



Universität für Bodenkultur

Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Institut für Agrar- und Forstökonomie

# Masterarbeit

*zum Thema*

## Standort- und Kapazitätsplanung von BtL- Anlagen in Österreich, mittels gemischt- ganzzahliger Optimierung

*Verfasser:*

**Tobias Moser, Bakk. techn.**

Studienrichtung Agrar- und Ernährungswirtschaft

*Betreuer:*

**Univ. Ass. Dr. Martin Kapfer**

**o. Univ. Prof. Dr. Jochen Kantelhardt**

**Univ. Ass. DI Stefan Kirchweger**

Institut für Agrar- & Forstökonomie

Wien, Februar 2012



## **Danksagung**

Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle meinem Betreuer Univ.-Ass. Dr. Martin Kapfer für die konstruktive Unterstützung bei der Realisierung dieser Arbeit.

Des Weiteren danke ich Prof. Dr. Jochen Kantelhardt, für die Möglichkeit der Erstellung dieser Masterarbeit. Ein großer Dank gilt auch allen Mitarbeitern am Institut für Agrar- u. Forstökonomie, Freunden sowie allen Korrekturlesern, die durch konstruktive Kritik und anregende Diskussionen einen wertvollen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben.

## Kurzfassung

Die zunehmende Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Erzeugung von Bioenergie, muss vor allem im Hinblick auf den weltweit stetig steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln kritisch hinterfragt werden. Zur Begegnung dieser „Tank-Teller“ Problematik werden zunehmend neue Verarbeitungskonzepte, wie etwa „Biomass to Liquid“, die eine Verwertung von organischen Reststoffen zur Biotreibstoff ermöglichen, diskutiert. Das Ziel der hier vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines räumlich expliziten gemischt- ganzzahligen linearen Optimierungsmodells, welches als zwei stufiges Warehouse-Location-Problem (WPL) formuliert wird. Basierend auf der in Österreich zur Verfügung stehenden Menge an Stroh werden innerhalb der Modellrechnungen die Standorte der BtL-Anlagen, sowie deren Anlagengröße und Verarbeitungskapazität bestimmt. Dabei erfolgt die Ermittlung der kostenminimalen Struktur der BtL- Produktion in Österreich unter Berücksichtigung der Möglichkeit einer räumlich und zeitlich getrennten Aufteilung der Verarbeitung in die sogenannte Pyrolyse und Synthese. Die unterschiedliche Auffassung des Potenzialbegriffs bzw. der Konkurrenzsituationen bei der Verwertung von Stroh wird durch die Bildung von zwei Angebotsszenarien berücksichtigt. In den Modellergebnissen zeigt sich ein Produktionsverbund von dezentralen Pyrolyseanlagen und einer zentralen Syntheseanlage zur Verarbeitung des Strohpotenzials am günstigsten. Die Standorte für Pyrolyseanlagen werden in beiden Szenarien vorwiegend in den österreichischen Ackerbaugebieten realisiert. Der Standortort für die Syntheseanlage befindet sich in Korneuburg. Die Gesamtverarbeitungskosten liegen je nach Szenario bei 183 €/ t bzw. 192 €/t Stroh, was in etwa Produktionskosten von 1€/Liter Treibstoff entspricht.

## Abstract

Against the background of worldwide growing demand of food, the increasing use of agricultural areas for producing bio-energy must be critically scrutinized. To avoid the food- fuel problem, new methods are developed to use agricultural residues. The objective of this thesis is the development of a spatially explicit mixed integer linear programming model, which is designed as a two stage warehouse-location-problem. Based on the available amount of straw in Austria, the model calculation determines the optimal geographic plant locations, as well as plant sizes and capacity. The determination of the minimum cost structure of the BtL- production in Austria is taking into account the possibility of a spatially and temporarily separate division of the process, in the so-called pyrolysis and synthesis. The different interpretations of potential and competitive situations in the utilization of straw are taken into account by the formation of two supply scenarios.

The model results show that a production network consisting of regional pyrolysis plants and one central processing facility for the synthesis of straw is the most favorable option. In both scenarios the plant locations are realized mainly in arable regions. The geographic location of the central synthesis plant is situated in Korneuburg (Austria). Total process costs, depending on the scenario are 183 €/t and 192 €/t straw, which corresponds to the production cost of 1€/liter of fuel.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Fragestellung und methodischer Ansatz .....	1
1.2	Aufbau der Arbeit .....	2
<b>2</b>	<b>Biotreibstoffe der zweiten Generation .....</b>	<b>3</b>
2.1	Thermochemische Umwandlung .....	4
2.2	Biochemische Umwandlung .....	5
<b>3</b>	<b>Grundlagen der „Biomass to Liquid“- Produktion .....</b>	<b>6</b>
3.1	Biomassevorbereitung.....	6
3.2	Vergasung .....	6
3.3	Gasaufbereitung .....	7
3.4	Synthese .....	7
3.5	Produktaufarbeitung und Umwandlung .....	8
<b>4</b>	<b>Potenzialabschätzung .....</b>	<b>9</b>
4.1	Definition der Potenzialbegriffe .....	10
4.2	Methodik zur Bestimmung des technischen Potenzials .....	11
4.2.1	Untersuchte Szenarien .....	11
4.3	Datengrundlage und Berechnung .....	13
4.3.1	Flächen- und Ackernutzung in Österreich .....	13
4.3.2	Erträge.....	16
4.3.3	Berechnung Konkurrenzsituationen .....	18
4.3.4	Berechnung des Strohangebots auf Bezirksebene .....	19
4.4	Ergebnisse der Potenzialabschätzung .....	21
4.4.1	Gesamtergebnis Basisszenarien.....	21
4.4.2	Ergebnisse auf Bezirksebene.....	22
4.5	Zusammenfassung .....	24
<b>5</b>	<b>Material und Methode .....</b>	<b>26</b>
5.1	Methoden der Standort- und Kapazitätsplanung .....	26
5.2	Modelle der betrieblichen Standortplanung .....	26
5.3	Netzwerkdarstellung des Planungsproblems .....	27
5.4	Datengrundlage und Annahmen .....	28
5.4.1	Festkosten der Anlagen .....	28
5.4.2	Variable Kosten .....	31
5.5	Modellformulierung.....	34

---

5.6	Implementierung in MS Excel und Eingangsdaten.....	39
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Auswertung .....</b>	<b>40</b>
6.1	Gesamtergebnis Szenarien .....	40
6.1.1	Detailbetrachtung der Ergebnisse auf Bezirksebene .....	41
6.2	Sensitivitätsanalysen .....	45
6.2.1	Variation des Rohstoffangebotes .....	45
6.2.2	Variation der Transportkosten .....	48
6.2.3	Variation des Größendegressionskoeffizienten.....	50
6.2.4	Variation der Kapitalkosten .....	51
<b>7</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>59</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>A-1</b>
10.1	Anhang A: Grundlagen & Ergebnisse der Potenzialabschätzung.....	A-1
10.2	Anhang B: Weitere Daten von Material und Methode .....	A-2
10.3	Anhang C: Weitere Daten und Ergebnisse der Standort- und Kapazitätsplanung .....	A-4

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nutzungspfade von Biotreibstoffen der zweiten Generation.....	3
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Produktion von BtL- Kraftstoffen .....	6
Abbildung 3: Bereitstellungsschema "Biomasse" .....	9
Abbildung 4: Anteil der Nutzungsart an der Gesamtfläche .....	14
Abbildung 5: Ackernutzung in Österreich 2008 .....	15
Abbildung 6: Anbaufläche relevanter Ackerkulturen 2009 .....	15
Abbildung 7: Entwicklung der Anbaufläche relevanter Ackerkulturen .....	16
Abbildung 8: Aufteilung des Gesamtstrohpotenzials in einzelne Berechnungskomponenten .....	22
Abbildung 9: Regionales Strohpotenzial im Szenario „ohne Konkurrenz“ .....	23
Abbildung 10: Regionales Strohpotenzial im Szenario „mit Konkurrenz“ .....	24
Abbildung 11: Netzwerkdarstellung des Planungsproblems.....	27
Abbildung 12: Prozentuelle Verteilung der Prozesskosten .....	40
Abbildung 13: Verarbeitungsstandorte und regionales Rohstoffpotenzial für das Szenario "keine Konkurrenz" .....	42
Abbildung 14: Verarbeitungsstandorte und regionales Rohstoffpotenzial für das Szenario „mit Konkurrenz“ .....	42
Abbildung 15: Gesamtverarbeitungsstellen nach Szenario und Mindestverarbeitungsstelle .....	46
Abbildung 16: Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum Rohstoffangebot für das Szenario „ohne Konkurrenz“ .....	47
Abbildung 17: Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum Rohstoffangebot für das Szenario „mit Konkurrenz“ .....	48
Abbildung 18: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zu den Transportkosten für das Szenario „ohne Konkurrenz“ .....	49
Abbildung 19: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zu den Transportkosten für das Szenario „mit Konkurrenz“ .....	49
Abbildung 20: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum anlagenspezifischen Größendegressionskoeffizienten für das Szenario „ohne Konkurrenz“ .....	50
Abbildung 21: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum anlagenspezifischen Größendegressionskoeffizienten für das Szenario „mit Konkurrenz“ .....	51
Abbildung 22: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit der Kapitalkosten für das Szenario „ohne Konkurrenz“ .....	52
Abbildung 23: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit der Kapitalkosten für das Szenario „mit Konkurrenz“ .....	52

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial im Szenario „ohne Konkurrenz“.....	12
Tabelle 2: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“ .....	13
Tabelle 3: Strohertrag in Prozentanteil des Hauptfruchtertrages .....	17
Tabelle 4: Durchschnittliche Stroherträge je Bundesland und Kulturgruppe .....	17
Tabelle 5: Ausgangsdaten für die Berechnung des Einstreubedarfs .....	18
Tabelle 6: Strohverbrauch Fernwärmeheizkraftwerke in Österreich .....	19
Tabelle 7: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“ .....	19
Tabelle 8: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“ .....	20
Tabelle 9: Ausgangsdaten für die Investitionskostenberechnung .....	28
Tabelle 10: Fixkosten Pyrolyseanlage in Abhängigkeit zur Verarbeitungskapazität im Szenario „mit Konkurrenz“ .....	29
Tabelle 11: Fixkosten Syntheseanlage in Abhängigkeit zur Verarbeitungskapazität .....	30
Tabelle 12: Transportkosten vom Feld bzw. landwirtschaftlichen Zwischenlager bis zur Anlage .....	31
Tabelle 13: Aufstellung der sonstigen variablen Kosten .....	33
Tabelle 14: Summe variable Verarbeitungskosten in Abhängigkeit der Kapazität und Auslastung .....	34
Tabelle 15: Im Modell verwendete Notationen .....	35
Tabelle 16: Ergebnisse der Basisszenarien .....	41
Tabelle 17: Detailergebnis Szenario "ohne Konkurrenz" .....	44
Tabelle 18: Detailergebnis Szenario "mit Konkurrenz" .....	44

# 1 Einleitung

Angesichts der begrenzten Verfügbarkeit an fossilen Brennstoffen, stellt die weltweit stetig steigende Energienachfrage eine immense Herausforderung dar. Im Laufe der vergangenen Jahre wurden sowohl von der europäischen Kommission, als auch von Seiten der einzelnen Mitgliedsstaaten Strategien entwickelt um diese Herausforderung, mittels regenerativer Energien, zu bewältigen. Durch die vom Europäischen Parlament beschlossene „Erneuerbare-Energie-Richtlinie (EEG), vom April 2009, wurden den Mitgliedsstaaten verbindliche Ziele vorgegeben. Diese sehen für den Verkehrssektor einen Anteil an erneuerbaren Energieträgern im Treibstoff von 10% bis zum Jahr 2020 vor (vgl. Richtlinie 2009/28 EG).

In Österreich wird die Beimischung von erneuerbaren Energieträgern in Treibstoffen durch die Novelle der Kraftstoffverordnung 2009 bestimmt. Darin verpflichtet sich die Republik Österreich ab 2009 zu einer energetischen Gesamtbeimischung von 5,75% bei allen Treibstoffen, d. h. 3,4 % bei Benzin und 6,5 % bei Dieselmotortreibstoffen (BGBL Änderung der Kraftstoffverordnung 1999, §6a Abs.4).

Es ist anzunehmen, dass die politischen Verantwortungsträger in Österreich auf die EU- Richtlinie reagieren werden und ein entsprechendes Gesetz verabschieden, welches eine Beimischung von 10% bis 2020 vorsieht.

Betrachtet man nun die Art und Weise wie die entsprechenden Energieträger zur Treibstoffbeimischung produziert werden, so rücken neben ökologischen Fragestellungen, wie der dadurch mitverursachten, zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft, vor allem ethische Bedenken in den Vordergrund. Die zunehmende Nutzung landwirtschaftlicher Flächen bzw. lebensmitteltauglicher Rohstoffe, wie etwa Mais, zur Produktion von Bioenergie, ist bei einer weltweit steigenden Nachfrage an Lebensmitteln, kritisch zu hinterfragen.

## Fragestellung und methodischer Ansatz

Zur Begegnung der Food vs. Fuel Problematik beschäftigt sich die Wissenschaft zunehmend mit der Verwertung von organischen Reststoffen, welche derzeit nicht oder nur teilweise Verwendung finden. Ein maßgeblicher Lieferant dieser Reststoffe ist die Landwirtschaft. Die Verwertung ungenutzter, organischer Restmasse, wie etwa Getreidestroh oder Zuckerrübenblätter kann einen nachhaltigen Beitrag zur Bereitstellung von regenerativen Energiequellen leisten.

Eine Möglichkeit bzw. einen Nutzungspfad zu Aktivierung dieser Energiequelle stellen BtL- (Biomass to Liquid) Anlagen dar. In einem mehrstufigen Verfahren wird der Rohstoff Biomasse aufbereitet, vergast und zum gewünschten Kraftstoff synthetisiert. Eine nähere Beschreibung des Herstellungsprozesses findet sich in Kapitel 2.

Neben den erwähnten Aspekten der Nachhaltigkeit, müssen sich erneuerbare Energieträger auch aus ökonomischer Sicht am Markt behaupten können. Die weiträumige Verteilung der landwirtschaftlichen Rohstoffe und der damit verbundenen Sammelkosten stellen einen wesentlich Kostenfaktor dieses Systems dar. Die Forschung beschäftigt sich daher zunehmend mit einem dezentralen Verarbeitungsansatz. Hierbei wird das Verfahren zur Herstellung von BtL-Kraftstoffen in zwei getrennte Verarbeitungsprozesse unterteilt. Im ersten Verarbeitungsschritt, der sogenannten Pyrolyse, wird der Rohstoff in das Zwischenprodukt Slurry übergeführt. Diese flüssige schwarze Masse ist, aufgrund der höheren Energiedichte, transportwürdiger als organische Restmasse. Im zweiten Verfahrensschritt wird der Slurry in einer Syntheseanlage zu BtL-Kraftstoffen weiterverarbeitet. Die hohe Energiedichte des Zwischenproduktes Slurry ermöglicht eine dezentrale Vorverarbeitung von organischen Restmassen.

Vor diesem Hintergrund soll in dieser Arbeit geklärt werden, bei welchem der beiden Verarbeitungskonzepte (zentral/dezentral) es sich um die kostengünstigste Möglichkeit handelt, um landwirtschaftliche Restmassen zu BtL- Treibstoffen zu verarbeiten.

Da bereits im Vorfeld angenommen werden kann, dass die Verarbeitungskosten in einem hohen Maße von der Verteilung von Transport- und Anlagenkosten abhängen, widmet sich diese Arbeit in einer Standort- und Kapazitätsplanung dieser Thematik. Der Fokus der zu bearbeitenden Fragestellung liegt in der optimalen Verteilung von BtL- Anlagen in Österreich unter Berücksichtigung des regional unterschiedlichen Aufkommens an landwirtschaftlichen Restmassen.

## **Aufbau der Arbeit**

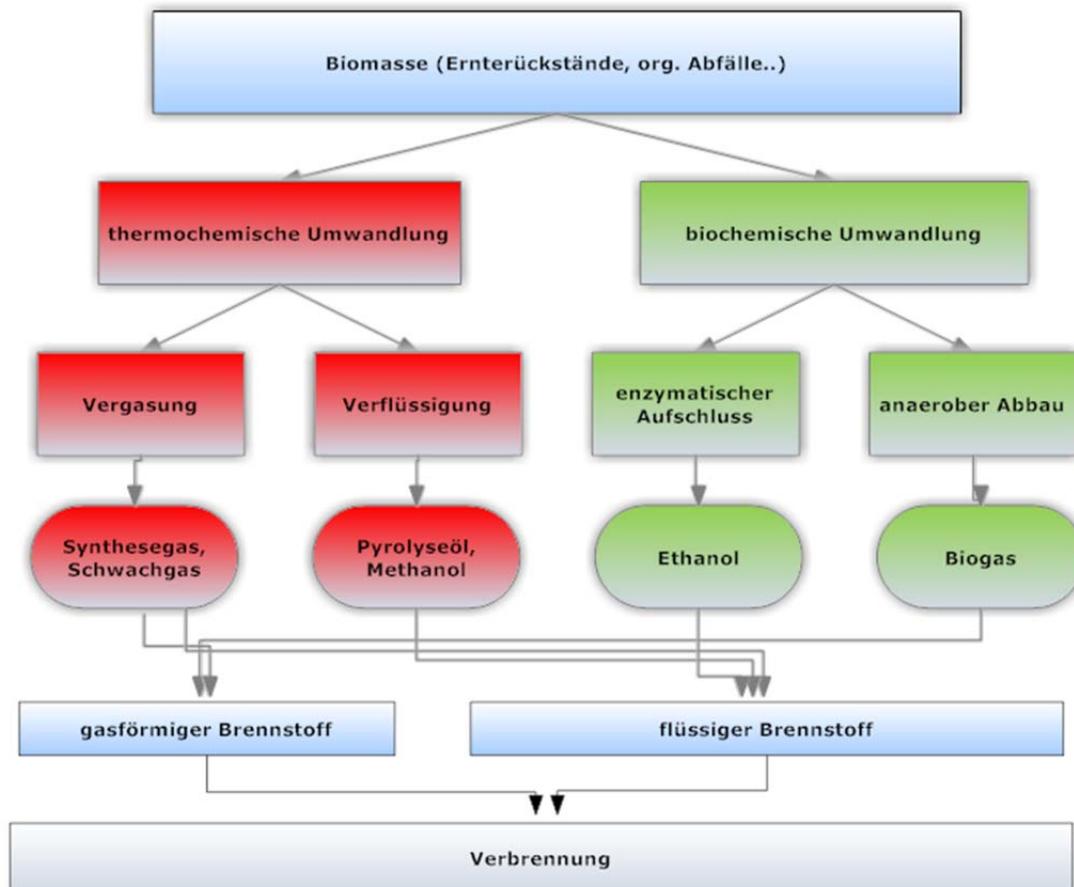
Zu Beginn der Arbeit erfolgt eine Darstellung der Nutzungspfade von Bioraffinerieanlagen der zweiten Generation (Kapitel 2). Darauf aufbauend erfolgt eine kurze Beschreibung der Verfahrenstechnik von BtL (Biomass to Liquid) Systemen (Kapitel 3). Diese Kapitel dienen, neben einer allgemeinen Einführung in die Thematik, als Grundlage für das Verständnis der Anforderungen an die Standort- und Kapazitätsplanung.

Anschließend wird im Kapitel 4 auf das zur Verfügung stehende österreichische Rohstoffpotenzial eingegangen. Dabei wird der unterschiedlichen Auffassung des Potenzialbegriffs, durch die Bildung von Angebotsszenarien, Rechnung getragen. Die Anwendung der Methodik zur Standort- und Kapazitätsplanung, sowie die dafür nötigen betriebswirtschaftlichen Kennzahlen und Annahmen finden sich in Kapitel 5. Die Darstellung der Ergebnisse, sowie eine Überprüfung der Robustheit dieser Ergebnisse mittels Sensitivitätsanalysen kann dem Kapitel 6 entnommen werden. Abschließend werden in Kapitel 7 das methodische Vorgehen und die Ergebnisse kritisch hinterfragt, sowie die aus dieser Arbeit resultierenden Fragestellungen diskutiert.

## 2 Biotreibstoffe der zweiten Generation

Im Gegensatz zu Biotreibstoffen der ersten Generation, die sich auf die Nutzung von leicht verwertbaren Pflanzeninhaltsstoffen, wie Stärke oder Öle, beschränken, versucht man mit Systemen der zweiten Generation lignozellulosehaltige Gerüststrukturen der Pflanzen zu verarbeiten. Deren Nutzung stellt keine direkte Konkurrenz zur menschlichen Nahrungsmittelproduktion dar. Das folgende Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den Stand der Technik bzw. über die möglichen Entwicklungspfade von biosynthetischen Kraftstoffen.

Abbildung 1: Nutzungspfade von Biotreibstoffen der zweiten Generation



Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Kaltschmitt et al., 2009

Wie in Abbildung 1 angeführt, erfolgt die Umwandlung von Biomasse in Treibstoffe bei Energiesystemen der zweiten Generation grundsätzlich durch zwei unterschiedliche Veredelungsverfahren, die im Folgenden näher beschrieben werden.

## Thermochemische Umwandlung

Beim thermochemischen Veredelungsprozess wird Biomasse durch Wärme bzw. Druck zu gasförmigen bzw. flüssigen Sekundärenergieträgern umgewandelt. Neben der Herstellung von mobilen Energieträgern können derartige Systeme in einem ersten Prozessschritt auch auf die Bereitstellung von kostengünstig transportierbaren Zwischenprodukten abzielen. Es wird dabei zwischen folgenden Behandlungsmöglichkeiten unterschieden:

### **Verkohlung:**

Durch die thermische Zersetzung der organischen Masse wird Holzkohle gewonnen. Das Verfahren ist sehr energieintensiv und wird daher nur bei einer stofflichen Verwertung angewendet (Aktivkohle). Im Rahmen der Erzeugung von Biotreibstoffen hat die Verkohlung keine Bedeutung.

### **Pyrolyse (Verflüssigung):**

Bei der Verflüssigung werden feste organische Stoffe unter dem Einfluss von Wärme bzw. unter Ausschluss von Sauerstoff, mit dem Ziel einer möglichst hohen direkten Ausbeute an flüssigen Komponenten in „Slurry“ umgewandelt. In dezentralen Verarbeitungskonzepten stellt die Pyrolyse bzw. das Zwischenprodukt Slurry eine Möglichkeit zur Steigerung der Transportwürdigkeit von Ausgangssubstraten (Biomasse) dar.

### **Vergasung:**

Hierbei wird Biomasse durch die Zufuhr von sauerstoffhaltigen Vergasungsmittel und hohen Temperaturen in Synthesegas (brennbare Gase) umgewandelt. Der im Ausgangssubstrat enthaltene Kohlenstoff wird dabei in Kohlenstoffmonoxid umgewandelt. Das Synthesegas wird in weiterer Folge entweder verflüssigt (z.B.: Methanol oder Fischer-Tropsch Diesel) oder dient als Brennstoff zum Antrieb von Gasmotoren bzw. Turbinen.

Eine detaillierte Beschreibung der thermochemischen Umwandlung erfolgt im Kapitel 3 „Grundlagen der BtL- Produktion“. Alternativ zum Ausgangssubstrat Biomasse (Biomass to Liquid (BtL)) lässt sich dieses Veredelungsverfahren auch mit Kohle (Coal to Liquid (CtL)) bzw. Erdgas (Gas to Liquid (GtL)) durchführen.

## Biochemische Umwandlung

In biochemischen Veredelungsprozessen erfolgt die Umwandlung von Biomasse in Sekundär bzw. End- oder Nutzenergie mit Hilfe von Mikroorganismen/Enzymen, das heißt durch biologische Prozesse [KALTSCHMITT ET AL., 2009].

Im Gegensatz zur thermochemischen Umwandlung kann bei biochemischen Prozessen kein Lignin verarbeitet werden. Während Zellulose bzw. Hemizellulose durch Hefen zu Ethanol vergärt wird, wird der Ligninanteil mittels Verbrennung zur Herstellung der Prozesswärme genutzt.

Die Herstellung von Biogas erfolgt durch bestimmte Bakterien, welche unter aeroben Bedingungen ein Mischgas (Biogas) produzieren. Nach einer entsprechenden Reinigung kann das Biogas als Antrieb für Gasmotoren bzw. Gasturbinen dienen. Ligninanteile in den Ausgangssubstraten können auch hier nicht genutzt werden.

Effiziente Biogasanlagen lassen sich unter derzeitigen wirtschaftlichen Bedingungen nur mit einem entsprechend hohen Anteil an leicht verwertbaren Kohlenstoffverbindungen, wie Zucker und Stärke, betreiben. Sie stehen somit in direkter Konkurrenz zur menschlichen Nahrungsmittelproduktion.

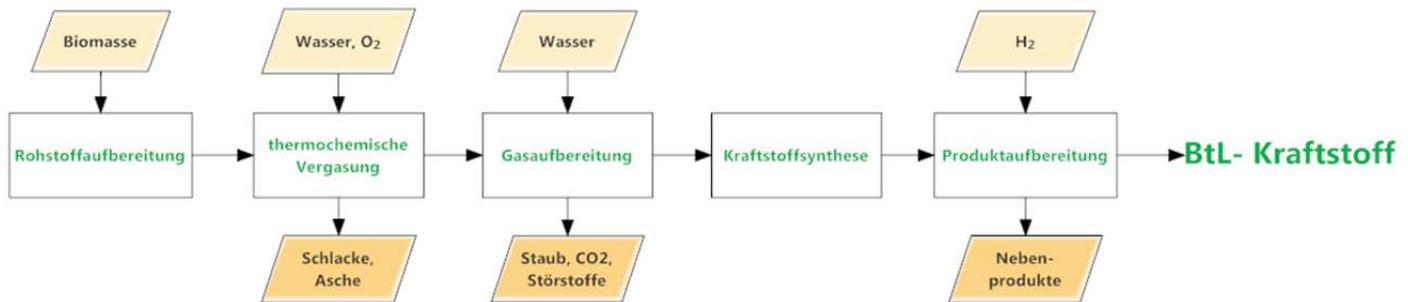
Der chemische Aufschluss von Lignin in den organischen Ausgangssubstraten stellt den Schlüssel für den ökonomischen Erfolg biochemischer Veredelungsprozesse dar. In diesem Bereich besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf.

