz gebracht werden. Dies damit der Algorithmus zur Routenberechnung weiss, ab wo er eine Route berechnen kann. Dazu wird der Punkt, welcher einen Bauernhof repräsentiert, normalerweise an die nächstgelegene Strasse gezogen. Dies muss im Normalfall über die kürzeste Distanz laufen, das heisst, es wird vom Punkt ein Lot auf die nächstgelegene Kante im Strassendatensatz gefällt. Dies basiert auf der Überlegung, dass es in einem Strassendatensatz ausser den vorhandenen Strassen keine genaueren Informationen hat und es somit kein anderes Kriterium gibt als die Zuordnung über die Distanz zu bilden. Da man jedoch nicht weiss, was in Wirklichkeit zwischen dem Ort und der Strasse liegt, ist diese Zuordnung eventuell nicht optimal.

4.1.1 Qualitativer Vergleich des Matching-Resultates

In der vorliegenden Arbeit stellt sich das Problem, dass Bauernhöfe zum Teil abgelegen liegen und nicht direkt durch offiziell befahrbare Strassen erschlossen sind. Ein Beispiel eines solchen abgelegenen Hofes wird in Abbildung 4.1 dargestellt. Wie aus der Landeskarte 1:25 000 ersichtlich ist, gibt es verschiedene Wege, welche von der Hauptstrasse (unten im Bild) bis zum Bauernhof führen. In den MultiNet-Daten sind diese Wege jedoch nicht vorhanden. Da diese Wege aber in der 1:25 000 Landeskarte vorhanden sind, müssen sie auch im VECTOR25 Datensatz vorhanden sein (Bundesamt für Landestopografie, 2000).

In dieser Karte zeigt sich auch, dass die kürzeste Verbindung vom Bauernhof zu den vorhandenen Strassen 408 Meter beträgt. Jedoch wäre diese Zuordnung nicht korrekt, da die effektive Wegsituation auf der Landeskarte zeigt, dass in Wirklichkeit noch Strassen bestehen, welche den Bauernhof von einer anderen Strasse her erschliessen. Dasjenige Strassenstück, welches in der Realität wohl befahren wird, ist mit 447 Metern weiter entfernt und wird deshalb vom Routenberechnungsalgorithmus nicht verwendet.

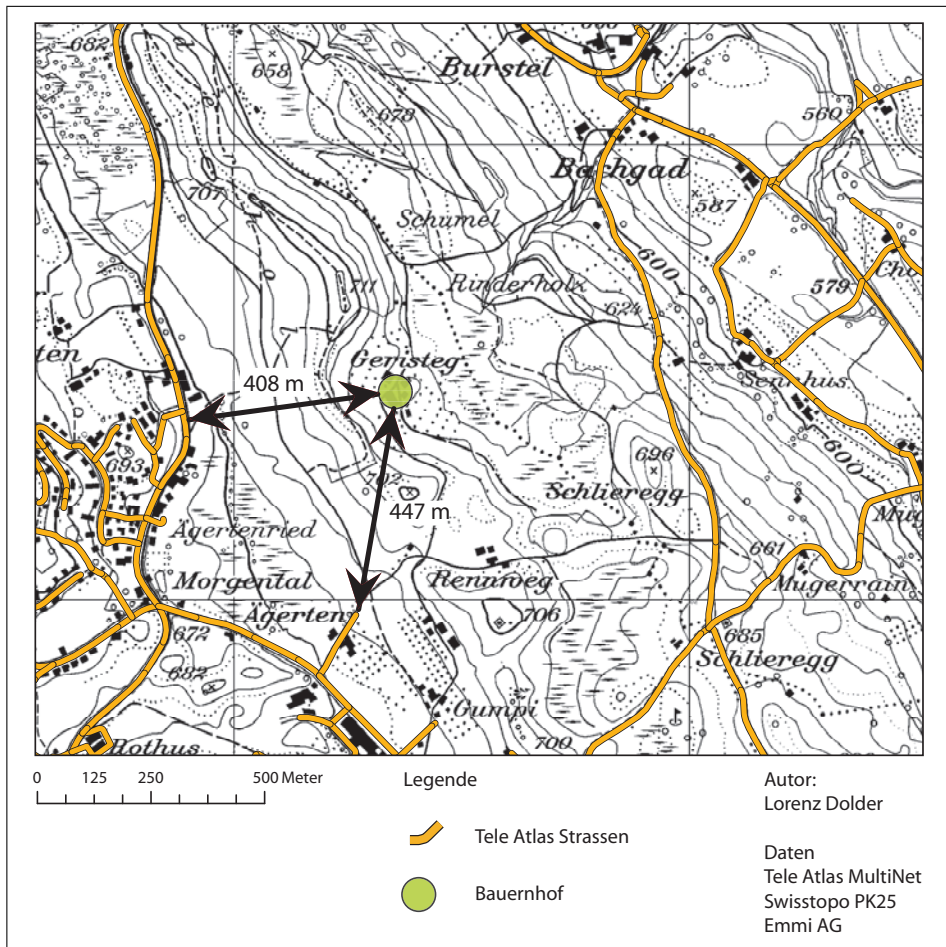


Abbildung 4.1: Lücken in den Strassendaten

Mit zunehmender Distanz zwischen dem Punkt (Bauernhof) und den Linien (Strassen) nimmt daher die Unsicherheit zu, dass die Zuordnung korrekt ist. So kann es durchaus vorkommen, dass ein Bauernhof komplett einer falschen Strasse zugeordnet wird. Denkbar sind beispielsweise auch Situationen, in denen zwischen dem Bauernhof und der nächstgelegenen Strasse ein Fluss liegt, weshalb in Wirklichkeit eine andere, weiter entfernte Strasse benützt werden muss. Dargestellt ist eine solche Situation in Abbildung 4.2.

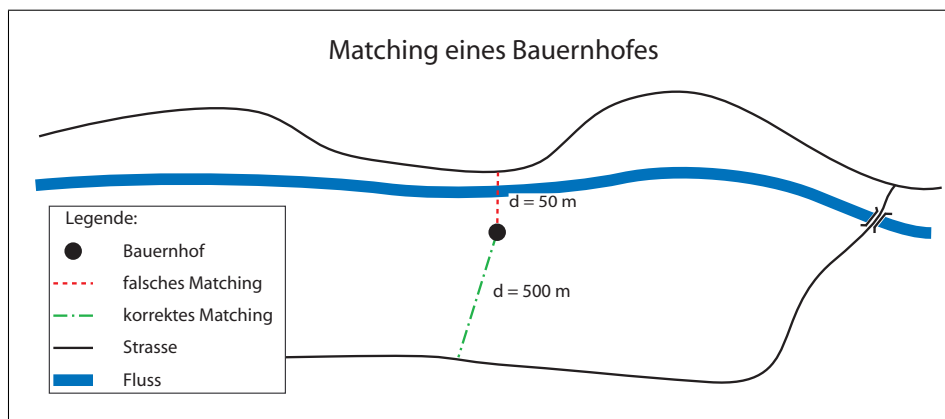


Abbildung 4.2: Matching Beispiel

Die oben genannten Beispiele sind Einzelfälle und sagen noch nichts über das gesamte Resultat eines Matchings der Bauernhöfe an das MultiNet-Strassennetz aus.

4.1.2 Quantitativer Vergleich des Matching-Resultates

Dass es einzelne Fälle gibt, in welchen eine Integration von Strassendaten aus MultiNet und VECTOR25 Sinn machen würde, wurde bereits anhand der Abbildung 4.1 (Seite 44) gezeigt. An dieser Stelle soll nun gezeigt werden, ob der Nutzen auch quantitativ belegt werden kann.

Für den quantitativen Vergleich wurden alle Bauernhöfe des Kantons Zürich einerseits an das MultiNet-Netz gematcht und andererseits an das VECTOR25-Netz. Gematcht wurden die Bauernhöfe mithilfe des Network Analyst in ArcGIS an das Strassennetz. Danach konnte man für jeden Punkt die Koordinaten bestimmen und damit mit einfachsten Berechnungen (Pythagoras) die Distanz zwischen dem Standort des Bauernhofes und dem Matchingresultat berechnen.

Das Resultat ist in der Tabelle 4.1 dargestellt. Nimmt man an, dass nach einer Integration in etwa die Werte des VECTOR25-Datensatzes erreicht werden, so zeigt sich, dass die Distanz zwischen Bauernhöfen und Strassennetz um rund 32% verkleinert werden könnte.

Gross ist der Unterschied vor allem bei den maximalen Distanzen. Diese liegen im Falle der MultiNet-Daten mit 486 Metern weit höher als bei den VECTOR25-Daten mit 171 Metern. Dies wird auch durch die Standardabweichung widerspiegelt, die im Falle der VECTOR25-Daten etwa halb so gross wie in den MultiNet-Daten ist.

Der gesamte Unterschied beträgt dabei 6 605 Meter. Im Vergleich zu der total gefahrenen Strecke von etwa 9 000 Kilometern ist diese Distanz sehr klein. Zu bedenken ist jedoch, dass sich bei einem Routing schlussendlich die Strecke nicht nur um diese rund 6 Kilometer ändern würde. Die grösseren Abweichungen stammen von Stellen, wo durch einen lücken-

	TA	Vec25
Durchschnittliche Versetzung [m]	44.54	30.4
Minimale Versetzung [m]	0.02	0.02
Maximale Versetzung [m]	485.98	170.91
Summe [m]	20800.72	14195.26
Standardabweichung [m]	57.77	24.56

Tabelle 4.1: Vergleich des Resultates

haften Datensatz die Bauernhöfe an falsche Strassen gezogen werden. Dies entspricht auch der Aussage weiter oben, dass mit der Zunahme der Distanz beim Matching die Unsicherheit der gesamten Berechnung zunehme.

4.1.3 Konsequenz der Vergleiche

Festzustellen ist, dass das Resultat Fehler haben kann, falls die Punkte über eine grössere Distanz gematcht werden müssen, das Resultat Fehler haben kann. Es zeigt sich, dass es Fälle gibt, wo die Distanz relativ gross ist und daher bessere Daten Sinn machen könnten. Damit man den Prozess des Matchings verbessern könnte, müsste man daher weitere Daten nebst den MultiNet-Daten miteinbeziehen. Diese sind vor allem dort von Bedeutung, wo es zwischen dem Bauernhof-Punkt und der nächstgelegenen Strasse eine grössere Distanz gibt.

Ganz grundsätzlich könnten diese ergänzenden Daten beispielsweise in einem bereits existierenden Datensatz gefunden werden, der in gewissen Bereichen mehr Strassen enthält, wie es beispielsweise bei den VECTOR25-Daten der Fall ist. Auch denkbar wäre, dass speziell für einen solchen Zweck wichtige Wege nachdigitalisiert und dem Strassennetz beigefügt würden. Von dieser Möglichkeit wurde in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht Gebrauch gemacht. Dies wäre zu aufwändig gewesen und hätte den Zeitrahmen der Arbeit gesprengt.

Im Falle der vorliegenden Arbeit wurde als Alternative beziehungsweise Erweiterung der vorhandenen MultiNet-Daten der VECTOR25-Datensatz der Swisstopo verwendet. Dies aus verschiedenen Überlegungen. So ist beispielsweise die Genauigkeit der beiden Datensätze ähnlich. Im Gegensatz zu den MultiNet-Daten beinhalten die VECTOR25-Daten jedoch mehr Strassen, beziehungsweise beinhalten sie auch Wege, welche grundsätzlich von Fahrzeugen nicht befahren werden dürfen (Bundesamt für Landestopografie, 2000). In der Folge muss somit geprüft werden, ob eine solche Datenintegration auf das Berechnungsergebnis überhaupt einen Einfluss hat und wie gross dieser wäre.

Da das VECTOR25-Netzwerk in der vorliegenden Arbeit nur für den Kanton Zürich zur Verfügung stand, beziehen sich die folgenden Analysen auch nur auf dieses Gebiet.

Dadurch kann diesbezüglich nur ein Teilergebnis beurteilt werden. Da jedoch sämtliche der untersuchten Bauernhöfe im Mittelland liegen und nicht in den Alpen, wo die Topografie schwieriger wäre, kann man dieses Gebiet gut als Stichprobe nehmen. Schliesslich ging es darum zu analysieren, was eine solche Integration in diesem Fall überhaupt bringen würde und welcher Aufwand damit verbunden wäre.

4.2 Durchführen der Datenintegration

In der Folge wird erläutert, wie die Datenintegration der beiden Datensätze durchgeführt wurde. Um den Vorgang zu verdeutlichen, sei auf die beiden Schemas in Abbildung 4.3 verwiesen, wo sämtliche Schritte aufgezeigt werden.

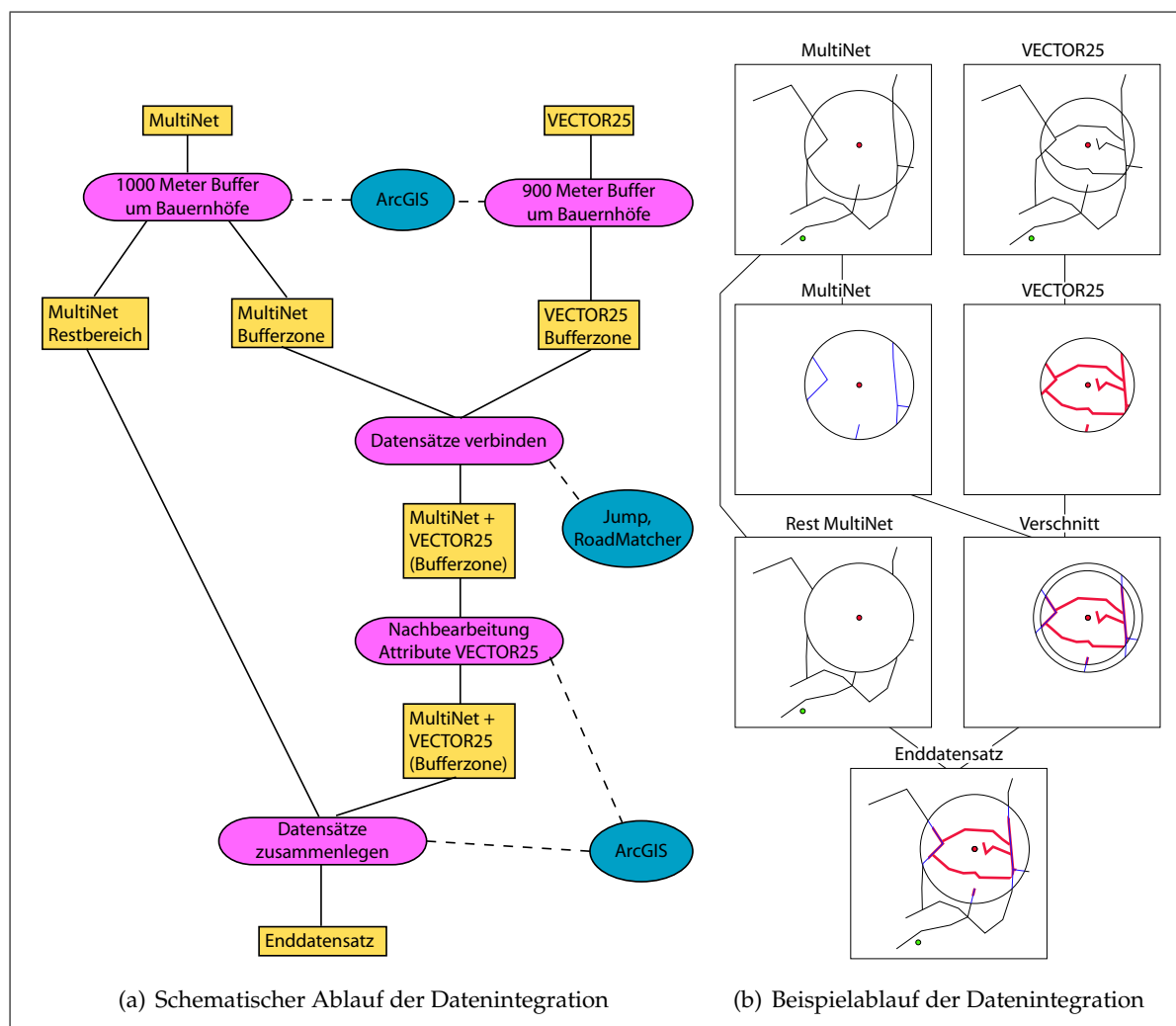


Abbildung 4.3: Ablauf der Datenintegration

Ganz generell ist zu sagen, dass das Ziel war, eine semantische Integration zu machen. Dies aus dem Grund, da im Enddatensatz sämtliche Attribute, speziell diejenigen der MultiNet Daten, vorhanden sein müssen.

Ganz einfach war dieser Weg jedoch nicht, da beide Datensätze nicht genau gleich sind und es keine gemeinsamen Attribute gibt. Es wurde festgestellt, dass praktisch alle Strassen in beiden Datensätzen leicht anders dargestellt sind. Dies kommt natürlich auch daher, dass sie auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Interessen aufgenommen wurden (Stigmar, 2005). In der Praxis stellt sich dieses Problem vor allem in komplexeren Situationen, wie etwa bei grossen Kreuzungen.

4.2.1 Vorbereitungen

Da eine Integration von zwei Strassendatensätzen über ein grosses Gebiet (je über 150 000 Strassenelemente) einen erheblichen Aufwand mit sich bringen würde, wurde versucht, die Daten in einem ersten Schritt möglichst stark einzugrenzen. Daher wurde die Integration nur in Gebieten gemacht, wo Bauernhöfe schlecht durch die MultiNet Daten erschlossen sind. In allen anderen Gebieten, wo die Bauernhöfe direkt am MultiNet Netz liegen oder wo es gar keine Bauernhöfe gibt, wurde es als nicht nötig erachtet, die beiden Datensätze miteinander zu verbinden. Dies hätte lediglich zu einem grösseren Aufwand geführt, bei gleichbleibendem Resultat.

Wichtig ist, dass dieser Entscheid nur gefällt werden konnte, da angenommen wurde, dass es über die Zeit keine neuen Bauernhöfe geben wird. Würden sich die Standorte über die Zeit verändern, dürfte keine solche Einschränkung nicht getroffen werden. Oder es müsste bei jeder Erweiterung der Bauernhofdaten erneut eine solche Datenintegration durchgeführt werden.

Als „schlecht erschlossen“ wurde definiert, dass dies überall dort der Fall ist, wo keine Strasse in den MultiNet-Daten näher als 100 Meter an den Bauernhof heranführt. Diese Distanz wurde unter anderem auch durch die Erkenntnisse der Genauigkeit der Bauernhofdaten in Abschnitt 3.1.2 gewählt. Von den 709 Bauernhöfen im Kanton Zürich betraf dies 59 Höfe, was 8.31 Prozent aller Höfe dieses Gebietes entspricht. Der ganze Rest der Höfe hat somit die nächste MultiNet-Strasse näher als 100 Meter und es wurde angenommen, dass diese Höfe durch die MultiNet-Daten ausreichend erschlossen sind.

Danach musste um die nicht ausreichend erschlossenen Höfe ein Buffer gelegt werden. Danach konnte damit aus beiden Datensätzen ein Ausschnitt der Strassen um den Hof ausgeschnitten werden. Nur diese Ausschnitte sollten in der Folge miteinander verbunden werden.

Der Buffer wurde mit einem Kilometer genügend gross gewählt, damit sicherlich die gesamte Situation um diese Bauernhöfe angemessen abgebildet ist. Dieser Wert wurde aus

verschiedenen Versuchen als am besten geeignet erachtet. Zusätzlich bei diesem Prozess zu beachten war, dass im Grenzbereich dieser ausgeschnittenen Gebiete keine VECTOR25-Strassen mehr vorhanden sein durften. Bei ersten Versuchen zeigte sich, dass ansonsten bei der Wiedervereinigung zum Gesamtnetzwerk Probleme mit ungewollten Überschneidungen oder freistehenden Strassen ohne Anschluss an das Netzwerk entstehen konnten. Aus diesem Grund wurde der Buffer für das VECTOR25-Netzwerk um 100 Meter verkleinert. Damit wurden solche unschönen Effekte vermieden.

Die oben erwähnten Schritte wurden in ArcGIS ausgeführt und die ausgeschnittenen Bereiche beider Datensätze je in einem Shapefile abgespeichert.

4.2.2 Integration der Datensätze

Durchgeführt wurde die eigentliche Integration der Datensätze in JUMP mit der Erweiterung Road Matcher. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich, dass ein vollautomatischer Prozess nicht befriedigende Resultate lieferte. Aus diesem Grund war ein halbautomatischer Prozess unumgänglich. Zwar wurden in einfachen Situationen sehr gute Resultate erzielt, sobald aber viele Strassen auf kleinerem Raum miteinander zu integrieren waren, musste ein grosser Teil der Strassen manuell einander zugeordnet werden.

Die eigentliche Integration wurde mit einem ersten automatischen Durchgang gestartet. Dabei musste in JUMP angegeben werden, wie weit die Knoten (Nodes) der beiden Datensätze auseinander liegen dürfen, damit sie zusammengefasst werden können. Zudem konnte definiert werden, dass die Geometrie, dort wo vorhanden, durch die MultiNet Daten bestimmt werden sollte. Dies da die VECTOR25-Daten nur eine Ergänzung sind, deren Geometrie nur dort genommen werden sollte, wo es keine MultiNet-Daten gab. Weiter wurde dadurch gewährleistet, dass beim Schritt der Wiedervereinigung der integrierten Daten mit den Restdaten keine Probleme entstehen. Hätte man die MultiNet-Geometrie abgeändert, so würden sich diese abgeänderten Strassenstücke am Rand nicht mehr mit den Originalstrassen treffen.

Dargestellt ist ein Ausschnitt eines solchen Ergebnisses in Abbildung 4.4. Da bei den eigenen Screenshots nur eine sehr schlechte Bildqualität erzielt wurde, ist an dieser Stelle ein Beispiel aus (The JUMP-Project.Org, 2005) angefügt. Das Resultat ist aber analog. Gut zu erkennen sind darin in hellem Blau und Rot alle Strassensegmente, welche nicht automatisch verarbeitet werden konnten. Diese mussten im Nachhinein manuell integriert werden. Des weiteren konnten zwei Arten von Fehlern auftreten. Zum einen sind dies Inkonsistenzen. Dies sind Kreuzungen, welche sehr nahe aneinander liegen, in Wirklichkeit wahrscheinlich zusammengehören. Zum anderen sind dies Kreuzungen, ohne dass ein Knoten vorhanden ist. Dies kam meistens an Stellen vor, wo beispielsweise eine Brücke eine Autobahn überquert. Der Algorithmus stellte dann zwar aufgrund des Kreuzungswinkels fest, dass

die Brücke und die Autobahn nicht dieselbe Strasse sein können, jedoch konnte er nicht beurteilen, ob es eine Brücke oder eine Kreuzung, bei welcher ein Knoten fehlt, ist.

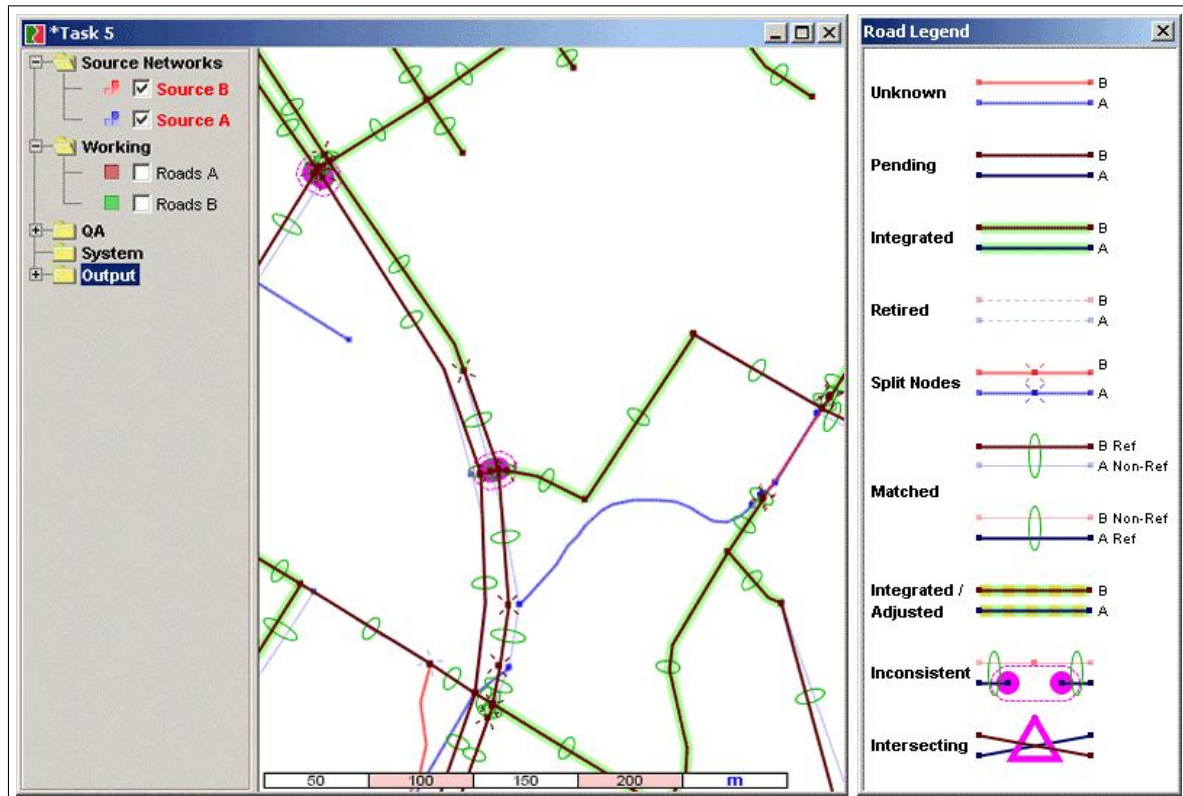


Abbildung 4.4: Resultat nach automatischem Matching mit Road Matcher
(The JUMP-Project.Org, 2005)

Alle noch nicht zugewiesenen oder noch unklaren Stellen mussten in der Folge mit den interaktiven Werkzeugen, die der Road Matcher zur Verfügung stellt, manuell bearbeitet werden.

4.2.3 Nachbearbeitung

Damit in einer späteren Phase das Routing korrekt klappt, musste der Datensatz nach dem eigentlichen Matching nachbearbeitet werden. In den MultiNet-Daten ist beispielsweise ein Attribut für die erlaubte Geschwindigkeit vorhanden. Diese Information ist in den VECTOR25-Daten jedoch nicht enthalten. Bei den neu eingefügten Strassen handelt es sich zum grossen Teil um 4. und 5. Klasswege, welche gemäss der Klassifikation von Swisstopo entweder Fahrwege, Feld- oder Waldwege sind (Bundesamt für Landestopografie, 2003). Deshalb wurde die Annahme getroffen, dass eine mögliche Durchschnittsgeschwindigkeit von 20 km/h für sämtliche dieser Wege realistisch sein dürfte. Mit dieser Information konnte

dann auch abgeleitet werden, wie lange ein Fahrzeug braucht, um ein bestimmtes Strassenstück zu befahren. Dies ist nämlich auch ein nötiges Attribut in den MultiNet-Daten. Alle oben beschriebenen Ergänzungen wurden wiederum in ArcGIS mithilfe des *Field Calculators* gemacht.