Aufgrund der hohen Ligningehalte in landwirtschaftlichen Restmassen zeigt sich das Biochemische Verfahren als wenig geeignet.

### 3 Grundlagen der „Biomass to Liquid“- Produktion

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, handelt es sich bei der Herstellung von BtL- Kraftstoff um ein thermochemisches Verfahren, das wie in Abbildung 2 dargestellt, in die Verfahrensschritte *Rohstoffaufbereitung*, *thermochemische Vergasung*, *Gasaufbereitung*, *Kraftstoffsynthese* und *Produktaufbereitung* unterteilt werden kann.

Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Produktion von BtL- Kraftstoffen



Eigene Darstellung vgl. FNR, 2006

Grundsätzlich sind dabei eine Vielzahl von Verfahrensalternativen und –varianten möglich. Allerdings sind nicht alle für eine großtechnische Realisierung von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen geeignet (KERDONCUFF, 2008). Im Folgenden findet sich eine nähere Beschreibung der einzelnen Verfahrensschritte, wobei auf verschiedene Verfahrensoptionen eingegangen wird.

#### Biomassevorbereitung

Die Biomassevorbereitung beginnt in der Regel mit der Trocknung des Rohstoffs, da sich ein erhöhter Wassergehalt im Ausgangssubstrat negativ auf den weiteren Verarbeitungsprozess auswirkt. Nach LEIBLE ET AL., 2003 erfolgt hierbei die Unterscheidung in direkte und indirekte Trocknung. Während bei der direkten Trocknung die Reduktion der Wassermenge durch Brenner direkt im Trockner erfolgt, wird bei der indirekten Trocknung auf externe Energiequellen zurückgegriffen. Hierbei ist es auch möglich anfallende Prozesswärme zu nutzen.

Je nach Rohstoff erfolgt im Bedarfsfall eine Zerkleinerung, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.

#### Vergasung

Um aus Biomasse einen flüssigen Kraftstoff zu erzeugen, müssen die Rohstoffe zunächst in ein Synthesegas umgewandelt werden. Dazu wird die Biomasse in einem Reaktor unter Zuführung von Wärme, Druck und einem Vergasungsmittel, zum Beispiel Sauerstoff, in den gasförmigen Zu-

stand übergeführt (FNR, 2012). Der Vergasungsprozess gliedert sich in vier Prozessstufen: Trocknung, Pyrolyse, Reduktion und Oxidation

In der Biomassevorbereitung verbleibt in der Regel ein geringer Anteil an Wasser im Rohstoff (ca. 10%, Lufttrocken). Dieser Wasseranteil wird bei Temperaturen von ca. 200 °C verdampft. Die organische Substanz bleibt dabei im Wesentlichen erhalten (KERDONCUFF, 2008).

Die Pyrolyse bezeichnet ein Verfahren bei dem die Biomasse unter Ausschluss von Sauerstoff sehr schnell erhitzt wird. Eine thermische Spaltung sorgt hierbei für den Zerfall der Biomasse in kleinere Moleküle. Die dabei entstehenden Gase werden durch eine Abkühlung verflüssigt. Diese Flüssigkeit wird in weiterer Folge als Slurry bezeichnet. Durch diverse Forschungsanstrengungen in den letzten Jahren gibt es im Bereich der Pyrolyseverfahren eine Vielzahl an Verfahren, die sich vor allem durch Erwärmungsgrad, Druck und Verweilzeit im Reaktor unterscheiden. Im Zusammenhang mit dem dezentralen Verarbeitungskonzept zeigt sich die „Flash- Pyrolyse“ besonders geeignet. Hierbei können die Erzeugung und Verwendung des Energieträgers räumlich und zeitlich entkoppelt werden, was zu einer einfachen Speicherung sowie zu guten Transporteigenschaften führt (MAIER, 1999).

Durch die weiteren Umsetzungsschritte Reduktion und Oxidation kommt es zur Erzeugung energiereicher Gase, die den Ausgang für weitere Prozessschritte bieten.

## **Gasaufbereitung**

Die Anforderung an das Synthesegas in chemischen Synthesen ist sehr hoch. Bereits kleinste Verunreinigungen können sich negativ auf die Synthese auswirken. Um die im Rohgas auftretenden Verunreinigungen zu beseitigen, werden Gasreinigungsverfahren eingesetzt. Je nach Art der zu beseitigenden Verunreinigung werden Kalt- oder Heißgasreinigungsverfahren eingesetzt.

Nach erfolgter Reinigung kommt es im weiteren Verlauf zur Gaskonditionierung. Ein optimaler Syntheseverlauf erfordert ein bestimmtes H<sub>2</sub>/ CO- Molverhältnis im Synthesegas. Im Fall einer Fischer-Tropsch- Synthese wird dieses mit 2:1 angegeben (Kerdoncuff, 2008).

Zur Erreichung dieses Verhältnis werden Vergasungsmittel eingesetzt. Diese können im Einsatz einer CO- Konvertierung (katalytische Reaktion von Wasserdampf und CO) oder der direkten Nutzung von Wasserstoff als Vergasungsmittel bestehen.

## **Synthese**

Ziel der Synthese ist die Umwandlung des H<sub>2</sub>/ CO- Gemisches in flüssige Kohlenwasserstoffe. Als Nebenprodukt fallen geringe Mengen an Alkohole und Olefine an. Der chemische

Mechanismus der Synthesereaktion (Polymerisation) führt hauptsächlich zu langkettigen, gering verzweigten Kohlenwasserstoff-Molekülen, welche ca. 20% der chemischen Energie in Form von Wärme freisetzen. Die optimalen Reaktionsbedingungen zeigen sich bei einer Temperatur von 200- 250 °C bzw. einem Druck von 25- 60 bar.

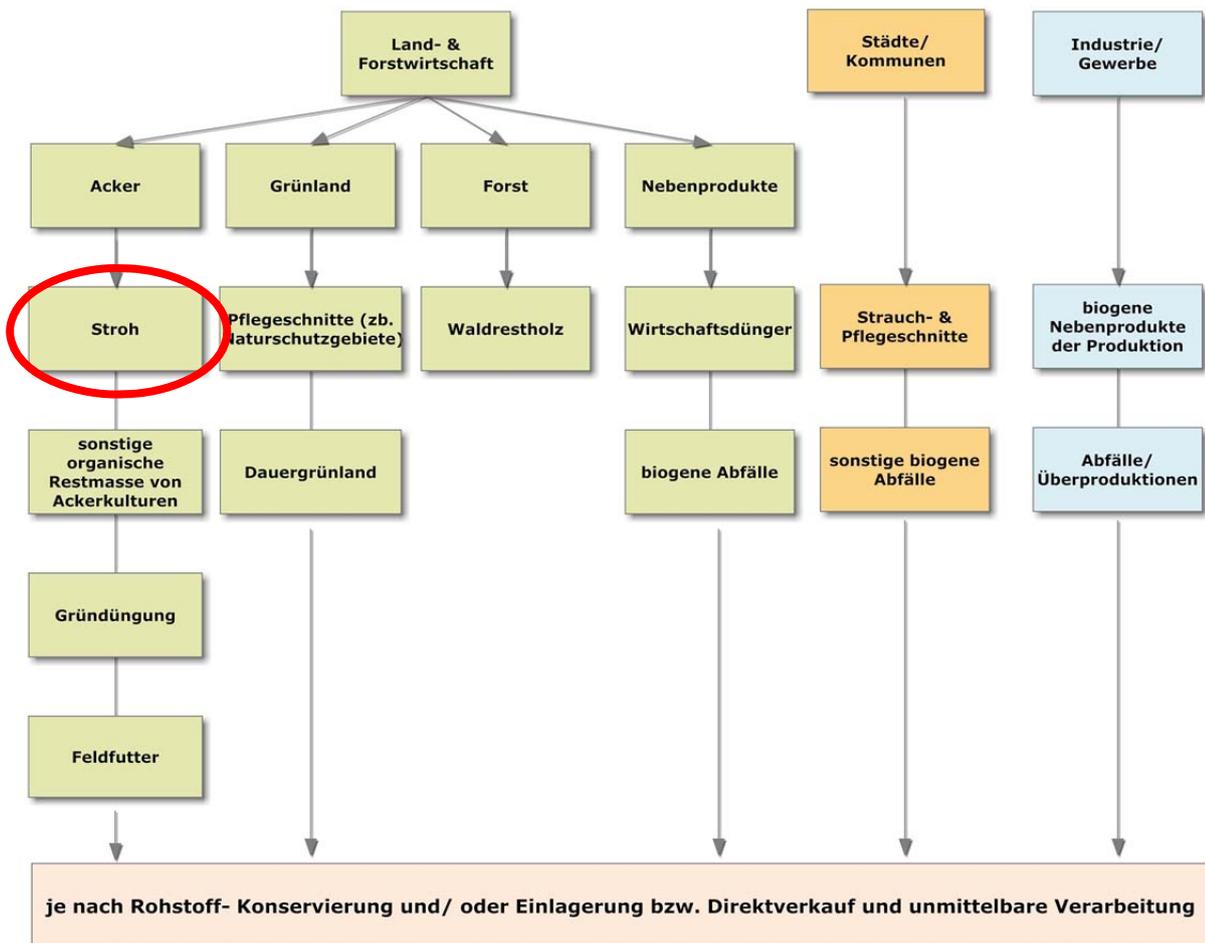
## **Produktaufarbeitung und Umwandlung**

Analog zu herkömmlichen Raffinerieverfahren mit Erdöl entsteht auch bei der Fischer- Tropsch-Synthese kein einheitliches Produkt. Es handelt sich vielmehr um eine Mischung zwischen Diesel, Benzin und Wachs. Diese werden nach erfolgter Abkühlung, ähnlich der Erdölraffinerie, mittels Destillation fraktioniert und aufbereitet. Die Ausbeute von Dieselkraftstoffen kann durch das Hydrocracken der Wachse erhöht werden (Beller et al., 2010).

## 4 Potenzialabschätzung

Für die Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation werden lignozellulosehaltige Rohstoffe eingesetzt. Wie in Abbildung 3 angeführt, steht in der Landwirtschaft eine Vielzahl an Ausgangssubstraten (Reststoffen) zur Verfügung, welche für eine Produktion in Frage kommen. Diese Arbeit beschränkt sich im folgenden Kapitel auf die zur Verfügung stehenden Mengen an Getreidestroh bzw. Stroh von Körnerleguminosen sowie Ölfrüchten. Die abgeleiteten Ergebnisse dieser Potenzialabschätzung bilden die Ausgangssituation für die Standort- und Kapazitätsplanung in den Kapiteln 4 und 5. Die Begriffe Potenzial und Aufkommen werden synonym verwendet.

Abbildung 3: Bereitstellungsschema "Biomasse"



Quelle: Eigene Darstellung, vgl. Kaltschmitt et al., 2009

## Definition der Potenzialbegriffe

Um den Anteil der zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehenden Biomasse zu bestimmen, wird in der Literatur vielfach zwischen theoretischem, technischem, wirtschaftlichem und erschließbarem Potenzial unterschieden. Nach KALTSCHMITT ET AL., 2009, S.10-11 werden diese wie folgt definiert.

**Theoretisches Potenzial:** Das theoretische Potenzial beschreibt das in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot (z.B.: die in der gesamten Pflanzenmasse gespeicherte Energie). Wegen unüberwindbarer, technischer, ökologischer, struktureller und administrativer Schranken kann das theoretische Potenzial meist nur zu sehr geringen Teilen erschlossen werden.

**Technisches Potenzial:** Das technische Potenzial bezieht sich auf jenen Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen, technischen Restriktionen nutzbar ist. Darüber hinaus werden die gegebenen strukturellen und ökologischen Begrenzungen sowie gesetzliche Vorgaben berücksichtigt. Das technische Potenzial beschreibt folglich den zeit- und ortsabhängigen, primär aus technischer Sicht möglichen Beitrag regenerativer Energien zur Deckung der Energienachfrage.

**Wirtschaftliches Potenzial:** Das wirtschaftliche Potenzial definiert den zeit- und ortsabhängigen Anteil des technischen Potenzials, der unter den jeweils betrachteten Randbedingungen wirtschaftlich erschlossen werden kann.

**Erschließbares Potenzial:** Das wirtschaftliche Potenzial kann nur innerhalb eines sehr langen Zeitraumes erschlossen werden (z.B. aufgrund existierender Restriktionen wie z.B. noch vorhandene, aber noch nicht abgeschriebene Altanlagen). Deshalb ist das erschließbare Potenzial im Allgemeinen kleiner als das wirtschaftliche Potenzial.

Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich der Begriff „Potenzial“ ausschließlich auf das wirtschaftliche Potenzial.

## Methodik zur Bestimmung des technischen Potenzials

Die Grundlage zur Bestimmung des Aufkommens bilden Daten zur landwirtschaftlichen Flächennutzung in Österreich. Für die Abschätzung kommen ausschließlich die Ernterückstände von Getreide, Ölfrüchten und Körnerleguminosen (GÖK) in Betracht, welche im lufttrockenen Zustand (ca. 15% Restfeuchte) geerntet werden können. Eine detaillierte Aufstellung der untersuchten Kulturen findet sich in Anhang A, Tabelle A.1.

### 4.1.1 Untersuchte Szenarien

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Potenzialabschätzungen, die teils erheblich voneinander abweichen. Die Gründe dafür liegen, neben einer differenzierten Auffassung des Potenzialbegriffs, vor allem in der unterschiedlichen Berücksichtigung der Konkurrenzsituation. Vor allem Milchviehbetriebe, die aufgrund des steigenden Spezialisierungsdrucks in den vergangenen Jahren vielfach auf den Anbau von Getreide zugunsten von Mais und Feldfutter verzichtet haben, sind zunehmend auf den Zukauf von Stroh als Einstreu angewiesen.

Eine weitere Konkurrenzsituation zeigt sich durch die Verwendung von Stroh als Brennstoff in Heizkraftwerken. Basierend auf möglichen sozioökonomischen bzw. ökologischen Entwicklungen werden anschließend zwei Szenarien definiert, welche die Ausgangssituation für die Standortplanung darstellen.

#### 4.1.1.1 Szenario 1: „ohne Konkurrenz“

Dieses Szenario geht davon aus, dass es künftig zu keiner Konkurrenzsituation kommen wird. Die enorme Nachfrage nach dem Rohstoff Stroh zur energetischen Nutzung, sowie der damit einhergehenden Preiserhöhung zwingen rinderhaltende Landwirte zur Suche nach möglichen Alternativen. Diese könnten möglicherweise im vermehrten Einsatz von Trockenmist bestehen. Strohfeuerungsanlagen sind ebenfalls nicht mehr konkurrenzfähig und werden aufgrund der hohen Rohstoffkosten eingestellt.

Biologisch wirtschaftende Betriebe, welchen aufgrund bestehender Biorichtlinien die Möglichkeit fehlt, mineralischen Dünger einzusetzen, werden auch künftig nicht in der Lage sein, Ernterestmassen in Form von Stroh abzugeben. Diese verbleiben als natürlicher Dünger am Feld. Darüber hinaus sorgt die teils starke Heterogenität der verbleibenden Restmassen für erhöhte Trocknungskosten im Biomassennutzungspfad. Biologisch produziertes Stroh wird folglich nicht berücksichtigt (4.2).

Eine vollkommene Konkurrenzlosigkeit kann auch unter modellierten Bedingungen als unrealistisch angesehen werden, da sich voraussichtlich immer Landwirte, Gärtner oder auch Betreiber von Strohfeuerungsanlagen finden lassen werden, welche aus unterschiedlichsten Gründen bereit sind, höhere Preise für Stroh in Kauf zu nehmen. Aus diesem Grund werden in diesem Szenario

betriebseigene Getreideflächen von Milchviehbetrieben (4.3), als eine Art „Puffer“, nicht berücksichtigt. Die Berechnung des Flächenpotenzials für das Szenario „keine Konkurrenz“, inklusive einer 5%igen Reduzierung für Ernteauffälle bzw. negativer Umwelteinflüsse, stellt sich somit wie folgt dar:

Tabelle 1: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial im Szenario „ohne Konkurrenz“

$\sum$ Alle in Österreich zur Verfügung stehenden GÖK- Flächen	(4.1)
- $\sum$ Biologisch bewirtschaftete GÖK-Flächen	(4.2)
- $\sum$ Getreide- Flächen, welche von Milchviehbetrieben bewirtschaftet werden, (ohne Biobetriebe)	(4.3)
<b>= Flächenpotenzial ohne Puffer</b>	
<hr/>	
x 0,95 Puffer für Ernteauffälle (Dürre, Auswinterungen, etc.)	(4.4)
<hr/>	
<b>= Flächenpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“</b>	
x kulturabhängigen Durchschnittserträgen für Stroh	
<hr/>	
<b>= Strohpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“</b>	

#### 4.1.1.2 Szenario 2: mit Konkurrenz

Dieses Szenario geht von einer anhaltenden Konkurrenzsituation mit Milchbetrieben bzw. Strohverbrennungsanlagen aus. Dazu wird jedem Tier, basierend auf Standardwerten, ein Strohbedarf unterstellt (4.8). Dieser orientiert sich, neben der jeweiligen Klassifizierung (Milchkuh, Kalbin, Kalb, Mutterkuh), an den derzeit vorherrschenden Haltungssystemen. Die Summe des Einstreubedarfs wird anschließend, ebenso wie der Strohbedarf in Verbrennungsanlagen, vom erntefähigen Strohaufkommen des Bezirkes (Lieferant) abgezogen (4.9). Steht im Bezirk weniger Potenzial zur Verfügung, wird dieses von den Nachbarbezirken abgezogen. Analog wird dieser Ansatz auch bei den Strohverbrennungsanlagen durchgeführt. Strohaufkommen von Biobetrieben wird aufgrund der Notwendigkeit von organischem Dünger, auch hier nicht berücksichtigt (4.6). Die Berechnung des Flächenpotenzials für das Szenario „mit Konkurrenz“, inklusive einer 10%igen Reduzierung für Ernteauffälle bzw. sonstigem Einstreu für nicht berücksichtigte Tiere (Pferde etc.), stellt sich somit wie folgt dar:

Tabelle 2: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“

$\sum$  Alle in Österreich zur Verfügung stehenden GÖK- Flächen

-  $\sum$  Biologisch bewirtschaftete GÖK-Flächen

**= Flächenpotenzial ohne Puffer**

---

x 0,9 Puffer für Ernteauffälle und sonstige Einstreu (Pferd....)

---

**= Flächenpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“**

x kulturabhängigen Durchschnittserträgen für Stroh

---

**= Strohpotenzial ohne Konkurrenz**

-  $\sum$  Strohverbrauch durch Einstreu in Milchvieh- & Mutterkuhbetrieben

-  $\sum$  Strohverbrauch durch Verbrennung in Heizkraftwerken

---

**= Strohpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“**

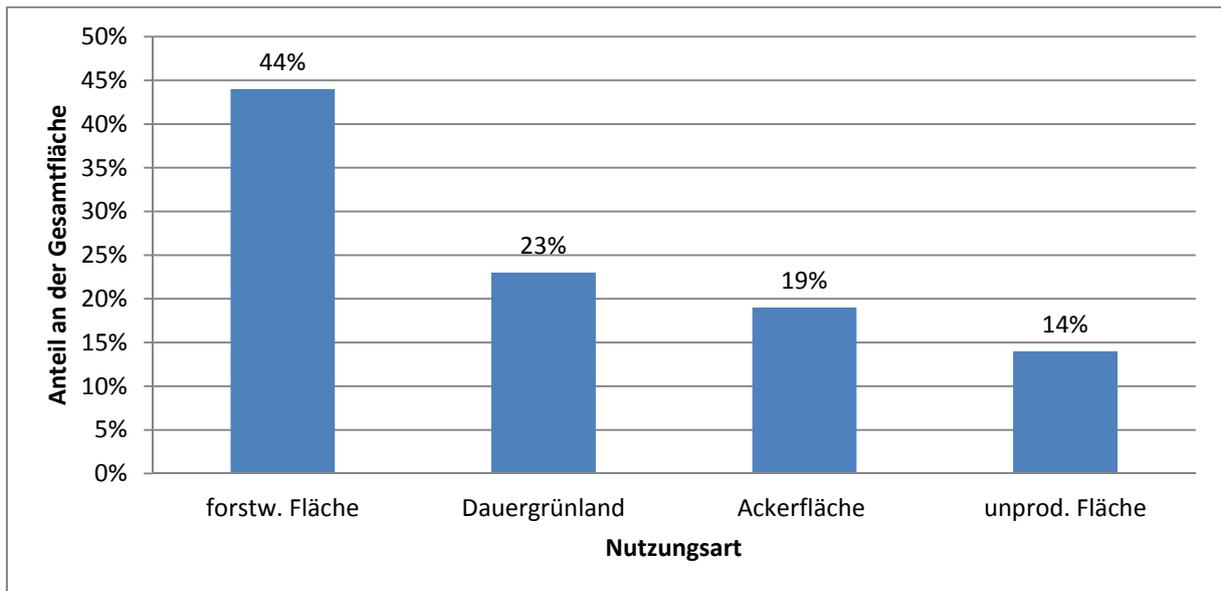
## Datengrundlage und Berechnung

Im folgenden Kapitel werden die Ausgangsdaten und Rahmenbedingungen für die Potenzialabschätzung näher definiert. Basierend auf den Berechnungsschemen in Kapitel 4.2 wird in einem ersten Schritt eine nähere Betrachtung der Flächen- und Ackernutzung in Österreich durchgeführt. Folgend wird auf die Ertragssituation bzw. den Konkurrenzsituationen im Szenario „mit Konkurrenz“ eingegangen. Den Abschluss bildet die Berechnung des Strohpotenzials auf Bezirksebene im Punkt 4.3.4.

### 4.1.2 Flächen- und Ackernutzung in Österreich

Wie Abbildung 4 veranschaulicht, werden in Österreich 19% bzw. 1,37 Mio. ha der österreichischen Gesamtfläche ackerbaulich genutzt. Der Anteil an Dauergrünland, gemessen an der Gesamtfläche, beträgt 23%. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich die Ackerfläche durch Grünlandumbruch nicht nennenswert vermehren lässt.

Abbildung 4: Anteil der Nutzungsart an der Gesamtfläche

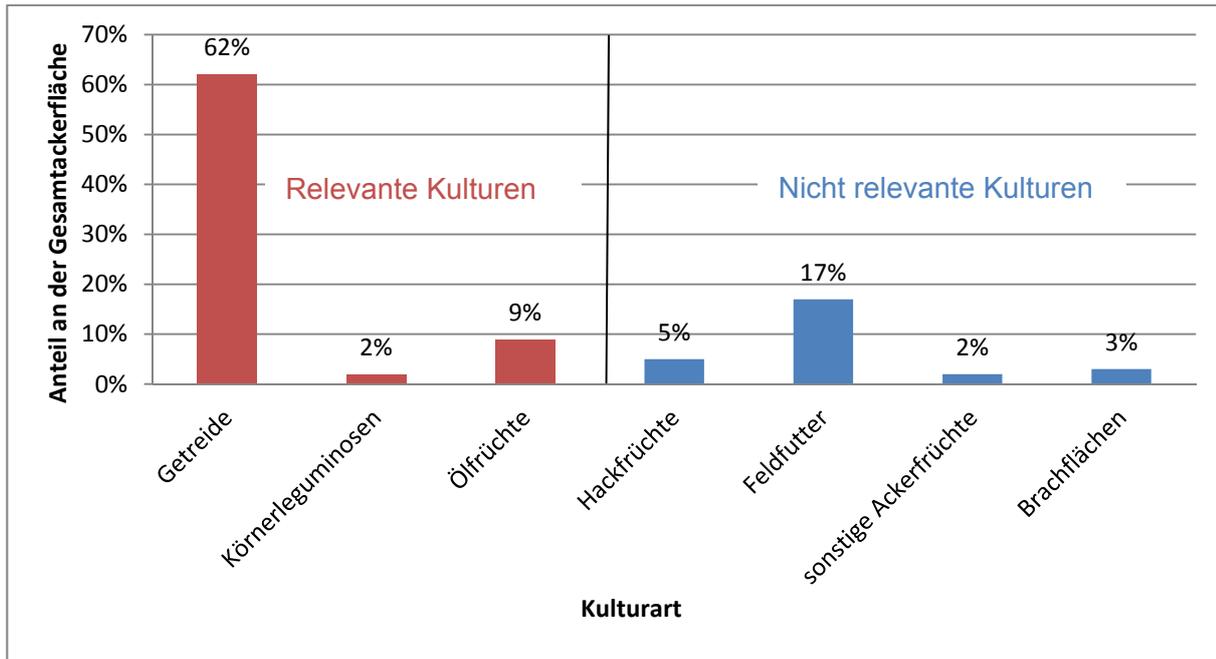


Quelle: Eigene Darstellung nach BMLFUW, 2010

In einer näheren Betrachtung der österreichischen Ackernutzung zeigt sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, dass auf einem überwiegenden Teil (62%) Getreide produziert wird. Dies entspricht einem Umfang von rund 840.000 ha.