Schliesslich konnte der so bearbeitete Datensatz wieder mit dem Originaldatensatz verbunden werden. Dies wurde über einen normalen *Merge* der beiden Datensätze erreicht.

Damit resultiert ein MultiNet-Datensatz, der an einigen Orten durch Strassen des VECTOR25-Datensatzes von Swisstopo erweitert ist. Der neue Datensatz hat zudem einige spezifische Attribute, die jedoch nur für die an der Integration beteiligten Daten vorhanden und für die weitere Verwendung in dieser Arbeit nicht von Interesse sind. Beispielsweise kann aus den Attributen entnommen werden, von welchem Datensatz ein Strassenstück kommt, und es könnte auch ermittelt werden, wie stark ein Strassenstück verschoben werden musste, um es mit dem anderen Datensatz zu verbinden. Diese Attribute haben nur noch insofern eine Bedeutung, als durch sie festgestellt werden kann, welche Segmente an der Integration beteiligt waren, und aus welchem Datensatz sie stammen.

Bei der Erstellung des für den Network Analyst routingfähigen Datensatzes galt es noch einen Punkt zu beachten. Die VECTOR25-Daten müssen als Ergänzung angesehen werden und dürfen nur dort verwendet werden, wo es keine andere Möglichkeit gibt. Ansonsten wäre es möglich gewesen, dass der Routingalgorithmus Abkürzungen über VECTOR25-Wege findet, die in Wirklichkeit nicht befahrbar sind.

Aus diesem Grund wurde in den Resultatdatensatz eingebaut, dass bei der Berechnung der kürzesten Zeiten alle Strassenstücke des VECTOR25-Datensatzes stets eine 1000-fach längere Zeit in Anspruch nehmen, als dies in Wirklichkeit der Fall ist. Es zeigte sich danach, dass diese Strategie erfolgreich war und die VECTOR25-Strassen in der Tat nur als letzte Zufahrt zu den Bauernhöfen verwendet wurden.

4.3 Resultat der Datenintegration

Um den Nutzen der Integration zu analysieren, wurden für eine Anzahl von Routen die berechneten Wege basierend auf dem Original MultiNet-Datensatz sowie auf dem mit den VECTOR25-Daten verbundenen Datensatz verglichen. Bei der Auswahl der Routen wurde darauf geachtet, dass sie mindestens einen Bauernhof enthalten, welcher durch die MultiNet-Daten nicht genügend erschlossen ist. Das Resultat wird in Tabelle 4.2 dargestellt.

In dieser Tabelle zeigt sich ein nicht ganz klares Bild. Zwar sind die Mehrheit der Routen sowie auch die Durchschnittswerte in der Berechnung mit dem erweiterten Datensatz in der Tat länger, wie dies auch zu erwarten war. Dies aus dem genannten Grund, dass die

Resultat Strassenintegration						
Tour	Anzahl Stopps	Anzahl Stopps ohne TA	Kilometer ohne VECTOR25	Kilometer mit VECTOR25	Mehrweg mit VECTOR25	Prozent
1013	24	2	125.392	126.191	0.799	1.00637202
1014	20	2	118.359	119.914	1.555	1.013138
1021	11	1	140.106	144.805	4.699	1.03353889
5010	22	2	165.755	166.205	0.45	1.00271485
5015	24	2	173.834	172.524	-1.31	0.99246407
5020	18	1	151.677	151.834	0.157	1.00103509
5613	13	1	186.732	186.387	-0.345	0.99815243
5614	18	2	173.348	171.28	-2.068	0.98807024
5616	16	3	158.518	158.197	-0.321	0.99797499
5618	16	3	141.469	142.313	0.844	1.00596597
5805	33	4	133.104	137.868	4.764	1.03579156
8142	24	2	104.982	104.977	-0.005	0.99995237
Median					0.3035 km	
Durchschnitt					0.76825 km	

Tabelle 4.2: Unterschied der Routen

VECTOR25-Daten näher an den Bauernhof gehen und damit ein weiterer Weg gefahren werden muss.

Jedoch gibt es auch Routen, welche durch diese Datensatzerweiterung verkürzt wurden. Auf den ersten Blick erstaunt die verkürzte Länge der Route. Betrachtet man jedoch ein solches Resultat wie beispielsweise auf der Karte in Abbildung 4.5, so erscheint es zumindest nicht mehr ganz unlogisch. Diese Abbildung stellt die Route 5015 dar, welche gegenüber der Berechnung der Route mit dem Originaldatensatz um 1.31 km kürzer ist. Es zeigte sich, dass bei Mitbenützung von VECTOR25 ein kürzerer Weg genommen werden konnte. Ob dieser Weg jedoch wirklich auch konkret befahren werden könnte, muss an dieser Stelle bezweifelt werden. Dies aus dem Grunde, da im Falle der Routenberechnung mit den VECTOR25-Daten in diesem Beispiel nicht die Hauptstrasse genommen wurde, sondern eine 4. Klasse Strasse. Sicherlich müssten bei einer konkreten Umsetzung solche Resultate noch genauer begutachtet werden. Für die vorliegende Arbeit macht aber ein solch kleiner Fehler keinen signifikanten Unterschied.

Demgegenüber zeigt Route 5805 ein anderes Bild (siehe Abbildung 4.6). Dies ist der gleiche Fall, welcher bereits in Abbildung 4.1 (Seite 44) dargestellt wurde. Wie in diesem Absatz bereits vermutet wurde, konnte mithilfe der Integration der beiden Datensätze der Bauernhof wirklich direkt angefahren werden. In der Berechnung, wo nur MultiNet-Daten verwendet wurden, sind die nächsten Strassen demgegenüber einiges weiter vom Hof entfernt. Auch bestätigt sich die Annahme, dass das Strassenstück, welches am nächsten liegt, in diesem Falle nicht dasjenige ist, an welches die Route in Wahrheit direkt führt.

Gesamthaft für diese 12 begutachteten Routen beträgt der Längenunterschied der beiden Berechnungen 0.52 Prozent. Dies entspricht rund 9 Kilometer auf 1 782 Kilometer Gesamtlänge dieser Routen. Dies erscheint eher ein kleiner Wert zu sein. Gesamthaft werden über



Abbildung 4.5: Integrationsresultat I

das gesamte Untersuchungsgebiet und in allen Touren etwa 9 000 Kilometer gefahren. Nimmt man an, dass überall mit dem gleichen Fehler gerechnet werden kann, so sind dies für die 9 000 Kilometer etwa 46.8 Kilometer die zusätzlich dazu kommen würden, sofern man dieselbe Datenintegration für das gesamte Gebiet machen würde. Nimmt man für die Transportkosten einen hohen Wert von 8 Franken pro Kilometer an, so kommt man auf einen Mehraufwand, welcher gesamthaft bei etwa 375 Franken liegen würde. Auf die Berechnung der Routenlänge und damit die möglichen Transportkosten hat ein leicht besseres Strassennetzwerk somit kaum einen Einfluss.

Sobald es aber darum gehen würde, konkrete Routen zu berechnen, wäre ein genaueres Netzwerk wahrscheinlich unerlässlich. Wenn ein Lastwagenchauffeur genau die berechneten Routen fahren müsste, könnten Ungenauigkeiten wie in Abbildung 4.6 einen schlimmeren Fahrfehler des Chauffeurs nach sich ziehen.

Somit kann die erste Forschungsfrage bereits teilweise beantwortet werden. Diese lautete: *Ist eine Integration verschiedener Strassendatensätze erforderlich, um Routen zu abgelegenen Bauernhöfen zu berechnen?* Vorerst kann man daher folgern, dass die MultiNet-Daten für den Zweck der Arbeit wahrscheinlich ausreichen und eine Integration mit VECTOR25-Daten nicht unbedingt notwendig sein wird. Um die Frage vollständig zu beantworten, müsste jedoch in der Folge noch gezeigt werden, welchen Einfluss diese Änderung des Netzwerkes

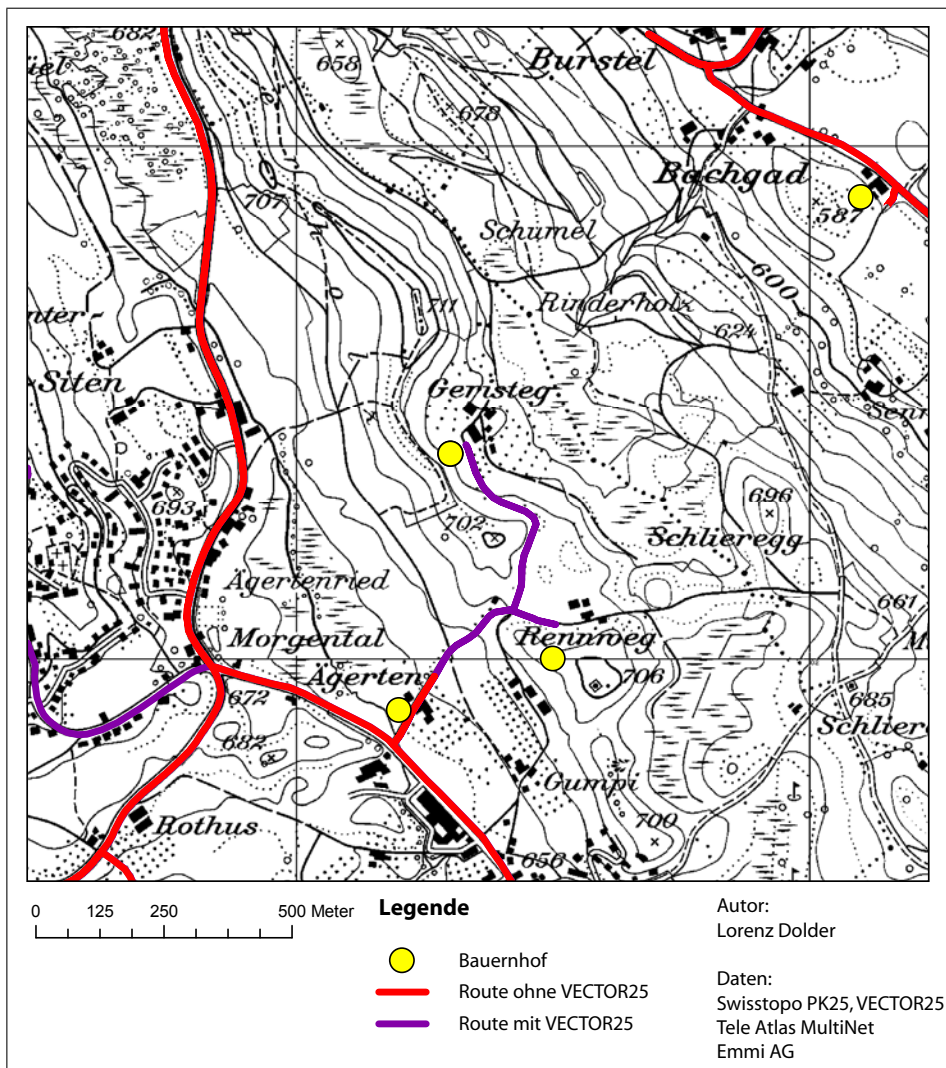


Abbildung 4.6: Integrationsresultat II

letztlich auf die berechneten Kosten hat. Dies soll später im Kapitel 7.1 ausführlich erläutert werden.

5 Zuordnung der Bauernhöfe

Das vorliegende Kapitel soll beschreiben, auf welche Art und Weise die Bauernhöfe den Verarbeitungszentren zugeordnet wurden. Dazu werden im Abschnitt 5.1 die Anforderungen, welche erfüllt werden sollen, dargelegt. Danach wird in Abschnitt 5.2 gezeigt, wie die Ideen, welche im Theorieteil erläutert wurden, für die Problemlösung umgesetzt wurden und schliesslich wird in Abschnitt 5.3 die konkrete Vorgehensweise erläutert.

5.1 Problemdefinition

Die Anforderungen wurden aus den in Abschnitt 2.2.1 erarbeiteten Bedingungen abgeleitet. Ziel ist eine Zuordnung einer grossen Anzahl an Bauernhöfen ($N > 1000$) je zu einem Verarbeitungsort ($M = 5$). Dabei müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Es gibt M verschiedene Verarbeitungsorte mit einer bestimmten Kapazität.
- Jeder Bauernhof hat eine gewisse Menge an Milch, die er liefert.
- Jeder Bauernhof muss zu genau einem Verarbeitungsort zugeordnet werden und zwar so, dass die Kapazität keines Verarbeitungsortes signifikant überschritten wird.
- Die Milch soll entsprechend ihrer Zusammensetzung so verteilt werden, dass ein möglichst hoher Gewinn für den Milchverarbeiter daraus resultiert.

Am ähnlichsten ist das vorliegende Problem deshalb zum MDVRP aus Abschnitt 2.2.3, bei welchem es um eine Zuordnung von verschiedenen Kunden zu wenigen Zentren geht. Alle publizierten Methoden, welche das MDVRP lösen, sind jedoch für die vorliegende Arbeit nicht ausreichend. Dies, da der letzte Punkt so noch in keiner Problemstellung vorgekommen ist.

Dieses übergeordnete Problem soll zudem in drei Teilaufgabenstellungen unterteilt werden. Dies aus der in der Einleitung genannten Einschränkung, dass auch Varianten entwickelt werden sollen, welche keine grossen Anpassungen an den vorhandenen Strukturen erforderlich machen. Daher ist gezielt darauf geachtet worden, dass sich die einzelnen Varianten stark vom Aufwand, der betrieben werden muss, unterscheiden. Dies einerseits im Hinblick auf den Aufwand für die ganze Umstellung des Prozesses der Milchtouren sowie

auch im Hinblick auf den Einsatz von GIS als Arbeitsmittel. Die Varianten sollen vor allem zeigen, was überhaupt möglich ist und in welchem Bereich der Einsatz von GIS wie viel Sinn machen würde.

Kurz umschreiben lassen sich die verschiedenen Varianten wie folgt:

- *Variante 1:* Die Touren werden so belassen wie sie sind. Die Zuordnung der einzelnen Touren zu den Standorten soll jedoch geändert werden und zwar so, dass die Touren mit der Milch mit dem höchsten Eiweiss- oder Fettgehalt dorthin gelangen, wo Milch mit einem hohen Gehaltswerten verlangt wird. Erwartet wird bei diesem Szenario, dass die Gehaltswerte dort wo gewünscht, minimal erhöht werden können.
- *Variante 2:* Die Gebiete der einzelnen Transporteure bleiben gleich. Jedoch sollen die Touren innerhalb dieser Gebiete neu angeordnet werden und zwar so, dass verschiedene Touren für unterschiedliche Gehaltswerte erstellt werden. Diese sollen danach wie in Punkt 1 den Standorten zugeteilt werden. Da bis anhin bei der Zuteilung der Höfe nicht auf die Gehaltswerte geachtet wurde, und die Verteilung des Milch- und Eiweissgehaltes nicht räumlich korreliert, wird erwartet, dass dadurch der Mehrertrag an den gewünschten Orten beträchtlich erhöht werden könnte.
- *Variante 3:* Die gesamte Zuordnung der Bauernhöfe zu den Zentralen wird neu gemacht. Dies soll wiederum über den Fett- sowie Eiweissgehalt der Milch geschehen. Das gesamte Einzugsgebiet soll dabei in die Berechnung fliessen. Gleich bleiben soll die Anzahl der Touren sowie die Menge Milch der jeweiligen Standorte. Zu erwarten ist, dass in diesem Falle die besten Resultate erzielt werden können, jedoch müsste auch am stärksten in die bestehenden Strukturen eingegriffen werden.

Aus den obigen drei Varianten ergibt sich die folgende Hypothese:

Hypothese:

Der Mehrgewinn nimmt von der Variante 1 zur Variante 3 zu.

Nebst dem Mehrgewinn wird jedoch auch das Ausmass an Änderungen, die vollzogen werden müssten, sowie auch der Einsatz von GIS von Variante 1 zu Variante 3 zunehmen. Variante 1 könnte ansatzweise sogar ohne Einsatz eines GIS realisiert werden. In Variante 3 ist das Problem dagegen so kompliziert, dass ohne GIS-Einsatz eine solche Zuordnung nicht möglich wäre.

Falls eine Optimierung der Routen nach den Gehaltswerten der Milch Sinn machen würde, wäre wahrscheinlich am ehesten ein schrittweises Vorgehen denkbar, welches bei Variante 1 beginnt und schliesslich bis zu Variante 3 gehen könnte. Damit ist gemeint, dass

am einfachsten und auch am schnellsten Schritt 1 umgesetzt werden kann. Ein Szenario wie es Schritt 3 aufzeichnet, wird wohl erst in einem späteren Stadium erfolgen, da dafür grosse Umstrukturierungen notwendig wären.

5.2 Herleitung der Algorithmen

Da die vorhandenen Algorithmen zur Lösung des MDVRP das vorliegende Problem nicht ausreichend lösen, müssen die dort eingeführten Algorithmen ergänzt werden, damit für gewisse Depots die inhomogene Flüssigkeit gemäss den Anforderungen bereits beim Einsammeln nach zwei Inhaltsstoffen optimiert werden kann. Das heisst, dass die Routen zwar nicht unbedingt längenmässig minimiert werden, was bei den ursprünglichen MDVRP der Fall war, jedoch wird die Zusammensetzung und Menge des Transportgutes in die Zuordnung der Bauernhöfe zu einem Depot miteinbezogen. Dieses Problem scheint so in der Literatur noch nicht behandelt worden zu sein.

Wie im Kapitel 2 erarbeitet wurde, gibt es zwei unterschiedliche Arten von Vorgehensweisen. Zum einen sind es solche, die zuerst eine Zuordnung machen und danach ein Routing, zum anderen solche, welche beides zusammen machen. In der Arbeit von Lim und Wang (2005) werden die zweiteiligen Methoden gegenüber den Methoden in einem Schritt bevorzugt, weil die berechneten Resultate dadurch besser seien. In der vorliegenden Arbeit wird aus verschiedenen Gründen jedoch bewusst darauf verzichtet, eine Methode auf einem solchen Ansatz zu erarbeiten. Es wurde angenommen, dass der Aufwand für die Implementierung des Routings sehr hoch sein könnte. Zudem sollte die Hauptaufgabe in der Zuordnung der Höfe liegen und nicht im Routing an sich.

Auch macht es für die vorliegende Situation keinen Sinn, konkrete Routen zu berechnen. Die verschiedenen Transporteure sind externe Firmen, die nur den Auftrag haben, von gewissen Bauern die Milch zu beziehen. Wie sie das machen, spielt keine Rolle. Insofern hat der Milchverarbeiter höchstens die Möglichkeit, den einzelnen Transporteuren andere Bauern zuzuordnen. Somit wird das Routing nur als Ergänzung berechnet, sowie um die möglichen höheren Kosten durch Mehrfahrten abzuschätzen. Das Hauptergebnis soll die Zuordnung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten darstellen.

In der Folge soll aufgezeigt werden, wie die aus der Literatur bekannten Methoden im vorliegenden Fall angewendet wurden und an welchen Stellen sie ergänzt wurden. Vorgegangen wird in derselben Chronologie wie auch die Berechnungen gemacht wurden.

5.2.1 Berechnung der Distanzen

Ein zentrales Element der verschiedenen Algorithmen sind die Distanzen zwischen den Bauernhöfen und den Verarbeitungsorten. Diese wurden beispielsweise auch in den Gleichungen 2.1, 2.2 und 2.3 verwendet.

Im vorliegenden Falle, sind die Kunden über die halbe Schweiz verteilt und es gibt Hindernisse wie Gebirge und Gewässer, sowie auch verschiedene Strassentypen wie Nebenstrassen und Autobahnen. Aus diesem Grund, macht es keinen Sinn nur die euklidische Distanz zu benutzen. So wäre beispielsweise die Situation vorstellbar, dass zwei Orte gemäss der Euklidischen Distanz nahe beieinander liegen, da beide jedoch auf einer anderen Seeseite liegen, der Weg, welcher gefahren werden muss, um einiges grösser ist. Aus diesem Grund wird der Ansatz gewählt, welchen auch Weigel und Cao (1999) aus dem gleichen Grund vorschlagen. Sie bilden eine Origin and Destination (OD) Matrix zwischen allen Standorten. Bei einer OD-Matrix werden die Fahrzeiten oder die Distanz zwischen den Punkten anhand des Strassennetzes berechnet. Im Falle des vorliegenden Problems müssen dafür die Fahrzeiten berechnet werden. Es stellte sich heraus, dass die kürzeste Distanz kaum Sinn machen würde, da in diesem Falle der längenmässig kürzeste Weg gesucht würde, welcher jedoch beispielsweise auch über viele Nebenwege führen könnte und damit wenig brauchbar wäre.

Da im Beispiel von Weigel und Cao (1999) konkrete Routen berechnet wurden, wurden die Distanzen zwischen allen Punkten berechnet. Im vorliegenden Problem sollte primär aber nur die Zuordnung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungszentren vorgenommen werden, weshalb gemäss der Definition der Algorithmen nur die Distanz von den Bauernhöfen zu den verschiedenen Verarbeitungsorten gebraucht wurde. Aus diesem Grund wurde die OD-Kostenmatrix auch nur zwischen den Bauernhöfen und allen Verarbeitungsorten berechnet.

5.2.2 Erweiterte parallele Zuordnung

Um die effektive Zuordnung zu berechnen, wurde entschieden, die parallele Zuordnung zu verwenden, da sie relativ einfach umsetzbar erschien und trotzdem ein gutes Resultat liefert. Gemäss dem Vergleich der Resultate der verschiedenen Zuordnungsalgorithmen in Giosa et al. (2002) liegt diese Methode gut im Mittelfeld.

Da die parallele Zuordnung für die vorliegende Fragestellung noch nicht hinreichend war, musste sie für die vorliegende Arbeit ausgebaut werden. Konkret fehlte der Einbezug der Gehaltswerte der Milch in die Berechnung. Die Idee war es, die Gehaltswerte miteinzubeziehen, indem die Distanzen zwischen den Bauernhöfen und den Verarbeitungsorten abhängig vom Verarbeitungsort verkleinert wurden. Diese Verkleinerungen sollten abhängig vom Fett- bzw. Eiweissgehalt der Milch eines Kunden sein, sowie vom Preis, welcher der

Verarbeitungsort dafür bezahlt. Der Faktor, mit dem die Distanz verkleinert wurde, hängt somit vom Wert ab, welchen der Verarbeitungsort für die Menge an Milch mit der gelieferten Zusammensetzung bezahlt. Die dafür verwendeten Preise wurden aus der Tabelle 3.6 entnommen.

Schematisch wird der Prozess der Skalierung der Distanzen in Abbildung 5.1 dargestellt. So wird die Distanz von Bauernhöfen, deren Milch beispielsweise einen hohen Eiweissgehalt aufweist, zu Verarbeitungsorten, die viel für das Eiweiss bezahlen, verkürzt. Wenn jedoch nicht viel dafür bezahlt wird, so wird die wahre Distanz belassen.

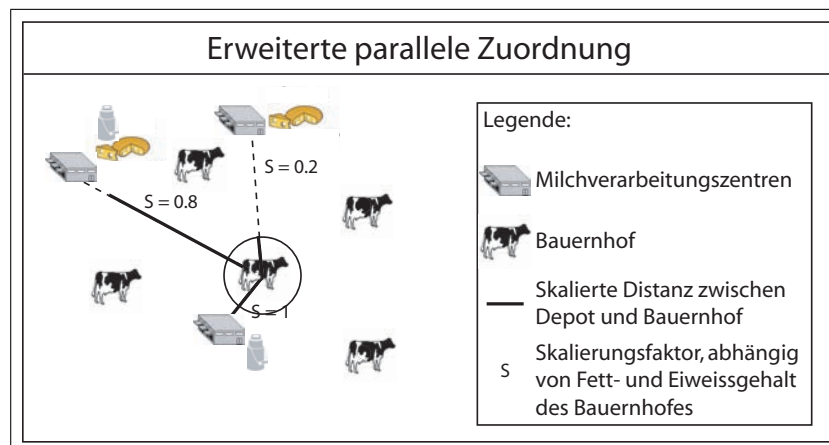


Abbildung 5.1: Erweiterte parallele Zuordnung
Abgeleitet von: Giosa et al. (2002)

Daraus ergibt sich die Formel 5.1. Diese Formel wurde abgeleitet von der Formel 2.1, welche in Giosa et al. (2002) erklärt wurde. $coef(Eiweiss, Fett, Faktor)$ ist ein zusätzlicher Koeffizient, welcher weiter unten bestimmt wird. Abhängig muss er sein vom Eiweiss- und Fettgehalt, sowie von dem vom jeweiligen Verarbeitungsort bezahlten Preis:

$$\mu_c = \sum_{dep \in D} ((d(c, dep) - coef(Eiweiss, Fett, Faktor)) - (d(c, dep') - coef(Eiweiss, Fett, Faktor))) \quad (5.1)$$

5.2.3 Berechnung des Koeffizienten

Die Grundüberlegung beim Koeffizienten ist, die Originaldistanz $d(c, dep)$ so zu skalieren, dass die Distanz bei einem höheren Gehalt an Eiweiss oder Fett zu gewissen Verarbeitungsorten kleiner werden kann, sofern an diesen Verarbeitungsorten auch mehr bezahlt wird für diesen erhöhten Gehalt. Ist dies so, so würde man an diesen Verarbeitungsorten einen hö-

heren Preis pro Liter Milch erhalten, wodurch sich auch ein längerer Weg finanziell lohnen könnte.

Im Grunde ist die Idee dieses Koeffizienten, dass über die möglichen Mehreinnahmen bestimmt werden kann, wieviel mit diesen Mehreinnahmen zusätzlich gefahren werden könnte. Damit ergeben sich zwei wichtige Faktoren dieses Koeffizienten:

- *Mehreinnahmen:* Sind einfach über die Kilopreise der Inhaltsstoffe an den einzelnen Standorten zu berechnen. Zu bedenken ist, dass der beschriebene Algorithmus nicht vorsieht, dass alle Distanzen verkleinert werden sollen. Aus diesem Grund werden die Skalierungsfaktoren berechnet, indem vom effektiv erzielten Preis, falls die Milch an diesen Standort geliefert wird, der Preis abgezogen wird, der bezahlt würde, falls die Milch einen durchschnittlichen Fett- und Eiweissgehalt hätte und an diesen Ort geliefert würde. Durch diese Berechnung würden bei unterdurchschnittlichen Gehalten negative Werte entstehen, was jedoch nicht gewünscht ist. Aus diesem Grund muss zudem überprüft werden, ob der Koeffizient nach der Berechnung negativ ist. Falls dies der Fall ist, wird er auf Null gesetzt. Dies bedeutet, dass es weder einen Zu- noch Abschlag gibt.
- *Mögliche Zusatzfahrten:* Sehr schwer abschätzbar. Eigentlich wäre dies kein sehr komplexes Problem, da diese Kosten nur von dem Kilometerpreis abhängen. Da der Algorithmus jedoch mit den Distanzen zwischen den Bauernhöfen und den Verarbeitungsstellen rechnet, und nicht mit Distanzen, die in Wirklichkeit auf den Touren gefahren werden, können keine Transportkosten an dieser Stelle angenommen werden.

Statt dem Mehrweg wurde ein Weg-Faktor eingebaut, welcher den Koeffizienten skaliert. Dieser Weg-Faktor wurde mehrfach verändert und die Berechnung mehrere Male durchgeführt. Dadurch ist es möglich, herauszufinden, bei welcher Skalierung ein maximaler Mehrertrag erzielt werden kann. Dies macht auch mehr Sinn, als direkt den gesamten Mehrertrag für die längeren Touren einzusetzen. Das Ziel soll ja sein, durch die Berechnungen die Zuordnung so zu vollziehen, dass dem Milchverarbeiter ein möglichst grosser Mehrertrag bleibt.

Der gesamte Skalierungsfaktor wurde somit über die Formel 5.2 berechnet:

$$\gamma_c = ((\delta_{fett_c} * \zeta_{fett_c} + \delta_{eiweiss_c} * \zeta_{eiweiss_c}) - (\delta_{fett'_c} * \zeta_{fett'_c} + \delta_{eiweiss'_c} * \zeta_{eiweiss'_c})) * \lambda_{skal} \quad (5.2)$$

Dabei bedeutet δ die Fett- bzw. Eiweissmenge der Milch eines Bauern und ζ den dazugehörigen Zuschlagsfaktor in Franken pro Kilogramm. κ_c steht für die Menge an Milch in Kilogramm, welche der Bauernhof liefert. $fett'_c$ sowie $eiweiss'_c$ stehen für die Eiweiss- bzw.

Fettmengen bei durchschnittlichen Gehaltswerten. λ schliesslich steht für den Weg-Faktor, welcher anstelle des Kilometerpreises eingefügt wurde.

Bei dieser Methode muss beachtet werden, dass der Skalierungsfaktor zu gross werden kann. Zwar wurde bei der Implementierung darauf geachtet, dass es nicht möglich ist, dass der Faktor grösser wird als die effektive Distanz zwischen dem Bauernhof und dem Verarbeitungsort. Es kann am Schluss also keine negativen Distanzen geben. Jedoch ist es immer noch möglich, dass der Skalierungsfaktor so gross wird, dass bei allen Bauernhöfen, die überdurchschnittliche Werte haben, zu allen Verarbeitungsorten extrem stark skaliert wird, wodurch eine zuverlässige Zuordnung nicht mehr möglich ist. Die Grenzen des Algorithmus sollen durch die Sensitivitätsanalyse mit dem oben beschriebenen Variieren des Weg-Faktors ausgelotet werden.

Bei verschiedenen Tests des Algorithmus stellte sich heraus, dass die besten Ergebnisse erzielt werden, solange λ zwischen 0.000025 und 0.5 liegt. Somit muss in der Folge noch berechnet werden, bei welchem λ die besten Ergebnisse erzielt werden.

5.2.4 Anpassung an mögliche Szenarien

Wie weiter oben erwähnt, sollen verschiedene Varianten für die Zuordnung durchgerechnet werden. Dabei soll es eine erste Variante geben, welche nur die Touren neu den Verarbeitungsorten zuteilt, eine zweite Variante bildet neue Touren, welche nach den Gehaltswerten eingeteilt werden und die dritte Variante ordnet alle Bauernhöfe unabhängig von Touren möglichst optimal den Verarbeitungsorten zu.

Der oben beschriebene Algorithmus setzt offensichtlich nur die dritte Variante direkt um, für die anderen muss ein Zwischenschritt eingebaut werden. Die Idee ist, dass alle Bauernhöfe einer Tour zusammengefasst werden und als ein Kunde angesehen werden. Dieser *zusammengefasste* Kunde erhält die effektiv berechneten Gehaltswerte, welche sich aus den Bauernhöfen dieser Tour ergeben. Für die Distanz wird ein Durchschnittswert genommen. Um den Durchschnittswert zu berechnen, wurden einerseits mit dem Median sowie mit dem Mittelwert Tests gemacht. Die Ergebnisse unterschieden sich jedoch kaum. Nichtsdestotrotz wurde der Median verwendet, da dieser nicht durch Ausreisser beeinflusst werden kann. Dieser Prozess der Zusammenfassung einer Tour ist in Abbildung 5.2 grafisch dargestellt.

Trifft man diese Annahme, so hat man zumindest für die erste Variante auch einen Lösungsweg.

Für die zweite Variante, in welcher neue Touren entsprechend den Gehaltswerten gebildet wurden, war die Lösung am kompliziertesten. Das eigentliche Problem dabei war die Neueinteilung der Touren. Eigentlich müssten nahegelegene Bauernhöfe wenn möglich in eine gleiche Tour kommen. Die Touren müssten somit abhängig einerseits von den Distan-

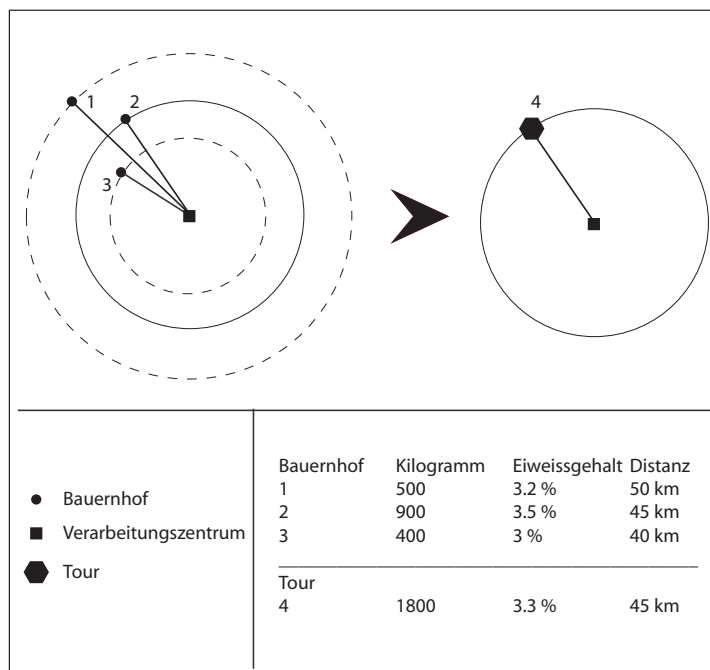


Abbildung 5.2: Zusammenfassung verschiedener Bauernhöfe zu einer Tour

zen der Bauernhöfe untereinander und andererseits von den Gehaltswerten der Milch sein. Dies erschien jedoch sehr komplex zu sein und daher wurde auf diese Bedingung verzichtet. Stattdessen wurde eine starke Vereinfachung getroffen. Da eine Bedingung dieser Variante war, dass die Touren stets beim gleichen Transporteur bleiben sollen, wurde der räumliche Aspekt ausser acht gelassen. Es wurde angenommen, dass sich die Gebiete der Transporteure über ein nicht allzu grosses Gebiet erstrecken und damit der räumliche Aspekt einen nicht zu grossen Einfluss haben sollte. Es wurden dann die Bauernhöfe neuen Touren zugeweiht, so dass die Touren eine Kapazität von 20 000 Kilogramm nicht übersteigen (dies ist ein durchschnittlicher Wert der Menge einer Tour), wobei die Bauernhöfe nach absteigenden Gehaltswerten den Touren zugeordnet wurden. Nachdem die Touren so gebildet wurden, konnte nach dem gleichen Schema weitergearbeitet werden wie es bei Variante 1 angewendet wurde.

5.3 Durchführung der Zuordnung

Wie beschrieben wurde bei der Zuordnung nach einem zweigeteilten Prinzip vorgegangen, wie dies beispielsweise in Abbildung 2.5 (siehe Seite 17) gezeigt wurde und von Giosa et al. (2002) durchgeführt wurde. Diese Überlegung widerspiegelt sich auch im Workflow, welcher in Abbildung 5.3 dargestellt ist. Dieser zeigt schematisch auf, wie bei der Zuordnung

vorgegangen wurde. Obwohl darin mehr Schritte zu sehen sind, ist es im Sinne der Literatur ein zweigeteilter Ansatz, da Zuordnung und Routing voneinander getrennt sind und nacheinander gemacht werden.

In der Folge werden die einzelnen Schritte dieser Abbildung ausführlich erklärt.

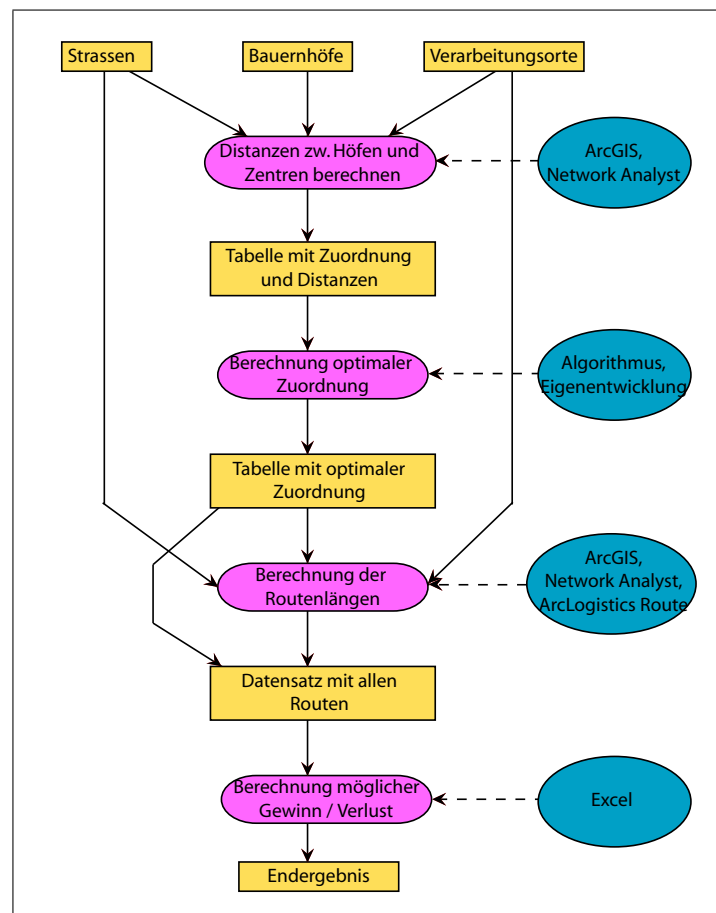


Abbildung 5.3: Schematischer Ablauf der Zuordnung

Die Ausführungsschritte der folgenden Erläuterungen wurden alle in ArcGIS durchgeführt. Zusammengesetzt wurden die Funktionen über den ModelBuilder von ArcGIS. Der ModelBuilder ist ein Werkzeug von ArcGIS, welches erlaubt, verschiedene Geoprocessingtools einfach miteinander zu verbinden. Dargestellt werden die verschiedenen Elemente in der Form von Abbildung 5.4. Zu erkennen ist darin, dass es *Input-Elemente* in Blau gibt. In der vorliegenden Arbeit werden dies die Ausgangsdaten, wie Bauernhofsdaten oder Strassendaten sein. Dann gibt es die *Geoprocessingfunktionen*. Dies können einerseits Standardfunktionen sein, welche ArcGIS zur Verfügung stellt, oder es können selbst entwickelte Skripte eingebunden werden. In Grün schliesslich sind die *Ergebnisse* dargestellt (ESRI Inc., 2008a).

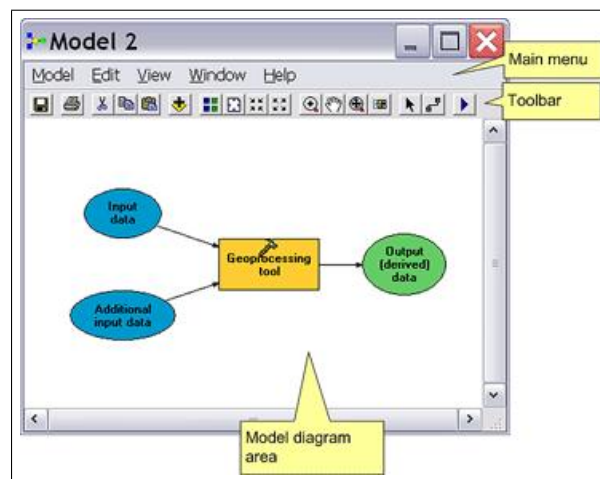


Abbildung 5.4: ArcGIS ModelBuilder
(ESRI Inc., 2008a)

Da aus dem ModelBuilder gut aufgezeigt werden kann, wie vorgegangen wurde, werden jeweils Ausschnitte des Diagramms von ModelBuilder an den entsprechenden Stellen gezeigt.

5.3.1 Schritt I: Distanzberechnung

Im Prozess *Distanzberechnung* wurden gemäss den oben genannten Vorgaben die Distanzen zwischen den Verarbeitungsorten und den Bauernhöfen berechnet. Konkret durchgeführt wurde die Berechnung mit dem Network Analyst. Dieser stellt die Funktionalität OD-Kosten Matrizen zu bilden zur Verfügung. In Abbildung 5.5 ist der Ablauf der Schritte aufgezeigt, mit welchen die Berechnung der Distanzen vorgenommen wurde.

Für die Berechnung wurde einerseits das Strassennetz verwendet, auf der anderen Seite sämtliche Orte. Es war dabei nötig, zwei Arten von Orten zu definieren. Die *Origins* stellen die Verarbeitungsorte dar, die *Destinations* die Bauernhöfe. Berechnet wurden sämtliche Distanzen zwischen allen Origins und allen Destinations. Wie in Abschnitt 5.2.1 beschrieben, wurden im vorliegenden Falle die Berechnungen anhand der Zeit vorgenommen, das heisst, dass versucht wurde, die jeweiligen Strecken so zu legen, dass sie in möglichst kurzer Zeit befahren werden können.

Zudem musste im entwickelten Skript angegeben werden, wie das Kostenattribut heisst. Dies wurde eingebunden, da zu einem späteren Zeitpunkt auch möglich sein soll, die Berechnungen mit einem anderen Strassendatensatz durchzuführen, in welchem das Kostenattribut einen anderen Namen haben könnte. Aus dem selben Grund musste angegeben werden, welches Attribut die Länge beinhaltet, da die Länge der Strecken berechnen werden sollte und nicht nur die gefahrene Zeit.

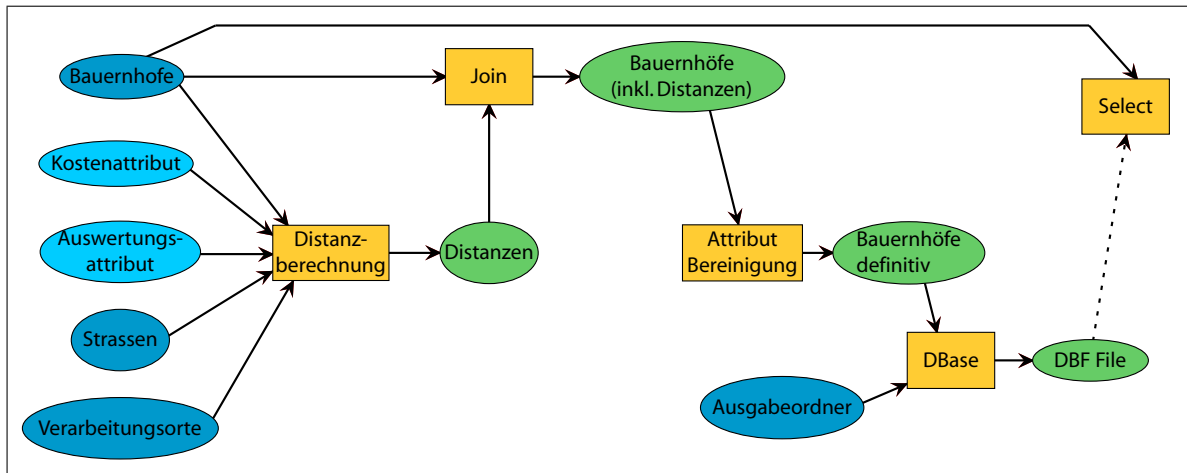


Abbildung 5.5: Berechnungen Schritt 1 (Distanzberechnung)

Als Resultat dieser Berechnung lag ein Shapefile vor. Der Aufbau dieses Files ist in Tabelle 5.1 exemplarisch dargestellt. Das Attribut „Destinatio“ steht für eine ID, welche so auch im Shapefile mit allen Bauernhöfen vorhanden ist. Die IDs der Verarbeitungsorte, welche im Datensatz Lines durch das Attribut OriginID repräsentiert werden, entsprechen auch den IDs, welche den einzelnen Verarbeitungsorten zugeteilt wurden und in deren Datensatz so zu finden sind.

Das Ergebnis an sich ist unter dem Attribut „Total Mete“ zu finden. Es repräsentiert die Distanz zwischen dem Bauernhof und dem Verarbeitungsort in Metern. Zu beachten ist, dass aufgrund der OD - Matrix in dieser Tabelle jeder Bauernhof mehrere Male vorkommt, nämlich so oft wie es Verarbeitungsorte gibt.

Lines							
OBJECTID	Name	OriginID	Destinatio	Destinat_1	Total_Mete	Total_Minu	Shape_Leng
1	Mittelland Molkerei AG - Betrieb Suhr - Location 670	1	670	1	6160.08492937000	4.12212444575	0.00000000000
2	Mittelland Molkerei AG - Betrieb Suhr - Location 651	1	651	2	7047.38263961000	5.07296463666	0.00000000000
3	Mittelland Molkerei AG - Betrieb Suhr - Location 668	1	668	3	6616.66505272000	5.13271255079	0.00000000000
...

Tabelle 5.1: Resultat der OD-Cost Matrix Berechnung

Als nächster Schritt mussten diese berechneten Werte von neuem in Verbindung mit den Bauernhöfen gebracht werden. Dies geschah über einen Relational Join zwischen den beiden Dokumenten, welcher gut über die IDs gemacht werden konnte. Weiter mussten danach in der so neu berechneten Tabelle verschiedene Spalten kopiert und bereinigt werden. Dies geschah im Schritt „Attribut Bereinigung“. Das war nötig, da verschiedene Zahlenwerte fälschlicherweise als Text interpretiert wurden und dies für die Weiterverarbeitung Probleme mit sich brachte. Daher wurden neue Spalten angelegt, welche für Zahlen formatiert

waren und darin wurden die Werte gespeichert. Danach wurden alle nicht mehr benötigten Attribute gelöscht.

Da das Skript zur Berechnung der Zuordnungen eine Tabelle im DBase Format erwartet, mussten die berechneten Werte schliesslich in einer solchen Tabelle gespeichert werden. Dies ist wiederum eine Standardfunktion von ArcGIS, welche so in den ModelBuilder aufgenommen werden konnte. Damit ist der Schritt der Berechnung der Distanzen abgeschlossen.

5.3.2 Schritt II: Zuordnung der Bauernhöfe

Wiederum werden die vorgenommenen Schritte anhand des Diagramms aus dem Model-Builder erklärt. Dies ist in Abbildung 5.6 dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass der erste Select Schritt dem letzten Schritt aus Abbildung 5.5 (Seite 65) entspricht und die beiden Diagramme dort in Wirklichkeit zusammengesetzt sind.

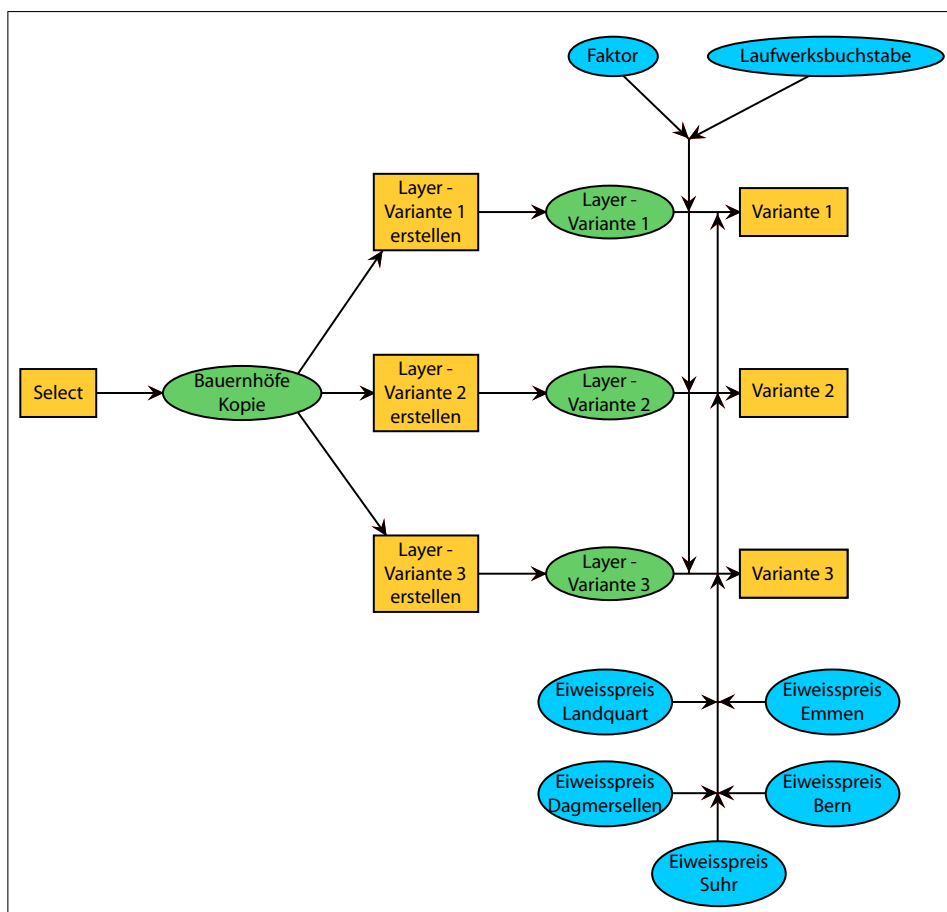


Abbildung 5.6: Berechnungen Schritt 2 (Zuordnung der Bauernhöfe)

Mithilfe dieses ersten Select Befehles wurde eine Kopie der Originalbauernhofdaten erstellt, da aus dieser Kopie danach drei Layer erstellt wurden, für jede Variante eine. Damit wurde im eigentlichen Skript zur Berechnung der Zuordnung schliesslich das Resultat der Zuordnung mit den Bauernhofdaten verbunden. Damit ist gewährleistet, dass nach der Berechnung für jede Variante ein Layer in ArcGIS vorhanden ist, welcher die berechnete Zuordnung enthält.

Allgemeines Zuordnungsskript

Nachdem die Layer erstellt wurden, wird über die Funktionen *Variante 1,2,3* der Zuordnungsalgorithmus aufgerufen. Da die drei Varianten alle leicht anders formuliert sind, wurde für jede Variante ein eigenes Skript erstellt. Wie bereits ausgeführt, wurde dies in Python umgesetzt. Der Code für das Grundproblem (Variante 3) ist im Anhang C dargestellt. Vereinfacht wurden bei der Berechnung die folgenden Schritte vorgenommen:

1. *Einlesen des DBF Files mit Distanzen.*
2. *Berechnen der durchschnittlichen Fett- und Eiweisswerte.*
3. *Dort wo keine Gehaltswerte vorhanden sind, Einfügen der Durchschnittswerte.*
4. *Kapazitäten der einzelnen Verarbeitungsorte berechnen.*
5. *Nur für Variante 1 und 2: Zusammenfassen der Bauernhöfe zu den Touren und Berechnung der durchschnittlichen Distanz und Gehaltswerte dieser Touren.*
6. *Nur für Variante 2: Bilden der neuen Touren abhängig vom Transporteur und den Gehaltswerten.*
7. *Berechnung der Werte für Skalierung der Distanzen zwischen Bauernhöfen und Verarbeitungsorten gemäss Formel 5.2.*
8. *Skalierung der Distanzen.*
9. *Berechnen des Zuordnungsfaktors jedes Bauernhofes.*
10. *Für jeden Hof die Verarbeitungsorte rangieren (nächstgelegener Bauernhof entspricht Rang 1).*
11. *Neue Tabelle erstellen, welche jeden Bauernhof enthält, sowie die Rangierung und den Zuordnungswert des Hofes.*
12. *Tabelle sortieren nach absteigendem Zuordnungswert.*
13. *Zuordnen der Bauernhöfe, beginnend bei demjenigen mit dem grössten Zuordnungswert.*
Falls in nächstem Verarbeitungsort noch freie Kapazität vorhanden ist, diesem zuordnen.
Falls keine Kapazität am nächstgelegenen Ort übrig, nach absteigender Priorität versuchen zuzuordnen, bis an einem Ort genügend Kapazität vorhanden ist.
14. *Abspeichern des Resultates.*
15. *Resultat an entsprechenden Layer in ArcGIS verbinden durch Join.*

Aus dem ModelBuilder-Schema in Abbildung 5.6 wird ersichtlich, dass für dieses Skript verschiedene Variablen zu setzen waren, so der Weg-Faktor, der Laufwerksbuchstabe des Laufwerkes, auf welchem sich die Daten befinden, sowie zu jedem Verarbeitungsort der

Preis, welcher pro Kilogramm Eiweiss bezahlt wird. Der Preis für das Fett wurde fest im Skript definiert, da dieser Preis tiefer ist, und kaum mehr schwanken wird. Dies wurde so entschieden, da Emmi vor allem daran interessiert war zu wissen, was bei änderndem Eiweisspreis geschehen würde, und weniger am Fettpreis.

Erweiterungen für Variante 1 und 2

In den Varianten 1 und 2 mussten die Bauernhöfe sämtlicher Touren zusammengefasst werden. Dafür wurde eine neue Liste ausgelegt, welche für jede Tour einen Eintrag erhielt. In dieser Liste konnte danach die Menge Milch, die Gehaltswerte sowie auch die Durchschnittsweglänge gespeichert werden. Diese so erstellte Liste wurde danach analog der Liste mit allen Bauernhöfen in der Variante 3 verwendet. Man erhält somit grundsätzlich eine Zuordnung der Touren zu Verarbeitungsorten. Schliesslich kann man über einen Join das Ergebnis dieser Zuordnung wieder mit dem Ausgangsbauernhofdatensatz verbinden, und hat so die Zuordnung der einzelnen Bauern zu den Verarbeitungsorten, inklusive der eventuell neuen Tourzugehörigkeit.

Für den genauen Algorithmus sei auf den Anhang C.2 verwiesen.