Den zweitgrößten Anteil mit 17% nimmt der Feldfutterbau ein, der in diesem Zusammenhang keine Rolle spielt. Die für die Potenzialabschätzung in Betracht gezogenen Kulturgruppen (Getreide, Körnerleguminosen und Ölfrüchte) beanspruchen in Summe 73% der österreichischen Ackerfläche. Bracheflächen wären prinzipiell produktionsfähig und somit relevant. Sie werden jedoch aufgrund ihrer beschränkten Produktionskraft nicht genutzt. Es ist anzunehmen, dass diese auch bei einer Verwertungsmöglichkeit von Stroh keinen Eingang in die Produktion finden. Sie werden in diesem Zusammenhang als nicht relevant angesehen. Die organischen Restmassen der Ackerkulturen Körnermais, Ölkürbis, Corn- Crob- Mix und Sonnenblumen kommen für eine mögliche Nutzung zwar in Betracht, werden aufgrund des hohen Feuchtegehaltes zum Erntezeitpunkt (erhöhte Trocknungs- bzw. Verarbeitungskosten) jedoch nicht berücksichtigt.

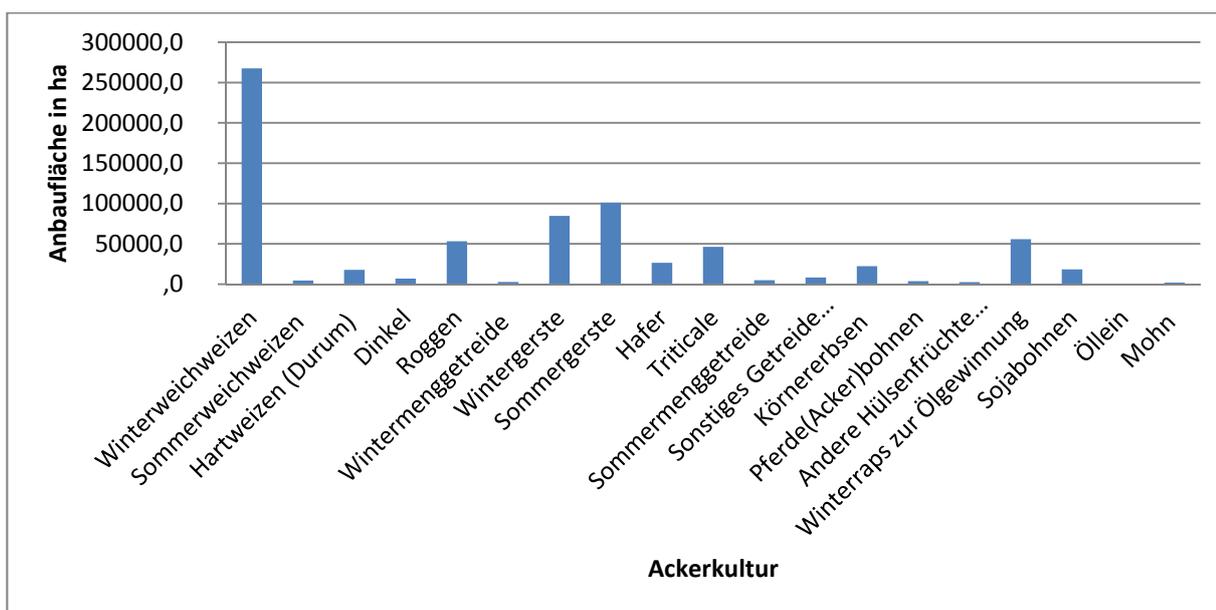
Abbildung 5: Ackernutzung in Österreich 2008



Quelle: Eigene Darstellung nach BMLFUW, 2010

Eine detaillierte Aufstellung der relevanten Ackerkulturen samt österreichischer Anbaufläche 2010 zeigt Abbildung 6. Mit einer Anbaufläche von ca. 267.000 ha nimmt der Winterweichweizen eine zentrale Stellung in der österreichischen Fruchtfolge ein. Dahinter folgen die Getreidearten Roggen, Sommer- und Wintergerste. Die in diesem Zusammenhang wichtigste „nicht Getreideart“, stellt der Winterraps mit ca. 55.000 ha dar. In Summe beträgt die Anbaufläche relevanter GÖK-Flächen im Jahr 2009 rund 755.000 ha.

Abbildung 6: Anbaufläche relevanter Ackerkulturen 2009 in ha

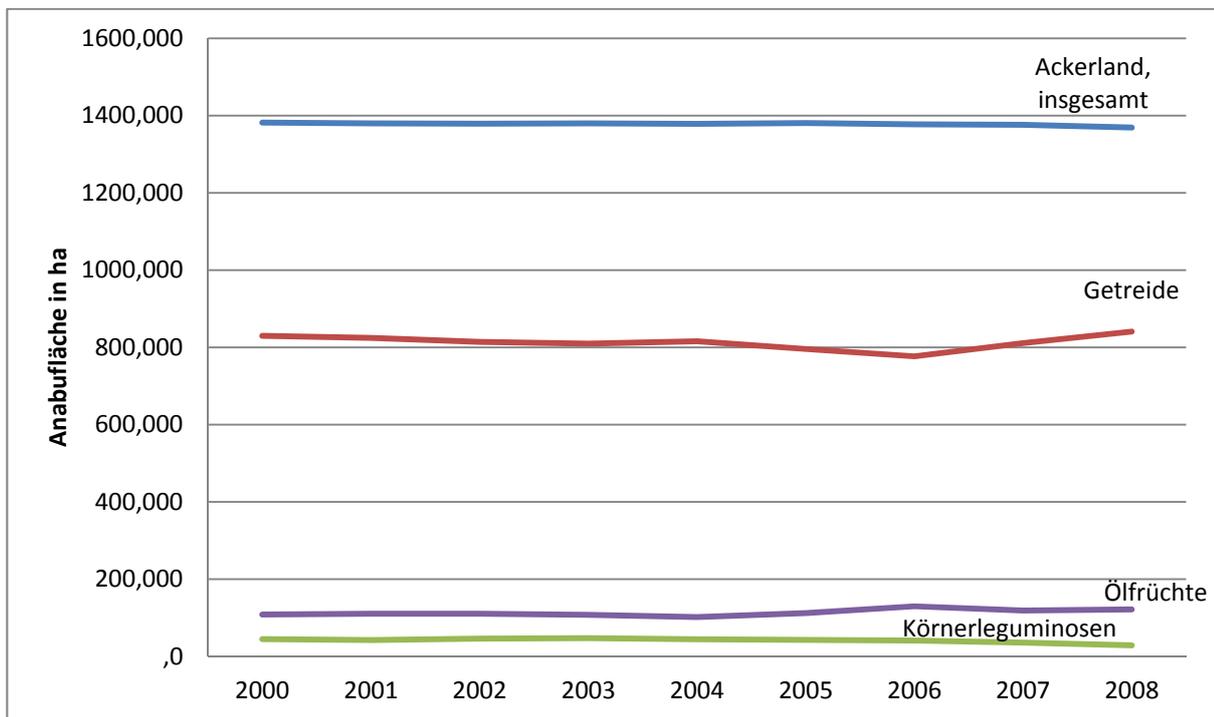


Quelle: Eigene Berechnung nach STATISTIK AUSTRIA, 2009

Die Potenzialabschätzung beschränkt sich auf das Jahr 2009. Deshalb erscheint es für die Aussagekraft der anschließenden Aufkommensberechnungen nicht unwesentlich, die Anbauentwicklung der ausgewählten Kulturen näher zu betrachten.

Wie Abbildung 7 veranschaulicht, gab es während der letzten Jahre keine gravierenden Änderungen in Bezug auf die Gesamtanbaufläche, sowie der für die Potenzialabschätzung relevanten Ackerkulturen. Der leichte Anstieg der Getreideanbauflächen in den Jahren 2007 und 2008 wird durch die erhöhten Marktpreise für Getreide begründet. Es kann somit von einer annähernd gleichbleibenden Versorgung des Rohstoffs Stroh ausgegangen werden.

Abbildung 7: Entwicklung der Anbaufläche relevanter Ackerkulturen



Quelle: Eigene Darstellung nach STATISTIK AUSTRIA 2009

### 4.1.3 Erträge

Stroherträge verschiedener Ackerbaukulturen spielen in der Statistik üblicherweise keine Rolle. Mit Ausnahme des Getreidestrohs werden in Österreich keine Statistiken zu den Stroherträgen der Ackerkulturen veröffentlicht. Für die berücksichtigten Kulturgruppen Körnerleguminosen und Ölfrüchte wird daher auf einen Umrechnungsschlüssel zurückgegriffen, der den Strohanteil in Prozent des Hauptfruchtertrages definiert. Diese stellen sich laut LFL, 2011 wie folgt dar:

Tabelle 3: Strohertrag in Prozentanteil des Hauptfruchertrages

<b>Körnerleguminosen</b>	
<b>Ackerbohne</b>	100%
<b>Erbsen</b>	100%
<b>Lupinie</b>	100%
<b>Sojabohne</b>	100%
<b>Ölfrüchte</b>	
<b>Raps</b>	170%
<b>Öllein</b>	200%

Quelle: Eigene Darstellung nach LFL, 2011

Der fehlende Umrechnungsschlüssel für Mohn wird analog zum Raps mit 170% des Hauptfruchertrages bewertet.

Die zur Berechnung der Stroherträge erforderlichen Erträge der Hauptfrüchte erfolgt mangels nötiger Datengrundlage nicht auf Bezirks- sondern auf Bundesländerebene.

Die zur Ertragsermittlung erforderlichen Daten werden der Feldfruchternte 2010 (Statistik Austria) entnommen. Getreideerträge werden nach den in Abbildung 6 dargestellten Anbauflächen gewichtet. Da sich auch hier einige Lücken in der Statistik finden, wird bei fehlenden Ertragszahlen, wie etwa der Ackerbohnertrag in Salzburg, auf die Zahlen eines geographisch ähnlichen Bundeslandes zurückgegriffen. Nicht publizierte Erträge sonstiger Hülsenfrüchte (Wicken, Lupinien, Linsen) werden mit den Erträgen der Körnererbsen gleichgesetzt.

Basierend auf dem Umrechnungsschlüssel sowie den erforderlichen Ertragsdaten der Hauptfrüchte (STATISTIK AUSTRIA, 2010; LFL, 2011), stellen sich die Durchschnittserträge wie folgt dar:

Tabelle 4: Durchschnittliche Stroherträge je Bundesland und Kulturgruppe in dt

	<b>Getreide</b>	<b>Körnerleguminosen</b>	<b>Ölfrüchte</b>
<b>Burgenland</b>	31,3	21,4	33,1
<b>Kärnten</b>	29,5	26,8	29,8
<b>Niederösterreich</b>	31,4	25,9	35,0
<b>Oberösterreich</b>	33,7	25,0	38,9
<b>Salzburg</b>	30,9	24,9	34,6
<b>Steiermark</b>	31,0	27,7	39,3
<b>Tirol</b>	38,1	25,0	29,8
<b>Vorarlberg</b>	36,6	25,0	29,8
<b>Wien</b>	39,4	21,2	32,3

Aus Gründen der Zweckmäßigkeit finden nur die bundesländerspezifischen Durchschnittserträge der Kulturgruppen (Getreide, Ölfrüchte, Körnerleguminosen) Eingang in die Berechnung. Eine detaillierte Aufstellung findet sich im Anhang A.

#### 4.1.4 Berechnung Konkurrenzsituationen

Im Folgenden werden die im Szenario „mit Konkurrenz“ unterstellten Konkurrenzsituationen näher erläutert bzw. berechnet:

##### 4.1.4.1 Einstreu Milchviehhaltung

Für die Berechnung der nötigen Einstreumenge der österreichischen Milchviehbetriebe werden folgende Ausgangsdaten zugrunde gelegt:

Tabelle 5: Ausgangsdaten für die Berechnung des Einstreubedarfs

	Bedarf in kg FM	Datenquelle
Einstreubedarf Milchkuh Liegeboxenlaufstall	1,5 kg/ Tier/ Tag	KTBL- DATENSAMMLUNG 08/09
Einstreubedarf Milchkuh Tiefstreuastall	4 kg/ Tier/ Tag	KTBL- DATENSAMMLUNG 08/09
GVE- Umrechnungsschlüssel		BMLFUW, 2006
Rinderbestand, 2009		BUNDESANSTALT FÜR AGRAR- WIRTSCHAFT, 2010

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Mehrzahl der Kühe in Liegeboxenlaufställen und die Mehrzahl der Jungrinder in Tiefstreuaställen gehalten werden. Sowohl aus Gründen der Zweckmäßigkeit als auch der fehlenden Datengrundlage wird auf die Berücksichtigung der verschiedenen Haltungssysteme in der Berechnung verzichtet. Für Kühe ergibt sich folglich ein Bedarf von 1,5 kg FM/ Tier/ Tag. Die Berechnung der Jungrinder erfolgt über den GVE- Umrechnungsschlüssel. Ausgehend von 4 kg FM/ Tier/ Tag, die für eine Milchkuh (1 GVE) in einem Tiefstreuastall nötig sind, benötigt ein Kalb bis 300 kg Eigengewicht (0,15 GVE) rund 0,6 kg FM/ Tag.

Männliche Tiere ab einem Alter von 6 Monaten werden üblicherweise auf strohlosen Vollspalten gehalten und daher nicht berücksichtigt.

Wie in der Beschreibung des Szenarios in Kapitel 4.3.1.2 angeführt, wird der Einstreubedarf vom jeweiligen Getreidestrohpotenzial abgezogen. Es wird angenommen, dass alle Arten von Getreidestroh verwendet werden und es zu keiner erhöhten Nachfrage einer bestimmten Sorte kommt.

##### 4.1.4.2 Verbrennung in Fernwärmeheizkraftwerken

Im Gegensatz zu Dänemark und Großbritannien spielt die Verbrennung von Stroh in Österreich eine untergeordnete Rolle. Der Hauptgrund hierfür liegt, neben der stärkeren Konkurrenzsituation zum Biomasserohstoff Holz, vor allem an den zu erfüllenden Umweltauflagen (DIE UMWELTBERA-

TUNG, 2010). Diese verursachen in Österreich einen wesentlichen Teil der entstehenden Prozesskosten. In Österreich existieren derzeit 10 strohbefeuerte Fernheizkraftwerke, wobei sich nahezu alle Anlagen im Bundesland Niederösterreich befinden. Der Rohstoffverbrauch der Kraftwerke zeigt sich laut Auskunft der Landwirtschaftskammer Niederösterreich (FURTHNER, 2010) wie folgt:

Tabelle 6: Strohverbrauch Fernwärmeheizkraftwerke in Österreich

Anlagenbezeichnung	Strohverbrauch in t/a	Gemeinde	Bezirk
Bockfließ	1570	Bockfließ	Mistelbach
Deutsch-Brodersdorf	1070	Seibersdorf	Baden
Dobersberg	726	Dobersberg	Waidhofen/Th.
Dürnkrut	3550	Dürnkrut	Gänserndorf
Lasee	3220	Lasee	Gänserndorf
Seibersdorf	1150	Seibersdorf	Baden
Stetteldorf	1200	Stetteldorf am W.	Korneuburg
Unternalb	700	Retz	Hollabrunn
Wolfsthal	2000	Wolfsthal	Bruck
<b>Summe</b>	<b>15.186</b>	<b>t Stroh FM</b>	

#### 4.1.5 Berechnung des Strohangebots auf Bezirksebene

Die Berechnung des Strohangebots auf Bezirksebene erfolgt je nach Szenario auf Basis der Berechnungsschemen in Tabelle 1 für das Szenario „ohne Konkurrenz“ bzw. Tabelle 2. für das Szenario „mit Konkurrenz“. Dabei wird, ausgehend von der im jeweiligen Bezirk zur Verfügung stehenden „relevanten“ Ackerbaufläche, jene Fläche in Abzug gebracht, die biologisch bewirtschaftet wird. Im Szenario „ohne Konkurrenz“ wird zusätzlich jene Fläche abgezogen, auf der „relevante“ Getreidekulturen von Milchviehbetrieben angebaut werden. Abzüglich eines 5 prozentigen Puffers für negative Umwelteinflüsse ergibt sich, wie in Tabelle 7 abgebildet, das Flächenpotenzial für den jeweiligen Bezirk. Multipliziert man diesen Wert mit bundesländerspezifischen Erträgen aus Tabelle 6, so erhält man das Bezirkspotenzial für das Basisszenario „ohne Konkurrenz“.

Tabelle 7: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“

$\sum$ Zur Verfügung stehende GÖK- Flächen im Bezirk $n \in N$	(4.1)
- $\sum$ Biologisch bewirtschaftete GÖK-Flächen im Bezirk $n \in N$	(4.2)
- $\sum$ Getreide- Flächen, welche von Milchviehbetrieben bewirtschaftet werden, (ohne Biobetriebe) im Bezirk $n \in N$	(4.3)
<b>= Flächenpotenzial ohne Puffer im Bezirk <math>n \in N</math></b>	
<hr/>	
x (1- 0,05) Puffer für Ernteauffälle (Dürre, Auswinterungen, etc.)	(4.4)
<hr/>	
<b>= Flächenpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“ im Bezirk <math>n \in N</math></b>	
x kulturabhängigen Durchschnittserträgen für Stroh	
<hr/>	
<b>= Strohpotenzial Szenario „keine Konkurrenz“ im Bezirk <math>n \in N</math></b>	

Im Szenario „mit Konkurrenz“ wird analog zum vorhergehenden Szenario ebenfalls die biologisch bewirtschaftete Ackerfläche von den zur Verfügung stehenden, „relevanten“ Ackerbauflächen abgezogen. Aus der sich daraus ergebenden Fläche wird mittels bundesländerspezifischen Ertragsdaten ein Ertragspotenzial errechnet. Abzüglich der im jeweiligen Bezirk nachgefragten Einstreu- und Verbrennungsmengen, sowie einem 10igen Abzug für negative Umweltauswirkungen ergibt sich das Bezirkspotenzial für das Basisszenario „mit Konkurrenz“. Zeigen sich die Ergebnisse, wie beispielsweise in einer Vielzahl an Bezirken in den westlichen Bundesländern, so wird das Potenzial der Nachbarbezirke herangezogen. Das heißt ist ein Bezirk nicht in der Lage die benötigte Einstreu- bzw. Verbrennungsmengen aus den eigenen Ackerflächen zu lukrieren, so wird dieser von den Nachbarbezirken importiert. Sind diese ebenfalls nicht in der Lage die nötigen Mengen zur Verfügung zu stellen, wird auf dessen Nachbarbezirke ausgewichen.

Zeigen ganze Bundesländer ein negatives Potenzial so erfolgt der Import aus den Nachbarbundesländern, wobei hier der fachlichen Praxis entsprechend auch weiter entfernte Bundesländer betrachtet werden. Es zeigt sich beispielsweise, dass die hohe Nachfrage nach Einstreu im Bundesland Tirol nicht nur durch Stroh aus den umliegenden Bundesländern gedeckt wird, sondern auch durch spezialisierte Händler aus Niederösterreich. Dieser Umstand wird auch in der Berechnung berücksichtigt.

Tabelle 8: Berechnung Flächen- und Strohpotenzial Szenario „mit Konkurrenz“

$\sum$ Zur Verfügung stehende GÖK- Flächen im Bezirk $n \in N$	(4.5)
- $\sum$ Biologisch bewirtschaftete GÖK-Flächen im Bezirk $n \in N$	(4.6)
= Flächenpotenzial im Bezirk $n \in N$ ohne Puffer	
<hr style="border: 0.5px solid black;"/>	
x (1- 0,1) Puffer für Ernteauffälle und sonstige Einstreu (Pferd....)	(4.7)
<hr style="border: 0.5px solid black;"/>	
<b>= Flächenpotenzial im Bezirk <math>n \in N</math></b>	
x kulturabhängigen Durchschnittserträgen für Stroh	
<hr style="border: 0.5px solid black;"/>	
= Strohaufkommen im Bezirk $n \in N$ ohne Konkurrenz	
- $\sum$ Strohverbrauch durch Einstreu in Milchviehbetrieben im Bezirk $n \in N$	(4.8)
- $\sum$ Strohverbrauch durch Verbrennung in Heizkraftwerken im Bezirk $n \in N$	(4.9)
<hr style="border: 0.5px solid black;"/>	
<b>= Strohpotenzial<sub>1</sub> Bezirk <math>n \in N</math></b> (=SP1 <sub>n</sub> )	
<hr style="border: 0.5px solid black;"/>	

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Strohmenge, die für die BtL- Produktion in Szenario „mit Konkurrenz“ der einzelnen Bezirken dargestellt:

Strohpotenzial<sub>1</sub> Bezirk  $n \in N$  wird in der Folge vereinfacht für den Bezirk <sub>$i$</sub>  als  $SP1_i$  bezeichnet.

$$SP2_n = \begin{cases} 0 & \text{wenn } SP1_n < 0 \\ SP1_n & \text{sonst} \end{cases}$$

$SP1_n$ : Strohproduktion des Bezirkes  $n$  abzüglich des Strohverbrauchs im Bezirk ohne BtL- Produktion (Strohpotenzial<sub>1</sub> Bezirk  $n \in N$ )

$$SB_n = \begin{cases} 0 & \text{wenn } SP1_n > 0 \\ -SP1_n & \text{sonst} \end{cases}$$

$SP2_n$ : Strohmenge des Bezirkes  $n$ , die nicht im Bezirk verbraucht wird

$$SB_n = \sum_{m=1}^n SL_{mn}$$

$SP3_m$ : Strohmenge die zur Produktion von BtL im Bezirk  $m$  zur Verfügung steht

$$SL_{mn} = \sum \lambda_{nm} * SP1_j$$

$SB_n$ : Strohbedarf des Bezirkes  $n$ , abzüglich der Strohproduktion innerhalb des Bezirkes

$$-SB_n = \sum_{m \in N \text{ ohne } n} SL_{mn}$$

$SL_{mn}$ : Strohlieferung vom des Bezirkes  $m$  zum Bezirk  $n$

$$SP3_m = SP2_m - \sum_{n \in N \text{ ohne } m} SL_{mn}$$

$\lambda_{nm}$ : Anteil des Strohbedarfs der Bezirkes  $n$  der durch Strohlieferungen auf dem Bezirk  $m$  gedeckt wird\*

Für  $\lambda_{nm}$  gilt:

- $\lambda = 0$  wenn  $SP1 = 0$
- $\sum \lambda_{nm} = 1$
- $\lambda_{nm} > 0$
- $SP_m > \sum_n \sum_m \lambda_{mn} * SB$

\*wird exogen ermittelt

## Ergebnisse der Potenzialabschätzung

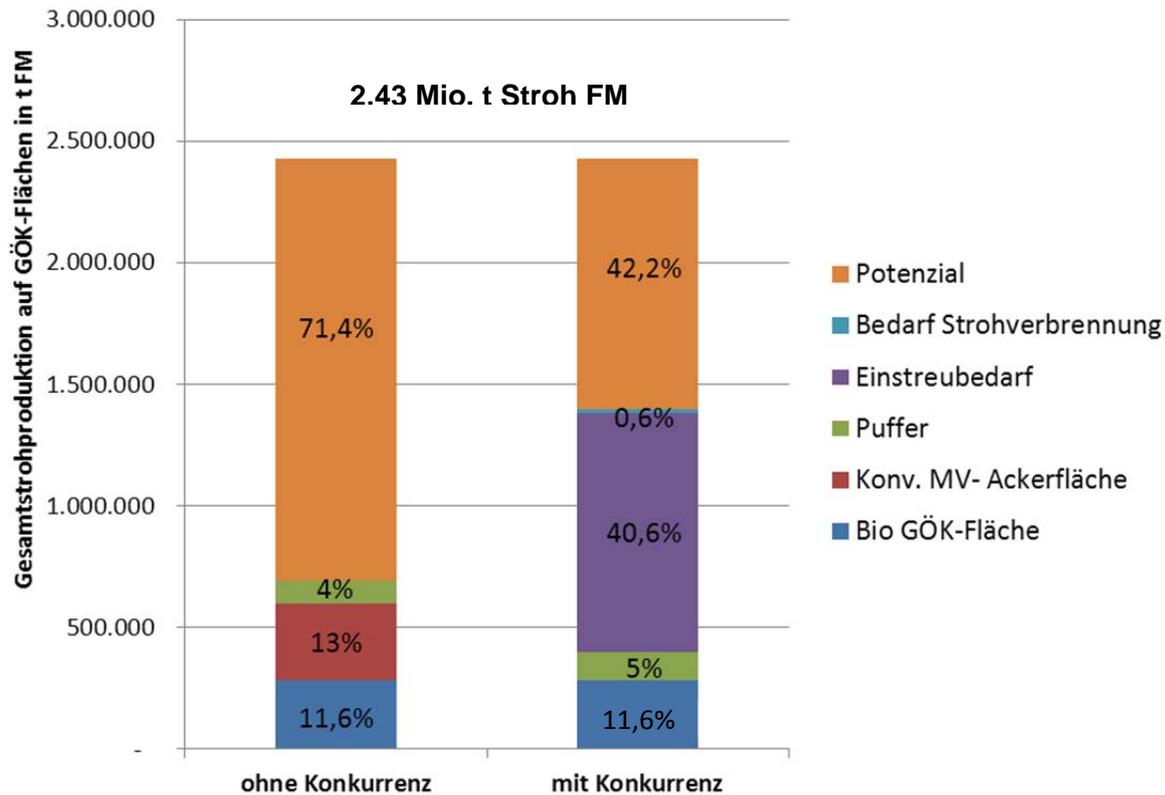
### 4.1.6 Gesamtergebnis Basisszenarien

Wie in Abbildung 8 dargestellt, wird auf der in Österreich zur Verfügung stehenden GÖK- Fläche in Summe 2,43 Mio. t Stroh FM produziert. Der Anteil an biologisch produziertem Stroh wird mit 284.000 t FM bzw. 11,6% der Gesamt- GÖK- Fläche beziffert. Für das Szenario „ohne Konkurrenz“ ergab die Potenzialabschätzung ein österreichisches Gesamtpotenzial von 1,74 Mio. t FM bzw. 71,4% der Gesamtproduktion österreichischer GÖK- Flächen. Die Abzüge für „Milchviehfläche ohne Bio“ schlagen mit 13% zu buche. Dies entspricht einem Aufkommen von 315.000 t FM. Der Anteil des Puffers für schlechte Witterungsverhältnisse beträgt, gemessen am Gesamtstrohaufkommen, 4%.