Erweiterung für Variante 2

Für diese Variante besteht zusätzlich der Schritt „Bilden der neuen Touren abhängig vom Transporteur und den Gehaltswerten“. Wie bereits weiter oben genannt, wurde für diesen Fall angenommen, dass sämtliche Touren 20 000 Kilogramm Milch fassen. Deshalb wurde für diese Variante die in Abschnitt 5.3.2 berechnete Kapazität der Tour überschrieben mit den 20 000 Kilogramm.

Darauf wurde für alle Bauernhöfe der Wert jedes Kilogrammes Milch berechnet. Dies wurde für jeden Bauernhof und jede Zuteilung zum Verarbeitungsort gemacht. Aus diesem Grund hat jeder Bauernhof verschiedene Werte für den Preis pro Kilogramm. Danach wurde die Liste aller Bauernhöfe nach absteigenden Werten sortiert. Darauf wurde Hof um Hof genommen und einer Tour zugeordnet, welche durch denselben Transporteur ausgeführt wird, welcher jetzt bereits den Bauernhof bedient. Jeder Bauernhof konnte dabei natürlich nur einer Tour zugeordnet werden, obwohl er wie beschrieben verschiedentlich im Datensatz vorkam. Für jeden weiteren Eintrag desselben Bauernhofes wurde die erste Toureinteilung übernommen.

Der Algorithmus ist im Anhang in Abschnitt C.3 angefügt.

Resultat der Zuordnung

Schliesslich resultierten nebst einer Tabelle des Zuordnungsergebnisses, welche jedoch nicht unbedingt weiter benutzt werden muss, ein Shapefile mit allen Bauernhöfen und deren definitiver Zuordnung. Aufgebaut ist die Attributtabelle des Ausgabe-Shapefile wie in Tabelle 5.2 dargestellt. Dabei ist anzufügen, dass zusätzlich alle Attribute der Ausgangsbauernhofdaten in diesem Shapefile vorhanden sind. Diese wurden in dieser Tabelle weggelassen, da sie bereits in Tabelle 3.1 (Seite 32) gezeigt wurden.

Attribut	Bedeutung
bauern2_L_	Distanz Bauernhof/Tour zu Verarbeitungsort
bauern2_BA	ID des Bauernhofes bzw. Tour
bauern2_DE	Nächstgelegener Verarbeitungsort
bauern2_1	Verarbeitungsort Priorität 2
bauern2_2	Verarbeitungsort Priorität 3
bauern2_3	Verarbeitungsort Priorität 4
bauern2_4	Verarbeitungsort Priorität 5
bauern2_ZU	Effektiv zugeordneter Verarbeitungsort
bauern2_ME	Menge in kg die geliefert wird (Bauernhof / bzw. Tour)
bauern2_EI	Eiweissgehalt
bauern2_FE	Fettgehalt
bauern2_F1	Berechnungsattribut
bauern2_5	Berechnungsattribut
bauern2_6	Berechnungsattribut
bauern2_7	Berechnungsattribut
bauern2_8	Berechnungsattribut
bauern2_9	Berechnungsattribut
bauern2_ID	Berechnungsattribut

Tabelle 5.2: Attribute des Shapefiles nach Zuordnung

Zu beachten ist, dass die Mengenangaben sowie die Gehaltswerte in dieser Tabelle sich für die Varianten 2 und 3 auf die gesamte Tour beziehen, obwohl jeder Bauernhof einen eigenen Eintrag hat. Für diese Information müssen somit diejenigen Spalten verwendet werden, welche aus dem Ursprungsdokument stammen und in Tabelle 3.1 gezeigt wurden.

5.3.3 Schritt III: Berechnung der Routenlängen

Die Routenlängen mussten berechnet werden, um die Mehrkosten abzuschätzen, welche durch die neuen Touren anfallen. Aus verschiedenen Gründen konnte diese Berechnung nicht für alle Varianten gleich vorgenommen werden. In den nächsten Abschnitten wird kurz auf diesen Prozess eingegangen.

Routenberechnung in Variante 1

In Variante 1 konnten die Routen einfach berechnet werden. Dies geschah über den Network Analyst in ArcGIS, welcher eine Funktion bietet, um Routen zwischen verschiedenen Punkten zu berechnen. Die Routen wurden so gebildet, dass nur der erste sowie der letzte Ort einer Tour fix gesetzt waren. An die erste sowie an die letzte Stelle wurde der zugeordnete Verarbeitungsort gesetzt. Alle anderen Orte wurden innerhalb der Route durch den Network Analyst möglichst optimal gesetzt. Auch in diesem Falle wurden die Routen so gebildet, dass die gefahrene Zeit minimiert wurde und nicht die Kilometer, so wie dies auch bei den OD-Matrizen gemacht wurde.

Um diesen Prozess möglichst speditiv zu gestalten, wurde ein Skript erstellt, welches aus einem Ergebnisshapefile mit allen Bauernhöfen inklusive deren Tour und Zuordnung, alle Touren berechnet. Abgespeichert werden die Touren schliesslich in einer ArcGIS Geodatabase. Somit hat man am Schluss für jede Berechnung eine Geodatabase, welche sämtliche Touren enthält.

Beispielhaft ist eine solche Tour in Abbildung 5.7 dargestellt. Ausschlaggebend für die Kosten ist das Total der gefahrenen Kilometer. Diese sind der Spalte „Total Mete“ zu entnehmen.

Routenberechnung in Variante 2

Für die Variante 2 wurden zwei verschiedene Lösungswege umgesetzt. Einerseits analog zu Variante 1 und andererseits mit ArcLogistics Route. Dies ist wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben wurde, eine spezielle Software für Logistikunternehmen, welche verschiedene Möglichkeiten zur Routenberechnung beinhaltet.

Die Berechnung der Routen analog zur Variante 1 stellte grundsätzlich keine Probleme. Jedoch waren die Resultate nicht befriedigend. Die gefahrenen Touren waren überall um ein Vielfaches höher als in den anderen Varianten. Dies kommt daher, dass beim Einteilen der neuen Touren nicht auf die räumliche Verteilung geachtet wurde, sondern nur auf die Zugehörigkeit der Höfe zu einem Transporteur und den Gehaltswerten.

Daher wurden auch Versuche mit ArcLogistics Route gemacht. Mit diesem Programm konnte für die verschiedenen Transporteure Lastwagen erstellt werden. Jedem von diesen Lastwagen wurde eine Kapazität von 20 000 Kilogramm zugeordnet, also genau soviel wie

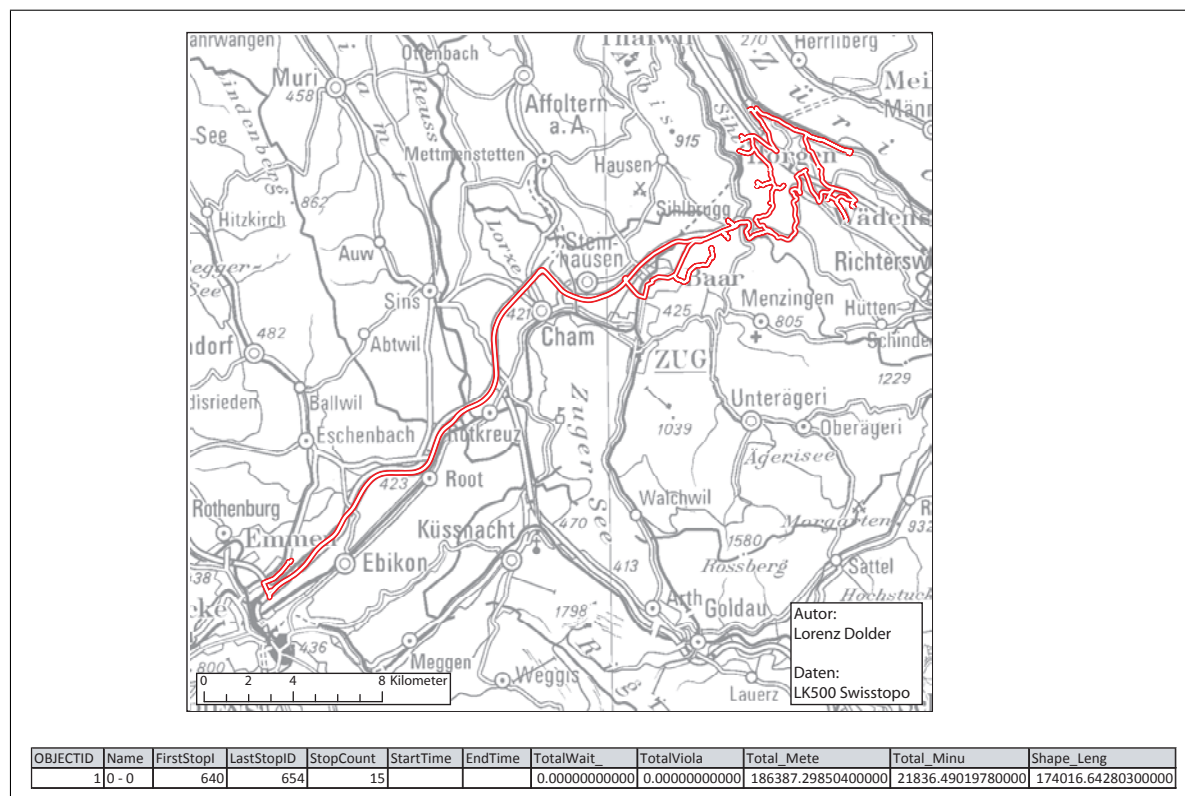


Abbildung 5.7: Attribute des Shapefiles nach Zuordnung

dies auch bei den berechneten Routen der Fall war. An jedem Verarbeitungsort wurden genügend Lastwagen bereitgestellt. Zudem wurden die Gebiete der Transporteure so definiert, wie sie in Wirklichkeit auch existieren. Dargestellt sind diese Gebiete zur besseren Veranschaulichung in Abbildung 5.8. Somit kann jeder Lastwagen eines Transporteurs nur in „sein“ Gebiet fahren.

Alle Lastwagen eines Verarbeitungsortes wurden zudem so konfiguriert, dass sie nur Milch, die ihrem Verarbeitungsort zugeordnet wurde, einsammeln können. Mit diesen Einstellungen konnten danach die Touren neu gerechnet werden.

Zu beachten ist dabei, dass nicht mehr die im Algorithmus neu gebildeten Touren gefahren werden. Stattdessen werden aus allen Bauernhöfen, die dem gleichen Transporteur und Verarbeitungsort zugeordnet sind, neue Touren gebildet. Dadurch gibt es zwar neue Touren, jedoch hat dies keinen Einfluss auf die Zusammensetzung und Menge der Milch an den einzelnen Verarbeitungsstandorten. Daraus wurde erhofft, dass der gefahrene Weg nicht mehr unrealistisch lang ist.

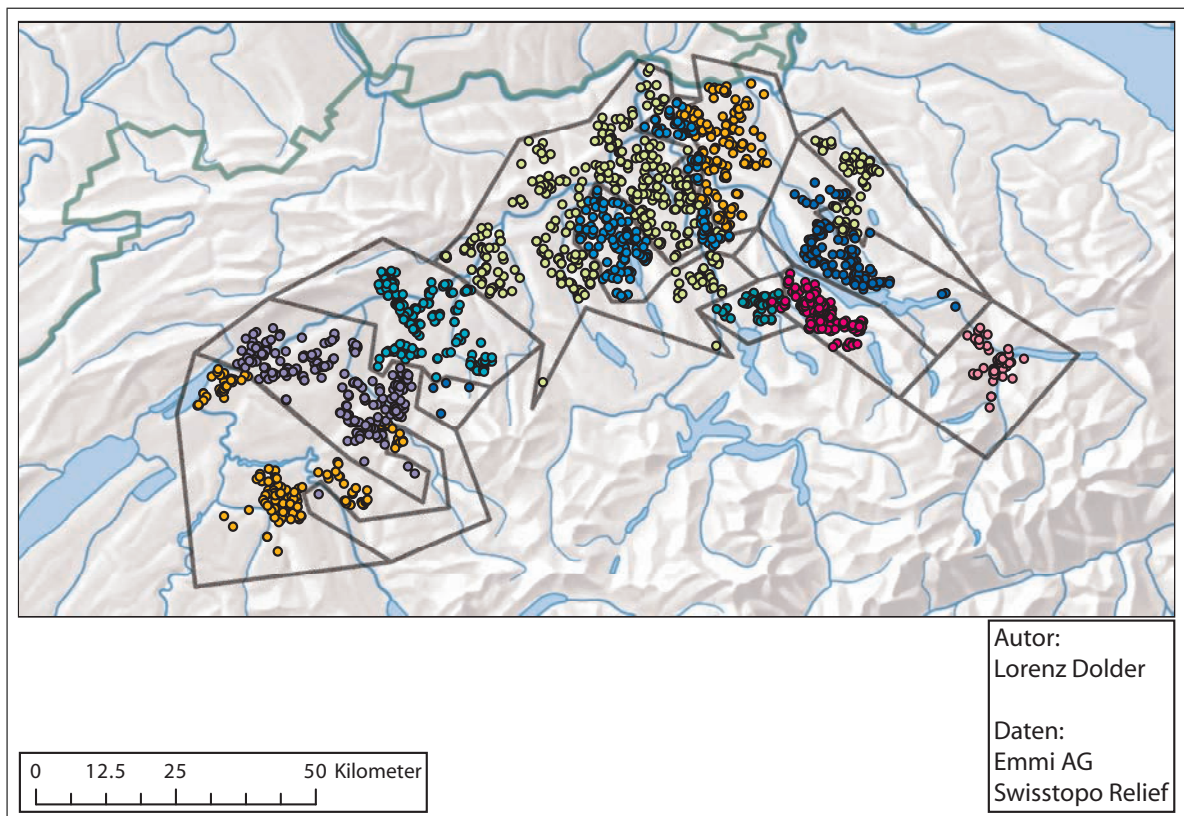


Abbildung 5.8: Gebiete der Transporteure

Als Resultat ergibt sich eine Zusammenstellung der Touren. Zentral für den vorliegenden Zweck ist die Berechnung der Summe der Kilometer aller gefahrenen Touren. Nur dieser Wert wurde für die Weiterverwendung gebraucht.

Routenberechnung in Variante 3

In Variante 3 wurde bis zu diesem Punkt überhaupt keine Zuteilung der Bauernhöfe zu Touren vorgenommen. Die Bauernhöfe wurden lediglich einem Verarbeitungsort zugeordnet. Aus diesem Grund wurde auch in diesem Fall auf die Software ArcLogistics Route zurückgegriffen. In diesem Falle wurden die Lastwagen jedoch nicht spezifisch einem Transporteur zugeteilt und es gab damit auch keine Gebiete für die Transporteure.

Die Lastwagen an den einzelnen Standorten wurden so erstellt, dass sie nur Milch von denjenigen Bauern holen können, die diesem Standort zugeordnet wurden. Dieser Ansatz entspricht damit in weitesten Teilen der Variante 2, mit dem Unterschied, dass dort die

Aufteilung der Bauernhöfe jeweils im Gebiet eines Transporteurs vorgenommen werden musste.

6 Resultate

In diesem Kapitel wird auf die Ergebnisse der in Kapitel 5 vorgestellten Zuordnung der Bauernhöfe eingegangen. Dafür muss an erster Stelle in Abschnitt 6.1 eine Einschränkung des Algorithmus sowie deren Einfluss aufgezeigt werden. Danach werden in den Abschnitten 6.2, 6.3 und 6.4 die Resultate in Abhängigkeit des Weg-Faktors, welcher in Abschnitt 5.2 beschrieben wurde, aufgezeigt. Dadurch wird es möglich, den korrekten Weg-Faktor zu finden und den Algorithmus darüber zu kalibrieren. Zum Schluss werden in Abschnitt 6.5 die konkreten Resultate aufgezeigt, jeweils abhängig von sich ändernden Transportkosten.

6.1 Problem der exakten Tourzuordnung

Bei der Auswertung der berechneten Resultate ergab sich folgendes Problem. Bei der Berechnung musste darauf geachtet werden, dass alle Abladeorte auch nach der Berechnung in etwa gleich viel Milch erhalten wie sie auch in der ursprünglichen Zuordnung erhalten haben. Dieses Kriterium wurde gewählt, damit die Resultate am Schluss vergleichbar bleiben. Auch erforderlich ist dieses Kriterium für den Milchverarbeiter, für den die Menge Milch an den einzelnen Standorten planbar sein muss. Jedoch ist dieses Kriterium vor allem in den Varianten 1 und 2 kaum erreichbar. Diese beiden Varianten ordnen komplette Milchtouren den Verarbeitungsorten zu. Da alle Touren eine unterschiedliche Kapazität an Milch liefern, kommt es somit beim Neuordnen der Touren immer vor, dass gewisse Standorte etwas mehr Milch erhalten und andere weniger. Da eine Tour bis zu 20 000 Kilogramm Milch einsammeln kann, können die Überkapazitäten bis maximal auf diesen Wert zu stehen kommen. Die Unterkapazitäten können sogar noch grösser werden. Rein von der Zuordnung her gesehen, aus der Perspektive des Milchverarbeiters, spielen diese Unterschiede keine grosse Rolle. Da der Wert der Milch, beziehungsweise der Inhaltsstoffe, jedoch an den unterschiedlichen Standorten verschieden ist, ist schlussendlich der Gesamtwert auch davon abhängig, an welchen Orten es eine Unter- bzw. Überkapazität gibt. Dies macht für die Auswertung und Interpretation der Resultate einen grösseren Unterschied.

An dieser Stelle soll ein kleines Rechenbeispiel zur Veranschaulichung des Problems durchgespielt werden. Gegeben sei die Situation von Abbildung 6.1 mit einer Milchtour von 20 000 Kilogramm. Dies ist die letzte noch zuzuordnende Tour und alle Standorte haben nur noch einen kleinen Kapazitätsvorrat gemäss der ursprünglichen Zuteilung. Zusammen ergeben die freien Kapazitäten natürlich diese 20 000 Kilogramm. Nun muss die Tour einem einzigen Standort zugeordnet werden, wobei dieser Standort danach eine Überkapazität haben wird und alle anderen eine Unterkapazität. Je nachdem ob die Tour Standort 1 oder 2 zugeordnet wird, kann sich der Zuschlag um den Faktor 10 verändern. Dies fällt um so mehr ins Gewicht, wenn man sich später die errechneten Mehreinnahmen der gesamten Neuzuordnung (siehe Abbildung 6.2) veranschaulicht, welche auch in derselben Grössenordnung liegen.

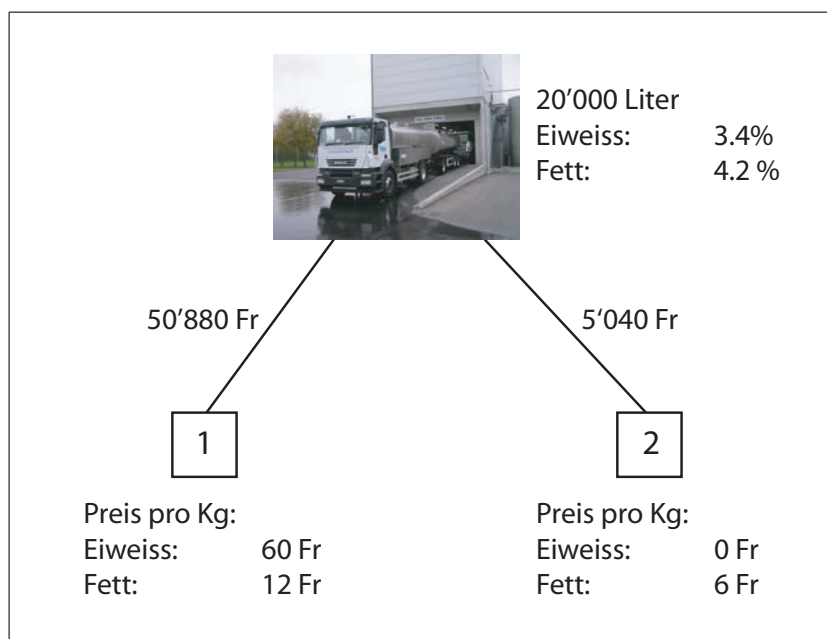


Abbildung 6.1: Einfluss der Zuordnung einer Tour

6.2 Mögliche Mehreinnahmen

Aus diesem Grund zeigt sich erwartungsgemäss vorerst ein nicht ganz klares Ergebnis. Dargestellt wird ein solches Resultat in Abbildung 6.2. Dies ist der mögliche Mehrertrag für die Berechnungsperiode 4. und 5. Februar 2008. Zu beachten ist, dass darin noch keine zusätzlichen Kosten für einen längeren Weg eingerechnet sind. In diesem Diagramm bedeutet die X-Achse den verwendeten Weg-Faktor. Auf der linken Seite (d.h. bei kleinen Werten)

ist dessen Einfluss nur sehr gering. Gegen rechts nimmt er zu. Somit sollte der Mehrertrag gegen rechts (bei höheren Werten für den Weg-Faktor) zunehmen. Dies ist tendenziell auch der Fall, jedoch nicht sehr eindeutig.

Die Anstiege sind zum Teil sehr sprunghaft und zudem muss ein grösserer Skalierungsfaktor nicht unbedingt bedeuten, dass direkt der Ertrag grösser ist. Gemäss dem Algorithmus müsste dies ja der Fall sein, jedoch ist durch die oben genannte Einschränkung auch der Grund für diese Sprünge klar. Gut zeigt sich dies vor allem in Variante 1, aber auch Variante 2 hat an einer Stelle trotz zunehmendem Faktor einen niedrigeren Ertrag. Die Variante 3 ist von diesem Phänomen nur sehr schwach betroffen; die Kurve steigt von links nach rechts monoton. Dies daher, weil in dieser Variante nicht die gesamten Touren neu zugeordnet werden, sondern nur die einzelnen Höfe. Dadurch kann die gewünschte Kapazität an den Verarbeitungsorten viel genauer erreicht werden und die Verfälschungen durch Unter- und Überkapazitäten sind viel kleiner.

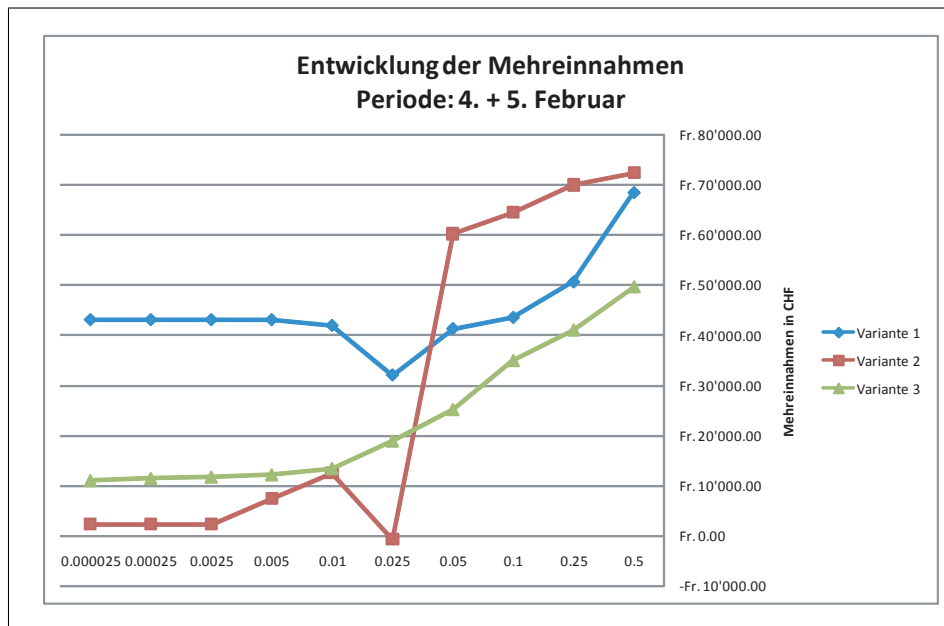


Abbildung 6.2: Berechnete Mehreinnahmen Februar 2008

Um zu überprüfen, ob der Algorithmus überhaupt erwartungsgemäss funktioniert, wurde mit den durch die Neuordnung erzielten Gehaltswerten der Preis pro Kilogramm Milch jedes Standortes berechnet. Mit diesem Wert wurde danach berechnet, was für ein Wert die ursprüngliche Quantität an Milch jedes Standortes mit dem errechneten Wert hat. Dieser so gewonnene Wert ist natürlich kein realistisch erreichbarer Wert mehr, jedoch kann ein solcher Wert belegen, ob der Algorithmus überhaupt funktioniert, oder ob die Wertsteigerung aus Abbildung 6.2 nur durch Zufall entstanden ist.

Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Die Mehreinnahmen nehmen effektiv mit zunehmendem Faktor kontinuierlich zu. Insofern darf wohl angenommen werden, dass der Algorithmus an sich gut funktioniert.

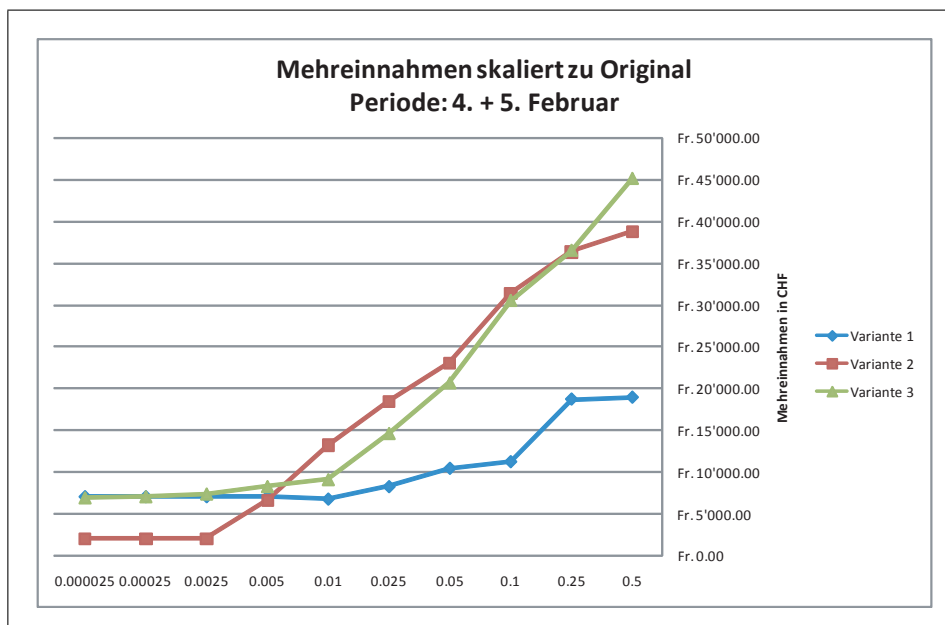


Abbildung 6.3: Skalierte Mehreinnahmen Februar 2008

Bei genauer Begutachtung der Resultate ist feststellbar, dass bis zu einem Weg-Faktor von 0.0025 kaum etwas an der Zuordnung verändert wird. Daraus ergibt sich vorerst, dass Weg-Faktoren von 0.0025 oder kleiner eine derart kleine Skalierung anbringen, dass sie keinen Einfluss auf die Zuordnung hat. Danach steigen vor allem Variante 2 und 3 relativ schnell an. Beide Varianten erzielen in etwa den gleichen Mehrwert. In Variante 3 wird mit zunehmendem Faktor immer mehr nur die gehaltsreichere Milch dorthin geliefert, wo es Mehreinnahmen gibt. In Variante 2 wird grundsätzlich dasselbe gemacht, nur dass dafür noch neue Touren gebildet werden müssen.

Variante 1 demgegenüber steigt viel schwächer an, da die Touren an sich nicht neu gebildet werden. Somit wird auf den Touren immer noch gehaltsreiche mit gehaltsarmer Milch vermischt und es wird kaum einzelne Touren geben, welche Milch mit markant höheren Gehaltswerten haben.

Auf die gleiche Weise wurde die Berechnung auch für den 1. und 2. August 2007 vorgenommen. Auch in diesem Fall wiesen die Resultate sehr ähnliche Charakteristiken auf. Dafür sei auf die Abbildungen B.1 und B.2 im Anhang verwiesen.

6.3 Mehraufwand durch längere Strecken

Wie in der Herleitung des Algorithmus bereits beschrieben wurde, ist anzunehmen, dass die Resultate ab einer gewissen Grösse des Weg-Faktors nicht mehr realistisch sein werden. Aus den Abbildungen 6.2 und 6.3 wird jetzt zwar ersichtlich, dass es nicht einen Punkt gibt, ab welchem der Mehrgewinn wieder abnehmen würde. Jedoch ist festzustellen, dass ab einem gewissen Weg-Faktor die Mehrfahrten sehr gross werden und sich der Umweg wohl nicht mehr lohnen wird. Dargestellt sind diese Zusatzfahrten in Abbildung 6.4.

Vorgängig ist zu dieser Abbildung anzumerken, dass das Finden der Originalwerte nicht ganz einfach war. Die Originallängenwerte wurden über denselben Weg berechnet wie die Längenwerte der neuen Zuordnung. Für die Daten aus dem Monat August 2007 standen auch die Zeiten, wann jeder Bauernhof angefahren wurde, zur Verfügung. Dadurch konnte einerseits berechnet werden, wie lange der Weg möglicherweise im Original war, nämlich indem die Berechnungen der Routen so stattfanden, dass die Bauernhöfe in der in Wirklichkeit gefahrenen Reihenfolge angefahren wurden. Andererseits wurde berechnet, wie lange der Weg minimal sein kann, sofern die Bauernhöfe vom Tourenberechnungsalgorithmus von ArcGIS frei in den Touren angeordnet werden können. Dies ist somit dieselbe Berechnung, wie sie auch für die Zuordnungsergebnisse angewendet wurde. Vergleicht man die beiden Ergebnisse, so wäre eine optimale Zuordnung um rund 13% kürzer als der effektiv gefahrene Weg, was in diesem Falle einer Einsparung von 1 288 Kilometern entspricht. Für den Monat Februar 2008 standen die Informationen der Anfahrtszeiten nicht zur Verfügung, und es konnte somit nur eine Optimalzuordnung als Referenz berechnet werden. An dieser Stelle muss daher angefügt werden, dass das in Abbildung 6.4 erwähnte Original eine Annahme ist, und zwar basiert die Annahme darauf, dass im Februar 2008 ein ähnlicher Prozentanteil der gefahrenen Routen wahrscheinlich eingespart werden könnte. Somit konnte dieser hypothetische Wert errechnet werden.

Gut zu erkennen ist, dass Variante 2 bereits bei sehr kleinen Faktoren mit einem viel längeren (6 000 Kilometer, beziehungsweise 4 000 Kilometer mit ArcLogistics Route = ALR) Weg startet. Dies rührt daher, dass der räumliche Einsparung auch innerhalb der Gebiete der Transporteure erheblich ist. Dieses Bild zeigt sich in beiden Berechnungen der Routen, also sowohl mit dem Network Analyst als auch mit ArcLogistics Route.

Variante 1 dagegen hat bei kleinen Faktoren in etwa den gleich langen Weg wie das optimierte Original. Dies ist so auch zu erwarten, da bei einem kleinen Faktor die Zuordnung nicht abgeändert werden sollte. Unterschiede bei dieser Variante und mit kleinen Faktoren sollte es nur dann geben, wenn die Originalzuordnung nicht optimal ist.

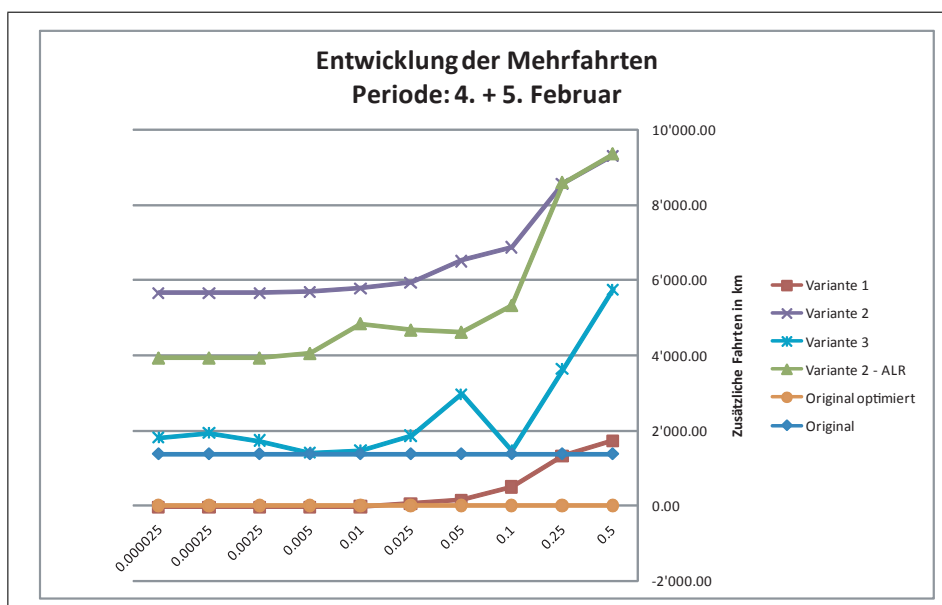


Abbildung 6.4: Mehrfahrten 4. und 5. Februar, 2008

Um das Resultat genauer zu untersuchen, sind die Zahlenwerte in Tabelle 6.1 dargestellt. Ab einem Weg-Faktor von 0.025 beginnen auch die Summen der Touren der ersten Variante länger zu werden, wobei dies bei einem Weg-Faktor von 0.025 mit zusätzlichen 45 Kilometern noch bescheiden ist, und noch kaum wirklich als Mehrweg zu werten ist. Danach steigen die Werte für die Mehrfahrten rapide an. Spätestens ab einem Weg-Faktor von 0.25, wo ein Mehrweg von über 1 300 km entsteht, wird sich der Aufwand wahrscheinlich nicht mehr lohnen.

Februar	0.000025	0.00025	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5
Variante 1	-37.21	-37.21	-37.21	-37.21	-25.09	45.36	154.96	503.35	1'332.68	1'728.85
Variante 2	5'661.84	5'661.84	5'661.84	5'697.60	5'780.31	5'936.66	6'512.68	6'876.61	8'573.44	9'308.48
Variante 2 - ALR	3934.217166	3935.117166	3935.117166	4055.317166	4845.617166	4675.217166	4618.217166	5328.017166	8588.917166	9347.217166
Variante 3	1'806.72	1'936.12	1'724.12	1'403.12	1'467.62	1'853.72	2'964.92	1'467.62	3'634.12	5'749.92
Original	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87	1'368.87
Original optimiert	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabelle 6.1: Mehrfahrten 4. und 5. Februar, 2008

Dieses errechnete Ergebnis widerspiegelt sich ebenfalls, wenn man die Resultate visuell vergleicht. Dies ist in Abbildung 6.5 für Variante 1 und die Berechnungen für den Februar 2008 dargestellt. Die Bauernhöfe sind jeweils in derjenigen Farbe dargestellt, welche auch die zugeordneten Verarbeitungsorte haben. Bei den beiden kleineren Weg-Faktoren ändert sich kaum etwas an der Zuordnung. Faktor 0.1 ändert die Zuordnung bereits an einigen Stellen erheblich, jedoch sehen die Änderungen trotzdem noch moderat aus. Der Faktor 0.5 jedoch macht schon so starke Änderungen, dass diese wahrscheinlich kaum praktikabel

sind. So gibt es beispielsweise eine Tour aus der Region Bern, welche nach Landquart fahren müsste. Für die Berechnungen aus den anderen Varianten sowie für den Monat August 2007 sehen die Resultate sehr ähnlich aus.

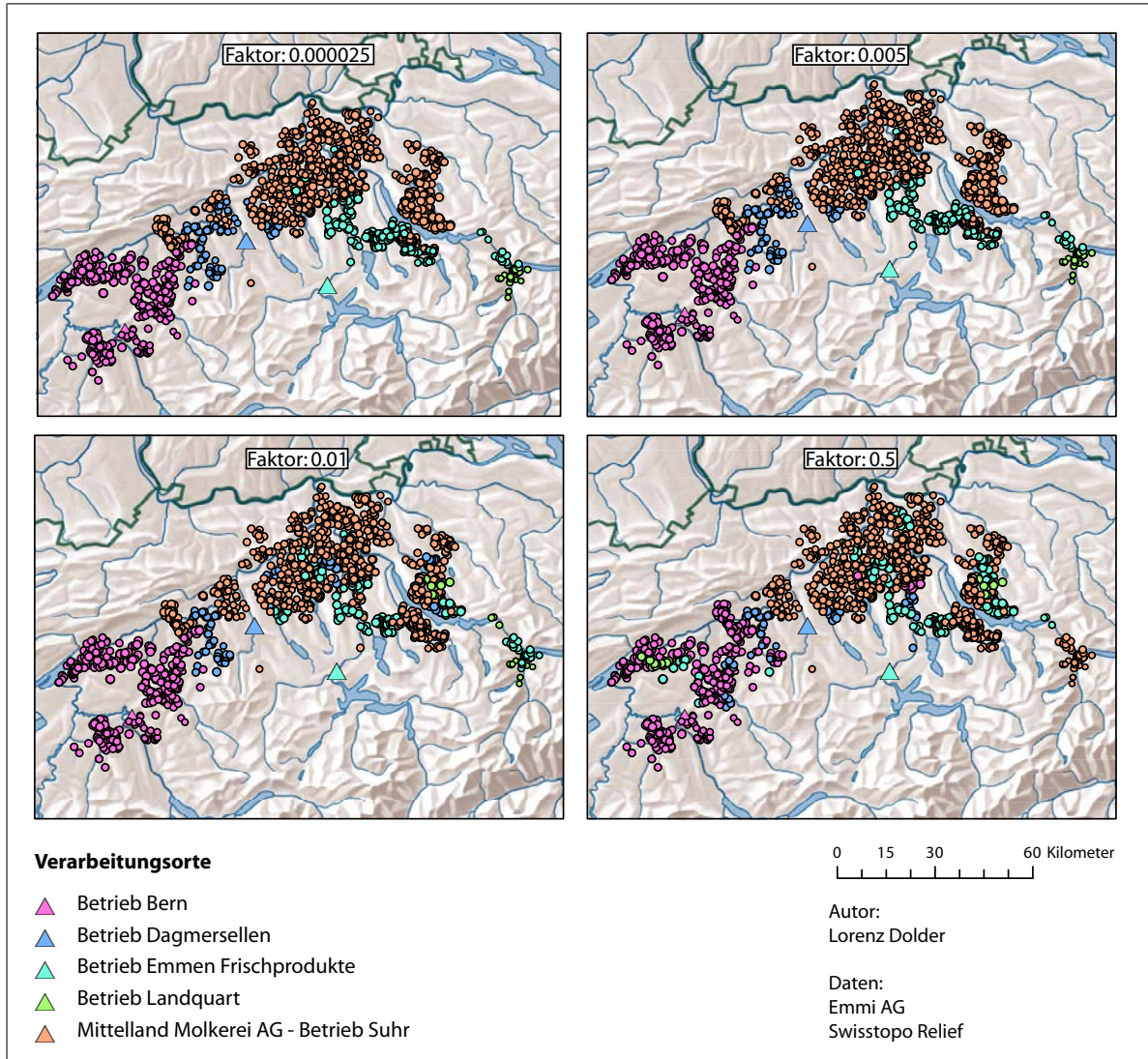


Abbildung 6.5: Visueller Vergleich der Ergebnisse für Variante 1, Februar 2008

6.4 Gesamthafte Änderung der Einnahmen

Entscheidend für den Erfolg der ganzen Berechnungen sind letztlich die effektiven Mehreinnahmen (= der Gewinnzuwachs). Von den erzielten Mehreinnahmen müssen aus diesem Grund noch die berechneten Mehrkosten abgezogen werden. Die Kosten pro gefahrenen

Kilometer liegen zwischen 6 - 8 Franken. Für die Berechnungen wurde ein hoher Wert von 8 Franken angenommen. Dargestellt wird das Resultat in Abbildung 6.6. Anzumerken ist bei dieser Darstellung erneut, dass nicht die effektiven Mehreinnahmen verwendet wurden, sondern jene skaliert auf die gewünschte Milchmenge am jeweiligen Verarbeitungsort. Dies obwohl für den Milchverarbeiter letztlich eher die real möglichen Mehreinnahmen entscheidend sein werden. Für die wissenschaftliche Auswertung eignen sich die skalierten Werte jedoch besser, da sich ein klareres Bild abzeichnet. Sehr gut zeigt sich, dass es einen maximalen Gewinn bei einem Weg-Faktor von 0.1 gibt. Daraus kann gefolgert werden, dass bei einem solchen Faktor die Zuordnung optimal ist. Das gleiche Resultat zeigt sich auch bei den Berechnungen für den Monat August 2007 (siehe Abbildung B.4 im Anhang). Bei grösseren Skalierungsfaktoren nehmen damit die Kosten für die Mehrfahrten stärker zu als die möglichen Mehreinnahmen.

Sämtliche Resultate der Berechnungen mit dem Weg-Faktor 0.1 sind im Anhang in den Tabellen B.2, sowie B.3 dargestellt.

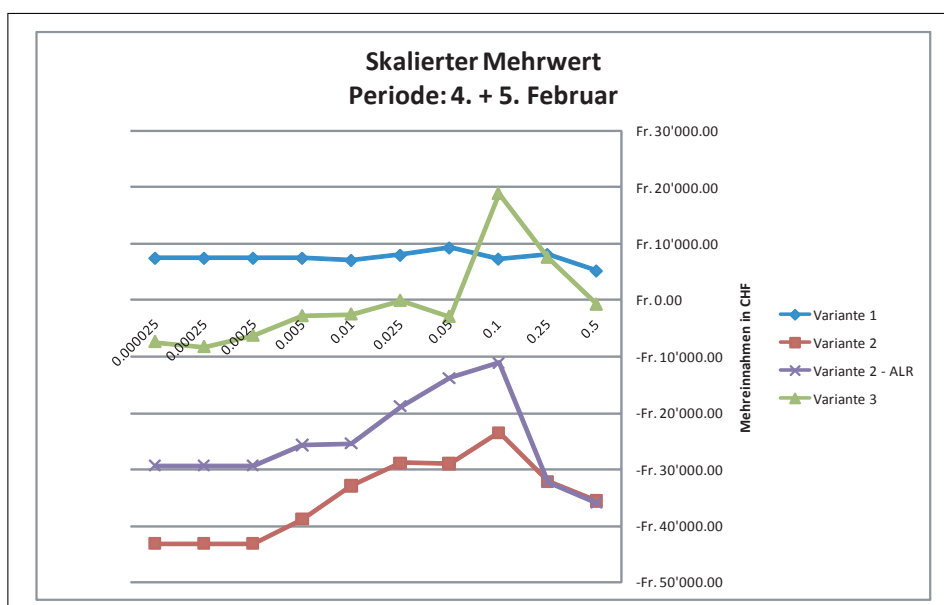


Abbildung 6.6: Effektive Mehreinnahmen 4. und 5. Februar, 2008

Wie bereits ausgeführt, wurde für die Originalzuordnung die optimierte Rechnung der gefahrenen Länge angenommen. Anzunehmen ist jedoch, dass die effektiv gefahrenen Touren länger und damit teurer waren. Nimmt man einen ähnlichen Unterschied wie im Monat August 2007 an, so wären dies effektiv etwa 1 400 Kilometer die tatsächlich gefahren wurden, was Mehrkosten von 11 200 Franken entspräche. Somit wären sämtliche effektiven

Mehreinnahmen um diesen Wert grösser, da diese Einsparung bei der Berechnung bereits inbegriffen ist.

6.5 Resultate in Abhängigkeit der Transportkosten

Da die Berechnungen mit einem Weg-Faktor von 0.1 den grössten Mehrwert mit sich brachten, werden in der Folge nur noch diese Berechnungen berücksichtigt. In Abbildung 6.7 wird aufgezeigt, wie sich die Mehreinnahmen verhalten, wenn sich die Transportkosten verändern. Berechnet wurde dabei die Differenz aus den effektiven Einnahmen der neuen Zuordnung und den effektiven Einnahmen ohne eine neue Zuordnung.

Auch an dieser Stelle ist wiederum festzustellen, dass die effektiven Einnahmen höher sind als die skalierten. Dies rührt wiederum daher, dass in der effektiven Zuordnung dort mehr Milch zugeordnet wurde, wo die Einnahmen grösser waren. Dies ist sehr gut in den Abbildungen B.2 und B.3 zu sehen. Beispielsweise bei Variante 2, welche effektiv einen sehr hohen Mehrwert erzielt, hat es im August 2007 etwa 20 000 Kilogramm weniger Milch in Suhr, wo der Zusatzmilchpreis am kleinsten ist. Diese Menge wird dafür an Orte geliefert, wo die Milch mehr Wert hat. Nach dem Skalieren der Werte bleibt für die Variante 2 kaum noch ein Gewinn übrig. Dies ist eigentlich auch logisch, wenn man die sehr langen Routen bedenkt.

Jeweils die stärkste Steigung der Geraden ist für die Berechnungen der Variante 2 zu verzeichnen, insbesondere für diejenige Berechnung, welche die Route mit dem Network Analyst berechnete und damit die Toureinteilung des Zuordnungsalgorithmus übernahm. Dies widerspiegelt die Tatsache, dass diese Variante einen viel längeren Weg, verglichen mit den Einnahmen hat, womit dieser einen stärkeren Einfluss auf die Gesamtkosten hat.

Ein sehr gutes und auch eher robustes Resultat gegenüber dem Transportpreis liefern die Varianten 1 und 3. Bei diesen Varianten überzeugt vor allem, dass die Mehreinnahmen viel weniger stark von den Transportkosten abhängen.

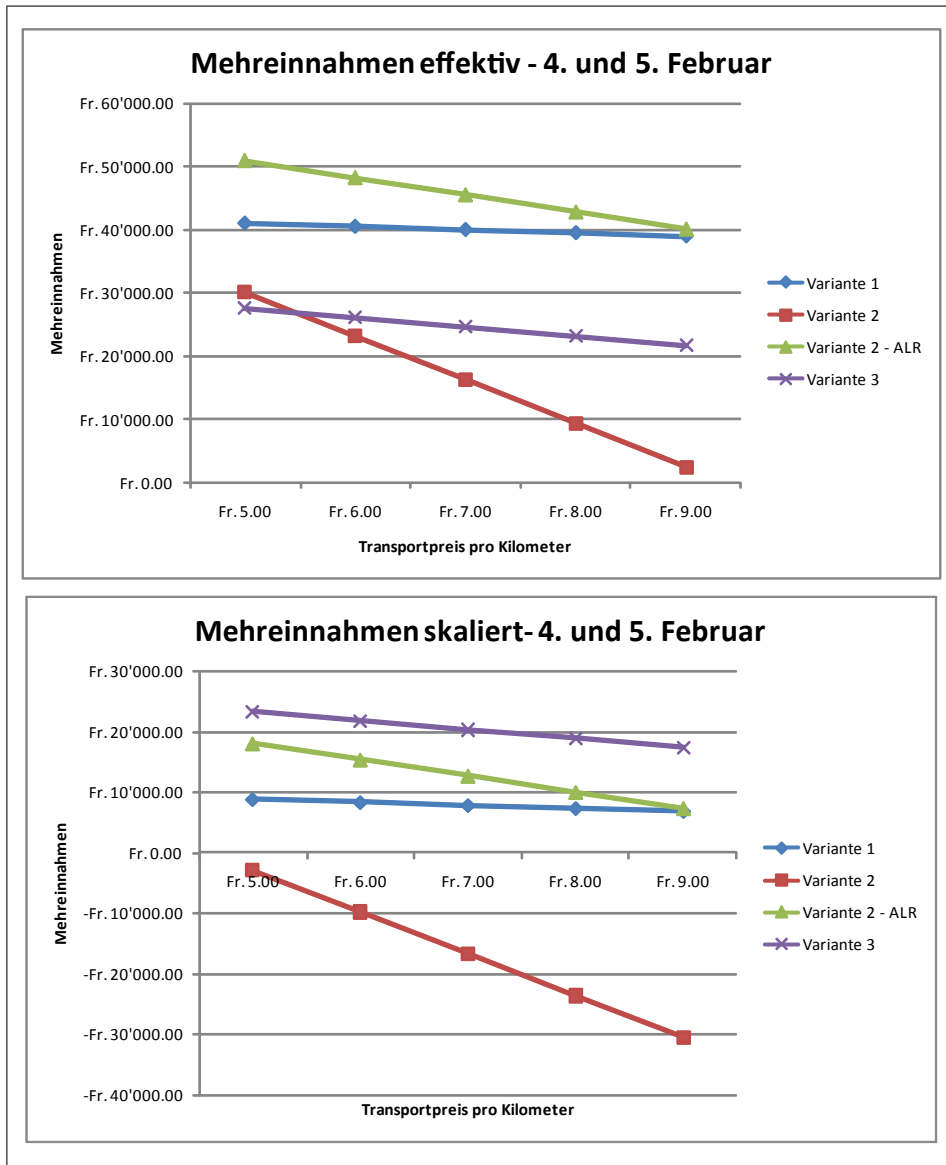


Abbildung 6.7: Mehreinnahmen abhängig vom Transportpreis Februar 2008

7 Diskussion

Dieses Kapitel soll zur Hauptsache versuchen die drei Forschungsfragen zu beantworten. Die erste wird in Abschnitt 7.1 behandelt, auf die zweite wird später in Abschnitt 7.2 eingegangen. Schliesslich wird die dritte im Abschnitt 7.3 beantwortet. In Abschnitt 7.4 wird zum Schluss auf das Problem der Unmöglichkeit des exakten Treffens der korrekten Menge Milch an den verschiedenen Verarbeitungsorten eingegangen.

7.1 Notwendigkeit der Integration von Strassendaten

Die erste Forschungsfrage lautete: *Ist eine Integration verschiedener Strassendatensätze erforderlich, um Routen zu abgelegenen Bauernhöfen zu berechnen?* Diese Frage wurde bereits im Kapitel 4.3 zumindest teilweise beantwortet.

Für das Testgebiet wurde eine Verlängerung der Touren um 0.52 % geschätzt bei einem Strassennetz bestehend aus MultiNet-Daten, mit Integration von VECTOR25 zur Komplettierung der Hofzufahrten. Was ein solcher Fehler für einen Einfluss auf das Resultat hat, wird in Tabelle 7.1 dargestellt. Gemäss diesen Berechnungen, welche auf den Resultaten der Sammeltouren des Monats Februar 2008 basieren, dürften die wahren Mehreinnahmen um rund 5% kleiner als berechnet sein.

	Weg Effektiv [km]	Weg hypothetisch mit Vector25 Daten [km]	Kosten Effektiv	Kosten hypothetisch mit Vector25	Unterschied Kosten	Einnahmen Effektiv	Einnahmen hypothetisch	Prozent
Variante 1	9629.128989	9679.20046	Fr. 77'033.03	Fr. 77'433.60	Fr. 400.57	Fr. 7'263.14	Fr. 6'862.57	94.48%
Variante 2	16002.39624	16085.6087	Fr. 128'019.17	Fr. 128'684.87	Fr. 665.70	-23542.96165	Fr. -24'208.66	97.25%
Variante 2 - ALR	14453.8	14528.95976	Fr. 115'630.40	Fr. 116'231.68	Fr. 601.28	9898.608275	Fr. 9'297.33	93.93%
Variante 3	10593.4	10648.48568	Fr. 84'747.20	Fr. 85'187.89	Fr. 440.69	17394.18376	Fr. 16'953.50	97.47%

Tabelle 7.1: Fehler durch lückenhafte Strassendaten

In diesem Kontext müssen vor allem Resultate, welche einen kleinen Mehrgewinn voraussagen, noch mit Vorsicht genossen werden. Jedoch zeigt sich aus den Abbildungen 6.7 und B.5, dass ein Unterschied von etwa 5% bei allen realistischen Berechnungen keinen

grossen Einfluss hat. Unter „realistischen Berechnungen“ wurden all diejenigen angenommen, welche einen höheren Gewinn durch eine neue Zuordnung voraussagen. Alle diese generieren einen Mehrwert, von welchem noch gut 5% abgezogen werden könnten, ohne dass der Mehrertrag danach nur noch sehr klein wäre.

Insofern denke ich, dass eine Integration wie sie in Kapitel 4 vorgestellt wurde, nicht unbedingt nötig ist für diesen Zweck. Die Berechnung der Zuordnung an sich würde durch genauere Daten kaum verändert werden. Dies folgt aus der Überlegung, dass im Algorithmus jeweils die Distanz vom Bauernhof zum Verarbeitungsort berechnet und für die Zuordnung verwendet wird, und nicht wie in den anderen Berechnungen die wahren Tourenlängen mit allen Höfen. Auf die vielen einzelnen sehr langen Strecken werden die kleinen Längenunterschiede keinen grossen Einfluss haben.

Was sich ändert, ist damit die Vorhersage für einen möglichen Mehrwert, welcher in Wirklichkeit dadurch wahrscheinlich eher etwas geringer als berechnet ausfallen wird. Falls zu einem späteren Zeitpunkt jedoch beispielsweise auch Lastwagen nach den berechneten Routen fahren sollten, wäre eine solche Integration von Strassendaten wahrscheinlich vonnöten. Diesbezüglich sei nochmals auf die Situation in Abbildung 4.6 (siehe Seite 54) verwiesen. In einem konkreten Routing dürften solche Situationen nicht vorkommen. Ansonsten würden solche neuen Lösungen schnell an Ansehen bei den betroffenen Stellen verlieren. Dies kann sehr schnell geschehen, wenn solche fehlerhaften Lösungen produziert werden. Dies stellte sich einerseits im Gespräch mit den Spezialisten von Emmi heraus. Es wird dies aber auch in der Literatur, wie beispielsweise von Butler et al. (2005) erwähnt.