Im Szenario „mit Konkurrenz“ stehen, gemessen am Gesamtstrohaufkommen, von 2,43 Mio. t FM, lediglich 42,2% oder 1,04 Mio. t FM als Potenzial für die Standort- und Kapazitätsplanung zur Verfügung. Der Unterschied zum Szenario „ohne Konkurrenz“ begründet sich vor allem in der Berücksichtigung der Einstreumenge. Bundesweit wird hierfür eine Menge von 983.000 t FM veranschlagt. Der überwiegende Teil wird dabei, wie aus Anhang A ersichtlich, in den westlichen Bun-

desländern benötigt. Die benötigte Strohmenge zur Versorgung der Strohheizkraftwerke nimmt mit 15.186 t FM oder 0,6% der Gesamtstrohproduktion eine vernachlässigbare Größenordnung ein.

Abbildung 1: Aufteilung des Gesamtstrohpotenzials in einzelne Berechnungskomponenten

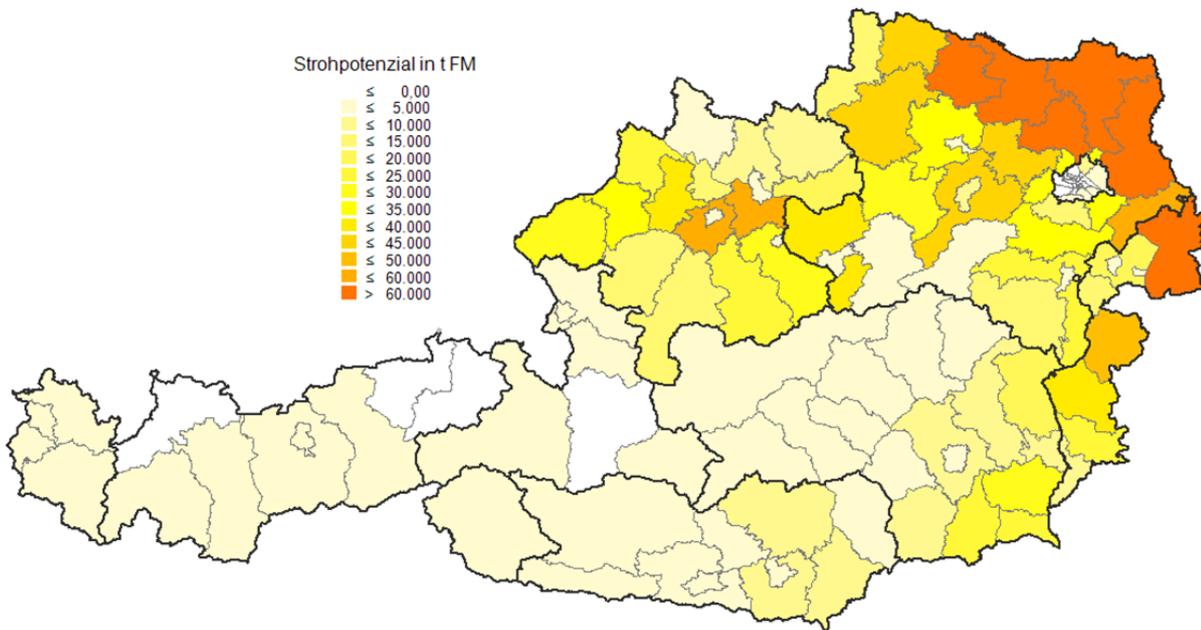


#### 4.1.7 Ergebnisse auf Bezirksebene

Wie in Abbildung 9 festgehalten, können im Szenario „ohne Konkurrenz“ 96 der 119 betrachteten Bezirke ein positives Ergebnis vorweisen. Lediglich 23 Bezirke weisen kein Potenzial auf. Den größten Anteil an verfügbarem Stroh weist, wenig überraschend, das nördliche Weinviertel auf. Die Bezirke Mistelbach, Hollabrunn, Korneuburg, Gänserndorf sowie Horn verfügen gemeinsam über ein Potenzial von 580.000 t FM bzw. 33% des Gesamtpotenzials im Szenario „ohne Konkurrenz“. Wenngleich die meisten Bezirke in den alpinen Regionen Potenziale aufweisen, so können sie auch unter den lockeren Restriktionen dieses Szenarios keinen nennenswerten Beitrag zum Gesamtstrohaufkommen leisten. In Summe finden sich lediglich 40 Bezirke, die mehr als 10.000 t Stroh FM zur Verfügung stellen können.

Nach Bundesländer aufgeschlüsselt leistet hierbei das Bundesland Niederösterreich mit einem Anteil von 59%, gefolgt von Oberösterreich und Burgenland mit 21% bzw. 12%. Den höchsten Beitrag.

Abbildung 9: Regionales Strohpotenzial im Szenario „ohne Konkurrenz“

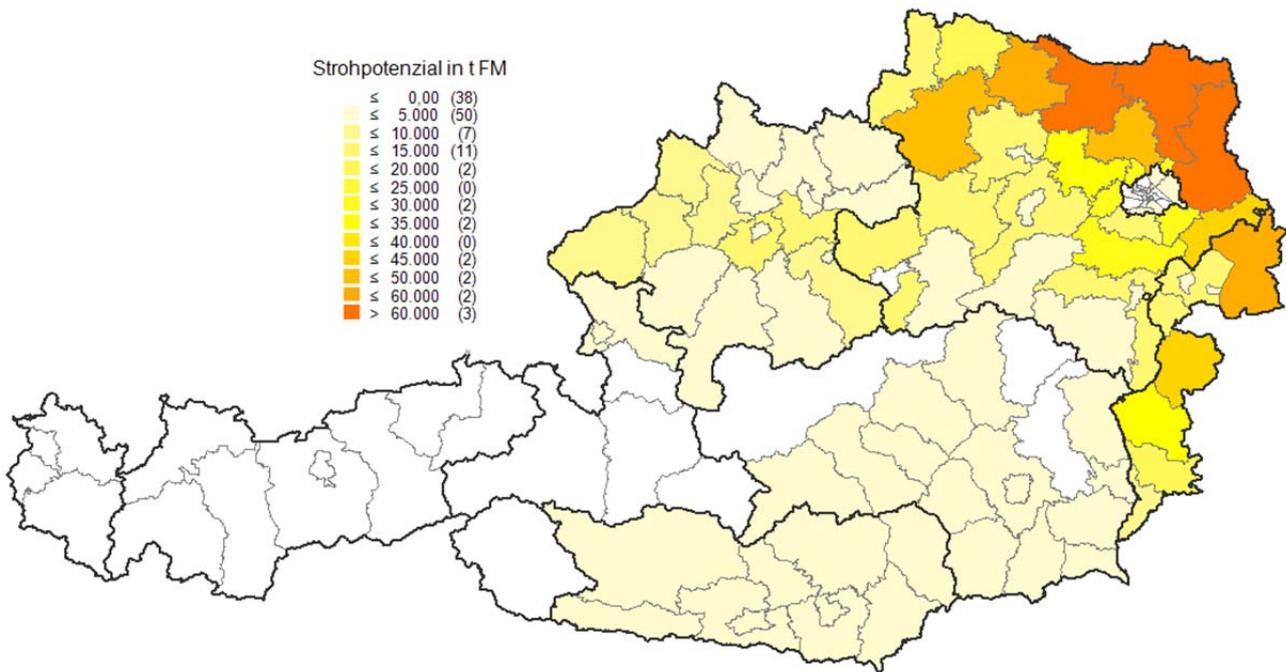


Analog zum Szenario „ohne Konkurrenz“ zeigt sich auch im Szenario „mit Konkurrenz“ eine starke Fokussierung des Strohaufkommens auf die österreichischen Kernackerbauggebiete. Westliche bzw. alpine Bundesländer können aufgrund der hohen Nachfrage an Einstreu keinen positiven Beitrag leisten. In Summe finden sich, wie in Abbildung 10 dargestellt, nur 26 Bezirke die mehr als 10.000 t Stroh FM zur Verfügung stellen können. Der Anteil an Bezirken ohne Strohpotenzial beträgt in diesem Szenario 39.

Die Annahme, dass fehlende Einstreumengen in den westlichen Bundesländern zu einer erhöhten Nachfrage in den nächstgelegenen Bundesländern führen, schlägt sich auch im Aufkommen des ackerbaulich dominierten Weinviertel nieder. In Summe erreichen die Bezirke Horn, Mistelbach, Korneuburg, Gänserndorf und Hollabrunn ein Gesamtpotenzial von 456.000 t FM. Gemessen am bundesweiten Gesamtpotenzial tragen diese Bezirke jedoch ein Anteil von 44% bei. Die Betrachtung auf Bundesländerebene zeigt erneut eine klare Dominanz niederösterreichischer Bezirke. Der flächenmäßig hohe Anteil an Ackerfläche, sowie der unterdurchschnittliche Rinderbestand, gemessen an der Gesamtfläche, sorgen für einen Anteil von 72% am österreichischen Strohpotenzial. Den zweithöchsten Beitrag leistet in diesem Szenario das Burgenland mit 18% bzw. 184.000 t FM, gefolgt von Oberösterreich mit 8% bzw. 88.000 t FM.

Die Aufteilung des Strohpotenzials für das Szenario „mit Konkurrenz“ zeigt sich wie folgt:

Abbildung 10: Regionales Strohpotenzial im Szenario „mit Konkurrenz“



## Zusammenfassung

Je nach Berechnungsansatz weisen die beiden Szenarien stark unterschiedliche Ergebnisse auf. Während im Szenario „ohne Konkurrenz“ eine Menge von 1,74 Mio. t FM als bundesweites Gesamtpotenzial zu Verfügung steht, weist das Szenario „mit Konkurrenz“ nur 1,04 Mio. t FM auf. Dies ist vor allem auf die Berücksichtigung der Milchviehhaltung im Szenario „mit Konkurrenz“ zurückzuführen. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass mit einer steigenden Intensivierung der österreichischen Milchviehbetriebe auch eine Reduktion der Einstreumenge einhergeht, da aus arbeitswirtschaftlichen Gründen hierbei meist Güllesysteme eingesetzt werden. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass künftig in Österreich mehr Stroh als Einstreu benötigt wird. Der Anteil der Biofläche von 283.000 t FM bzw. 11,6% der Gesamtproduktion kann nur schwer eingeschätzt werden, da die künftige Entwicklung dieses Anteils vor allem von künftigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen abhängt.

Verglichen mit bereits publizierten Studien, zeigt sich ein differenziertes Bild. Beispielsweise geht THRÄN ET AL., 2005 von einem energetisch nutzbarem Anteil von 30% des Gesamtstohaufkommens aus. Für die in dieser Arbeit unterstellte Gesamtproduktion von 2,43 Mio. ha würde dies eine nutzbare Menge von 730.000 t FM bedeuten. DISSEMOND UND ZAUSSINGER, 1995 bezifferten in der einzig detaillierten Studie für Österreich das frei verfügbare Strohpotenzial aus Getreidekulturen auf 350.000 t FM. Ölfrüchte und Körnerleguminosen fanden dabei keine Berücksichtigung.

In Summe zeigt ein direkter Vergleich keine eindeutigen Ergebnisse. Das zur Verfügung stehende Potenzial stellt sich mit 1,74 bzw. 1,04 Mio. t FM zwar wesentlich höher dar, kann jedoch aufgrund der differenzierten Berechnungsansätze nur bedingt verglichen werden.

## 5 Material und Methode

Das folgende Kapitel zeigt neben einer kurzen Einführung in die Methoden und Modelle der Standort- und Kapazitätsplanung die zur Modellberechnung nötigen Ausgangsdaten.

### Methoden der Standort- und Kapazitätsplanung

Angesichts der mit der Standort- und Kapazitätsplanung einhergehenden langfristigen Bindung an einen bestimmten Ort, sind Standortentscheidungen maßgebend für den betriebswirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens. Je nach Betriebsausrichtung (Handel, Produktion, etc.) stehen bestimmte, meist limitierende Standortfaktoren (Know-How, Rohstoffe..) im Fokus der Standortplanung.

Grundsätzlich wird in der Standortplanung, neben einem volkswirtschaftlichen Ansatz, der sich mit der Ansiedlungsoptimierung bestimmter Wirtschaftssektoren befasst, in zwei betriebswirtschaftliche Ansätze unterschieden: die betriebliche und die innerbetriebliche Standortplanung (DOMSCHKE UND DREXL, 1996). Die innerbetriebliche Standortplanung bzw. Layoutplanung befasst sich mit der kostengünstigen räumlichen Anordnung von Anlagen und Arbeitssystemen innerhalb einer Produktionsstätte. Für die Standortplanung von BtL- Anlagen erweist sich weder der volkswirtschaftliche, noch der innerbetriebliche Ansatz als geeignet.

### Modelle der betrieblichen Standortplanung

Neben der Möglichkeit, eine betriebliche Standortplanung nach qualitativen Merkmalen zu gestalten, bieten sich auch quantitative Möglichkeiten. Nach KLOSE, 2001 bestehen diese aus: 1. Modellen in der Ebene, 2. Netzwerkmodellen, sowie 3. Modellen der gemischt- ganzzahligen Optimierung bzw. dem Warehouse- Location- Problem.

Modelle in der Ebene versuchen, ausgehend von einer bestimmten Anzahl an Kunden mit einem festgelegten Bedarf, den/ die transportkostenminimalen Standorte zu eruiieren. Bei Standortplanungen in Netzen wird hingegen die Menge der zulässigen Lösungen auf ausgewählte Punkte und deren direkte Verbindungsstrecken beschränkt (KERDONCUFF, 2008).

Während sich die Modelle in der Ebene und Netzwerkmodelle in diesem Zusammenhang als gänzlich ungeeignet erweisen, zeigen sich die Modelle der gemischt- ganzzahligen Optimierung als geeignet. Bei Warehouse-Location-Problemen werden Standort- und Transportoptimierungen für die Planung von Distributionszentren simultan durchgeführt. Dabei

liefern sie sowohl Ergebnisse betreffend der Distributionsstruktur (einzurichtende Standorte) als auch zu den durchzuführenden Transporten (KERNDONCUFF, 2008).

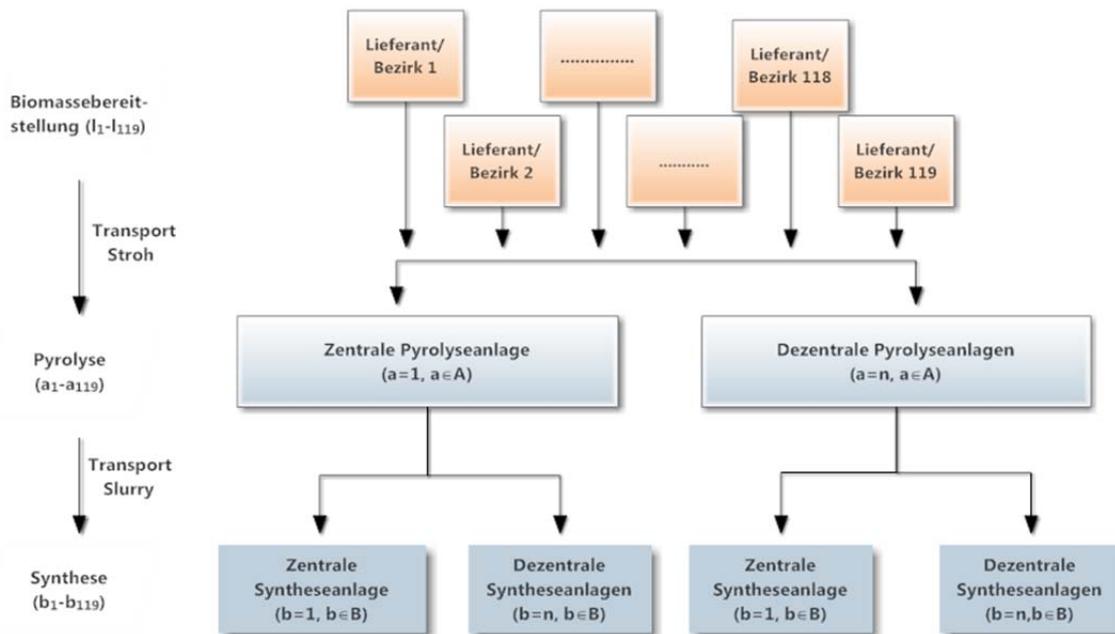
Innerhalb der gemischt- ganzzahligen Modelle werden, je nach Komplexität ein- oder mehrstufige Optimierungen unterschieden. Die in dieser Arbeit untersuchte Standort- und Kapazitätsplanung

für BtL- Anlagen lässt sich im Fall einer getrennten Pyrolyse bzw. Synthese als zweistufiges Warehouse- Location- Problem formulieren und mittels nachstehender Ausgangsdaten analysieren.

## Netzwerkdarstellung des Planungsproblems

Das hier vorliegende Planungsproblem lässt sich als Warehouse (Facility)- Location- Problem mit zwei zu planenden Distributionsstufen darstellen. Die zwei Distributionsstufen bestehen aus dem Transport von Stroh vom Lieferanten (Bezirk  $I_1$ -  $I_{119}$ ) zur Pyrolyseanlage (1. Stufe), sowie dem Transport vom Pyrolyseendprodukt Slurry zur Syntheseanlage (2. Stufe). Wie in Abbildung 10 ersichtlich besteht sowohl bei der Pyrolyse als auch bei der Synthese die Möglichkeit einer dezentralen bzw. zentralen Verarbeitung. Bei einer zentralen Verarbeitung wird das anfallende Stroh bzw. der anfallende Slurry zur Gänze an einem Standort verarbeitet. Sämtliche Mengen an Stroh/ Slurry werden somit von den einzelnen Lieferanten/ Bezirken zu einer zentralen Pyrolyse- bzw. Syntheseanlage transportiert und dort verarbeitet. Im Fall einer dezentralen Anordnung der Verarbeitungsanlagen wird nur ein Teil der Gesamtmenge in einer Anlage verarbeitet. Jeder Lieferant/ Bezirk ist zugleich möglicher Pyrolysestandort und möglicher Synthesestandort. Dem Planungsmodell stehen somit jeweils 119 Pyrolyse- und Synthesestandorte zur Verfügung. Eine Mischung zwischen beiden Verarbeitungskonzepten, wie beispielsweise eine dezentrale Pyrolyse mit zentraler Synthese, wird ebenfalls berücksichtigt.

Abbildung 2 Netzwerkdarstellung des Planungsproblems



## Datengrundlage und Annahmen

### 5.1.1 Festkosten der Anlagen

Die Entwicklung von BtL- Anlagen befindet sich derzeit noch im Demonstrationsstadium. Für die Kalkulation der Festkosten wird daher auf Daten aus der Literatur zurückgegriffen.

Im Rahmen eines Standortplanungsmodells für BtL- Anlagen in Baden-Württemberg zeigte KERN-DONCUFF, 2008 die investitionsabhängigen Kosten verschiedener BtL- Anlagen in Abhängigkeit zur Verarbeitungskapazität. Dabei ermittelte das Modell innerhalb von definierten Szenarien die kostengünstigste Produktionsmöglichkeit. In Tabelle 8 finden sich die fixen und variablen Kosten der untersuchten Szenarien, sowie eine Angabe der betrachteten Kapazitäten.

Tabelle 9: Ausgangsdaten für die Investitionskostenberechnung

	Zentrale Pyrolyse (1)	Dezentrale Pyrolyse (2)	Dezentrale Pyrolyse (10)	Dezentrale Pyrolyse (20)
Kapazität Pyrolyseanlage (t Stroh FM)	1 Mio.	500.000	100.000	50.000
Kapazität Syntheseanlage (t Slurry)	680.000	680.000	680.000	680.000
Kapazität Pyrolyseanlage in MWth	550	275	55	27,5
Kapazität Syntheseanlage in MWth	500	500	500	500
<b>Gesamtkosten Synthese in Mio.€ a</b>	<b>401,49</b>	<b>401,49</b>	<b>401,49</b>	<b>401,49</b>
<b>Gesamtkosten Pyrolyse in Mio.€ a</b>	<b>95,26</b>	<b>100,33</b>	<b>130,92</b>	<b>180,48</b>
<b>Inv.abh. Kosten (ink. Versicherung, Kapitalkosten etc.) in M€ a</b>	<b>81,97</b>	<b>82,80</b>	<b>87,85</b>	<b>96,03</b>
davon Synthese	66,25	66,25	66,25	66,25
davon Pyrolyse (Gesamt)	15,72	16,55	21,6	29,78
davon Pyrolyse je Anlage	15,72	8,25	2,16	1,49
<b>Variable Kosten in M€ bei Vollaustattung</b>	<b>5,40</b>	<b>13,71</b>	<b>14,33</b>	<b>15,04</b>
davon Synthese	4,96	4,96	4,96	4,96
davon Pyrolyse	0,48	8,75	9,31	10,8

Quelle: eigene Berechnungen nach KERNDONCUFF, 2008

Im Szenario „Zentrale Pyrolyse“ kommt es zu einer erheblichen Reduktion der variablen Kosten. Dieser Umstand ergibt sich vor allem durch Energieeinsparungen bei der Pyrolyse. Bei einer dezentralen Pyrolyse muss Prozesswärme (Strom) zugekauft werden. Im zentralen Szenario kann überschüssige Wärme aus der Synthese herangezogen werden.

Kapitalkosten in der Höhe von 8% p.a. sind in Tabelle 9 bereits inkludiert. Angesichts des erhöhten Marktrisikos, die eine Realisierung derartiger Anlagen mit sich bringt, erweist sich die Annahme

von 8% Kapitalkosten durchaus angemessen und wird in weiterer Folge auch in der hier durchgeführten Betrachtung unterstellt. Versicherungskosten und Kosten für Reparaturen werden mit 2% bzw. 4% berücksichtigt.

Basierend auf diesen Angaben werden für das hier untersuchte Modell, folgende Ausgangsgrößen bestimmt:

### 5.1.1.1 Fixkosten Pyrolyseanlage(n)

Die Investitionskosten für die Pyrolyseanlagen werden aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten in Tabelle 9 mittels Größendegressionskurve ermittelt.

$$Y = 0,009x^2 + 0,55x + 15,285 \quad R^2 = 0,988 \quad (5.3)$$

Ausgehend von der Regression in Gleichung 5.3 werden in den Modellrechnungen 10 Größenklassen, die sich hinsichtlich ihrer Verarbeitungskapazitäten unterscheiden, exogen vorgegeben. Tabelle 10 zeigt die Strohverarbeitungskapazität sowie die Fixkosten der im Standortplanungsmodell betrachteten Größenklassen der Pyrolyseanlagen.

Die Anzahl, die Standorte und die Größenklassen der realisierten Pyrolyseanlagen ergeben sich modellendogen aus der gemischt- ganzzahligen Optimierung. Die Größenklasse 10 gestaltet sich in der Kapazität, als das zur Verfügung stehende Gesamtpotenzial in Österreich für das jeweilige Szenario. D.h. im Szenario „ohne Konkurrenz“ wird die Größenklasse 10 mit 1,74 Mio. t bzw. Fixkosten von 24,8 Mio. € ausgewiesen. Im Szenario „mit Konkurrenz“ zeigt sich die Größenklasse 10 wie folgt:

Tabelle 10: Fixkosten Pyrolyseanlage in Abhängigkeit zur Verarbeitungskapazität im Szenario „mit Konkurrenz“

	Kapazität in t Stroh FM	Fixkosten in Mio. €
<b>Größenklasse 1</b>	25.000	1,29
<b>Größenklasse 2</b>	28.571	1,30
<b>Größenklasse 3</b>	33.333	1,32
<b>Größenklasse 4</b>	40.000	1,38
<b>Größenklasse 5</b>	50.000	1,49
<b>Größenklasse 6</b>	66.667	1,70
<b>Größenklasse 7</b>	100.000	2,16
<b>Größenklasse 8</b>	200.000	3,65
<b>Größenklasse 9</b>	500.000	8,20
<b>Größenklasse 10</b>	1.037.000	15,91

### 5.1.1.2 Fixkosten Syntheseanlage(n):

Die Ermittlung der fixen Kosten für die Syntheseanlage(n) erfolgt durch die Methode zur Bestimmung der Größendegression. Diese erfolgt durch folgende Gleichung:

$$IK_1 = IK_0 \cdot \left(\frac{KP_1}{KP_0}\right)^R \quad (5.4)$$

dabei:  $IK$  = Anlageninvestition  
 $KP$  = Anlagenkapazität  
 $R$  = Größendegressionsexponent

Aus einer bekannten Investition  $IK_0$  bei einer Kapazität  $KP_0$  und dem Größendegressionskoeffizienten  $R$  kann die zu ermittelnde Investition  $I_1$  mit der Kapazität  $KP_1$  bestimmt werden (CHAUVEL ET AL., 1976). In dem hier untersuchten Modell ergibt sich die Investition  $IK_0$  bzw. die Kapazität  $KP_0$  aus der Tabelle 9 mit 66,25 M€ bzw. 680.000 t Verarbeitungskapazität. Der anlagenspezifische Größendegressionskoeffizient wird für thermochemische Veredelungsprozesse mit 0,7 angegeben (WRIGHT UND BROWN, 2007 in JACK 2009). Analog zur Berechnung der Fixkosten für die Pyrolyseanlage werden auch hier 10 mögliche Größenklassen, die sich hinsichtlich ihrer Verarbeitungskapazität unterscheiden, exogen ermittelt. Die in Tabelle 11 dargestellten Verarbeitungskapazitäten bzw. Fixkosten ergeben sich aus der Größendegressionsgleichung 5.4. Die Anzahl der Syntheseanlagen sowie deren Standorte und Anlagengrößen ergeben sich aus dem Optimierungsmodell.

Tabelle 11: Fixkosten Syntheseanlage in Abhängigkeit zur Verarbeitungskapazität

	Kapazität in t/ Slurry	Fixkosten in Mio. €
<b>Größenklasse 1</b>	50.000,00	10,7
<b>Größenklasse 2</b>	100.000,00	17,3
<b>Größenklasse 3</b>	200.000,00	28,1
<b>Größenklasse 4</b>	400.000,00	45,7
<b>Größenklasse 5</b>	600.000,00	60,7
<b>Größenklasse 6</b>	800.000,00	74,2
<b>Größenklasse 7</b>	1.000.000,00	86,8
<b>Größenklasse 8</b>	1.250.000,00	105,8
<b>Größenklasse 9</b>	1.500.000,00	115,3
<b>Größenklasse 10</b>	2.000.000,00	141,0

## 5.1.2 Variable Kosten

Die variablen Kosten gliedern sich in Rohstoffkosten, Transport- und Logistikkosten sowie den variablen Kosten für Pyrolyse- und Syntheseanlagen. Die Berechnung dieser zeigt sich wie folgt:

### 5.1.2.1 Rohstoffkosten

Die Bereitstellungskosten je t Stroh setzen sich üblicherweise aus den Komponenten Düngerwert und Erntekosten zusammen. Der Düngerwert spiegelt den monetären Wert wieder, der in Form von Nährstoffen am Feld verbleibt. Je nach Kultur kann dieser 2-4 €/kg bzw. 20-40 €/t Stroh einnehmen. Eine detaillierte Aufstellung des Düngewertes der verschiedenen Kulturen findet sich in Anhang B. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit wird in den Berechnungen vereinfacht ein Düngewert bei allen GÖK-Kulturen von 3 €/kg unterstellt. Die Kosten für die Strohernte, die vor allem für das Pressen des Ernteguts sowie der Ballensammlung anfallen, betragen laut Auskunft des „Maschinenrings Sauwald“ (KIESLINGER, 2011) für Rund- bzw. Quaderballen derzeit rund 4 €/kg bzw. 40€/t. In Summe ergeben sich somit Bereitstellungskosten 70 €/t ab Feld. Aufgrund der konstant hohen Nachfrage, die sich durch eine groß-technische Realisierung von BtL- Anlagen ergibt, wird angenommen, dass sich der Preis von 70 €/t auch für eine zentrale Sammelstelle in den einzelnen Bezirken durchsetzen lässt. D. h. die Rohstoffkosten werden mit 70 €/t ab Bezirkshauptstadt angenommen.

### 5.1.2.2 Transport- & Logistikkosten

Die Abschätzung der Transportkosten für Stroh auf Ebene der ersten Distributionsstufe zwischen den Sammelstätten der einzelnen Bezirke und den Pyrolyseanlagen erfolgt, basierend auf Daten von LEIBLE ET AL., 2005, durch lineare Regression. Hierbei wird unterstellt, dass Transporte bis 15 km mittels Traktor und Anhänger und Transporte über 15 km mittels LKW durchgeführt werden.

In Tabelle 7 sind die Transportkosten in Abhängigkeit zur Entfernung angegeben.

Tabelle 12: Transportkosten vom Feld bzw. landwirtschaftlichen Zwischenlager bis zur Anlage

<b>Radius der Erfassungsfläche</b>	<b>Erforderliche Fahrtstrecke, einfach</b>	<b>Stroh (86% TS) [€/ t TM)</b>
15	16	15
40	46	27
50	54	29
60	64	30

Quelle: LEIBLE ET AL., 2005

Basierend auf den Daten für den Biomassetransport in Tabelle 7 stellt KERDONCUFF, 2008 die fixen und entfernungsabhängigen Transportkosten, nach der Umrechnung auf Feuchtmassen, wie folgt dar:

$$Y = 11,77 + 0,24 x \quad (5.1)$$

dabei: Y = Transportkosten in €/ t FM  
X = Transportentfernung in km

Die 2. Distributionsstufe besteht im Transport des Pyrolyseendprodukts Slurry zur Syntheseanlage. Dieser erfolgt mittels LKW. Die Transportkosten werden aus HEINRICH ET AL., 2008 übernommen und wie folgt angegeben:

$$Y = 6 + 0,133 x \quad (5.2)$$

dabei: Y = Transportkosten in €/ t FM  
X = Transportentfernung in km

### 5.1.2.3 Variable Kosten der Pyrolyse- und Syntheseanlagen

Es wird, entsprechend Tabelle 9, angenommen, dass bei einem Teil der variablen Kosten der Pyrolyse- und Syntheseanlagen ein Größendegressionseffekt festgestellt werden kann.

Bei der Ermittlung der anfallenden Arbeitskosten wird davon ausgegangen, dass mit steigender Anlagengröße die Arbeitskräfte effizienter eingesetzt werden können. Nach HAMELINCK, 2004 kann bei der Ermittlung der Arbeitskosten, im Fall einer Anlage mit 400 MW thermischer Energie, von 0,5% der Gesamtinvestition ausgegangen werden. Der hierbei unterstellte Größendegressionsexponent liegt bei 0,25 (HAMELINCK, 2004). Für den Anteil der Personalkosten an der Gesamtinvestition ergibt sich somit folgende Formel:

$$PK_1 = 0,005 \cdot \left(\frac{TL_1}{400}\right)^{-0,25} \quad (5.5)$$

dabei: PK1 = Prozentsatz der Gesamtinvestition zur Berechnung der Personalkosten der Anlage TL1  
TL1 = Anlagengröße in Megawatt thermische Energie

Basierend auf dieser Formel ergibt sich für eine Pyrolyseanlage mit einer Kapazität von 1 Mio. t FM bzw. 550 MW thermischer Energie ein Personalkostenansatz ( $PK_1$ ) von 0,46%. Eine Berechnung der Personalkostenansätze sowie die daraus abgeleiteten Personalkosten finden sich im Anhang. Die Ermittlung der Gesamtpersonalkosten für die Pyrolyse bzw. Syntheseanlagen der unterschiedlichen Größenklassen erfolgt auf Basis der Tabelle 10 bzw. 12.

Bei den verbleibenden variablen Kosten für die Entsorgung der Restmassen (Schlacke), Kosten durch den Zukauf von Strom in dezentralen Pyrolyseanlagen, sowie anfallende Gebühren für Frisch- und Abwasser, wird angenommen, dass diese direkt proportional von der Verarbeitungsmenge abhängen. Nach KERNDONCUFF, 2008 kann bei einer Gesamtverarbeitungskapazität von 1

Mio. t Stroh FM (15% Feuchte) für Wasser-, Strom- und Entsorgungskosten von folgenden Kosten ausgegangen werden.

Tabelle 13: Aufstellung der sonstigen variablen Kosten

<b>Kalkulationsposten</b>	<b>Betrag</b>
Frischwasser	1,55 Euro/ m <sup>3</sup>
Abwasser	1,38 Euro/ m <sup>3</sup>
Stromkosten	7, 6 ct/ kWh
Restentsorgungskosten	20 €/ t Schlacke

Quelle: Eigene Darstellung nach KERDONCUFF, 2008

Eine Ausnahme in der variablen Kostenkonstellation stellt die Möglichkeit der zentralen Verarbeitung dar. In diesem Fall werden sowohl Pyrolyse als auch Synthese an einem Standort durchgeführt, was zu einer erheblichen Einsparung an Prozesswärme führt. Die Berücksichtigung dieser Einsparung erfolgt aus Gründen der Zweckmäßigkeit nur bei einer zentralen Pyrolyse gekoppelt mit einer zentralen Synthese. Hierbei wird die nötige Menge an Strom durch die Prozessabwärme in der Pyrolyse erzeugt. Stromkosten für die Pyrolyseanlage werden daher im Fall einer zentralen Verarbeitung nicht berücksichtigt.

Die variablen Kosten für Pyrolyse- und Syntheseanlagen werden analog zur Berechnung der Fixkosten in Tabelle 11 und 12 gemäß den Anlagengrößen berechnet. Hierbei wird, wie in Tabelle 14 dargestellt, in 10 verschiedenen Anlagenauslastungsstufen unterschieden. Es ergeben sich somit je realisierter Pyrolyse- bzw. Syntheseanlage in Summe 100 mögliche Größen- bzw. Auslastungsstufen in den Modellberechnungen. Die Größenklasse 10 wird analog zur Berechnung der Fixkosten je nach Szenario gesondert betrachtet.

Tabelle 14: Summe variable Verarbeitungskosten in Abhängigkeit der Kapazität und Auslastung in Mio. €

Anlage	Größen- klasse	Anlagenauslastung									
		100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Pyrolyse	1	0.29	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03
Pyrolyse	2	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.13	0.10	0.06	0.03
Pyrolyse	3	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.18	0.14	0.11	0.07	0.04
Pyrolyse	4	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.21	0.16	0.12	0.08	0.04
Pyrolyse	5	0.49	0.44	0.39	0.34	0.29	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
Pyrolyse	6	0.64	0.58	0.51	0.45	0.38	0.32	0.26	0.19	0.13	0.06
Pyrolyse	7	0.92	0.83	0.74	0.64	0.55	0.46	0.37	0.28	0.18	0.09
Pyrolyse	8	1.78	1.60	1.42	1.25	1.07	0.89	0.71	0.53	0.36	0.18
Pyrolyse	9	4.34	3.91	3.47	3.04	2.60	2.17	1.74	1.30	0.87	0.43
Pyrolyse	10	8.57	7.71	6.86	6.00	5.14	4.29	3.43	2.57	1.71	0.86
Synthese	1	0.80	0.72	0.64	0.56	0.48	0.40	0.32	0.24	0.16	0.08
Synthese	2	1.22	1.10	0.98	0.85	0.73	0.61	0.49	0.37	0.24	0.12
Synthese	3	1.94	1.75	1.55	1.36	1.16	0.97	0.78	0.58	0.39	0.19
Synthese	4	3.19	2.87	2.55	2.23	1.91	1.60	1.28	0.96	0.64	0.32
Synthese	5	4.34	3.91	3.47	3.04	2.60	2.17	1.74	1.30	0.87	0.43
Synthese	6	5.43	4.89	4.34	3.80	3.26	2.72	2.17	1.63	1.09	0.54
Synthese	7	6.49	5.84	5.19	4.54	3.89	3.25	2.60	1.95	1.30	0.65
Synthese	8	9.06	8.15	7.25	6.34	5.44	4.53	3.62	2.72	1.81	0.91
Synthese	9	11.56	10.40	9.25	8.09	6.94	5.78	4.62	3.47	2.31	1.16
Synthese	10	14.00	12.60	11.20	9.80	8.40	7.00	5.60	4.20	2.80	1.40

## Modellformulierung

Basierend auf der in diesem Kapitel erläuterten Kostenstruktur sowie der Netzwerkdarstellung des Planungsproblems wird im Folgenden ein zweistufiges Facility- Location- Problem zur Standort- und Kapazitätsplanung von BtL- Anlagen in Österreich formuliert.

Für das Modell werden folgende Notationen verwendet:

Tabelle 15: Im Modell verwendete Notationen

<b>Nomenklatur</b>	
<b>Indizes</b>	
$l \in L$	Lieferant/ Bezirk ( $l_1$ - $l_{119}$ )
$a \in A$	Möglicher Pyrolysestandort ( $a_1$ - $a_{119}$ )
$b \in B$	Möglicher Synthesestandort ( $b_1$ - $b_{119}$ )
$g \in G$	Kapazität/ maximale Verarbeitungsmenge Pyrolyseanlage ( $g_1$ - $g_{10}$ )
$h \in H$	Kapazität/ maximale Verarbeitungsmenge Syntheseanlage ( $h_1$ - $h_{10}$ )
$r_l$	Rohstoff Stroh in t FM des Lieferanten
$Py$	Pyrolyse
$Sy$	Synthese
$s$	Slurry/ Pyrolyseoutput in t
$f$	Fixe Kosten
$v$	Variable Kosten
<b>Parameter</b>	
$p$	Preis pro t Stroh FM vom Lieferant $l_1$ - $l_{119}$
$t_{l,r,a}$	Transportkosten des Rohstoffs Stroh $r$ des Bezirkes $l$ zum Pyrolysestandort $a$ in € pro t/ FM
$t_{s,a,b}$	Transportkosten Slurry $s$ vom Pyrolysestandort $a$ zur Syntheseanlage $b$ in €
$f^{Py_{a,g}}$	Jährliche Fixkosten der Pyrolyseanlage $Py$ am Standort $a$ mit der Anlagenkapazität $g$ in €
$f^{Sy_{b,h}}$	Jährliche Fixkosten der Syntheseanlage $Sy$ am Standort $b$ mit der Anlagenkapazität $h$ in €
$v^{Py_a}$	Variable Kosten für die Verarbeitung einer Tonne des Rohstoffs Stroh $r$ in der Pyrolyseanlage $Py$ (am Standort $a$ ) mit der Anlagenkapazität $g$ in €
$v^{Sy_{b,h}}$	Variable Kosten für die Verarbeitung einer Tonne Slurry $s$ in der Syntheseanlage $Sy$ (am Standort $b$ ) mit der Anlagenkapazität $h$ in €
$r_{Py_{a,g}}^{max}$	Maximale Strohmenge, die in der Pyrolyseanlage $Py$ (am Standort $a$ ) mit der Anlagenkapazität $g$ produziert werden kann
$s_{Sy_{b,h}}^{max}$	Maximale Menge an Slurry, die in der Syntheseanlage am (Standort $b$ ) mit der Kapazität $h$ verarbeitet werden kann
$r_l^{max}$	Maximal verfügbare Menge an Stroh $r$ des Lieferanten $l$
$\beta$	Massenstromverhältnis in der Pyrolyse $Py$ (Input Stroh- Output Slurry)
$AZ^{Py}$	Anzahl der Pyrolyseanlagen
$AZ^{Sy}$	Anzahl der Syntheseanlagen

Variablen	
$b_{a,g}^{Py}$	Binäre Entscheidungsvariable für die Pyrolyseanlage $Py$ am Standort $a$ mit der Anlagenkapazität $g$
$b_{b,h}^{Sy}$	Binäre Entscheidungsvariable für die Syntheseanlage $Sy$ am Standort $b$ mit der Anlagenkapazität $h$
$r_l^{Py_{a,g}}$	Menge des Rohstoffs Stroh, die in der Pyrolyse $Py$ am Standort $a$ mit der Anlagenkapazität $g$ verarbeitet wird
$s_{Py_{a,g}}^{Sy_{b,h}}$	Synthesemenge (zu verarbeitende Slurrymenge) am Standort $b$ mit der Kapazität $h$

Aus den in Tabelle 13 dargestellten Notationen lässt sich das Planungsmodell wie folgt formulieren:

$$\min [ \sum_{l \in L} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} r_l^{Py_{a,g}} \times p \quad \text{Rohstoffkosten} \quad (5.1)$$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} r_l^{Py_{a,g}} \times t_{l,r,a} \quad \text{Transportkosten der Lieferanten } L \text{ zu den} \quad (5.2)$$

Pyrolysestandorten  $A$  (1. Transportstufe)

$$+ \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} f^{Py_{a,g}} \times b^{Py_{a,g}} \quad \text{Fixkosten der Pyrolyseanlagen an den} \quad (5.3)$$

Standorten  $A$  mit der Kapazitäten  $G$

$$+ \sum_{l \in L} \sum_{a \in A} v^{Py_a} \times r_l^{Py_a} \quad \text{Variable Kosten der Pyrolyseanlagen} \quad (5.4)$$

$$+ \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} s_{Py_a}^{Sy_b} \times t_{s,a,b} \quad \text{Transportkosten von den Pyrolysestand-} \quad (5.5)$$

orten  $A$  zu den Synthesestandorten  $B$   
(2. Transportstufe)

$$+ \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} f^{Sy_{b,h}} \times b^{Sy_{b,h}} \quad \text{Fixkosten der Syntheseanlagen an den} \quad (5.6)$$

Standorten  $B$  mit der Kapazitäten  $H$

$$+ \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} s_{Py_a}^{Sy_b} \times v^{Sy_{b,h}} \quad \text{Variable Kosten der Syntheseanlagen} \quad (5.7)$$

Ziel des Planungsmodells ist die kostenminimale Verarbeitung der vorgegebenen Menge Stroh  $R$  ( $r \in R$ ) der Lieferanten  $L$ . Diese ergibt sich aus der Summe aller zur Verfügung stehenden Stroh-mengen der österreichischen Bezirke bzw. Lieferanten. Dazu werden sowohl die möglichen Standorte der Pyrolyse- bzw. Syntheseanlagen mit den jeweils anfallenden größenabhängigen Anlagenkosten, als auch die daraus abgeleiteten Transportkosten bestimmt. Prinzipiell ist jeder der

119 Bezirke sowohl Lieferant  $l$ , als auch möglicher Pyrolysestandort  $a$  bzw. Synthesestandort  $b$ . Demnach hat jeder Lieferant  $l$ , 119 mögliche Abnehmer/Standorte  $a$  für die Vorverarbeitung der anfallenden Rohstoffmenge in einer Pyrolyseanlage. Der Pyrolyseanlage stehen wiederum 119 mögliche Synthesestandorte als Abnehmer der produzierten Slurrymenge zur Verfügung.

Die Zielfunktion des Planungsmodells berücksichtigt die jeweiligen fixen Anlagenkosten (5.3), (5.6), sowie die anfallenden variablen Kosten. Diese werden im Modell in Rohstoffbezugskosten (5.1), Transportkosten (5.2), (5.5) sowie den sonstigen variablen Kosten (5.4), (5.7) aufgeteilt. Die Rohstoffkosten ergeben sich aus der Summe aller

Um den gewünschten Rechenvorgang durchführen zu können, bedarf es neben der Zielfunktion einer Reihe an Nebenbedingungen, die wie folgt formuliert werden:

## Nebenbedingungen

$$r_l^{Py_{a,g}} = r_l^{max} \quad \forall l \quad \text{Die verarbeitete Strommenge entspricht dem maximalen Angebot der Lieferanten} \quad (5.8)$$

$$\sum_{a \in A} r_l^{Py_{a,g}} \leq r_{Py_{a,g}}^{max} \quad \forall a, g, l \quad \text{Die Summe der Verarbeitungsmenge ist kleiner/gleich der max. Kapazität der Pyrolyseanlagen} \quad (5.9)$$

$$\sum_{b \in B} S_{Py_{a,g}}^{Sy_{b,h}} \leq S_{Sy_{b,h}}^{max} \quad \forall a, g, b, h \quad \text{Die Summe der Verarbeitungsmenge ist kleiner/ gleich der max. Kapazität der Syntheseanlage} \quad (5.10)$$

$$S_{Py}^{Sy_{b,h}} = r_l^{Py_{a,g}} \times \beta \quad \forall a \quad \text{Die Synthesemenge entspricht der Pyrolysemenge x dem Massenstromverhältnis} \quad (5.11)$$

$$\sum_{a \in A} AZ_a^{Py} \leq 1 \quad \forall a \quad \text{Die Anzahl der Pyrolyseanlagen an einem Standort ist mit 1 begrenzt.} \quad (5.12)$$

$$\sum_{b \in B} AZ_b^{Sy} \leq 1 \quad \forall b \quad \text{Die Anzahl der Synthesanlagen an einem Standort ist mit 1 begrenzt.} \quad (5.13)$$

$$r_l^{Py_{a,g}}, S_{S, Sy, b, h} \quad \forall b, a, i, r \quad \text{Nicht- Negativitätsbedingung} \quad (5.14)$$

$$b_{a,g}^{Py}, b_{b,h}^{Sy} \in \{0|1\} \quad \forall a, b, g, h \quad \text{Binäre Entscheidungsvariablen} \quad (5.15)$$

Die Nebenbedingungen zeigen Restriktionen, welche das Modell in der Lösung berücksichtigen muss. Zunächst wird in 5.8 auf die zur Verfügung stehende Strommenge der einzelnen Lieferanten eingegangen. Die angebotene Menge muss zur Gänze in den Pyrolyseanlagen verarbeitet werden. Die Nebenbedingung 5.9. bezieht sich auf die maximalen Verarbeitungsmengen der Pyrolyseanlagen. Diese entsprechen mindestens der Kapazität der Anlagen. D. h. die zu verarbeitende Menge muss kleiner/gleich der Anlagenkapazität sein. Die gleiche Bedingung besteht für die Synthesanlagen (5.10), deren Kapazität, sich in jedem Fall, größer als die zu verarbeitende Slurrymenge zeigt. Die in der Pyrolyseanlage a erzeugte Slurrymenge errechnet sich durch die verarbeitete Rohstoffmenge. Diese wird durch das Massenstromverhältnis  $\beta$  mit 1: 0,72 berücksichtigt (5.11).

Die binären Entscheidungsvariablen in 5.12 und 5.13 stellen sicher, dass an jedem Standort nur eine bzw. keine Anlage realisiert wird bzw. bei keiner Realisierung auch kein Transport und keine Verarbeitung an diesem Standort stattfindet. Die Nicht-Negativitätsbestimmung wird durch die Funktion (5.14) beschrieben.

Das Modell liefert neben den minimalen Kosten somit folgende Ergebnisse:

- Standort und Kapazität der Pyrolyseanlagen,
- Transportmengen und -kosten der einzelnen Pyrolyseanlagen,
- Verarbeitungskosten der einzelnen Pyrolyseanlagen
- In den einzelnen Pyrolyseanlagen produzierte Slurrymengen,
- Transportmengen und -kosten der einzelnen Syntheseanlagen
- Verarbeitungskosten der einzelnen Pyrolyseanlagen
- Standort und Kapazität der Syntheseanlagen
- Erzeugte Mengen Slurry in den Pyrolyseanlagen
- Erzeugte Menge BtL- Treibstoff in den Syntheseanlagen

## **Implementierung in MS Excel und Eingangsdaten**

Zur Lösung des hier vorliegenden gemischt- ganzzahligen Optimierungsproblems wird auf Rechnerunterstützung zurückgegriffen. Diese erfolgt durch eine 64 bit Version von Microsoft Excel 2010 mit dem plug-in Solver Gurobi, des Anbieters Frontline Solver Systems.

Die Implementierung erfolgt durch verschiedene Tabellen, die entsprechend der Zielfunktion miteinander verbunden werden. Die ermittelte Lösung wird im gleichen Tabellenblatt ausgegeben.

Im Standort- Kapazitätsplanungsmodell werden folgende Eingangsdaten berücksichtigt:

- Rohstoffkapazität bzw. Potenzial der Bezirke/Lieferanten je nach Szenario
- Biomassepreis
- Fixe und sonstige variable Kosten der Pyrolyse- bzw. Syntheseanlage(n) in Abhängigkeit zur Anlagengröße
- Transportkosten für Stroh bzw. Slurry je t FM
- Transportentfernungen zwischen den verschiedenen Lieferanten durch eine Entfernungsmatrix (119 x 119)

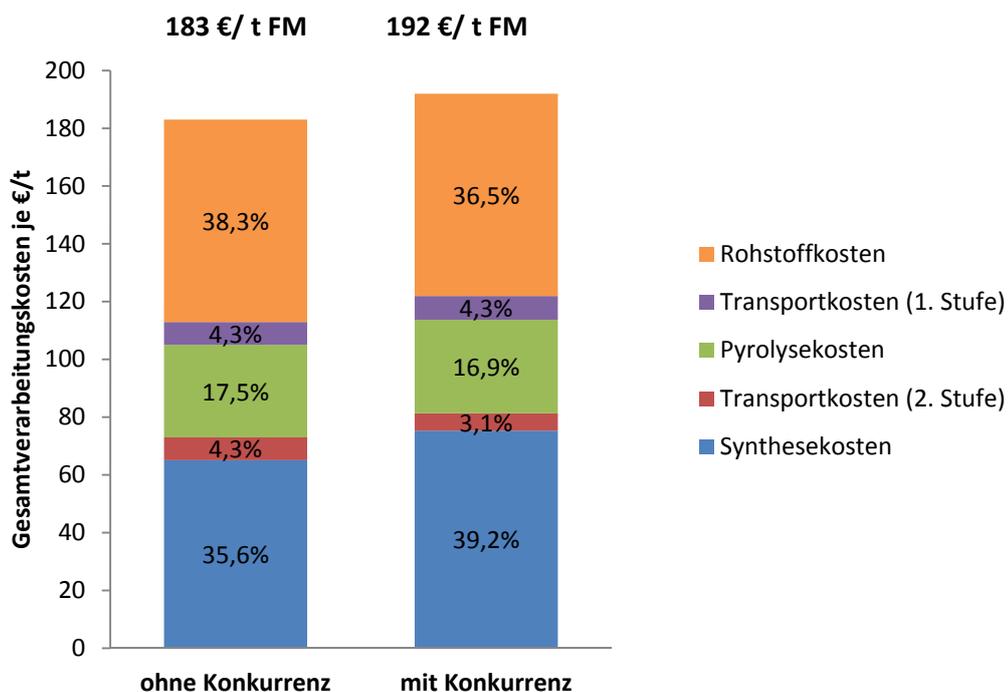
## 6 Ergebnisse und Auswertung

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Modellberechnungen vorgestellt. Basierend auf den Potenzialabschätzungen in Kapitel 5, sowie den Modellannahmen in Kapitel 6 werden die Ergebnisse in Szenario „mit und ohne Konkurrenz“ dargestellt. In der darauf folgenden Sensitivitätsanalyse werden, die das Ergebnis wesentlich beeinflussende Parameter, modifiziert. Diese Parameter sind: Skaleneffekte, Rohstoffangebot, Transportkosten, Kapitalkosten dargestellt.