7.2 Berechnung der Routen mit GIS

An dieser Stelle soll auf die zweite Forschungsfrage eingegangen werden. Diese lautete: *Können durch eine GIS-gestützte Planung die bei den Milchtouren gefahrenen Strecken verkürzt werden?*

Verschiedene Papers wie beispielsweise Basnet et al. (1997) stellen fest, dass durch eine GIS gestützte Planung von Milchtouren Kosten eingespart werden können. Im Paper von Ruiz et al. (2004) wird für einen entwickelten Ansatz sogar von Einsparungen durch kürzere Routen von 9 bis 11 % gesprochen. Aus diesem Grunde soll auch kurz an dieser Stelle diskutiert werden, wie gross mögliche Einsparungen bei der Routenplanung sein könnten, vorerst noch ohne das eigentliche Thema der Neuordnung der Bauernhöfe zu beachten.

Die Unterschiede der Originalrouten mit Einhaltung der exakten Tourenreihenfolge zu einer optimalen Zuordnung der Bauernhöfe in einer Tour ergaben in der vorliegenden Arbeit eine Verkürzung der Touren um 13%. Dies stellt einen sehr grossen Unterschied dar. Speziell wenn man in Abbildung 6.4 die Originalroute mit der Berechnung der Variante 1 vergleicht. Die Routenlänge der Variante 1 überschreitet die Länge der Originalroute nur bei der Berechnung mit dem stärksten Faktor.

Wie realistisch diese berechneten Optimierungen jedoch in Wirklichkeit sind, müsste durch einen Praxistest noch bestätigt werden. Wie im Kapitel 3.1.1 erklärt wurde, sind in Wirklichkeit diese Touren ziemlich komplex, mit zum Beispiel mehrmaligem Umladen in bereitgestellte Anhänger. Aus diesem Grund müsste sich noch erweisen, ob die getroffenen Vereinfachungen das Resultat nicht zu stark verfälschen. Trotzdem ist natürlich zu sagen, dass die Vereinfachungen für die „Originalrechnung“ und die „optimierte Rechnung“ gemacht wurden. Es wurden zu keinem Zeitpunkt Berechnungen mit den in Wirklichkeit gefahrenen Routen verglichen.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann damit gesagt werden, dass durch eine GIS gestützte Planung die Routen optimiert werden könnten. Dadurch würden auch die Transportkosten kleiner werden. Dies alles ist möglich mithilfe von einfachen GIS-Berechnungen, noch ohne eine komplizierte Neuberechnung der Zuordnung der Bauernhöfe zu den Verarbeitungsorten. An den einzelnen Verarbeitungsorten ergibt sich daher in diesem Falle auch noch kein anderer Gehalt der abgelieferten Milch.

7.3 Neuordnung der Bauernhöfe

In diesem Abschnitt soll dargelegt werden, ob die dritte Forschungsfrage erfüllt werden konnte. Die Frage lautete: *Ist es möglich, eine gehaltsoptimierte Zuordnung von Bauernhöfen zu Verarbeitungsorten zu machen, so dass ein Mehrgewinn erzielt werden kann?*

Grundsätzlich kann mit den Resultaten diese Fragestellung bejaht werden. Der entwickelte Algorithmus setzt die Anforderungen gut um, und es ist möglich, damit die Gehaltswerte an den einzelnen Standorten so wie gewünscht zu optimieren. Dafür sei auf Abbildung 6.3 verwiesen, welche aufzeigt, dass der entwickelte Algorithmus wirklich eine gehaltsoptimierte Zuordnung vornimmt. Sonst wären die steigenden Mehreinnahmen mit steigendem Skalierungsfaktor nicht erklärbar. Abbildung 6.7 zeigt zudem, dass eine solche Zuordnung auch noch Sinn machen kann, wenn man die Mehrkosten durch einen längeren Transport miteinbezieht und von den Mehreinnahmen abzieht.

Noch offen ist welche Variante des Zuordnungsalgorithmus vorzuziehen ist. Von Seiten des Milchverarbeiters kommt im Moment Variante 3 nicht in Frage, dies da diese Variante für Emmi eine zu starke Umstellung des gesamten Prozesses mit sich bringen würde. Die prognostizierten Mehrgewinne wären in diesem Fall jedoch, wie aus Abbildung 6.7 zu entnehmen ist, am grössten. Aus diesem Grund wäre es ein längerfristiges Ziel, eine komplette Neueinteilung vorzunehmen.

Variante 1 könnte, wie dies bereits ausgeführt wurde, relativ einfach und schnell umgesetzt werden und bringt dennoch ein besseres Ergebnis als mit der jetzigen Einteilung der Touren. Dies wäre somit sicherlich eine Variante, welche zur Überprüfung der ganzen Rechnung gewählt werden könnte. Eine solche Variante würde auch gut zu der Einstellung von Emmi passen, dass alles, was eine Verbesserung bringt, wünschenswert ist, solange dies nicht zu viele Änderungen mit sich bringt.

Variante 2 wird so wie sie berechnet wurde, wohl kaum umsetzbar sein. Zwar liefert gemäss Abbildung 6.7 die Variante, welche die Touren mit ArcLogistics Route berechnet, ein gutes Endresultat. Finanziell gesehen sogar das zweitbeste. Diese Variante ist jedoch von den Mehrfahrten her gesehen, welche mehr als doppelt so hoch sind wie bei den anderen Lösungen (siehe Abbildung 6.4), nicht umsetzbar. Zu bedenken ist, dass bei einer so hohen Zahl an Mehrfahrten sich viele Routen überschneiden und daher wohl noch optimiert werden müssten. Sieht man das Ganze aus einer ökologischen Perspektive an, würde eine solche Variante, welche täglich etwa 2 000 zusätzliche Kilometer beinhaltet, auch keine Berechtigung mehr haben.

Rein von der Idee her ist diese Variante jedoch für Emmi sehr interessant. Dies aus dem Grund, da durch eine neue Toureneinteilung die Bauernhöfe am optimalsten den Verarbeitungsorten zugeteilt werden könnten und die Gehaltswerte der Milch am besten beachtet werden könnten. Da zudem, bei dieser Variante sämtlichen Transporteuren noch dieselben Bauernhöfe zugeteilt sind, wären nicht komplexere neue Verhandlungen mit den verschiedenen Transportfirmen nötig.

Aus den an dieser Stelle beschriebenen Fakten sowie der Abbildung 6.7 kann die Hypothese aus Abschnitt 5.1 als wahr angenommen werden. Es ist in der Tat so, dass die Mehreinnahmen von Variante 1 zu Variante 3 zunehmen. Dies auch wenn die Resultate der Variante 2 noch nicht als perfekt angesehen werden können.

Ob die berechneten Resultate optimal sind oder ob eventuell ein anderer der in Kapitel 2 diskutierten Algorithmen bessere Resultate geliefert hätte, kann an dieser Stelle leider nicht

beurteilt werden. Speziell interessant wäre, ob Algorithmen, welche die Zuordnung und das Routing in einem Schritt machen (vgl. 2.2.3), bessere Resultate liefern würden.

7.4 Treffen der exakten Milchmenge

Wie in Abschnitt 6.2 dargelegt, entstanden durch die Berechnung an gewissen Verarbeitungsorten teilweise Über- bzw. Unterkapazitäten. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurden die Ergebnisse auf die gewünschte Menge an Milch skaliert. Dies ergibt zwar für das Ergebnis Transparenz, kann jedoch für den Milchverarbeiter keine Lösung sein. Somit muss festgestellt werden, dass der Algorithmus in diesem Punkt ein Defizit hat.

In anderer Literatur wie beispielsweise in Foulds und Wilson (1997) wird versucht, dieses Problem zu lösen, indem nach der Einteilung noch versucht wird, Bauernhöfe miteinander auszutauschen. Dies läuft noch immer im Algorithmus ab.

In der vorliegenden Arbeit wurde dieses Problem so nicht angegangen. Wie von verschiedener Literatur wie in Basnet et al. (1997) oder Xu (2005) vorgeschlagen, fällt in jedem Fall einem Operateur noch eine wichtige Funktion zu. Auch bei den vorliegenden Verhältnissen bei Emmi zeigte sich, dass es so viele Bedingungen gibt, dass ohnehin ein Operateur vonnöten ist. Die Aufgabe eines solchen Operateurs wäre es, im vorliegenden Falle auch die Einteilung der Routen zu überwachen und eventuell anzupassen.

Zusätzlich kam bei der Kontrolle der Resultate mit den Experten von Emmi heraus, dass die Abweichungen, so wie sie berechnet wurden, für sie keine Rolle spielen. Der ganze Prozess ist sowieso sehr schwer planbar und solche Differenzen können auch in der heutigen Situation vorkommen. Unter diesem Gesichtspunkt würde sich vielleicht sogar ein Ansatz, wie ihn Basnet et al. (1997) vorschlagen, lohnen, welcher aus alten Daten jeweils die zu erwartende Menge Milch für den nächsten Tag berechnet und basierend auf dieser Berechnung die Einteilung der Routen macht.

8 Schlussfolgerung und Ausblick

In einem ersten Schritt sollen in Abschnitt 8.1 nochmals die Ergebnisse kurz rekapituliert werden. Danach möchte ich in Abschnitt 8.2 die daraus gezogenen Erkenntnisse darlegen. In Abschnitt 8.3 soll auf Probleme beziehungsweise offene Fragen eingegangen werden und schliesslich in Abschnitt 8.4 ein Ausblick auf die zukünftige Forschung gewagt werden.

8.1 Ergebnis

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, Möglichkeiten und Limiten von GIS in der Milch-wirtschaft aufzuzeigen. Basierend auf einer Literaturrecherche und verschiedenen Gesprä-chen mit Emmi wurden mögliche Einsatzszenarien und auch Problemgebiete eruiert. Als Kernthema wurde basierend auf diesen Erkenntnissen die optimale Zuordnung der Bauern-höfe zu den Verarbeitungsorten bestimmt, mit dem Fokus, ob es möglich ist, in die Zuteilung nebst Distanzkriterien auch den Gehalt an Eiweiss und Fett der Milch einzubeziehen.

Danach wurden für Teilgebiete MultiNet-Strassendaten der Firma Tele Atlas mit VECTOR25-Strassendaten der Swisstopo integriert. Der Prozess der Integration konnte im Opensource GIS JUMP mit der Erweiterung Road Matcher umgesetzt werden. Schliesslich konnten die Strassendaten in ArcGIS so vorbereitet werden, dass sie in den späteren Berechnungen als Grundlage für die Routenberechnung dienen konnten.

Für die Berechnung der Zuordnung der Bauernhöfe wurden drei verschiedene Varianten ausgearbeitet, welche eine unterschiedlich starke Veränderung der bisherigen Verhältni-se innerhalb der Organisation der Logistik von Emmi erfordern. Variante 1 soll lediglich versuchen, die Touren wo nötig anderen Verarbeitungsorten zuzuordnen. Variante 2 soll in-nerhalb der Gebiete der verschiedenen Transporteure neue Touren bilden, welche optimiert nach den Gehaltswerten der Milch sind. Variante 3 schlussendlich soll sämtliche Bauernhöfe neu den Verarbeitungsorten zuordnen.

In der Folge konnte als Kernaufgabe der Algorithmus zur Zuordnung der Bauernhöfe erarbeitet werden. Dieser Algorithmus basiert auf einem Algorithmus, welcher das MD-VRP löst, und wurde in der Programmiersprache Python umgesetzt. Sämtliche Vor- und Nachverarbeitungsschritte wurden in ArcGIS vorgenommen. Die Resultate verifizierten, dass der Algorithmus richtig funktioniert. Es zeigte sich jedoch auch, dass gewisse Probleme unumgänglich sind. So etwa ist es kaum möglich, dass alle Verarbeitungsorte noch die gewünschte Menge an Milch erhalten, wenn die gesamten Milchtouren neu verteilt werden.

8.2 Erkenntnisse

Bei der Analyse der Strassendaten und dem Ergebnis der Integration von verschiedenen Daten hat sich in Kapitel 4.3 und 7.1 gezeigt, dass eine Integration der Strassendaten nur für den Zweck der Zuordnung nicht unbedingt notwendig ist. Der Fehler durch einen nicht optimalen Strassendatensatz liegt nicht sehr hoch und auf die Zuordnung an sich dürfte der Fehler kaum einen Einfluss haben. Trotzdem darf nicht vernachlässigt werden, dass der Fehler, der dadurch eingeführt wird, auf die effektiven Kosten einen Einfluss von etwa 5% hat (siehe Kapitel 7.1).

Falls jedoch ein Routing mit diesen Daten geplant ist, müssten diese Grundlagedaten sicherlich noch erweitert werden. So hat sich zum Beispiel in Abbildung 4.6 gezeigt, dass es Situationen geben könnte, die nicht der Realität entsprechen und die damit einen Lastwagenchauffeur falsch leiten könnten. Würde man nur mit den MultiNet-Daten das Routing durchführen wollen, so ist deshalb zu erwarten, dass das Resultat aufgrund der Fehler kaum Akzeptanz finden würde.

Der erarbeitete Algorithmus dürfte so funktionieren wie zu erwarten war. Dies ist gut anhand der Abbildung 6.3 zu erkennen. Je stärker der Einfluss der Gehaltswerte bei der Zuordnung gewichtet wird, um so grösser sind die Mehreinnahmen. Das Ergebnis der Neuuzuordnung zeigt zudem auf, dass durch eine Neuuzuordnung wahrscheinlich ein Mehrertrag erwirtschaftet werden könnte, trotz einem längeren Weg für die Lastwagenfahrten (siehe Abbildung 6.6). Analysiert man die verschiedenen durchgerechneten Varianten, so muss gesagt werden, dass realistische Resultate nur für Variante 1 und Variante 3 berechnet wurden, da in Variante 2 die gefahrenen Wege zu lang waren, wie gut aus Abbildung 6.4 ersichtlich wird.

Am besten aus der Perspektive der Praxis wird aus diesem Grunde Variante 1 eingeschätzt. Dies kam ganz klar, bei der Validierung der Ergebnisse durch die Experten von

Emmi zum Ausdruck. Auch durch diese Variante können die Gehaltswerte der Milch optimiert werden, ohne dass die gefahrene Strecke zu stark zunimmt. Für Emmi bedeutet dies zudem, dass an den Zuteilungen der Bauernhöfe zu den Transporteuren nichts geändert werden müsste. Dies ist wichtig, da alles andere, also auch Variante 3, aufwändige Verhandlungen mit den Transporteuren mit sich bringen würde.

8.3 Offene Fragen

Für Variante 2 wurden in jedem Fall die Wege sehr viel länger als in den anderen Berechnungen, da bei der neu vorgenommenen Toureneinteilung die räumliche Komponente zu wenig stark miteinbezogen wurde. Dies ist insofern schade, als diese Variante sehr hohe Mehrgewinne berechnen konnte und für den Milchverarbeiter eher durchführbar wäre als Variante 3, da in Variante 2 gegenüber Variante 3 die Gebiete der Transporteure unverändert blieben und deshalb der gleiche Vorteil zum Tragen käme wie in Abschnitt 8.2 zu Variante 1 beschrieben. Es müsste somit noch eine andere Alternative gefunden werden, um die Routen optimal neu einzuteilen. Im Gespräch mit den Vertretern von Emmi kam zu Variante 2 der Vorschlag, dass eventuell in jedem Gebiet 1 bis 2 neue Touren mit Milch mit sehr hohen Gehaltswerten gebildet werden könnten, wobei der Rest belassen würde. Damit am Schluss jedoch die Kapazitäten an den einzelnen Verarbeitungsorten noch eingehalten werden können, würde dies wohl auch wieder zu starken Änderungen in der gesamten Zuordnung führen. Einen solchen Ansatz müsste man aus diesem Grund sicherlich noch weiterverfolgen und verfeinern.

Auch konnte die Arbeit nicht der Frage nachgehen, ob es eventuell bessere Methoden der Zuordnung und Tourenbildung gegeben hätte. Speziell wäre interessant gewesen, zu untersuchen, ob ein Ansatz, welcher die Zuordnung und das Routing in einem Schritt durchführt (siehe Kapitel 2.2.3), bessere Resultate geliefert hätte. Solche Abklärungen hätten den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

8.4 Ausblick

Bezüglich der Integration von verschiedenen Strassendaten wurde gefolgert, dass dies wahrscheinlich vonnöten ist, wenn ein konkretes Routing gemacht werden sollte. Insofern müsste dafür ein effektiver Ansatz entwickelt werden, der eine solche Integration für ein grosses Ge-

biet möglichst automatisch machen würde. Zwar gibt es diesbezügliche Forschungsarbeiten wie Lüscher (2006), jedoch wurde für die vorliegende Arbeit nichts Passendes gefunden.

Da die Variante 2 bezüglich eines möglichen Mehrgewinnes einiges besser ist als Variante 1, hat Emmi natürlich das Interesse, diese Variante umzusetzen. Insofern müsste versucht werden, einen Ansatz umzusetzen wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde.

Die Variante 1 scheint für den Milchverarbeiter umsetzbar zu sein und würde auch eine bessere Zuteilung der Milch zu den Verarbeitungsorten vornehmen. In der Folge müsste nun analysiert werden, ob eine solche Neuzuteilung überhaupt auch in der Realität wie prognostiziert spielen würde. Dies würde sicherlich von Seiten von Emmi an verschiedenen Orten operative Anpassungen mit sich bringen. Ein diskutierter Punkt ist diesbezüglich, dass die Transporteure im momentanen System nicht motiviert sind, längere Wege zu fahren, da sie dafür nicht mehr Geld erhalten. Würde man ein solches System umsetzen wollen, wäre dies etwas, was geändert werden müsste. Die Transportfirmen müssten für den Mehrweg entsprechend bezahlt werden, da sie ansonsten das Ganze gar nicht mitmachen würden.

Dem Milchverarbeiter steht somit nun eine wissenschaftlich fundierte Berechnung zur Verfügung, unter welchen Bedingungen sich eine solche neue Routenplanung lohnen könnte. Sämtliche Anpassungen und Tests müssten in der Folge direkt durch den Milchverarbeiter gemacht werden.

Literaturverzeichnis

- Basnet, C., L. Foulds und J. Wilson (1997). A decision aid for milk tanker run allocation. *Journal of the Operational Research Society* 48(8), S. 786–792.
- Bodin, L., B. Golden, A. Assad und M. Ball (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *COMP. & OPER. RES.* 10(2), S. 63–211.
- Bott, K. und R. Ballou (1986). Research perspectives in vehicle routing and scheduling. *TRANSPORT. RES.* 20(3), S. 239–243.
- Bundesamt für Landestopografie (2000). Vector 25: Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz. *Informationsbroschüre des Bundesamtes für Landestopografie der Schweiz, Wabern.*
- Bundesamt für Landestopografie (2003). Karten: Signaturen. *Informationsbroschüre des Bundesamtes für Landestopografie der Schweiz, Wabern.*
- Butler, M., P. Herlihy und P. Keenan (2005). Integrating information technology and operational research in the management of milk collection. *Journal of Food Engineering* 70(3), S. 341–349.
- Clemens, C. (1993). *Theoretische Grundlagen der Informatik*. Wien: Springer Verlag.
- Du, T., F. Wang und P. Lu (2007). A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs. *Transportation Research Part E* 43(5), S. 565–577.
- ESRI Inc (2005). Preparing Street Data for Use with the Network Dataset. *An ESRI Technical Paper.*
- ESRI Inc. (2008a). ArcGIS 9.2 Desktop Help. <http://webhelp.esri.com/>. Letzter Besuch: 14.04.2008.
- ESRI Inc. (2008b). ArcGIS Network Analyst. <http://www.esri.com/>. Letzter Besuch: 16.04.2008.
- ESRI Inc. (2008c). ArcLogistics Route. <http://www.esri.com/software/arclogistics/index.html>. Letzter Besuch: 16.04.2008.
- Foulds, L. und J. Wilson (1997). A variation of the generalized assignment problem arising in the New Zealand dairy industry. *Annals of Operations Research* 69, S. 105–114.
- Gillett, B. und L. Miller (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. *Operations Research* 22(2), S. 340–349.

- Giosa, I., I. Tansini und I. Viera (2002). New assignment algorithms for the multi-depot vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society* 53(9), S. 977–984.
- Gonzalez M., M. M. (1998). GIS and Logistics Tool for Milk Transportation in Dairy Industries.
- Goodchild, M. (2000). GIS and Transportation: Status and Challenges. *GeoInformatica* 4(2), S. 127–139.
- Kim, B., S. Kim und S. Sahoo (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers and Operations Research* 33(12), S. 3624–3642.
- Leser, H. (2001). *Wörterbuch Allgemeine Geographie*, Volume 12. München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH.
- Lim, A. und F. Wang (2005). Multi-depot vehicle routing problem: a one-stage approach. *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on [see also Robotics and Automation, IEEE Transactions on]* 2(4), S. 397–402.
- Lüscher, P. (2006). Matching von Strassendaten stark unterschiedlicher Masstaebe und Aufbau einer Multirepräsentationsdatenbank. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universitaet Zuerich.
- Lutz, M. (2006). *Programming Python*. O Reilly Media, Inc.
- Ruiz, R., C. Maroto und J. Alcaraz (2004). A decision support system for a real vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research* 153(3), S. 593–606.
- Schauer, H. (2007). Formale Grundlagen der Informatik. Vorlesungsunterlagen.
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research* 35(2), S. 254–265.
- Stigmar, H. (2005). Matching Route Data and Topographic Data in a Real-Time Environment. *Proceedings, ScanGIS 2005*.
- Tarantilis, C. und C. Kiranoudis (2007). A flexible adaptive memory-based algorithm for real-life transportation operations: Two case studies from dairy and construction sector. *European Journal of Operational Research* 179(3), S. 806–822.
- The JUMP-Project.Org (2005). The Jump Project. <http://www.jump-project.org/>. Letzter Besuch: 12.02.2008.
- Toth, P. (2001). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial & Applied Mathematics.
- von Goesseln, G. und M. Sester (2003). Change Detection and Integration of Topographic Updates from ATKIS to Geoscientific Data Sets. *International Conference on Next Generation Geospatial Information*. Boston, MA.
- Walter, V. (1997). *Zuordnung von raumbezogenen Daten: Am Beispiel der Datenmodelle ATKIS und GDF*. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der CH Beck schen Verlagsbuchhandlung.

- Walter, V. und D. Fritsch (1999). Matching spatial data sets: a statistical approach. *International Journal of Geographical Information Science* 13(5), S. 445–473.
- Waters, C. D. J. (1987). A Solution Procedure for the Vehicle-Scheduling Problem Based on Iterative Route Improvement. *The Journal of the Operational Research Society* 38(9), S. 833–839.
- Weigel, D. und B. Cao (1999). Applying GIS and OR Techniques to Solve Sears Technician-Dispatching and Home-Delivery Problems. *Interfaces* 29(1), S. 112–130.
- Xu, L. (2005). A decision support model based on GIS for vehicle routing. *Services Systems and Services Management, 2005. Proceedings of ICSSSM 05. 2005 International Conference on 2*.

A Ausgangsdaten

Betrieb	Ablade Nr	Artikel	Tour	Total	01.08.	02.08.	03.08.	04.08.	05.08.	...
Betrieb 1	123	Vollmilch	11	132'654.1	11'070.0				12'156.6	...
Betrieb 2	124	Vollmilch	11	58'333.2			12'058.0			...
Betrieb 3	122	Vollmilch	12	94'548.1		10'589.9		10'959.4		...
Betrieb 4	120	Vollmilch	12	63'528.8						...
Betrieb 5	125	Vollmilch	13	39'683.3						...
Betrieb 1	123	Vollmilch	13	242'445.3	14'386.3		15'357.9		15'663.9	...
Betrieb 1	123	Vollmilch	14	21'250.0						...
Betrieb 2	124	Vollmilch	14	223'583.9		16'709.3		16'074.8		...
Betrieb 3	122	Vollmilch	21	77'083.2	7'153.2				7'279.9	...
Betrieb 4	120	Vollmilch	21	27'710.6						...
Betrieb 1	123	Vollmilch	22	71'653.3		7'282.5		7'940.0		...
Betrieb 2	124	Vollmilch	22	55'474.9			7'320.6			...
Betrieb 1	123	Vollmilch	23	280'773.3	20'243.8		20'395.5		20'185.8	...
Betrieb 3	122	Vollmilch	24	294'939.2		21'087.5		20'977.9		...
Betrieb 2	124	Vollmilch	81	8'076.2		614.3		2'021.5		...
Betrieb 2	124	Vollmilch	43	155'052.0		16'495.0		16'036.0		...
Betrieb 1	123	Vollmilch	43	61'287.2						...
Betrieb 2	124	Vollmilch	44	108'272.0		15'223.0		16'070.0		...
Betrieb 3	122	Vollmilch	44	61'216.6						...
Betrieb 1	123	Vollmilch	67	43'782.0		12'837.0		15'176.0		...
Betrieb 3	122	Vollmilch	67	180'912.5						...
Betrieb 2	124	Vollmilch	89	173'770.2	15'122.4		20'959.8		16'601.7	...
Betrieb 3	122	Vollmilch	89	21'636.0						...
Betrieb 4	120	Vollmilch	89	50'784.4						...
Betrieb 2	124	Vollmilch	99	179'338.1	23'617.0				23'563.6	...
Betrieb 3	122	Vollmilch	99	17'582.0						...
Betrieb 4	120	Vollmilch	99	18'397.5			18'397.5			...
Betrieb 1	123	Vollmilch	99	85'443.8						...
Betrieb 2	124	Vollmilch	45	113'530.8		15'064.4		14'703.5		...
Betrieb 3	122	Vollmilch	45	56'334.5						...
Betrieb 4	125	Vollmilch	45	77'386.4						...
...

Abbildung A.1: Ausschnitt aus Zuordnungstabelle

Gen	CB	Art	Kunde	Sammelplatz	Transporteur	X	Y	Tour	Datum	Zeit	Lt	kg	Ø Fettgehalt	Ø Eiweissgehalt
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	01-Aug-07	0934	819.9	844.5	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	03-Aug-07	0850	846.9	872.3	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	05-Aug-07	0901	772.3	795.5	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	07-Aug-07	0928	739.4	761.6	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	09-Aug-07	0836	765.2	788.2	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	11-Aug-07	0854	770.5	793.6	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	13-Aug-07	0910	807.0	831.2	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	15-Aug-07	0943	829.4	854.3	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	17-Aug-07	0935	794.5	818.3	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	19-Aug-07	0855	813.4	837.8	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	21-Aug-07	0938	818.1	842.6	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	23-Aug-07	0947	808.5	832.8	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	25-Aug-07	0940	835.9	861.0	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	27-Aug-07	0933	834.2	859.2	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	29-Aug-07	0919	823.1	847.8	3.99	3.06
789	789185	Vollmilch	Bauer 1	157	Transporteur 1	616 910	228 679	5160	31-Aug-07	0935	776.3	799.6	3.99	3.06
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	01-Aug-07	0932	567.0	584.0	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	03-Aug-07	0847	569.4	586.5	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	05-Aug-07	0903	502.8	517.9	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	07-Aug-07	0926	450.9	464.4	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	09-Aug-07	0833	451.0	464.5	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	11-Aug-07	0856	525.0	540.8	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	13-Aug-07	0908	663.8	683.7	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	15-Aug-07	0940	631.6	650.5	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	17-Aug-07	0937	592.2	610.0	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	19-Aug-07	0851	616.5	635.0	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	21-Aug-07	0941	676.3	696.6	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	23-Aug-07	0943	653.9	673.5	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	25-Aug-07	0936	670.0	690.1	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	27-Aug-07	0930	660.3	680.1	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	29-Aug-07	0921	697.7	718.6	4.33	3.16
789	789187	Vollmilch	Bauer 2	157	Transporteur 1	616 893	229 510	5160	31-Aug-07	0932	671.3	691.4	4.33	3.16
789	789181	Vollmilch	Bauer 3	158	Transporteur 1	618 218	228 350	5160	01-Aug-07	0910	720.1	741.7	3.99	3.30
789	789181	Vollmilch	Bauer 3	158	Transporteur 1	618 218	228 350	5160	03-Aug-07	0916	709.3	730.6	3.99	3.30
...