### Gesamtergebnis Szenarien

In den Modellberechnungen der beiden Basisszenarien zeigen sich die Gesamtverarbeitungskosten im Szenario „ohne Konkurrenz“ mit 183 €/t verarbeitete Frischmasse um 11 €/t FM günstiger, als im Szenario „mit Konkurrenz“ mit 192 € je t/ FM. Im direkten Vergleich der Prozesskosten gemessen an den Gesamtverarbeitungskosten können, wie in Abbildung 12 dargestellt, nur geringfügige Unterschiede festgestellt werden. Die anteilmäßig erhöhten Rohstoffkosten im Szenario „ohne Konkurrenz“ sind primär auf die geringeren Gesamtverarbeitungskosten zurückzuführen. Die Reduktion der Synthesekosten im Szenario „ohne Konkurrenz“ ist auf die erhöhte Verarbeitungsmenge bzw. den damit einhergehenden Größendegressionseffekten zurückzuführen. In beiden Szenarien zeigt sich ein absoluter Kostenvorteil der dezentralen Verarbeitungskonzepte.

Abbildung 12: Prozentuelle Verteilung der Prozesskosten je verarbeiteter t Stroh FM



Einen Überblick über die Ergebnisse der Standort- und Kapazitätsplanung der Basisszenarien findet sich in

Tabelle 16. Dort zeigt sich, dass im Szenario „ohne Konkurrenz“ in Summe 19 dezentrale Pyrolyseanlagen mit einer durchschnittlichen Verarbeitungskapazität von 91.930 t FM/ Jahr realisiert werden. Die Auslastung errechnet sich zu 99, 5%. Im Szenario „ohne Konkurrenz“ werden 12 Pyrolyseanlagen mit einer durchschnittlichen Verarbeitungskapazität von 86.667 t FM/ Jahr verwirklicht. Die unterschiedlichen Verarbeitungskapazitäten werden auf das differenzierte Rohstoffangebot zurückgeführt. In der zweiten Verarbeitungsstufe zeigen beide Basisszenarien einen realisierten Standort in Korneuburg, der je nach Szenario jedoch über eine andere Anlagenkapazität (800.000 t Slurry im Szenario „mit Konkurrenz“ und 1.250.000 t Slurry im Szenario „mit Konkurrenz“) verfügt. Eine detaillierte Ausstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang C.

Tabelle 16: Ergebnisse der Basisszenarien

	mit Konkurrenz	ohne Konkurrenz
<b>Anzahl der realisierten Pyrolyseanlagen</b>	12	19
<b>Durchschnittl. Pyrolysekapazität in t Stroh FM</b>	86.667	91.930
<b>Auslastung der Pyrolyseanlagen in %</b>	99,9	99,5
<b>Anzahl der realisierten Syntheseanlagen</b>	1	1
<b>Realisierte(r) Synthesestandort(e)</b>	Korneuburg	Korneuburg
<b>Gesamtverarbeitungskosten je t Stroh in €</b>	192,0	182,9

### 6.1.1 Detailbetrachtung der Ergebnisse auf Bezirksebene

Betrachtet man die Verteilung der Anlagenanordnung in Österreich, so zeigt sich, wie in den Abbildungen 13 und 14 dargestellt, eine starke Fokussierung auf die österreichischen Kernackerbaugebiete in beiden Szenarien. Die in den westlichen Bundesländern Tirol, Vorarlberg und Salzburg anfallenden Strohmenngen werden zum überwiegenden Teil in den oberösterreichischen Pyrolysestandorten verarbeitet. Anfallende Strohmenngen in Kärnten werden hingegen in die Steiermark transportiert. Mit 11 von 19 bzw. 8 von 12 realisierten Pyrolyseanlagen in den Szenarien „ohne Konkurrenz“ bzw. „mit Konkurrenz“ zeigt sich das starke Rohstoffangebot des Bundeslandes Niederösterreich. Die größten Pyrolyseanlagen, mit einer Verarbeitungsmenge von 200.000 t FM/Jahr befinden sich im nördlichen Weinviertel, in den Bezirken Mistelbach und Gänserndorf.

Der hohe Bedarf an Einstreumenge in den westlichen Bundesländern zeigt sich vor allem in Oberösterreich. Während im Szenario „ohne Konkurrenz“ noch eine überschaubare Menge an Stroh zur Verarbeitung nach Oberösterreich transportiert wurde, stellt sich der Transportweg im Szenario „mit Konkurrenz“ umgekehrt dar. Der hohe Bedarf an Einstreumenge in den westlichen Bundesländern wird nach dem Berechnungsschema in Kapitel 4 vor allem durch Strohtransporte

aus Oberösterreich getilgt. In Summe verbleibt in diesem Bundesland lediglich eine Pyrolyseanlage mit der Kapazität von 100.000 t FM/ Jahr.

Abbildung 13: Verarbeitungsstandorte und regionales Rohstoffpotenzial für das Szenario "keine Konkurrenz"

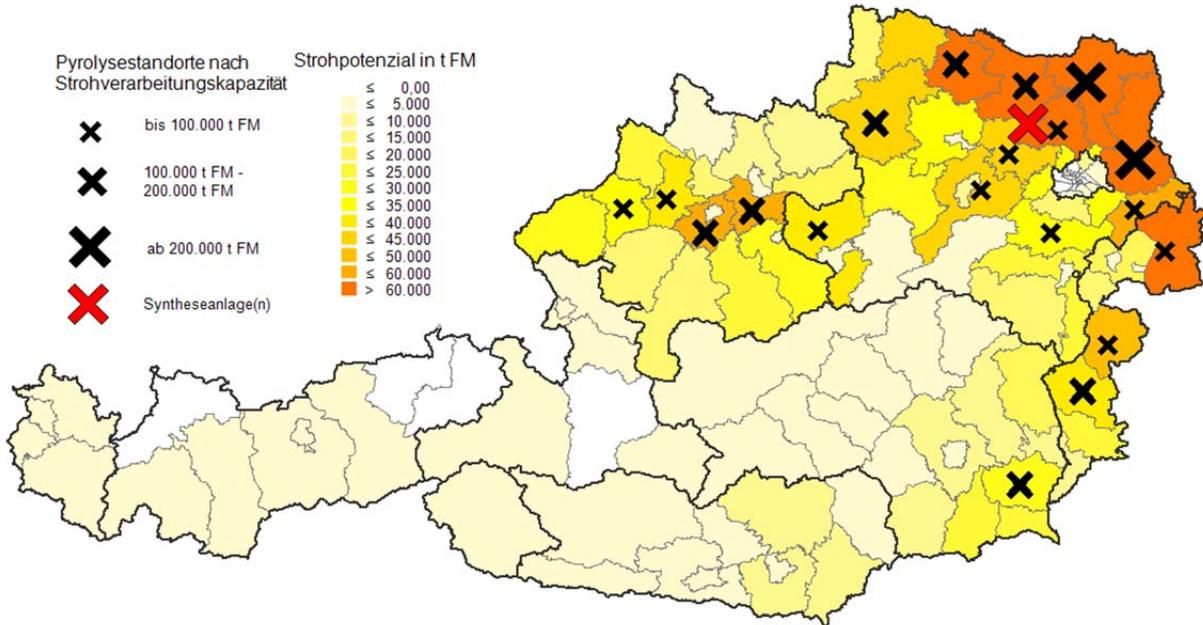
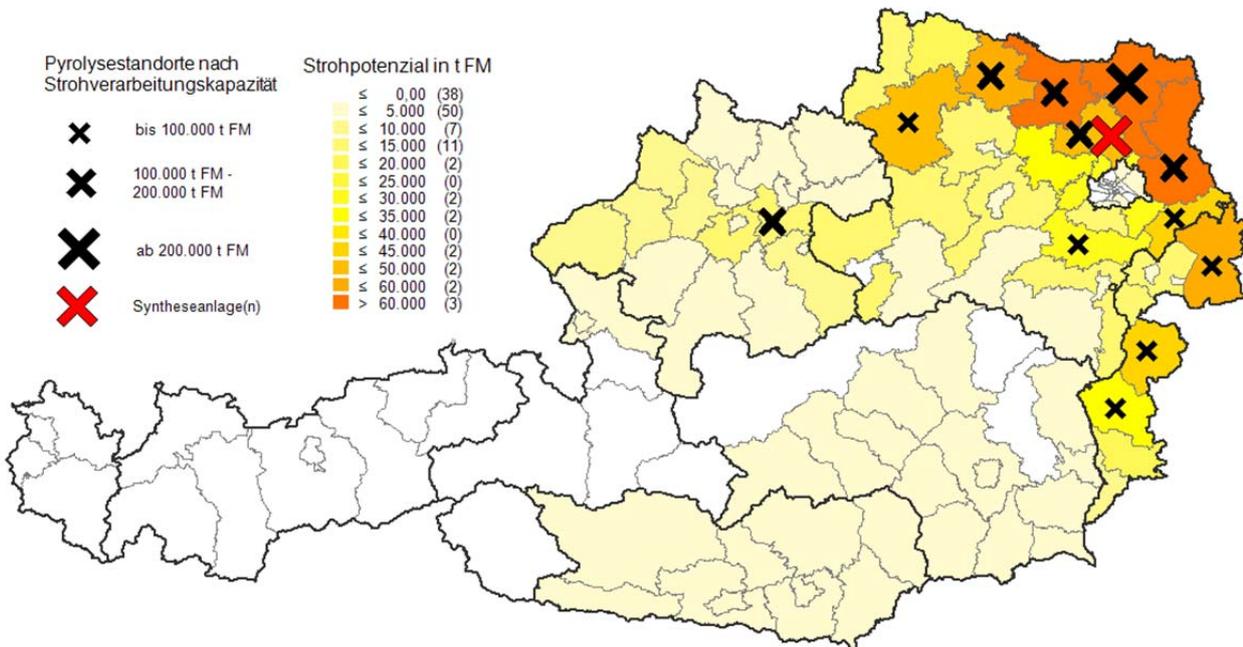


Abbildung 14 Verarbeitungsstandorte und regionales Rohstoffpotenzial für das Szenario „mit Konkurrenz“



Eine detaillierte Aufstellung der realisierten Pyrolyseanlagen, sowie die deren Kosten findet sich in den Tabellen 17 bzw. 18. In einem Vergleich der Szenarien zeigt sich, dass im „Szenario ohne Konkurrenz“ trotz höherem Rohstoffangebot kleinere Pyrolyseanlagen realisiert werden. Die

durchschnittliche Verarbeitungskapazität beträgt im Szenario „ohne Konkurrenz“ 91.930 t FM bzw. im Szenario „mit Konkurrenz“ 86.666 t FM. Dieser Umstand wird auf die bessere Verteilung des Angebots im österreichischen Raum zurückgeführt. Die Reduktion der Transportkosten für Stroh wiegt höher, als die entgangenen Skaleneffekte durch größere Pyrolyseanlagen. Anhand der in den Tabellen 17 und 18 ausgeführten Transportkosten je Pyrolyseanlage können Rohstoffströme nachvollzogen werden. Beispielsweise zeigt die Pyrolyseanlage in Feldbach, im Szenario „ohne Konkurrenz“ bei 100.000 t Kapazität um 250% höhere Transportkosten als jene in Gänserndorf mit 200.000 Kapazität. Die hohen Transportkosten unterschiede spiegeln sich auf in den Kosten für Slurry ab Pyrolyseanlage wieder.

Die Gesamtverarbeitungskosten der Pyrolyseanlage zeigen Unterschiede von bis zu 30 € / t verarbeiteter Strohmenge.

Wie in Tabelle 14 dargestellt, kann jede realisierte Pyrolyseanlage einer bestimmten Größenklasse in 10 Auslastungsstufen konzipiert werden. Von dieser Möglichkeit wurde in beiden Szenarien abgesehen. Alle Pyrolyseanlagen werden mit 100% Auslastung ausgewiesen.

Interessant scheint in diesem Zusammenhang auch, dass Pyrolyseanlagen, wie beispielsweise in Ried im Innkreis im Szenario „ohne Konkurrenz“, mit weiter Entfernung zum Synthesestandort trotz großem Einzugsgebiet höhere Kosten in der zweiten Distributionsstufe aufweisen (Transportkosten Pyrolyse zu Synthese). Den Abschluss der Tabellen bilden die Kosten für Slurry frei Syntheseanlage.

Tabelle 17: Detailergebnis Szenario "ohne Konkurrenz"

Ergebnis Szenario "ohne Konkurrenz"							
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität in t FM	Verarbeitungsmenge Pyrolyseanlage in t FM	Transportkosten (Lief. Zu Pyro.) in €	Verarbeitungskosten Pyrolyseanlage in €	Slurrykosten ab Pyrolyseanlage in €/t	Transportkost. (Pyro. zu Synth.-Korneuburg) in €	Slurrykosten frei Syntheseanlage Korneub. In €/t
Ried im Innkreis	66.667	66.667	814.889	2.340.003	117	1.060.536	141
Wels-Land	100.000	100.000	1.201.480	3.080.000	113	1.394.788	133
Greiskirchen	66.667	66.667	601.197	2.340.003	114	983.248	136
Feldbach	100.000	100.000	2.670.400	3.080.000	128	1.349.180	147
Oberwart	100.000	91.965	1.238.363	3.080.000	117	1.005.887	133
Oberpullendorf	66.667	66.667	403.408	2.340.003	111	613.130	125
Linz-Land	100.000	100.000	1.096.770	3.080.000	112	1.205.797	130
Amstetten	66.667	66.667	784.995	2.340.003	117	665.543	132
Zwettl	100.000	100.000	1.328.165	3.080.000	114	780.161	126
St.Pölten (Land)	66.667	66.667	494.531	2.340.003	113	391.866	121
Baden	66.667	66.667	727.724	2.340.003	116	418.229	125
Tulln	66.667	66.667	486.744	2.340.003	112	265.368	118
Horn	100.000	100.000	516.149	3.080.000	106	577.891	114
Hollabrunn	100.000	100.000	0*	3.080.000	101	429.542	107
Korneuburg	66.667	66.667	4.199	2.340.003	105	0*	105
Bruck an der Leitha	66.667	66.667	260.104	2.340.003	109	383.014	117
Gänserndorf	200.000	200.000	1.067.807	5.430.000	102	950.368	109
Mistelbach	180.000	180.000	120.424	5.252.000	100	755.746	106
Neusiedl a. See	66.667	66.667	0*	2.340.003	105	487.499	116
<b>Summe:</b>	<b>1.746.670</b>	<b>1.738.635</b>	<b>13.817.358</b>	<b>55.642.032</b>		<b>13.717.801</b>	

Tabelle 18: Detailergebnis Szenario "mit Konkurrenz"

Ergebnis Szenario "mit Konkurrenz"							
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität in t FM	Verarbeitungsmenge Pyrolyseanlage in t FM	Transportkosten (Lief. Zu Pyro.) in €	Verarbeitungskosten Pyrolyseanlage in €	Slurrykosten ab Pyrolyseanlage in €/t	Transportkost. (Pyro. zu Synth.-Korneuburg) in €	Slurryk. frei Synthesea. Korneub. In €/t
Oberwart	66.667	66.667	934.822	2.340.003	119	729.181	135
Oberpullendorf	50.000	50.000	173.365	1.980.000	113	459.846	127
Linz-Land	100.000	100.000	2.438.363	3.080.000	125	1.205.797	143
Zwettl	66.667	66.667	453.839	2.340.003	112	520.110	123
Baden	40.000	40.000	278.603	1.790.000	122	250.936	131
Horn	100.000	100.000	938.296	3.080.000	110	577.891	119
Hollarbrunn	100.000	100.000	394.069	3.080.000	105	429.542	111
Korneuburg	100.000	100.000	1.216.515	3.080.000	113	0*	113
Bruck a. d. Leitha	50.000	50.000	115.678	1.980.000	112	287.259	120
Gänserndorf	100.000	100.000	0*	3.080.000	101	475.184	108
Mistelbach	200.000	197.895	1.521.619	5.430.000	105	830.882	111
Neusiedl a. See	66.667	66.667	200.329	2.340.003	108	487.499	119
<b>Summe:</b>	<b>1.040.001</b>	<b>1.037.896</b>	<b>8.665.499</b>	<b>33.600.010</b>		<b>6.254.129</b>	

\* keine Transportkosten: Verarbeitungsmenge kommt zur Gänze aus dem Bezirk des Pyrolyse- bzw. Synthesestandortes

## Sensitivitätsanalysen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen vorgestellt, sowie der Einfluss einzelner Parameter auf das Gesamtergebnis quantifiziert. Ausgehend von den Ergebnissen der Szenarien „mit und ohne Konkurrenz“ in Kapitel 6.1, werden einzelne, für das Ergebnis bzw. der Fragestellung wesentlichen, Parameter variiert und ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis bestimmt. Gleichzeitig werden die Ergebnisse der Standort- und Kapazitätsplanung unter geänderten Rahmenbedingungen mit den Ergebnissen verglichen und so auf ihre Stabilität hin überprüft.

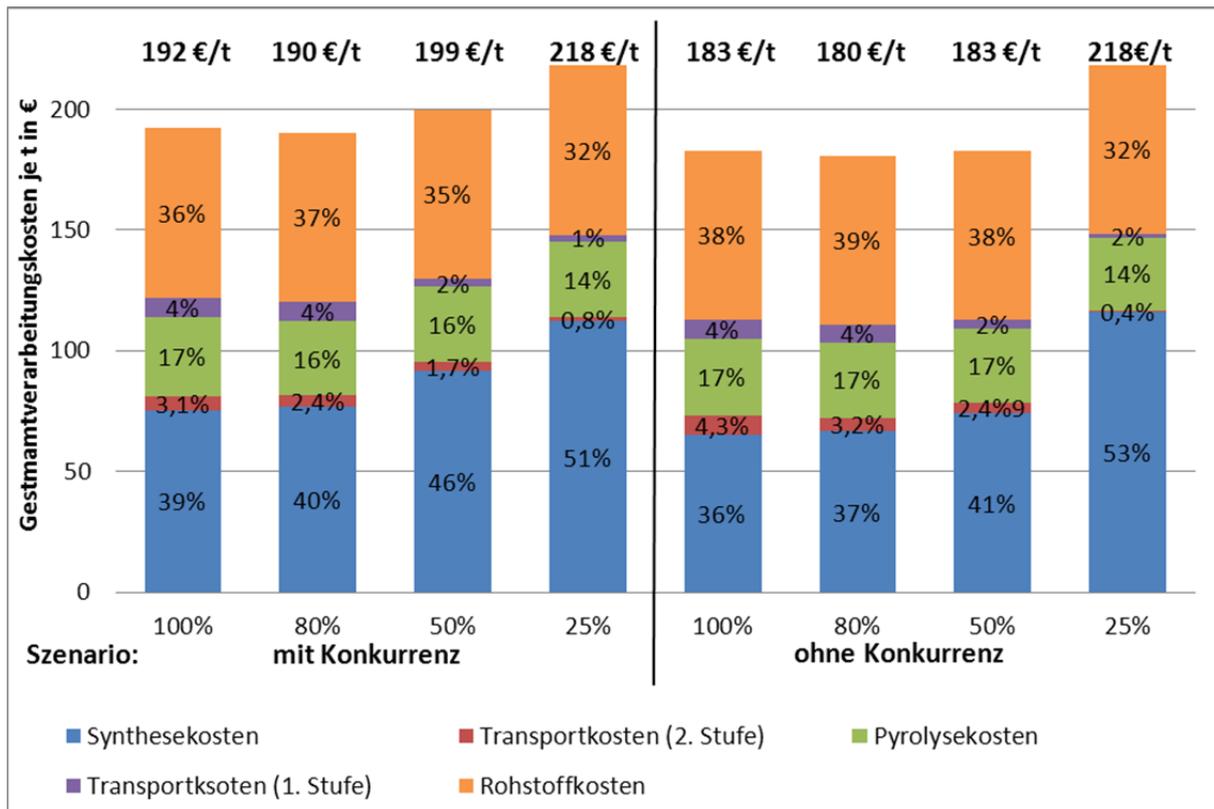
Die Sensitivitätsanalysen umfassen die Variation der Parameter: Rohstoffangebot (Mindestverarbeitungs- menge), Transportkosten, Anlagenspezifischer Größendegressionskoeffizient, Kapitalkosten. Aufgrund der vergleichsweise hohen Ergebnisse der Potenzialabschätzung scheint vor allem die Sensitivitätsanalyse für das Rohstoffangebot wesentlich. Hierbei werden, durch eine lineare Reduktion der Mindestverarbeitungs- menge, Auswirkungen auf den Produktionsverbund aufgezeigt. Folgend befindet sich die Variation der Transportkosten, die der Volatilität des Rohstoffmarktes für Treibstoffe Rechnung trägt. Abschließend werden durch die Veränderung des anlagenspezifischen Größendegressionseffektes bzw. der Kapitalkosten, Auswirkung, durch variierende Anlagen- und Investitionskosten, dargestellt. Diese Beziehen sich vor allem auf eine Änderung der technischen Anlagenausführung, sowie der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

### 6.1.2 Variation des Rohstoffangebotes

Während bisher gefordert wurde, dass das gesamte zur Verfügung stehende Stroh verarbeitet wird, wird hier die Mindestverarbeitungs- menge reduziert. Entsprechend der Zielfunktion, der Minimierung der Gesamtkosten (vgl. 5.3.5), wird somit Stroh von Lieferanten, das hohe Verarbeitungskosten verursacht nicht mehr berücksichtigt. Die die Betrachtung bezieht sich in beiden Szenarien auf die Mindestverarbeitungs- mengen 80%, 50% und 25%. Wie Abbildung 15 veranschaulicht, kommt es bei einer Reduktion der Verarbeitungsmenge auf 80%, in beiden Szenarien, zu einer Reduktion der Gesamtverarbeitungs- kosten, um 2 € bzw. 3 €. Dieser Umstand ergibt sich daraus, dass Strohmen- gen mit hohen Verarbeitungskosten (weite Transportstrecken) nicht mehr berücksichtigt werden. Interessant scheinen in diesem Zusammenhang auch der Vergleich des Basisszenarios zur Mindestverarbeitungs- menge 50% beim Szenario „ohne Konkurrenz“. Die durch die Reduktion der Verarbeitungsmenge einhergehende Reduktion der Transportkosten kann die anteilmäßig hohen Synthesekosten zur Gänze ausgleichen. Die Gesamtverarbeitungs- kosten betragen in beiden Szenarien 183 €/t.

Die Gesamtverarbeitungs- kosten in den Szenarien 25% gestalten sich im Vergleich wesentlich höher. Wenngleich die Transportkosten bei einer Mindestverarbeitungs- menge von 25% weiter reduziert werden können, so kommt es durch nicht genutzte Skaleneffekte im Anlagenbetrieb zu Gesamtverarbeitungs- kosten von jeweils 218 €/t FM.

Abbildung 15: Gesamtverarbeitungs-kosten nach Szenario und Mindestverarbeitungs-menge in €/ t



Erwartungsgemäß zeigt sich, wie in den Abbildungen 15 bzw. 16 dargestellt, je nach Mindestverarbeitungs-menge, eine Reduktion der realisierten Pyrolysestandorte. Ausgehend vom Basisszenario „ohne Konkurrenz“ mit 19 realisierten Pyrolysestandorten, werden bei einer Mindestverarbeitungs-menge von 25% des Rohstoffangebotes nur mehr 2 Anlagen ausgewiesen. Die Subszenarien 80% bzw. 50% Mindestverarbeitungs-menge kommen in Summe auf 14 bzw. 8 realisierte Anlagen. Die Verarbeitungskapazitäten in den Pyrolyseanlagen zeigen einen deutlichen Zusammenhang zur Anlagenreduktion. Während im Basisszenario noch eine durchschnittliche Verarbeitungsmenge von 91.930 t FM/ Jahr ausgewiesen wird, zeigt sich in der Berechnung „Mindestverarbeitungs-menge 25%“ eine deutliche Steigerung auf 115.909 t FM/ Jahr. Die Szenarien 80% und 50% nehmen mit 94.589 bzw. 108.665 t FM/ Jahr auch hier eine Zwischenstellung ein. Vor diesem Hintergrund zeigt sich vor allem das Ergebnis der Gesamtverarbeitungs-kosten sehr interessant. Die Synthesestandorte zeigen sich in Bezug auf ihren Standort relativ konstant. Einzig im Szenario „80%“ befindet sich die Anlage nicht in Mistelbach sondern in Korneuburg. Dem zentralen Verarbeitungskonzept kommt auch hier keine Bedeutung zu.

In den Subszenarien des Basisszenarios „mit Konkurrenz“ kommt es, wie in Tabelle 17 dargestellt, durch die Herabsetzung der Mindestverarbeitungs-menge ebenfalls zu einer deutlichen Pyrolyseanlagenreduktion. Während im Basisszenario noch 12 Anlagen ausgewiesen sind, werden beim Szenario „25% Mindestverarbeitungs-menge nur mehr 2 Anlagen realisiert. Die Modellrechnung zeigt bei den Zwischenszenarien „80%“ und „50%“ des Potenzials 7 bzw. 5 realisierte Anlagen. Die

durchschnittliche Verarbeitungskapazität je Pyrolyseanlage zeigt ebenfalls eine starke Abhängigkeit zur Mindestverarbeitungs menge. Auffallend ist hierbei jedoch, dass die durchschnittliche Verarbeitungskapazität beim Szenario „80%“ auf 80.659 t FM/ Jahr abfällt, bevor sie zu steigen beginnt. In den Szenarien „50%“ und „25%“ beträgt die durchschnittliche Verarbeitungskapazität 105.333 bzw. 129.735 t FM/ Jahr. Dieser Umstand wird durch die etwas ungünstigere Anlagenauslastung und den damit höheren Anlagekosten je Tonne begründet. Die Syntheseanlage wird in allen drei Berechnungen in Mistelbach situiert.

Mit den Pyrolyseanlagen wandert auch der Anteil an Bezirken dessen Potenzial verarbeitet wird nach Osten. Bei einer Mindestverarbeitungs menge von 80% werden die Bundesländer Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten nicht mehr berücksichtigt. Im Szenario „mit Konkurrenz“ kommt es bei einer Verarbeitung von 80% sogar zu einem Rückzug des Verarbeitungsraumes auf das Bundesland Niederösterreich bzw. dem Nördlichen Burgenland. Bei einer Mindestverarbeitung von 25% kommt es schließlich zu einer Reduktion des Einzugsgebietes der Pyrolyseanlagen auf das nord-östliche Weinviertel.

Abbildung 16: Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum Rohstoffangebot für das Szenario „ohne Konkurrenz“

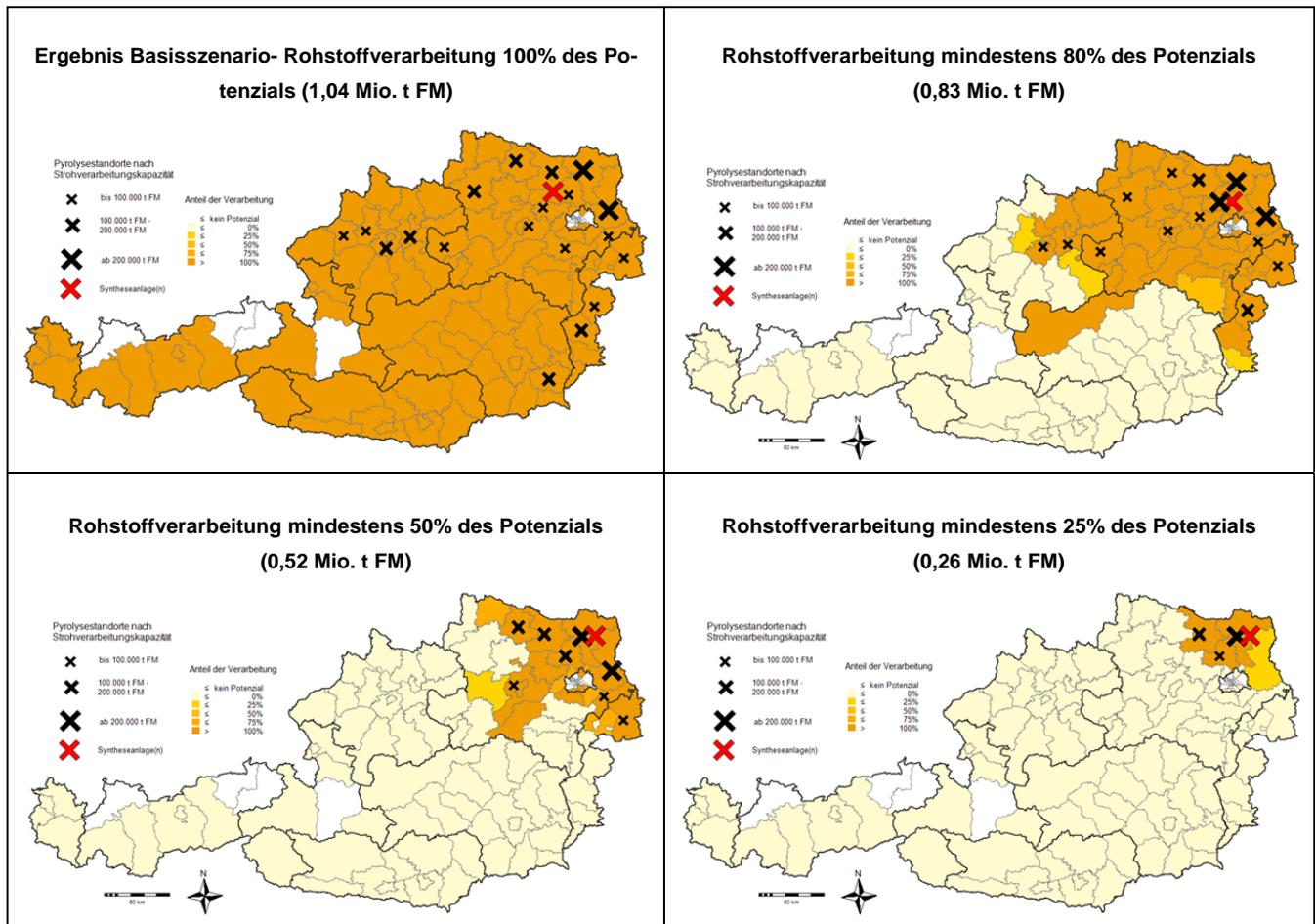
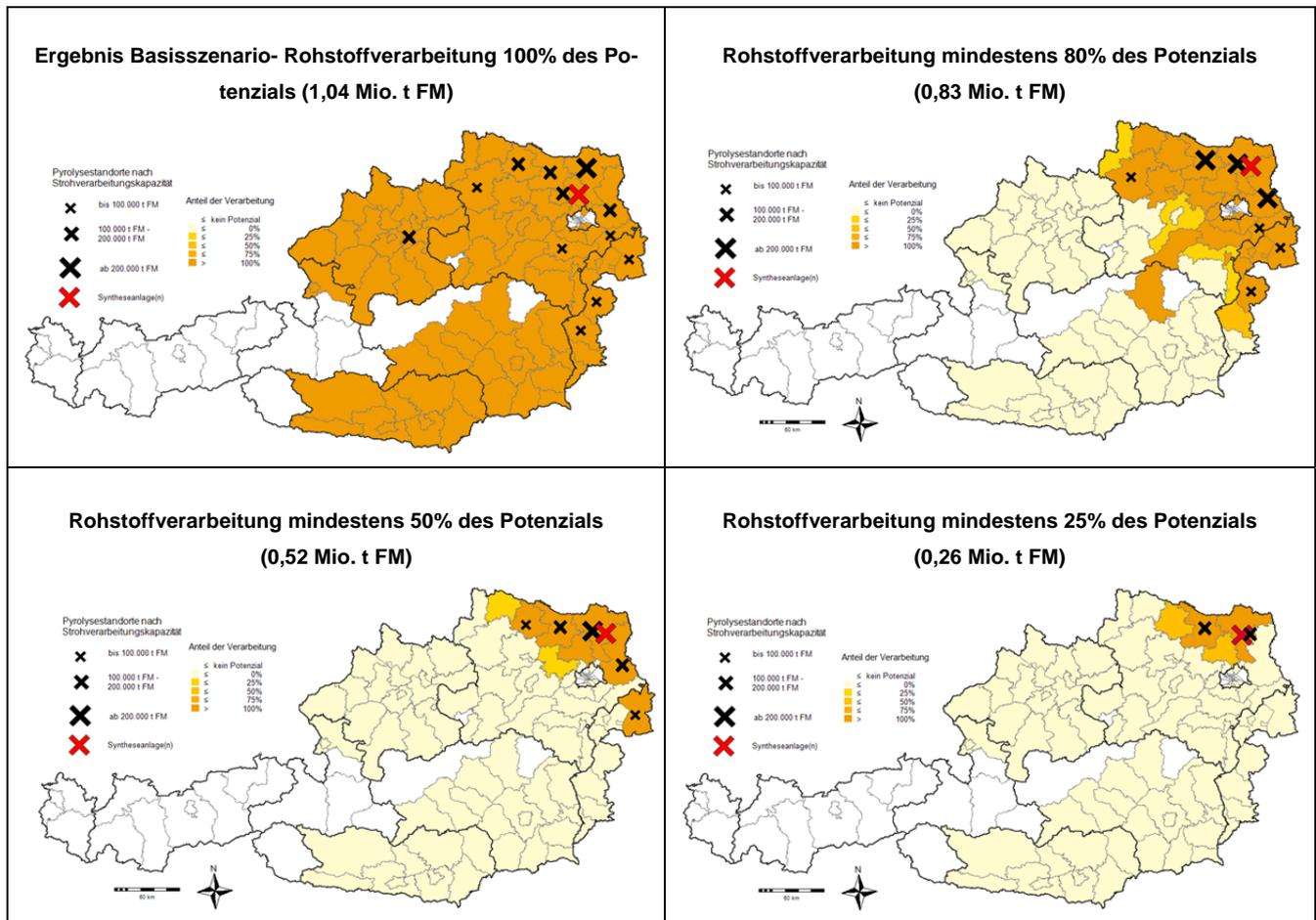


Abbildung 17: Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum Rohstoffangebot für das Szenario „mit Konkurrenz“

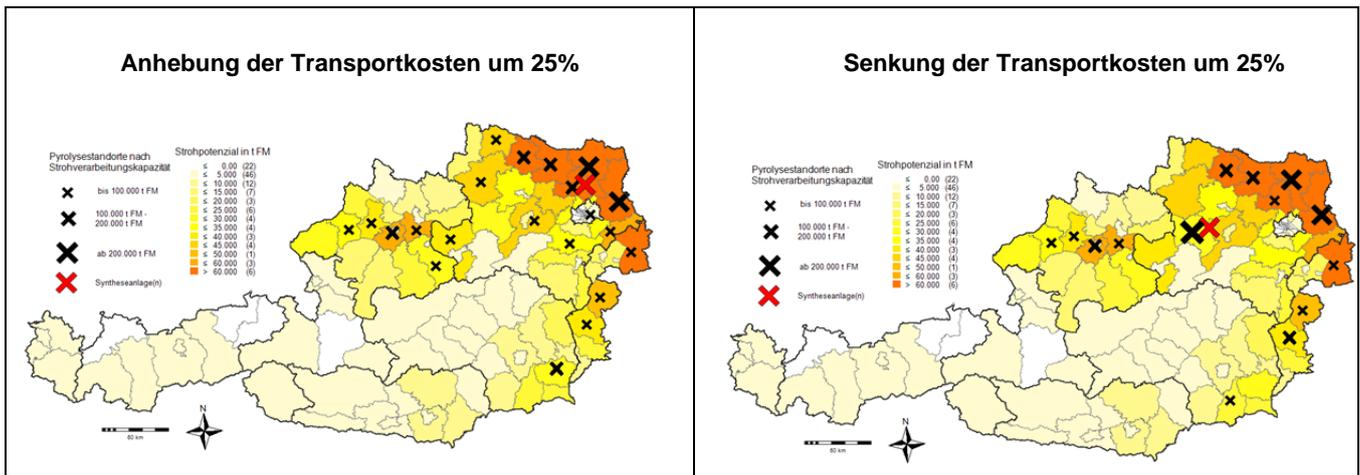


### 6.1.3 Variation der Transportkosten

Die durch die schlechte Transportwürdigkeit bedingten hohen Transportkosten für Stroh, stellen die wesentlichste Ursache für eine Bevorzugung von dezentralen Anlagenkonzepten dar. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, die Stabilität der Ergebnisse bei veränderten Transportkosten zu überprüfen. Nachfolgend wird für jedes der beiden Basisszenarien sowohl eine Steigerung als auch eine Reduktion der Transportkosten um 25% unterstellt.

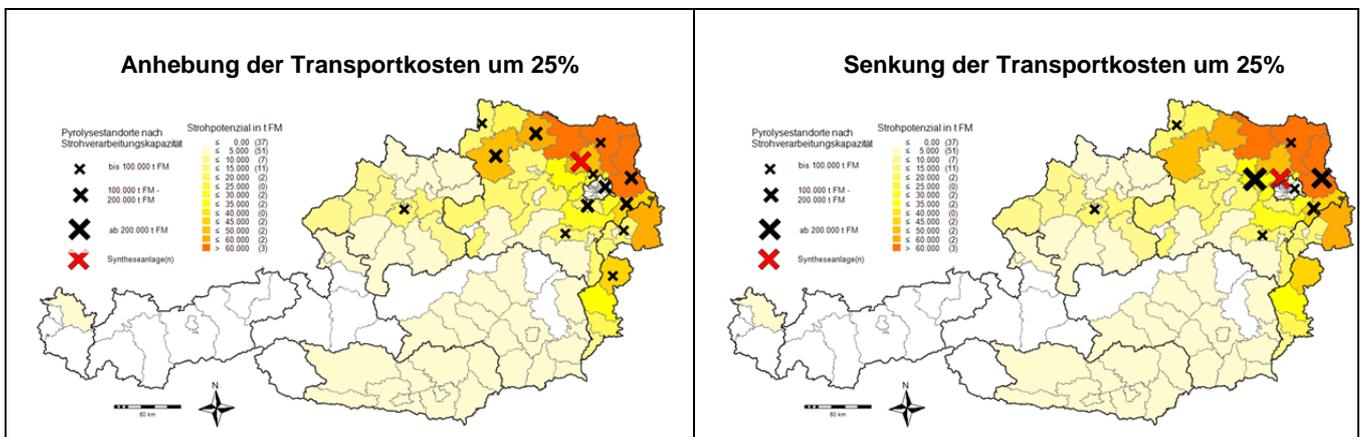
Mit höheren Transportkosten kommt es auch zu einer Steigerung die Anzahl an realisierten Pyrolyseanlagen. Ausgehend vom Basisszenario mit 19 Anlagen werden bei einer Steigerung der Transportkosten um 25% 21 Anlagen ausgewiesen. Bei einer Reduktion der Transportkosten werden hingegen nur 14 Anlagen realisiert. Die durchschnittlichen Gesamtverarbeitungskapazitäten betragen im Fall der Transportkostenanhebung 83.619 t FM/ Jahr und bei dessen 25%iger Senkung, 124.524 t FM/ Jahr. Interessant scheint in diesem Zusammenhang die Verlagerung des Synthesestandes beim Szenario „-25%“ in den Bezirk Melk, wobei, sich die dadurch ergebenden Einsparungen zum Synthesestandort Korneuburg, mit rund 0,7 € beziffert werden können. Die Gesamtverarbeitungskosten werden mit 187,3 €/ t in der Berechnung „+25%“ und mit 180,7 €/ t bei „-25%“ ausgewiesen. Die Anlagenverteilung zeigt sich wie folgt:

Abbildung 18: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zu den Transportkosten für das Szenario „ohne Konkurrenz“



Analog zu der Veränderung der Transportkosten im Szenario „ohne Konkurrenz“ kommt es auch im Szenario „mit Konkurrenz“ zu einer Reduktion der realisierten Pyrolyseanlagen bei einer Senkung der Transportkosten um 25%. Vergleichend mit dem Basisszenario „mit Konkurrenz“ (12 Anlagen und einer durchschnittlichen Gesamtverarbeitungskapazität je Anlage mit 86.667 t FM/ Jahr), kommt es zu einer Reduktion um 4 Standorte auf 8 Anlagen. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungskapazität wird auf 130.021 t FM/ Jahr ausgeweitet. Das Ergebnis bei einer Transportkostensteigerung um 25% ist weitestgehend mit dem Basisszenario gleich zu stellen. Mit 12 realisierten Pyrolysestandorten und einer Verarbeitung von 88.056 t FM/ Jahr kommt es zu keiner wesentlichen Veränderung. Die Gesamtverarbeitungskosten erhöhen sich aufgrund der erhöhten Transportkosten um 6,5 €/ t auf 198,5€/ t. Die Pyrolysestandorte befinden sich in diesem Szenario im Nord-Westen, in den Bezirken Wien- Umgebung bei -25% und in Korneuburg bei +25%. Die Standortverteilung stellt sich wie folgt dar:

Abbildung 19: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zu den Transportkosten für das Szenario „mit Konkurrenz“

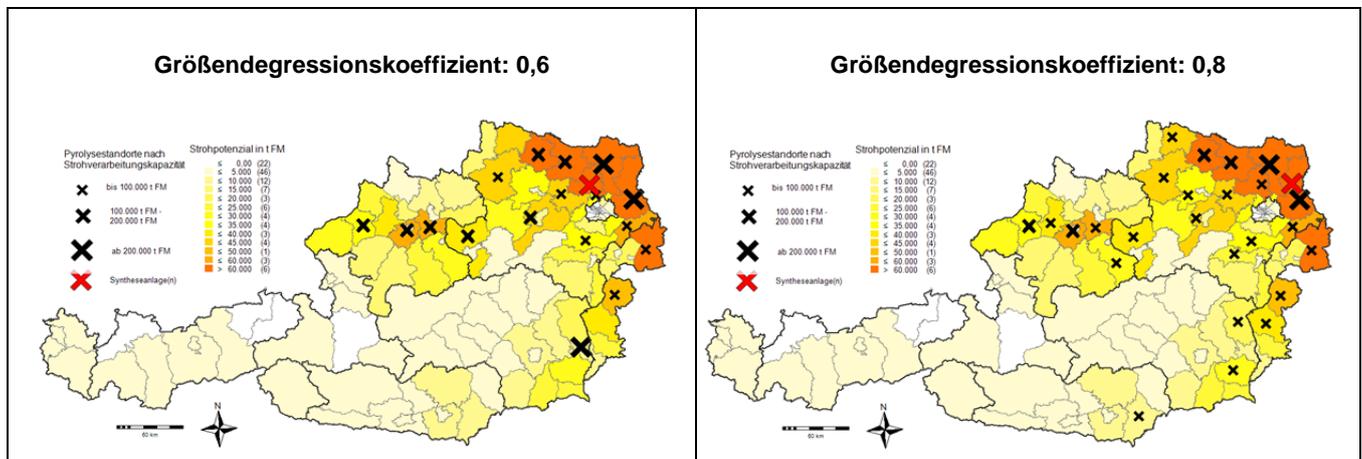


### 6.1.4 Variation des Größendegressionskoeffizienten

In den Modellannahmen wird bei steigender Anlagengröße von einer Reduktion der Kosten je t verarbeitete Rohstoffe ausgegangen. Der in den Basisszenarien unterstellte Größendegressionskoeffizient beträgt 0,7 (vgl. Kapitel 5.3.3). In der Sensitivitätsanalyse wird dieser um 0,1 auf 0,6 bzw. 0,8 abgeändert. Diese Änderung führt, verglichen mit dem Basisszenario, dazu, dass bei einem Koeffizienten von 0,6 kleinere Anlagen deutlich schlechtere relative Wettbewerbsfähigkeit aufweisen als große Anlagen. Bei einem Koeffizienten von 0,8 verhält es sich dieser Umstand umgekehrt.

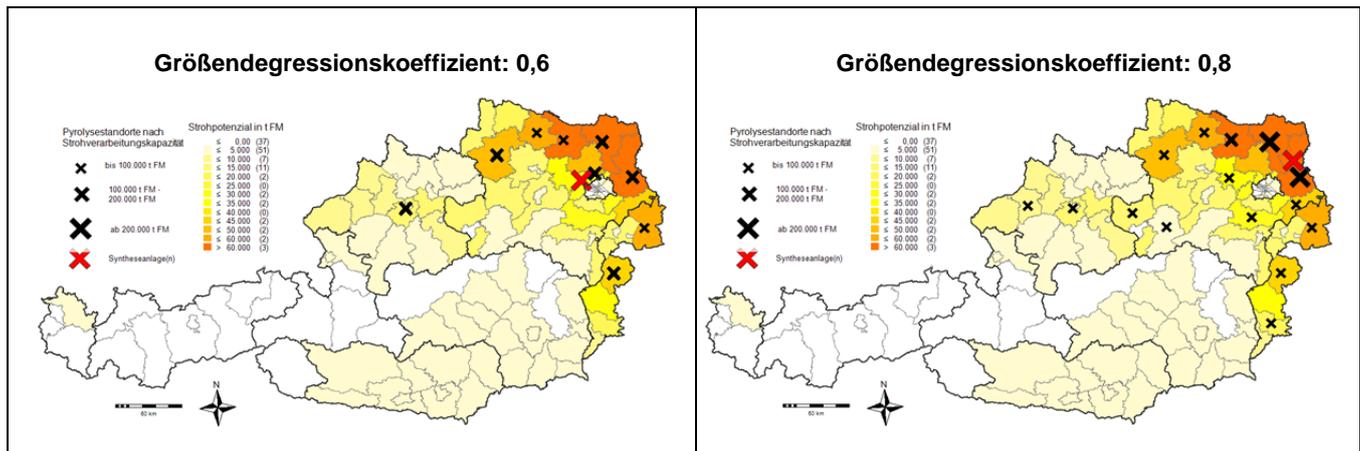
Die Änderung der Größendegressionskoeffizienten auf 0,6 führt, im Szenario „ohne Konkurrenz“ zu einer Reduktion der Anlagen auf 17 Standorte, wobei die durchschnittliche Verarbeitungskapazität auf 103.137 t FM je Jahr und Anlage ansteigt. Die Gesamtverarbeitungskosten betragen dabei 176,6 € je t FM. Eine Steigerung des Koeffizienten auf 0,8 führt hingegen zu einer Ausweitung der realisierten Pyrolysestandorte auf 25. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungsmenge je Anlage beträgt 69.576 t FM. Die Gesamtverarbeitungskosten werden mit 185,8 € je t ausgewiesen. Die Syntheseanlage befindet sich im Szenario „0,6“ in Korneuburg und im Szenario „0,8“ in Gänserndorf. Die Anlagenverteilung stellt sich für beide Szenarien wie folgt dar:

Abbildung 20: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum anlagenspezifischen Größendegressionskoeffizienten für das Szenario „ohne Konkurrenz“



Im Szenario „mit Konkurrenz“ zeigt sich bei der Veränderung des Größendegressionskoeffizienten auf 0,6 eine Reduktion der realisierten Pyrolyseanlagen auf 9 Standorte. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungskapazität stellt sich dabei mit 120.370 t FM/ Jahr wesentlich höher dar, als im Basisszenario. Bei einer Anhebung des Koeffizienten auf 0,8 kommt es zu einer Steigerung auf 15 realisierte Standorte mit einer durchschnittlichen Gesamtverarbeitungskapazität von 69.381 t FM/ Jahr. Die Gesamtverarbeitungskosten betragen 198,5 €/ t FM im Szenario „0,8“ und 191,8 €/ t FM im Szenario „0,6“. Wie in Abbildung 21 dargestellt befinden sich die realisierten Syntheseanlagen in Gänserndorf bzw. Wien- Umgebung.

Abbildung 21: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit zum anlagenspezifischen Größendegressionskoeffizienten für das Szenario „mit Konkurrenz“

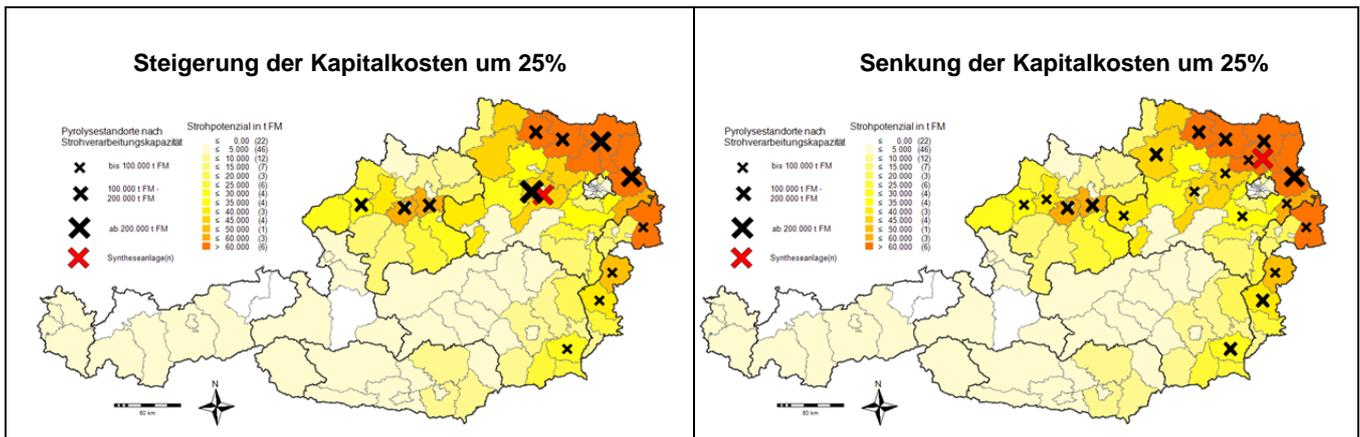


### 6.1.5 Variation der Kapitalkosten

Im Gegensatz zur Variation des Größendegressionskoeffizienten erfolgt bei der Änderung der Kapitalkosten eine lineare Verschiebung der Anlagenfixkosten. Nachfolgend wird für jedes der beiden Basisszenarien sowohl eine Steigerung als auch eine Reduktion der Kapitalkosten um 25% unterstellt.

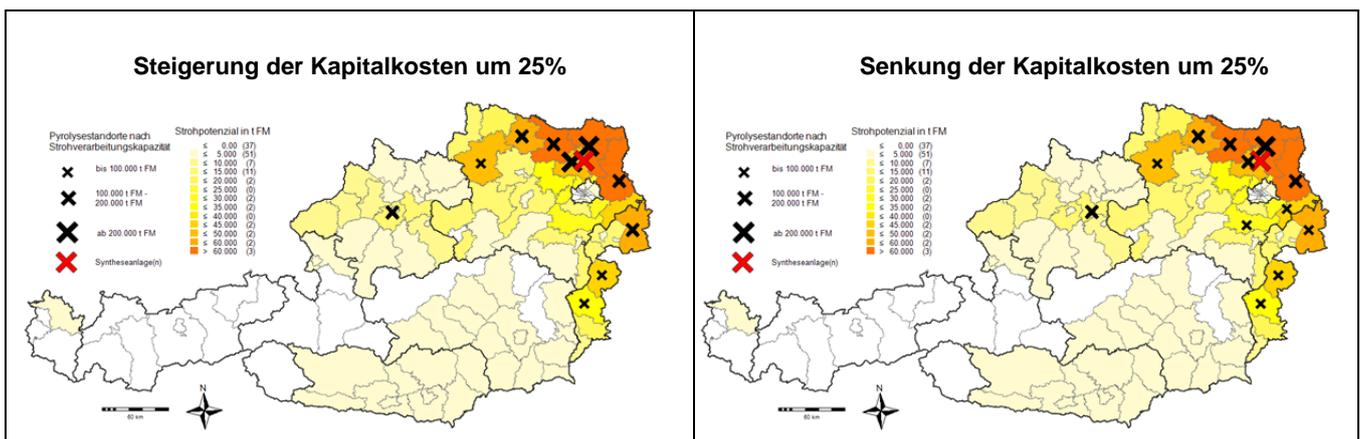
Durch die Steigerung der Kapitalkosten um 25% kommt es, im Szenario „ohne Konkurrenz“ zu einer erheblichen Pyrolyseanlagenreduktion auf 12 realisierte Standorte. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungsmenge werden mit 146.112 t FM/ Jahr und die Gesamtverarbeitungskosten mit 205,2 €/ t FM beziffert. Die Reduktion der Kapitalkosten führt zu keiner Änderung hinsichtlich der ausgewiesenen Pyrolysestandorte. Es werden ebenfalls 19 Anlagen realisiert. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungsmenge beträgt hierbei 91.930 t FM/ Jahr. Die Gesamtverarbeitungskosten zeigen sich mit 162 € je t FM wesentlich geringer als im Basisszenario. Die Realisierung des Synthesestandes erfolgt bei einer Kapitalkostenreduzierung ebenfalls in Korneuburg. Im Szenario +25% wird der Synthesestandort in St. Pölten Land realisiert. Die Verteilung der Anlagen sowie deren Kapazität zeigen sich wie folgt:

Abbildung 22: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit der Kapitalkosten für das Szenario „ohne Konkurrenz“



Die Sensitivitätsanalyse der Kapitalkosten basierend auf dem Basisszenario „mit Konkurrenz“ zeigt, wie in Abbildung 23 dargestellt, bei einer 25%igen Kapitalkostenreduktion keine Auswirkung auf die Anzahl der gewählten Pyrolysestandorte. Es werden 12 Anlagen mit einer durchschnittlichen Gesamtverarbeitungskapazität von 86.667 t FM/ Jahr, sowie Gesamtverarbeitungskosten von 169,7 €/ t FM ausgewiesen. Eine Anhebung der Kapitalkosten sorgt auch hier für eine Reduktion der realisierten Anlagen um 2 auf 10 Standorte. Die durchschnittliche Gesamtverarbeitungskapazität beträgt hierbei 104.359 t F/ Jahr. Die Gesamtverarbeitungskosten werden mit 212,5 €/ t ausgewiesen. Bei der Wahl des Synthesestandorts erfolgt keine Änderung. Beide Anlagen befinden sich in Korneuburg.