Abbildung A.2: Ausschnitt aus Bauernhofabelle

B Resultate

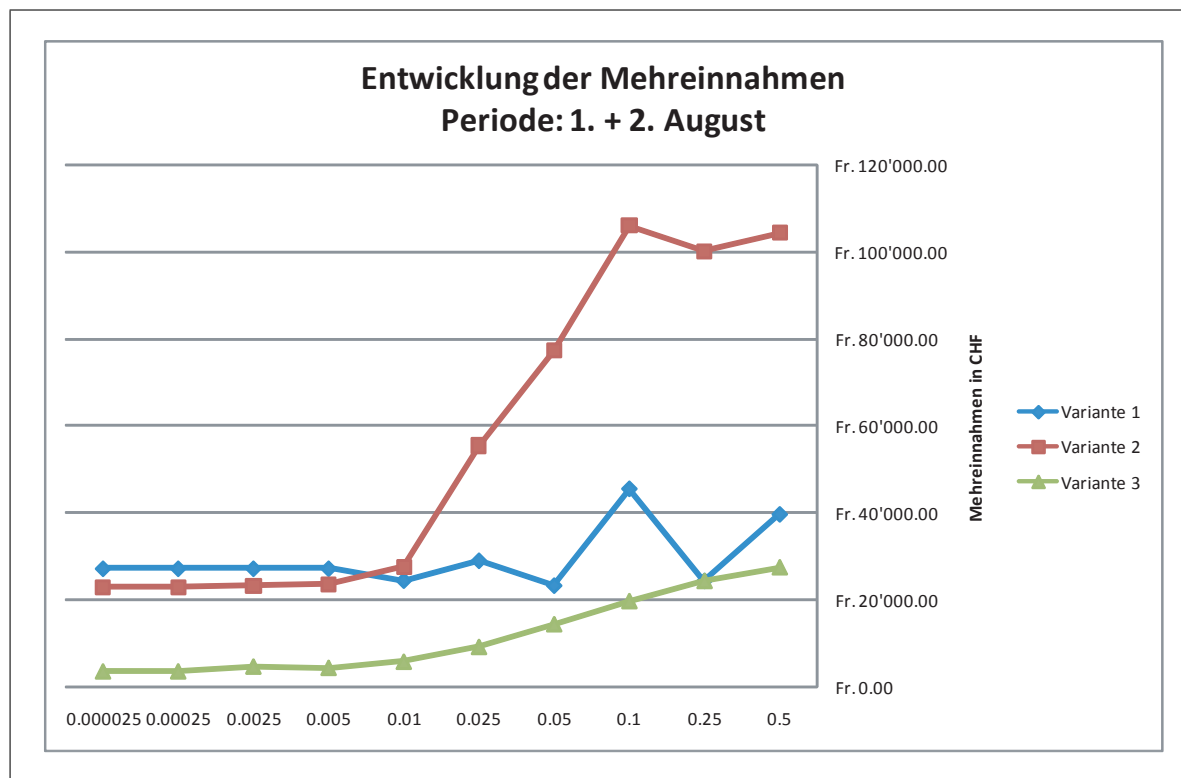


Abbildung B.1: Berechnete Mehreinnahmen August 2007

August	0.000025	0.00025	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5
Variante 1	-1'180.16	-1'180.16	-1'180.16	-1'204.70	-1'227.11	-1'241.45	-1'156.07	-1'025.86	161.76	1'745.38
Variante 2	3'599.01	3'599.01	3'586.89	3'607.57	3'712.84	3'910.24	4'197.11	4'780.47	6'198.50	7'015.20
Variante 2 - ALR	219.23	219.23	149.83	209.73	177.43	881.13	2'012.53	1'894.83	4'239.73	5'283.83
Variante 3	-110.37	-295.27	-295.27	-189.97	-124.87	-104.07	388.52	766.56	2'137.88	3'324.45
Original	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091	-1288.818091
Original optimiert	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0

Tabelle B.1: Mehrfahrten 1. und 2. August, 2007

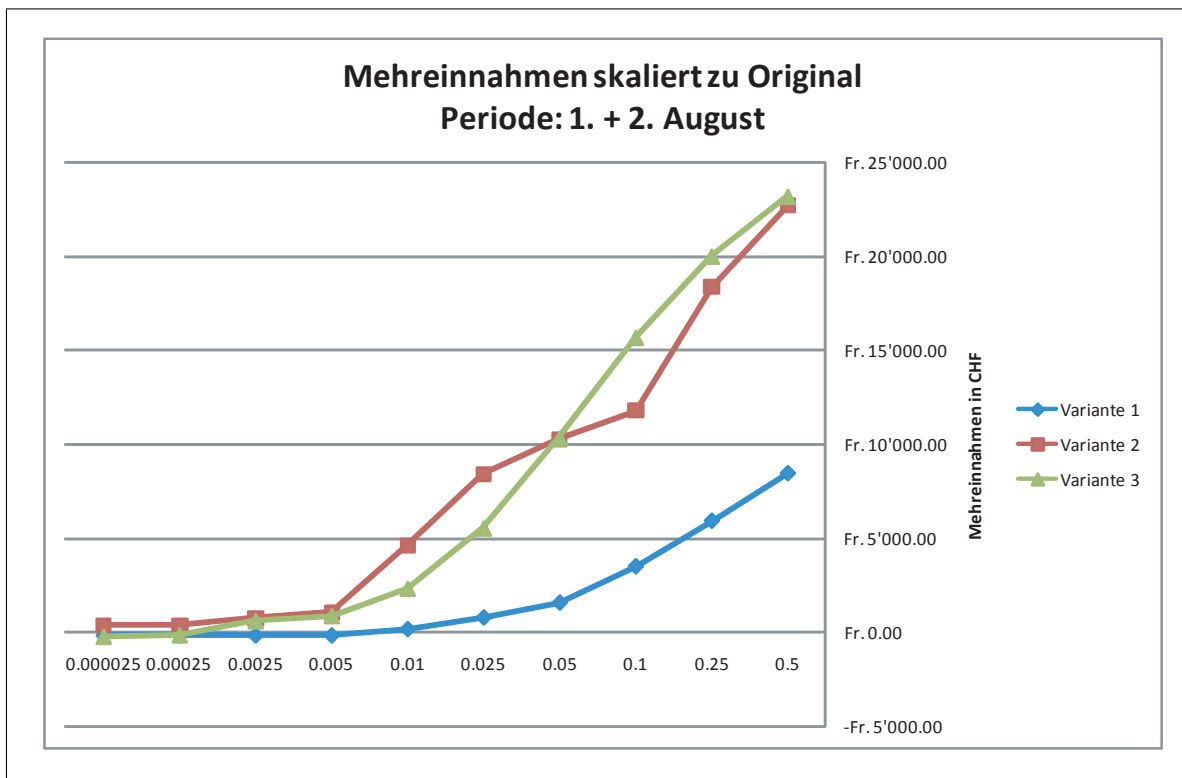


Abbildung B.2: Skalierte Mehreinnahmen August 2007

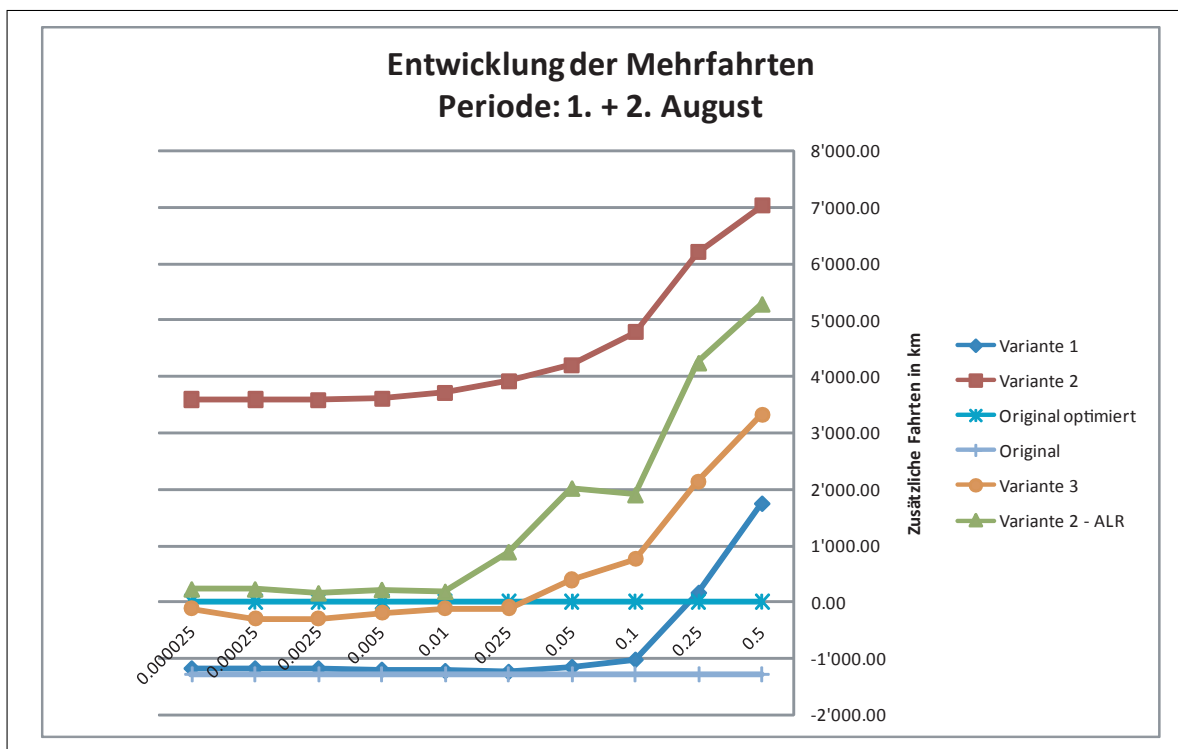


Abbildung B.3: Mehrfahrten 1. und 2. August, 2007

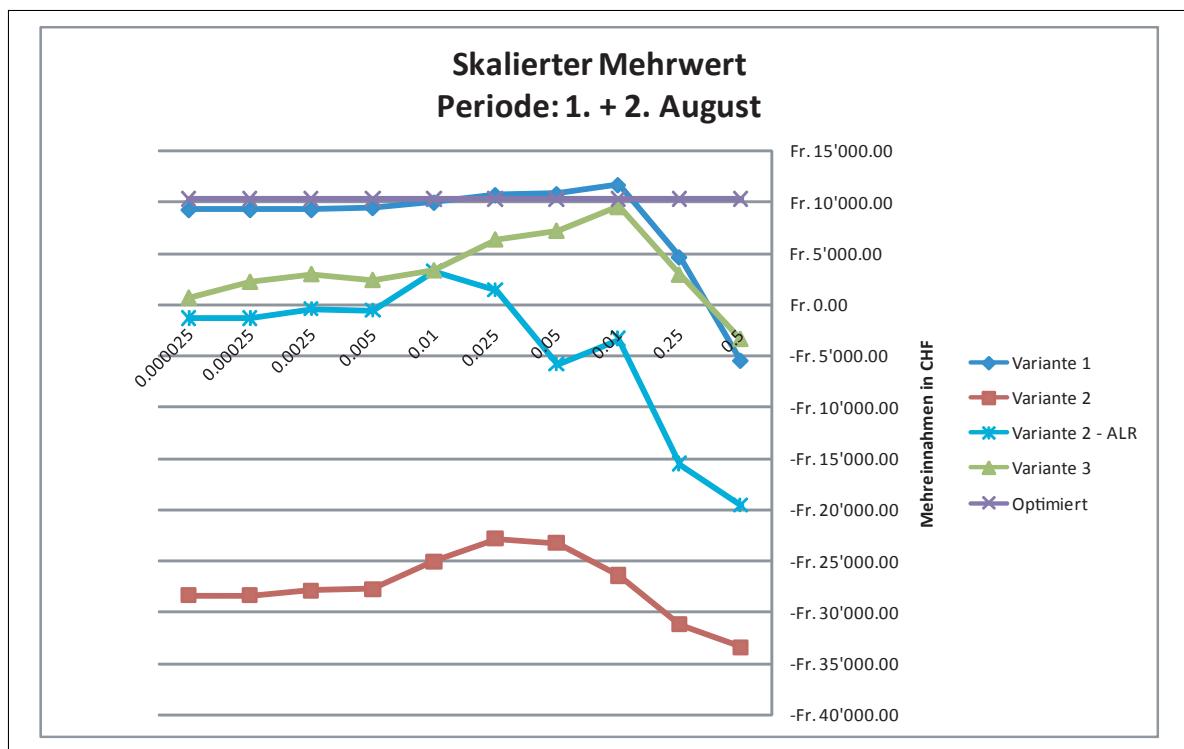


Abbildung B.4: Effektive Mehreinnahmen 1. und 2. August

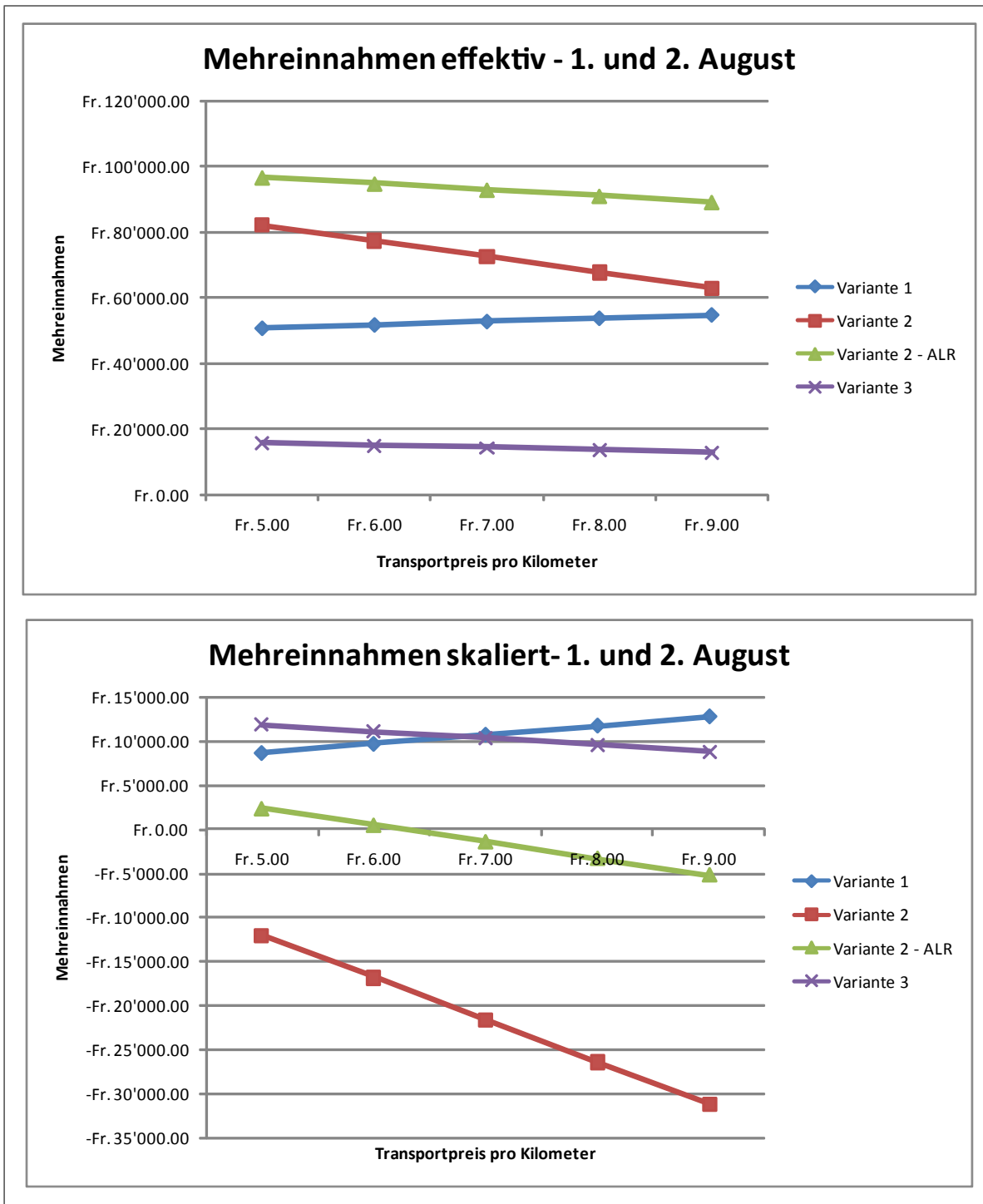


Abbildung B.5: Mehreinnahmen abhängig vom Transportpreis August 2007

B Resultate

	Betrieb Suhr	Betrieb Dagmersellen	Betrieb Bern	Betrieb Emmen	Betrieb Landquart	Gesamt
August 2007						
Original						
Menge [kg]	703310.3	101036.4	447541.6	149426.6	27302.8	1428617.7
Menge Eiweiss [kg]	22931.48016	3372.20165	14344.28597	4950.40678	935.11721	46533.49177
Menge Fett [kg]	28425.57139	4170.11824	18027.99076	6005.49111	1160.72383	57789.89533
Wert [Fr]	169939.718	97337.77563	643923.2902	343102.5308	75364.04876	Fr. 1'329'667.36
Kilometer	5290.228	671.549	2399.662	1292.943	272.99	9927.372
Kilometer, Streckenoptimiert						0
Kilometer, Zeitoptimiert	4477.791307	621.5580467	2205.150143	1071.386192	262.6682203	8638.553909
Wert pro Kg	0.241628365	0.96339315	1.438800975	2.296127536	2.760304758	7.700254784
Variante 1						
Menge [kg]	678085	109669	451969	150856	38033	1428612
Eiwissgehalt	3.243533571	3.232010619	3.193162383	3.319256634	3.32260497	16.31056818
Fettgehalt	4.018646335	3.995775788	4.014830484	4.032027078	4.035008712	20.0962884
Menge Eiweiss [kg]	21993.91462	3544.513726	14432.10409	5007.297788	1263.686348	46241.51657
Menge Fett [kg]	27249.838	4382.127349	18145.78919	6082.554769	1534.634864	57394.94417
Wert [Fr]	163499.028	105753.2341	650712.593	348392.0356	106873.6627	1375230.553
Unterschied Menge [kg]	-25225.3	8632.6	4427.4	1429.4	10730.2	-5.7
Unterschied Wert [Fr]	-6440.690029	8415.458443	6789.30278	5289.504753	31509.61398	Fr. 45'563.19
Unterschied Wert [%]	96.21%	108.65%	101.05%	101.54%	141.81%	103.43%
Kilometer	4507.775357	618.967957	2393.320124	904.1338477	477.3177956	8901.515081
Unterschied Kilometer	-782.4526434	-52.58104297	-6.341875927	-388.8091523	204.3277956	-1025.856919
Unterschied Strecke in Prozent	85%	92%	100%	70%	175%	90%
Wert pro Kg	0.24111878	0.964294687	1.439728373	2.309434398	2.810024525	7.764600763
	169581.3216	97428.86375	644338.3396	345090.93	76721.53759	1333160.993
Variante 2						
Menge [kg]	649057	114240	461108	157532	46675	1428612
Eiwissgehalt	3.211175438	3.294639531	3.187065948	3.391519725	3.421138725	16.50553937
Fettgehalt	4.00443261	4.042441176	4.006208085	4.07620803	4.052557472	20.18184737
Menge Eiweiss [kg]	20842.35896	3763.7962	14695.81605	5342.728853	1596.8165	46241.51657
Menge Fett [kg]	25991.05016	4618.0848	18472.94598	6421.332034	1891.5312	57394.94417
Wert [Fr]	155946.301	111873.9606	662549.8333	370906.0713	134475.5294	1435751.696
Unterschied Menge [kg]	-54253.3	13203.6	13566.4	8105.4	19372.2	-5.7
Unterschied Wert [Fr]	-13993.41706	14536.18497	18626.54307	27803.54051	59111.48064	Fr. 106'084.33
Unterschied Wert [%]	91.77%	114.93%	102.89%	108.10%	178.43%	107.98%
Kilometer	7007.715334	1216.78606	4836.870515	2100.413169	546.0588893	14707.84397
Unterschied Kilometer	1717.487334	545.2370603	1437.208515	807.4701689	273.0688893	4780.471967
Unterschied Strecke in Prozent	132.47%	181.19%	159.89%	162.45%	200.03%	148.15%
Wert pro Kg	0.240265957	0.979288871	1.436864755	2.354480812	2.881104004	7.892004399
	168981.522	98943.82207	643056.7513	351822.0626	78662.20641	1341466.364
Variante 3						
Menge [kg]	701214	101791	447392	150064	28151	1428612
Eiwissgehalt	3.212362217	3.268499758	3.197011813	3.396699337	3.511585379	16.5861585
Fettgehalt	3.991009385	4.05685277	4.017990841	4.088029268	4.152913928	20.30679619
Menge Eiweiss [kg]	22525.5336	3327.038589	14303.17509	5097.222892	988.5464	46241.51657
Menge Fett [kg]	27985.51655	4129.511003	17976.16958	6134.66024	1169.0868	57394.94417
Wert [Fr]	167913.0993	99459.71087	644809.2877	353963.182	83227.2896	1349372.569
Unterschied Menge [kg]	-2096.3	754.6	-149.6	637.4	848.2	-5.7
Unterschied Wert [Fr]	-2026.618751	2121.935242	885.997451	10860.65115	7863.24084	Fr. 19'705.21
Unterschied Wert [%]	98.81%	102.18%	100.14%	103.17%	110.43%	101.48%
Kilometer						10693.9299
Unterschied Kilometer	-5290.228	-671.549	-2399.662	-1292.943	-272.99	766.5579
Unterschied Strecke in Prozent	0%	0%	0%	0%	0%	108%
Wert pro Kg	0.239460563	0.977097296	1.441262445	2.358748147	2.956459437	7.973027888
	168415.0805	98722.39325	645024.9005	352459.7159	80719.62071	1345341.711

Tabelle B.2: Ergebnis 1. und 2. August 2007

	Betrieb Suhr	Betrieb Dagmersellen	Betrieb Bern	Betrieb Emmen	Betrieb Landquart	Gesamt
Februar 2008						
Original						
Menge [kg]	836187.8	82151.9	430503.3	169355.4	33758	1551956.4
Menge Eiweiss [kg]	28031.9075	2768.15902	14510.21112	5636.49644	1102.42961	52049.20369
Menge Fett [kg]	35654.1526	3535.03883	18653.04066	7086.60459	1368.82413	66297.66081
Wert [Fr]	213924.9156	83942.85126	659142.8215	395046.5593	93595.96226	Fr. 1'445'653.11
Kilometer	5144.186093	553.7907486	1909.056534	1223.55879	295.1906685	9125.782834
Kilometer, Streckenoptimiert						0
Kilometer, Zeitoptimiert						0
Wert pro Kg	0.255833577	1.021800485	1.531098186	2.332648143	2.772556498	7.913936888
Variante 1						
Menge [kg]	819889	87527	427149	179057	38338	1551960
Eiweissgehalt	3.342834775	3.382426223	3.380542535	3.383689067	3.339637696	16.8291303
Fettgehalt	4.252023892	4.323371645	4.358271167	4.258097559	4.179922531	21.37168679
Menge Eiweiss [kg]	27407.53461	2960.5362	14439.95363	6058.732134	1280.3503	52147.10688
Menge Fett [kg]	34861.87617	3784.1175	18616.31171	7624.421747	1602.4987	66489.22582
Wert [Fr]	209171.257	89817.453	656594.3494	424723.3283	108854.5054	1489160.893
Unterschied Menge [kg]	-16298.8	5375.1	-3354.3	9701.6	4580	3.599999999
Unterschied Wert [Fr]	-4753.658604	5874.60174	-2548.472099	29676.76903	15258.54314	Fr. 43'507.78
Unterschied Wert [%]	97.78%	107.00%	99.61%	107.51%	116.30%	103.01%
Kilometer	4998.376507	655.9050902	1917.592813	1531.597821	525.6567588	9629.128989
Unterschied Kilometer	-145.8095866	102.1143416	8.536279049	308.0390315	230.4660903	503.3461558
Unterschied Strecke in Prozent	97.17%	118.44%	100.45%	125.18%	178.07%	105.52%
Wert pro Kg	0.255121434	1.026168531	1.5371553	2.372000694	2.839337091	8.02978305
	213329.4302	84301.69453	661750.4294	401711.1264	95850.34152	1456943.022
Variante 2						
Menge [kg]	816248	85457	441043	169362	39850	1551960
Eiweissgehalt	3.298483473	3.470361784	3.36330719	3.544564837	3.56551468	17.24223196
Fettgehalt	4.225056999	4.325012302	4.336598769	4.380207012	4.420540276	21.68741536
Menge Eiweiss [kg]	26923.80538	2965.66707	14833.63093	6003.1459	1420.8576	52147.10688
Menge Fett [kg]	34486.94325	3696.025763	19126.26531	7418.4062	1761.5853	66489.22582
Wert [Fr]	206921.6595	88837.3152	674524.1116	419193.8989	120599.0556	1510076.041
Unterschied Menge [kg]	-19939.8	3305.1	10539.7	6.6	6092	3.599999999
Unterschied Wert [Fr]	-7003.256099	4894.463944	15381.2901	24147.33962	27003.09334	Fr. 64'422.93
Unterschied Wert [%]	96.73%	105.83%	102.33%	106.11%	128.85%	104.46%
Kilometer	8597.755355	914.8235718	3743.029998	2211.009759	535.7775559	16002.39624
Unterschied Kilometer	3453.569262	361.0328232	1833.973464	987.4509698	240.5868874	6876.613407
Unterschied Strecke in Prozent	167%	165%	196%	181%	182%	175%
Wert pro Kg	0.25350342	1.039555744	1.529384009	2.475135502	3.026325109	8.323903784
	211976.467	85401.47952	658404.863	419177.563	102162.683	1477123.056
Variante 3						
Menge [kg]	833936	82957	430474	169984	34609	1551960
Eiweissgehalt	3.30577112	3.414934966	3.375372039	3.5134988	3.593513248	17.20309017
Fettgehalt	4.220966838	4.405624601	4.354895419	4.343850009	4.34496027	21.67029714
Menge Eiweiss [kg]	27568.01545	2832.9276	14530.09903	5972.3858	1243.679	52147.10688
Menge Fett [kg]	35200.16201	3654.774	18746.69251	7383.85	1503.7473	66489.22582
Wert [Fr]	211200.9721	86351.202	660863.281	417087.419	105102.4976	1480605.372
Unterschied Menge [kg]	-2251.8	805.1	-29.3	628.6	851	3.599999999
Unterschied Wert [Fr]	-2723.943523	2408.35074	1720.459501	22040.85972	11506.53534	Fr. 34'952.26
Unterschied Wert [%]	98.73%	102.87%	100.26%	105.58%	112.29%	102.42%
Kilometer						10593.4
Unterschied Kilometer	-5144.186093	-553.7907486	-1909.056534	-1223.55879	-295.1906685	1467.617166
Unterschied Strecke in Prozent	0%	0%	0%	0%	0%	116%
Wert pro Kg	0.25325801	1.040915197	1.535199062	2.453686341	3.036854506	8.319913116
	211771.2585	85513.16117	660908.2624	415545.0318	102518.1344	1476255.848

Tabelle B.3: Ergebnis 4. und 5. Februar 2008

C Code

C.1 Code von Variante 3

```
#
# -----
# zuordnung.py
# Autor: Lorenz Dolder, Universitaet Zuerich, lorenzolder@gmail.com
# Datum: September 2007 – Mai 2008
# Skript ordnet Bauernhoefe den Gehaltsprioritaeten der verschiedenen Verarbeitungsorte diesen zu.
#
# -----

# Import verschiedener benoetigter Module

import sys, string, os, arcgisscripting, struct, datetime, decimal, itertools, csv
from cStringIO import StringIO
from operator import itemgetter
import time
from random import *

# Erstellen des Geoprocessing Objektes
gp = arcgisscripting.create()
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Data Management Tools.tbx")

gp.overwriteoutput = 1
# Definition der Variablen
Ext_HD = sys.argv[3]
Hoefe = Ext_HD + ":\20080206\test\bau_mai.dbf"

#Prioritaetsfaktor fuer Aufteilung der Touren auf die Standorte
faktorBetriebSuhr_ursp = float(sys.argv[5])      # Suhr
faktorBetriebDagmersellen_ursp = float(sys.argv[6]) # Dagmersellen
faktorBetriebBern_ursp = float(sys.argv[7])      # Bern
faktorBetriebEmmen_ursp = float(sys.argv[8])     # Emmen
faktorBetriebLandquart_ursp = float(sys.argv[9])  # Landquart

kilometerpreis = float(sys.argv[4])/100
marge = float(sys.argv[10])

zuordnung_rang = [0,0,0,0,0]
bauern_zuordnung = list([])
menge_fett = float(0)
menge_milch = float(0)
menge_eiweiss = float(0)
Origin = 2
Destination = 1
Fettgehalt = 37
Eiweissgehalt = 38
Liter = 35
Kilo = 36
Laenge = 39
L_Wert = 40
Rang = 41
Bauernhofnummer = 1
Zuordnung_Wert = 0
Pref_1 = 2
Pref_2 = 3
Pref_3 = 4
Pref_4 = 5
Pref_5 = 6
korrFaktor_save =[0,0,0,0,0]
Zuordnung = 7
Menge = 8
Milchpreis = 63.3

# Nummer des Bauernhofes
# Nummer des Verarbeitungsortes
# Fettgehalt der Milch (Gerechnet *100, damit es keine Kommastellen gibt)
# Eiweissgehalt der Milch (Gerechnet *100, damit es keine Kommastellen gibt)
# Menge Milch in Liter
# Menge Milch in Kilogramm
# Berechnete Laenge zwischen Bauernhof und Verarbeitungsort
# Berechneter Faktor fuer die Zuordnung der Bauernhoefe
# Berechnete Prioritaetsstufe fuer diese Zuordnung

# Preis fuer Milch – Rappen pro Liter

# Methode um dbf files einzulesen und als Liste abzuspeichern, Quelle: http://www.mezogis.org/files/mezogis-0.1.5.tar.gz
# Die Methode wird weiter unten gebraucht.
```

```

def dbfreader(f):
    """Returns an iterator over records in a Xbase DBF file.

    The first row returned contains the field names.
    The second row contains field specs: (type, size, decimal places).
    Subsequent rows contain the data records.
    If a record is marked as deleted, it is skipped.

    File should be opened for binary reads.

    """
    # See DBF format spec at:
    # http://www.pgts.com.au/download/public/xbase.htm#DBF_STRUCT

    numrec, lenheader = struct.unpack('<xxxLH22x', f.read(32))
    numfields = (lenheader - 33) // 32

    fields = []
    for fieldno in xrange(numfields):
        name, typ, size, deci = struct.unpack('<11sc4xBB14x', f.read(32))
        name = name.replace('\0', '') # eliminate NULs from string
        fields.append((name, typ, size, deci))
    yield [field[0] for field in fields]
    yield [tuple(field[1:]) for field in fields]

    terminator = f.read(1)
    assert terminator == '\r'

    fields.insert(0, ('DeletionFlag', 'C', 1, 0))
    fmt = ''.join(['%ds' % fieldinfo[2] for fieldinfo in fields])
    fmtsiz = struct.calcsize(fmt)
    for i in xrange(numrec):
        record = struct.unpack(fmt, f.read(fmtsiz))
        if record[0] != '':
            continue # deleted record
        result = []
        for (name, typ, size, deci), value in itertools.zip(fields, record):
            if name == 'DeletionFlag':
                continue
            if typ == "N":
                value = value.replace('\0', '').rstrip()
                if value == '':
                    value = 0
            elif deci:
                value = decimal.Decimal(value)
            else:
                value = int(value)
            elif typ == 'D':
                y, m, d = int(value[:4]), int(value[4:6]), int(value[6:8])
                value = datetime.date(y, m, d)
            elif typ == 'L':
                value = (value in 'YyTt' and 'T') or (value in 'NnFf' and 'F') or '?'
            result.append(value)
        yield result

# Einlesen der Daten des .dbf Files mit dem Resultat der OD Kostenmatrix Berechnung
# -----

gp.AddMessage("Einlesen der Daten...")
filename = Hoefe
f = open(filename, 'rb')
bauernhofe = list(dbfreader(f)) # Abspeichern der eingelesenen Liste unter der Variable bauernhof
f.close()
gp.AddMessage("Daten eingelesen")
gp.AddMessage("+++++")

# Berechnen des Durchschnittlichen Fettgehaltes, sowie Eiweissgehaltes
# -----

gp.AddMessage("Berechnen der Durchschnittswerte...")
i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    if i[Fettgehalt] != 0: # In die Berechnung sollen Bauernhöfe die einen Fettgehalt von 0 haben
        nicht_mitebezogen_werden (Es sind immer auch Eiweissgehalte gleich 0, wenn Fettgehalt 0 ist)
        menge_fett = menge_fett + float(i[Fettgehalt])*float(i[Kilo])
        menge_eiweiss = menge_eiweiss + float(i[Eiweissgehalt])*float(i[Kilo])
        menge_milch = menge_milch + float(i[Kilo])

durch_fettgehalt = menge_fett/menge_milch
durch_eiweissgehalt = menge_eiweiss/menge_milch
gp.AddMessage("Durchschnittswerte berechnet")
gp.AddMessage("+++++")

```

```

# Fuer die weitere Berechnung wird dort wo die Gehaltswert 0 sind, die Durchschnittswerte eingefügt.
# -----

gp.AddMessage("Einfuegen der Durchschnittswerte in Datenlücken...")
i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    if i[Fettgehalt]==0:
        i[Fettgehalt]=durch_fettgehalt
        i[Eiweissgehalt]=durch_eiweissgehalt

gp.AddMessage("Einfuegen erfolgreich")
gp.AddMessage("+++++")

#Die Kapazitaeten der einzelnen Verarbeitungsorte wird berechnet.
#Zuerst wird die Menge Milch die an diesem Tag kommt berechnet, und danach anteilsmaessig verteilt
gp.AddMessage("Berechnen der Kapazitaeten der Verarbeitungsorte...")
kapazitaet = 0

for kap in bauernhofe[2:]:
    kapazitaet = kapazitaet + kap[Kilo]/5
    kap[Rang]=0

kapazitaetSuhr = kapazitaet*0.53879+1000           #Mai 0.54
kapazitaetDagmersellen = kapazitaet*0.05293+1000 #Mai 0.05
kapazitaetBern = kapazitaet*0.27739+1000        #Mai 0.28
kapazitaetEmmen = kapazitaet*0.10912+1000       #Mai 0.11
kapazitaetLandquart = kapazitaet*0.02175+1000   #Mai 0.02

Kap = [kapazitaetSuhr, kapazitaetDagmersellen, kapazitaetBern, kapazitaetEmmen, kapazitaetLandquart]

gp.AddMessage("Kapazitaeten der Verarbeitungsorte berechnet")
gp.AddMessage("+++++")

faktorBetriebSuhr = faktorBetriebSuhr_ursp           #*uniform(1, 10)
faktorBetriebDagmersellen = faktorBetriebDagmersellen_ursp #*uniform(1, 10)
faktorBetriebBern = faktorBetriebBern_ursp           #*uniform(1, 10)
faktorBetriebEmmen = faktorBetriebEmmen_ursp         #*uniform(1, 10)
faktorBetriebLandquart = faktorBetriebLandquart_ursp #*uniform(1, 10)

#Berechnen des Zuordnungswertes, fuer die Zuteilung der Hoefe
gp.AddMessage("Zuordnungswerte werden berechnet...")
i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    if i[Rang]<1:
        Wert_prov = 0
        Wert=0
        korrFaktor_save =[0,0,0,0,0]
        zuordnung_rang = [0,0,0,0,0]
        z = 0
        korrFaktor = 0.00
        bauernhof = i[Origin]
        j=0
        for j in bauernhofe[2:]:
            if j[Origin]==bauernhof:
                korrFaktor = 0
                normalisierung = 1 # Berechnen eines Normalisierungsfaktorees (8.1 ist der maximale Milchzuschlag)
                . Die Normalisierung waere der Zuschlag wenn alle Milch den maximalen Zuschlag erhalten wuerde
                # Korrigieren des Zuschlages, so dass er dem Abladeort entspricht
                if j[Destination] == 1:
                    korrFaktor = (((((j[Kilo]*(float(j[Eiweissgehalt])/10000)*faktorBetriebSuhr)+(j[Kilo]*float(j[Fettgehalt])/10000)*6)-((j[Kilo]*(durch_eiweissgehalt/10000)*faktorBetriebSuhr)+(j[Kilo]*durch_fettgehalt/10000)*6)))*marge)/kilometerpreis

                    if korrFaktor<0:
                        korrFaktor=0
                    korrFaktor_save[0] = korrFaktor
                if j[Destination] == 2:
                    korrFaktor = (((((j[Kilo]*(float(j[Eiweissgehalt])/10000)*faktorBetriebDagmersellen)+(j[Kilo]*float(j[Fettgehalt])/10000)*12)-((j[Kilo]*(durch_eiweissgehalt/10000)*faktorBetriebDagmersellen)+(j[Kilo]*durch_fettgehalt/10000)*12)))*marge)/kilometerpreis

                    if korrFaktor<0:
                        korrFaktor=0
                    korrFaktor_save[1] = korrFaktor
                if j[Destination] == 3:
                    korrFaktor = (((((j[Kilo]*(float(j[Eiweissgehalt])/10000)*faktorBetriebBern)+(j[Kilo]*float(j[Fettgehalt])/10000)*12)-((j[Kilo]*(durch_eiweissgehalt/10000)*faktorBetriebBern)+(j[Kilo]*durch_fettgehalt/10000)*12)))*marge)/kilometerpreis

                    if korrFaktor<0:
                        korrFaktor=0
                    korrFaktor_save[2] = korrFaktor
                if j[Destination] == 4:

```

```
korrFaktor = (((((j [Kilo])*(float(j [Eiweissgehalt])/10000)*faktorBetriebEmmen)+(j [Kilo]* float(j [
Fettgehalt ])/10000)*12)-((j [Kilo ]*( durch_eiweissgehalt/10000)*faktorBetriebEmmen)+(j [Kilo ]*
durch_fettgehalt/10000)*12)))*marge)/kilometerpreis

if korrFaktor<0:
    korrFaktor=0
korrFaktor_save[3] = korrFaktor
if j [Destination] == 5:
    korrFaktor = (((((j [Kilo])*(float(j [Eiweissgehalt])/10000)*faktorBetriebLandquart)+(j [Kilo]* float(j [
Fettgehalt ])/10000)*12)-((j [Kilo ]*( durch_eiweissgehalt/10000)*faktorBetriebLandquart)+(j [Kilo ]*
durch_fettgehalt/10000)*12)))*marge)/kilometerpreis

if korrFaktor<0:
    korrFaktor=0
korrFaktor_save[4] = korrFaktor

try:
    #Berechnen des Zuordnungswertes
    Wert = j [Laenge]-(korrFaktor)
except:
    gp.AddMessage( "fail")
    gp.AddMessage( j [Laenge])
    gp.AddMessage( j )
    Wert = 0

zuordnung_rang[z] = Wert

Wert_prov = Wert_prov + Wert

z = z + 1

#Sortieren der Zuordnungsfaktoren eines Bauernhofes. Dies damit man weiss welches der naechstgelegene Hof ist und
auch die weitere Reihenfolge
zuordnung_rang.sort()

#Subtrahieren der Distanzen des naechstgelegenen Hofes, von der Gesamtdistanz
Wert_prov = Wert_prov - 5*zuordnung_rang[0]

s = 0
j=0
for j in bauernhofe [2:]:
    if j [Origin]==bauernhof:
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [0]))==zuordnung_rang [0]:
            j [Rang] = 1
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [1]))==zuordnung_rang [0]:
            j [Rang] = 1
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [2]))==zuordnung_rang [0]:
            j [Rang] = 1
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [3]))==zuordnung_rang [0]:
            j [Rang] = 1
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [4]))==zuordnung_rang [0]:
            j [Rang] = 1
            j [L_Wert]=Wert_prov

        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [0]))==zuordnung_rang [1]:
            j [Rang] = 2
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [1]))==zuordnung_rang [1]:
            j [Rang] = 2
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [2]))==zuordnung_rang [1]:
            j [Rang] = 2
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [3]))==zuordnung_rang [1]:
            j [Rang] = 2
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [4]))==zuordnung_rang [1]:
            j [Rang] = 2
            j [L_Wert]=Wert_prov

        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [0]))==zuordnung_rang [2]:
            j [Rang] = 3
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [1]))==zuordnung_rang [2]:
            j [Rang] = 3
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [2]))==zuordnung_rang [2]:
            j [Rang] = 3
            j [L_Wert]=Wert_prov
        if (j [Laenge]-(korrFaktor_save [3]))==zuordnung_rang [2]:
            j [Rang] = 3
```

```

        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[4])==zuordnung_rang[2]:
        j[Rang] = 3
        j[L_Wert]=Wert_prov

    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[0])==zuordnung_rang[3]:
        j[Rang] = 4
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[1])==zuordnung_rang[3]:
        j[Rang] = 4
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[2])==zuordnung_rang[3]:
        j[Rang] = 4
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[3])==zuordnung_rang[3]:
        j[Rang] = 4
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[4])==zuordnung_rang[3]:
        j[Rang] = 4
        j[L_Wert]=Wert_prov

    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[0])==zuordnung_rang[4]:
        j[Rang] = 5
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[1])==zuordnung_rang[4]:
        j[Rang] = 5
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[2])==zuordnung_rang[4]:
        j[Rang] = 5
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[3])==zuordnung_rang[4]:
        j[Rang] = 5
        j[L_Wert]=Wert_prov
    if (j[Laenge]-(korrFaktor_save[4])==zuordnung_rang[4]:
        j[Rang] = 5
        j[L_Wert]=Wert_prov
gp.AddMessage("Werte fuer Zuordnung berechnet")
gp.AddMessage("+++++")

gp.AddMessage("Erstellen der definitiven Zuordnung...")
z = 0
i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    t = 0
    check_hof = i[Origin]
    Z_Wert = i[L_Wert]
    prio = i[Rang]
    center = i[Destination]
    j=0
    for j in bauern_zuordnung:
        if j[Bauernhofnummer] == check_hof:
            t = 1
            j[Zuordnung_Wert] = Z_Wert
            if prio == 1:
                j[Pref_1]=center
            if prio == 2:
                j[Pref_2]=center
            if prio == 3:
                j[Pref_3]=center
            if prio == 4:
                j[Pref_4]=center
            if prio == 5:
                j[Pref_5]=center
    eiw = float(0)
    fett = float(0)
    eiw = float(i[Eiweissgehalt])
    fett = float(i[Fettgehalt])
    if t == 0:
        if prio == 1:
            bauern_zuordnung.append([[i[Origin],center,0,0,0,0, i[Kilo], eiw, fett])
        if prio == 2:
            bauern_zuordnung.append([[i[Origin],0,center,0,0,0,0, i[Kilo], eiw, fett])
        if prio == 3:
            bauern_zuordnung.append([[i[Origin],0,0,center,0,0,0, i[Kilo], eiw, fett])
        if prio == 4:
            bauern_zuordnung.append([[i[Origin],0,0,0,center,0,0, i[Kilo], eiw, fett])
        if prio == 5:
            bauern_zuordnung.append([[i[Origin],0,0,0,0,center,0, i[Kilo], eiw, fett])

    z = z + 1
gp.AddMessage("File mit zuordnung abgefuellt")

bauern_zuordnung.sort(reverse = True)

i=0
for i in bauern_zuordnung:

```

```

if (Kap[i[Pref_1]-1]-i[Menge]>0):
    i[Zuordnung]=i[Pref_1]
    Kap[i[Pref_1]-1] = Kap[i[Pref_1]-1] - i[Menge]
elif (Kap[i[Pref_2]-1]-i[Menge]>0):
    i[Zuordnung]=i[Pref_2]
    Kap[i[Pref_2]-1] = Kap[i[Pref_2]-1] - i[Menge]
elif (Kap[i[Pref_3]-1]-i[Menge]>0):
    i[Zuordnung]=i[Pref_3]
    Kap[i[Pref_3]-1] = Kap[i[Pref_3]-1] - i[Menge]
elif (Kap[i[Pref_4]-1]-i[Menge]>0):
    i[Zuordnung]=i[Pref_4]
    Kap[i[Pref_4]-1] = Kap[i[Pref_4]-1] - i[Menge]
elif (Kap[i[Pref_5]-1]-i[Menge]>0):
    i[Zuordnung]=i[Pref_5]
    Kap[i[Pref_5]-1] = Kap[i[Pref_5]-1] - i[Menge]
else:
    gp.AddMessage("Keine Zuordnung möglich")

gp.AddMessage("Definitive Zuordnung erstellt")
gp.AddMessage("+++++")

fieldnames, records = ["L_Wert", "Bauernhof_ID", "Dest1", "Dest2", "Dest3", "Dest4", "Dest5", "Zuordnung", "Menge", "
Eiwessgehalt", "Fettgehalt"], bauern_zuordnung[0:]

# abspeichern in CSV
gp.AddMessage('.') + 20)
f = open(Ext_HD + r':\20080206\zuordnung_hof\abstaende_' + p + '.txt', 'w')
csv.writer(f, dialect='excel', delimiter=',').writerow(fieldnames)
csv.writer(f, dialect='excel', delimiter=',').writerows(records)
f.close()

# Process: Add Join ...
name = Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof//abstaende_' + num_max + '.txt'

try:
    gp.TableToTable_conversion(name, Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof', "bauern")
    gp.AddMessage("ok1")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    gp.maketableView_management(Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof//bauern', "bauern_table", "", "")
    gp.AddMessage("ok2")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    gp.addField("bauern_table", "idbauern", "DOUBLE", "", "", "", "", "NON_NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
    gp.AddMessage("ok3")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    gp.calculatefield(Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof//bauern', "IDBAUERN", "[Bauernhof_ID]", "VB", "")
    gp.AddMessage("ok4")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    gp.maketableView_management(Ext_HD + '://20080206//test//bau_mai.dbf', "bauern_tab", "", "")
    gp.AddMessage("ok2")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    outfe=gp.AddJoin_management("bauern_tab", "baua_ID", Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof//bauern', "IDBAUERN" )

    gp.AddMessage("ok5.5")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    outfe=gp.AddJoin_management(sys.argv[1], "CB", "bauern_tab", "bau_mai.baua_CB" )

    gp.AddMessage("ok5")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages(2))
try:
    # Process: FeatureClass To FeatureClass ...
    gp.FeatureClassToFeatureClass_conversion(outfe, Ext_HD + '://20080206//zuordnung_hof', "resultat.shp")
    gp.AddMessage("ok6")
except:
    gp.AddMessage(gp.GetMessages())

```

C.2 Zusammenfassen der Höfe zu Touren

```

# In einer ersten Schleife muessen die einzelnen Touren bestimmt werden

i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    if i[Fettgehalt]==0:
        i[Fettgehalt]= durch_fettgehalt
        i[Eiweissgehalt]= durch_eiweissgehalt
        tourAktuell = i[Tour] # Bestimmen der Tour
        destAktuell = i[Destination] # Bestimmen des Abladeortes
        j=0
        tt=0
        for j in tourenAlle[1:]:
            if tourAktuell == j[0]:
                if destAktuell == j[8]:
                    j[1]=j[1]+i[Kilo] # Aufsummieren der Menge Milch (Mit
                        Kilogrammen wird gerechnet)
                    j[2]=j[2]+float(i[Fettgehalt])/100*float(i[Kilo]) # Aufsummieren des Fettes (In Kilogramm)
                    j[3]=j[3]+float(i[Eiweissgehalt])/100*float(i[Kilo]) # Aufsummieren des Eiweisses (In Kilogramm)
                    j[6].append(i[Laenge]) # Aufsummieren der Distanz, fuer jede
                        Tour wird immer die Distanz von jedem Bauernhof zur Zentrale gerechnet
                    j[7]=j[7]+1 # Zaehler, damit man weiss aus wievielen
                        Hoefen die Tour besteht.
                tt=1
            if tt == 0:
                tourenAlle.append([tourAktuell, i[Kilo], float(i[Fettgehalt])/100*float(i[Kilo]), float(i[Eiweissgehalt])/100*
                    float(i[Kilo]), .0, .0, list([i[Laenge]]), 1, destAktuell, 0, 0]) # Falls Tour noch nicht im Datensatz ist,
                    muss dieser noch generiert werden

# In der zweiten Schlaufe koennen dann die Gehaltswerte der Touren berechnet werden

i=0
for i in tourenAlle[1:]:
    if i[1]!= 0:
        i[4]=float(i[2])/float(i[1]) # Berechnen des Fettgehaltes
        i[5]=float(i[3])/float(i[1]) # Berechnen des Eiweissgehalte
        i[6]=median(i[6]) # Berechnen der durchschnittlichen
            Laenge

gp.AddMessage( "Touren bestimmt")
gp.AddMessage( "+++++")

```

C.3 Neueinteilen der Touren

```

i=0
for i in bauernhofe[2:]:
    if i[Fettgehalt]==0:
        i[Fettgehalt]= durch_fettgehalt
        i[Eiweissgehalt]= durch_eiweissgehalt
    tourAktuell = i[Tour]
    destAktuell = i[Destination]
    j=0
    tt=0
    for j in tourenAlle_1[1:]:
        if tourAktuell == j[0]:
            if destAktuell == j[8]:
                j[1]=j[1]+i[Kilo]
                j[12]=20000
                j[2]=j[2]+i[Fettgehalt]/100*i[Kilo]/100
                j[3]=j[3]+i[Eiweissgehalt]/100*i[Kilo]/100
                j[6]=j[6]+i[Laenge]
                j[7]=j[7]+1
                tt=1
    if tt == 0:
        tourenAlle_1.append([tourAktuell, float(i[Kilo]), float(i[Fettgehalt])/100*float(i[Kilo])/100, float(i[Eiweissgehalt])/100*float(i[Kilo])/100, .0, .0, float(i[Laenge]), 1, i[Destination], 0, 0, 0, 0, i[Transporteur]])

j=0
tt=0
for j in tourenAlle[1:]:
    if tourAktuell == j[0]:
        if destAktuell == j[8]:
            tt=1
if tt == 0:
    tourenAlle.append([tourAktuell, .0, .0, .0, .0, .0, .0, 1, i[Destination], 0, 0, 0])

Wert_prov = 0
z = 0
korrFaktor = 0.00
bauernhof = i[Origin]

korrFaktor = 0

if i[Kilo]==0:
    i[Kilo]= 1

# Korrigieren des Zuschlages, so dass er dem Abladeort entspricht
if i[Destination] == 1:
    korrFaktor = ((i[Kilo]*i[Eiweissgehalt]/100)*faktorBetriebSuhr)+(i[Kilo]*i[Fettgehalt]/100)*6/i[Kilo]/100
if i[Destination] == 2:
    korrFaktor = ((i[Kilo]*i[Eiweissgehalt]/100)*faktorBetriebDagmersellen)+(i[Kilo]*i[Fettgehalt]/100)*12/i[Kilo]/100
if i[Destination] == 3:
    korrFaktor = ((i[Kilo]*i[Eiweissgehalt]/100)*faktorBetriebBern)+(i[Kilo]*i[Fettgehalt]/100)*12/i[Kilo]/100
if i[Destination] == 4:
    korrFaktor = ((i[Kilo]*i[Eiweissgehalt]/100)*faktorBetriebEmmen)+(i[Kilo]*i[Fettgehalt]/100)*12/i[Kilo]/100
if i[Destination] == 5:
    korrFaktor = ((i[Kilo]*i[Eiweissgehalt]/100)*faktorBetriebLandquart)+(i[Kilo]*i[Fettgehalt]/100)*12/i[Kilo]/100

i[0] = i[Eiweissgehalt]
bauern.append(i)

bauern.sort(reverse = True)

x=0
i=0

for i in bauern[1:]:
    x=0
    transp = i[Transporteur]
    menge_s = i[Kilo]
    desti = i[Destination]
    origi = i[Origin]
    z=0
    for z in bauern[1:]:
        if z[Origin]==origi:
            if z[8]==123:
                i[8]=123
                i[Tour]=z[Tour]
                x=1

j=0
for j in tourenAlle_1[1:]:
    if x==0:
        if transp == j[13]:
            if (j[12]-menge_s)>0:
                i[Tour]=j[0]

```

```
j[12]=j[12]-menge_s  
i[8]=123  
x=1
```


Adliswil, den 28. Mai 2008

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Lorenz Dolder