Abbildung 23: Realisierte Verarbeitungsstandorte in Abhängigkeit der Kapitalkosten für das Szenario „mit Konkurrenz“



## 7 Diskussion

Die Basiseinheit für das Planungsmodell bilden die einzelnen Bezirke, was sich auch in der Potenzialberechnung auf Einzelbezirksebene äußert. Eine Betrachtung auf Gemeindeebene scheint grundsätzlich zwar denkbar, kann jedoch aufgrund der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung bzw. des verwendeten Rechenprogramms nicht durchgeführt werden. Die nicht zu Verfügung stehenden Ertragsdaten der einzelnen Kulturen auf Gemeindeebene stellen eine zusätzliche Hürde dar. Wenngleich eine Betrachtung auf Gemeindeebene detailliertere Aussagen zulässt, so ist nicht davon auszugehen, dass sich das Modellergebnis wesentlich verändert. Das in der Arbeit untersuchte Rohstoffpotenzial bezieht sich zur Gänze auf die organischen Restmassen (Stroh) von Kulturen die in lagerfähigem Zustand geerntet werden können. Eine Erweiterung der Betrachtung des Rohstoffangebots auf Zuckerrübenblätter oder Maisstroh wäre aufgrund der hohen Erntemengen ebenfalls denkbar. Problematisch scheinen hierbei jedoch die hohen Feuchtegehalte zum Erntezeitpunkt, was sich auch in der geringen Konkurrenz zu anderen Produktionssystem zeigt. Die Verwendung von Maisstroh bzw. anderer wasserhaltiger Reststoffe ist nur unter Berücksichtigung der Trocknungskosten anzudenken. Eine zusätzliche Möglichkeit könnte eine unverzügliche Verarbeitung darstellen, wie sie etwa bei Zuckerrübenkampagnen durchgeführt wird. Eine teilweise Trocknung wird aufgrund der schnellen Erwärmung im Lagerstock aber auch hier nötig.

In den Ergebnissen der Potenzialabschätzung werden, bis auf Bio- Flächen, keine Rohstoffmengen zur Erhaltung der Humussubstanz am Feld berücksichtigt. Das schlechte Kohlenstoff- Stickstoff- Verhältnis von Getreidestroh sorgt, im Gegensatz zu Maisstroh, mit einem deutlich ausgewogeneren Verhältnis, für eine schlechte Verrottung der Strohmenen. Der hohe Kohlenstoffanteil im Stroh benötigt daher zur Verrottung zusätzlichen Stickstoff. Da dieser in Form von Dünger zusätzlich ausgebracht werden muss und somit zusätzliche Kosten verursacht, wird von einer Bevorzugung der Strohernte ausgegangen. In einer längerfristigen Betrachtung sollte jedoch eine ausgewogene Fruchtfolge berücksichtigt werden. Vergleichend zu anderen, derzeit vorherrschenden Fruchtfolgesystemen, wie sie etwa bei Biogasanlagen oder CCM- Schweinemastbetrieben vorkommen, scheint die Thematisierung der Humusbilanz bei GÖK- Flächen jedoch vernachlässigbar.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, finden derzeit rund 3% bzw. 25.000 ha der österreichischen Ackerfläche keinen Eingang in die Produktion bzw. liegen brach. Wenngleich nicht davon ausgegangen werden kann, dass der erhöhte Absatz von GÖK- Stroh für eine Rekultivierung sorgt, so könnten diese Flächen langfristig dennoch einen Beitrag zur Produktion von BtL- Treibstoffen leisten. Der Hauptgrund für die Stilllegung dieser Ackerflächen ist neben agrarpolitischer Auflagen meist eine verminderte Ertragsfähigkeit. Eine großflächige Realisierung von BtL- Systemen kann einen wirtschaftlich sinnvollen Beitrag zur Nutzung dieser Flächen leisten. Interessant scheinen vor allem Kulturen, wie etwa Hirse, die mit vergleichsweise wenig wirtschaftlichem Aufwand viel vegetative Masse erzeugen können.

Das in der Abschätzung ermittelte Gesamtpotenzial von 1,7 bzw. 1 Mio t Stroh FM zeigt sich im Vergleich mit vorangegangenen Studien stark überdurchschnittlich. Sowohl THRÄN ET. AL. 2005 als auch DISSEMOND UND ZAUSSINGER 1995 beziffern mit 730.000 t FM bzw. 350.000 t FM das Strohaufkommen für Österreich wesentlich geringer. Wenngleich diese Studien aufgrund unterschiedlicher Schätzmethode nur bedingt vergleichbar sind, so befinden sich die Ergebnisse der Potenzialabschätzung in dieser Arbeit im oberen Bereich. Wesentlichen Einfluss auf die zur Verfügung stehenden Strohmenge in Österreich wird auch künftig die Tierhaltung ausüben. Es ist zwar nicht davon auszugehen, dass sich der Bedarf an Einstreu, bedingt durch stagnierende Kuhbestände in Österreich, erhöht, so könnte eine zunehmende Intensivierung der Milchviehbetriebe jedoch eine erhöhte Nachfrage an Stroh zur Futterbeimischung hervorrufen.

In der hier vorliegenden Arbeit werden die Anlagen- und Investitionskosten für ein Jahr ermittelt. Die sich ständig ändernden politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen, sowie neue technische Entwicklungen im Bereich der BtL- Produktion erfordern eine Anpassung bzw. Neubewertung, der in dieser Arbeit getroffenen, Annahmen. Einen Ansatz für die Auswirkung veränderter Parameter auf das Ergebnis wird in den Sensitivitätsanalysen aufgezeigt.

In einem ähnlichen Kontext ist auch die Bewertung der Rohstoffkosten zu sehen. Die dem Modell unterstellten Rohstoffkosten für Stroh in der Höhe von 70 €/t entsprechen der derzeitigen Marktlage. Ein Rohstoffbedarf, wie ihn eine großtechnische Realisierung benötigt, kann jedoch erhebliche Auswirkungen auf den Markt mit sich bringen. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass eine hohe Pyrolyseanlagenleistung, wie die Modellierung in Ostösterreich vorsieht, zu einem deutlich höheren Marktwert von Stroh führt. Umgekehrt ist anzunehmen, dass sich eine hohe Transportentfernung negativ auf den Marktwert auswirkt. Wesentlich scheint in diesem Zusammenhang auch die Entwicklung des Strohverbrauchs der österreichischen Nachbarländer. Eine Entwicklung von BtL- Systemen in den angrenzenden Staaten hätte mit hoher Wahrscheinlichkeit für den österreichischen Markt Auswirkungen. Die künftige Preisentwicklung hängt somit von vielen Faktoren ab, die nur unzureichend geschätzt werden können.

Überlegungen hinsichtlich der Reduktion von Transportkosten, spielen insbesondere bei dezentralen Anlagekonzepten eine bedeutende Rolle. Der grundlegende Ansatz, dass die Reduktion der Transportkosten höher wiegt, als nicht genutzte Skaleneffekte der Produktionsanlagen lässt sich, zumindest für einen Teil des Herstellungsprozesses (Pyrolyse), durch die hier durchgeführte Standortplanung bestätigen. Eine wesentliche Veränderung der Transportkosten würde aber auch hier eine Neubewertung erfordern.

In Summe zeigt sich, dass eine Betrachtung derartiger Systeme in diesem Maßstab nur schwer möglich ist. Insbesondere Annahmen zu Anlagen- und Investitionskosten, können in der noch frühen Entwicklungsphase von BtL- Systemen, die vor allem auf Demonstrationsebene befindet, nur mit Unsicherheit abgeschätzt werden.

Für die Produktion von einem Liter BtL-Treibstoff werden laut FNR, 2012 5,3 kg Stroh FM benötigt. Die Anwendung dieses Verhältnis ergibt für die Szenarien „ohne und mit Konkurrenz“ eine erzeugte Treibstoffmenge von 328 bzw. 196 Mio. Liter BtL- Treibstoff pro Jahr. Umgerechnet auf die Gesamtproduktionskosten je Liter ergeben somit 0,97 € für das Szenario „ohne Konkurrenz“ und 1,02 € für das Szenario „mit Konkurrenz“. Vergleichend zu bestehender Literatur kann zeigen die Gesamtproduktionskosten je Liter Treibstoff sehr ähnlich. KERDONCUFF, 2008 beziffert die Kosten je Liter beim Ausgangsrohstoff Stroh für das Gebiet Baden- Württemberg auf 1,02 bis 1,04 € je nach Anlagenverbund. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommt DAHMEN ET AL., 2006 der von Gesamtkosten von knapp unter einem Euro je Liter ausgeht. In einem direkten Vergleich zu fossilen Treibstoffen, der mit nahezu 70% besteuert wird, zeigen sich, auch bei den hier angedachten Größenverhältnissen erhebliche Kostennachteile für die BtL- Produktion. Eine Kostenreduktion von BtL- Kraftstoffen wiederum bedarf, neben Forschungsanstrengungen, vor allem praktische Erfahrung in der Durchführung und Implementierung derartiger Systeme.

Wenngleich sich die hier vorliegende Arbeit vor allem mit ökonomischen Fragestellungen in Bezug auf die erfolgreiche und nachhaltige Konstituierung von BtL- Anlagen in Österreich widmet, sind auch Fragen der Nachhaltigkeit im Vordergrund.

Ein wesentliches Ziel von Biotreibstoffen der zweiten Generation ist neben der Reduzierung von Abhängigkeit gegenüber fossilen bzw. atomaren Energieträgern, die Schaffung einer sauberen Energiequelle, die sich nachhaltig positiv bzw. zumindest neutral oder nicht negativ auf die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre auswirkt. Vor diesem Hintergrund stellt sich vor allem bei einer groß-technischen Realisierung, wie sie in dieser Arbeit angestrebt wird, die Frage der Nachhaltigkeit derartiger Systeme. Die Basis für die Verarbeitung stellt sowohl bei fossilen Treibstoffen als auch bei Biotreibstoffen der Kohlenstoff dar. Während bei herkömmlichen Treibstoffen auf hoch-energetische langkettige Kohlenwasserstoffe aus Erdöl zurückgegriffen werden kann, fokussiert man sich bei Biotreibstoffen der zweiten Generation auf lignocellulosehaltige Biomasse. Zur Produktion dieser, nehmen Pflanzen Kohlenstoff via CO<sub>2</sub> aus deren Umgebung auf. Dieses Prinzip der CO<sub>2</sub>- Neutralität zeigt sich vor allem bei schnellwachsenden Kulturen, wie beispielweise im Ackerbau, zielführend. Anders zeigt sich die Situation bei der Verarbeitung von Holz. Die weltweit stetig steigende Energienachfrage würde sich bei funktionierenden Biotreibstoffanlagen der zweiten Generation kaum auf die Verwendung von schnell nachwachsenden Rohstoffen beschränken. Das Worst- Case- Szenario stellt in diesem Zusammenhang die Verwendung von Rohstoffen dar, die nur binnen Generationen wieder im jetzigen Umfang nachwachsen würden. Hier sind vor allem forstwirtschaftliche Grenzertragsstandorte, wie etwa der hochalpine Bereich oder Teile der Tundra bzw. dem Regenwald zu nennen. Dieser Umstand könnte schlussendlich für eine zusätzliche Anreicherung der CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre sorgen.

## 8 Zusammenfassung

Die Basis der Berechnungen bildet die durchgeführte Potenzialabschätzung. Da anzunehmen ist, dass eine groß-technische Realisierung von BtL- Anlagen auch eine erhebliche Auswirkung auf den vorhandenen Rohstoffmarkt hat, wurden zwei Angebotsszenarien gebildet, die je nach Berechnungsansatz unterschiedliche Ausgangssituationen bilden. Das Szenario „ohne Konkurrenz“ geht von einer geringen bzw. von einer kaum vorhandenen Konkurrenzsituation zu anderen Produktionssystemen aus. Einzig die Fläche von Biobetrieben, die aufgrund der bestehenden Bio-Richtlinien, nur beschränkt Nährstoffstoffe in Form von Mineraldünger zurückführen können, sowie die Getreidefläche von Milchviehbetrieben werden nicht berücksichtigt. Dabei errechnet sich die zur Verfügung stehende Menge des Ausgangsrohstoffs Stroh zu 1,7 Mio. t FM. Das zweite Basisszenario „mit Konkurrenz“ geht von einer anhaltenden Konkurrenzsituation zur Rinderhaltung und zu Strohbefeuerungsanlagen aus. Hierzu wird anhand der INVEKOS- Daten bzw. der Rinderdatenbank der Bedarf an Einstreustroh geschätzt und ebenso wie der Strohertrag von Bioflächen vom österreichischen Strohertrag abgezogen. Der Rohstoffbedarf für Strohfeuerungsanlagen wird ebenfalls berücksichtigt. Im Szenario „mit Konkurrenz“ stehen über Österreich verteilt rund 1 Mio. t Stroh zur Verfügung.

Neben dem Rohstoffpotenzial werden eine Reihe weiterer Ausgangsdaten zur Modellierung benötigt. In Kapitel 5 findet sich eine Aufstellung bzw. Berechnung aller im Modell verwendeten Ausgangsdaten, wie fixe und variable Anlagenkosten bzw. Transport- und Rohstoffkosten. Die fixen und variablen Anlagekosten werden, basierend auf Daten in der Literatur, auf die in dieser Arbeit vorherrschenden Größenmaßstäbe um- bzw. hochgerechnet.

In weiterer Folge findet sich die Modellierung der Standort- und Sensitivitätsanalyse. Ziel des Modells ist die Ermittlung der optimalen bzw. kostengünstigsten Verteilung der Anlagen im österreichischen Raum. Eine Unterteilung des Verarbeitungsprozesses zur Herstellung von BtL- Kraftstoffen in zwei zeitlich und räumlich getrennte Prozessschritte (Pyrolyse und Synthese) ermöglicht eine ökonomische Betrachtung im Produktionsverbund. Hierbei stellt jeder Bezirk in Österreich zugleich Rohstofflieferant als möglicher Standort für Pyrolyse und Synthese dar. Jedem realisierten Standort stehen in der Betrachtung 100 Pyrolyse- bzw. 100 Synthesekapazitätsstufen zur Verfügung. Diese bestehe aus 10 verschiedenen Anlagengrößen (vgl.: Tabelle 14) mit jeweils 10 Auslastungsstufen. Die variablen Kosten unterliegen hierbei einer Größendegression, da grundsätzlich anzunehmen ist, dass sich der Zukauf von Betriebsmitteln mit größeren Mengen pro Einheit billiger gestaltet (vgl. Kapitel 5.3.4).

Die in dieser Arbeit durchgeführten Modellberechnungen liefern neben der Anlagenverteilung eine Reihe von Ergebnissen. Diese beinhalten etwa Rohstoffbezugsmengen von den einzelnen Lieferanten, Standort und Verteilung der realisierten Pyrolyse- und Syntheseanlagen oder den Anteil der jeweiligen Kostenkomponenten an den Gesamtkosten der einzelnen Anlagen. Die Stabilität der

Ergebnisse wird in weiterer Folge durch die Abänderung wesentlicher Parameter in den Sensitivitätsanalysen überprüft. Hierbei werden, ausgehend von den Basisszenarien, die Parameter Rohstoffangebot, Kapitalkosten, Größendegressionseffekt und Transportkosten in beide Richtungen abgeändert und dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen in beiden Basisszenarien eine starke Fokussierung der Anlagenstandorte auf die österreichischen Ackerbaugebiete. Der überwiegende Anteil der Pyrolyseanlagen wurde in jedem Szenario in Niederösterreich realisiert. Anfallende Strohmenngen in den Bundesländern Tirol, Vorarlberg und Salzburg werden in den oberösterreichischen Pyrolysestandorten verarbeitet. Die Möglichkeit einer zentralen Verarbeitung (ein einziger Standort mit einer zentralen Pyrolyse- und Syntheseanlage) wurde inklusive aller Sensitivitätsanalysen in keiner Berechnung wahrgenommen. Die Synthese wird in beiden Szenarien in an einem einzigen Standort in Korneuburg ausgeführt. Im Fall des Szenarios „mit Konkurrenz“ zeigt ein zentrales Verarbeitungskonzept am Standort Korneuburg rund 14 € höhere Gesamtkosten bzw. 206 €/t FM. Im Szenario ohne Konkurrenz ergeben sich am gleichen Standort Gesamtkosten von 203 €/t FM bzw. eine Steigerung von 20 €/t FM. Der Vergleich der Prozesskosten zwischen beiden Verarbeitungskonzepten zeigt in beiden Szenarien eine deutliche Steigerung der Transportkosten. Im Szenario „ohne Konkurrenz“ betragen die Kosten für den Transport im zentralen Verarbeitungskonzept 39,18 € bzw. 19,3% der Gesamtverarbeitungs-kosten. Eine Steigerung von 25,67 €/t zum dezentralen Verarbeitungskonzept. Die Gesamtkosten für die Pyrolyse gestalten sich im zentralen Verarbeitungskonzept um rund 10 €/t günstiger.

Im Szenario „mit Konkurrenz“ zeigt sich ein ähnliches Ergebnis. Während sich die Transportkosten von 16,5 €/t auf 32, 59 €/t nahezu verdoppeln kommt es bei den Pyrolysekosten zu einer Kostenreduktion um 9 €/t. Die Kosten für die Synthese bleiben in beiden Verarbeitungskonzepten. Somit lässt sich die Forschungsfrage nach dem wirtschaftlich sinnvolleren Verarbeitungskonzept unter den in dieser Arbeit getroffenen Annahmen klar mit der dezentralen Verarbeitung beantworten.

Die Forschungsfrage nach der optimalen Standortverteilung lässt sich nicht explizit beantworten. Die Standort- und Kapazitätsauslegung hängt in einem hohen Maße von den zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen ab. Die Sensitivitätsanalysen für das Rohstoffangebot zeigt bei einer starken Reduktion der Verarbeitungsmenge, eine starke Fokussierung auf das Nord-östliche Weinviertel, obwohl auch andere Ackerbaugebiete, wie etwa der oberösterreichische Zentralraum, die erforderliche Menge aufbringen könnte. Unter den durchgeführten Sensitivitätsanalysen zeigten sich bei den Veränderungen der Kapitalkosten die geringsten Veränderungen. Die Reduktion der Kapitalkosten um 25% zeigen keine Auswirkungen auf Anzahl und Standorte der realisierten Anlagen. In Summe zeigen die 18 durchgeführten Sensitivitätsanalysen ein differenziertes Bild. Während im Bereich der Syntheseanlagen in jedem Szenario nur eine Anlage, in der Regel im Nord- östlichen Weinviertel (meist Mistelbach oder Korneuburg), realisiert wird, gibt es im Bereich der Pyrolyseanlagen erhebliche Abweichungen. Mit Ausnahme der Veränderung des Rohstoffangebotes, kommt

es in den Sensitivitätsanalysen des Szenarios „mit Konkurrenz“ je nach Abänderung zu 8- 15 realisierten Pyrolyseanlagen. Die Sensitivitätsanalysen für das Basisszenario „ohne Konkurrenz“ zeigen, wieder mit Ausnahme der nur bedingt vergleichbaren Angebotsvariation, 14- 25 realisierte Pyrolyseanlagen. Gemessen an den Basisszenarien, mit 19 Anlagen („ohne Konkurrenz“) und 12 Anlagen („mit Konkurrenz“), kommt es zu Schwankungsbreiten in den durchgeführten Sensitivitätsanalysen Transportkosten, Größenkoeffizient und Kapitalkosten, gemessen an der Anzahl der Standorte, von rund 30%.

## 9 Literatur

- BELLER ET AL., 2010** Beller et. al., (2010): Rohstoffbasis im Wandel, Diskussionspapier, URL: [http://www.dgmk.de/petrochemistry/Positionspapier\\_Rohstoffbasis\\_im\\_Wandel.pdf](http://www.dgmk.de/petrochemistry/Positionspapier_Rohstoffbasis_im_Wandel.pdf), Abgerufen: Jänner 2012.
- BGBL ÄNDERUNG DER KRAFTSTOFFVERORDNUNG 1999, § 6 A ABS. 4** BGBl DER REPUBLIK ÖSTERREICH (2009): 168. Verordnung des Bundesministers für Land-wirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Kraftstoffverordnung geändert wird.
- BMLFUW, 2010** Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): Grüner Bericht 2009, Eigenverlag Wien.
- BMLFUW, 2006** Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Einkommensermittlung für den Grünen Bericht- Methodenbeschreibung, Eigenverlag, Wien.
- CHAUVEL ET AL., 1976** Chauvel, A.; Fournier, G.; Raimbault, C. (1976): Publications de l'Institut français du pétrole -Manuel d'évaluation économique des procédés. Paris: Technip.
- DAHMEN ET AL, 2006** Dahmen N.; Dinjus E.; Henrich E.(2006): Das Karlsruher bioliqu®- Verfahren- Stand der Entwicklung, Tagung: Mobil mit Biomasse; 27. 09.2006, Stuttgart
- DIE UMWELTBERTATUNG, 2010** Die Umweltberatung (2010): Strohfeuer- Vom Feld in Heizwerk, URL: <http://www.umweltberatung.at/start.asp?ID=16324&b=2529>, Abgerufen Dezember 2010.
- DISSEMOND UND ZAUSSINGER, 1995** Dissemond, H.; Zaussinger, A.(1995). Stroh- ein nachwachsender Rohstoff für die energie-tische Nutzung. Wien: Institut für Land- Umwelt und Energietechnik der Universität für Bodenkultur.
- DOMSCHKE UND DREXL, 1996** Domschke, W.; Drexl, A. (1996): Logistik. 4., überarb.u. erw. Aufl., Bd. 3: Standorte. Olden-bourg-Verlag München/Wien.
- FNR, 2006** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. - FNR (Hrsg.) (2006): Basisinformationen zu BtL- Kraftstoffen.

- FNR, 2012** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2012), Herstellungsprozess BtL- Kraftstoff, URL: <http://www.btl-plattform.de/herstellung/> , Abgerufen: Jänner 2012.
- FURTHNER, 2010** Furthner, (2010): Telefonauskunft Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Dezember 2010.
- HAMELINCK, 2004** Hamelinck, C. (2004): Outlook for advanced biofuels. Dissertation am Copernicus Institute der Universität Utrecht, Utrecht, Niederlande.
- HENRICH ET AL., 2007** Henrich, E., Dahmen, N., Dinjus, E. (2007): Das FZK Projekt– Herstellung von Synthesekraftstoff aus Biomasse. Beitrag auf der Internationalen Tagung Thermo-chemische Biomassevergasung KUBUS,Leipzig 27.-28. Februar 2007.
- HENRICH ET.AL., 2008** Henrich, E., Dahmen N., Dinjus, E. (2008): Cost estimate for biosynfuel production via biosyncrude gasification, Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd | Biofuels, Bioprod. Bioref. 3:28–41 (2009).
- JACK, 2009** JACK, M. W. (2009): Scaling laws and technology development strategies for biorefineries and bioenergie plants. Bioresource Technolgy, vol. 100, p. 6324- 6330.
- KALTSCHMITT ET AL., 2009** KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H., (2009) Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage, Springerverlag Heidelberg.
- KERNDONCUFF, 2008** Kerdoncuff (2008) Modellierung und Bewertung von Prozessketten zur Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation. Karlsruhe: Dissertation Universität Karlsruhe, Eigenverlag.
- KIESLINGER, 2011** Kieslinger (2011): Telefonauskunft Maschinenring Sauwald, Juni 2011.
- KLOSE, 2001** Klose A. (2001) Standortplanung in distributiven Systemen, Physica-Verlag Heidelberg.
- KTBL- DATENSAMM- LUNG 08/09** KTBL- Datensammlung (08/09): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09- Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft, 21. Auflage 2008, Darmstadt.
- LEIBLE ET AL., 2005** Leible, L.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.;Proplesch, D.;

Wintzer, D.; Fürniß, B. (2006): Kraftstoffproduktion aus Stroh und Waldrestholz – dezentral oder zentral?. Beitrag auf der Tagung „Bioenergienutzung in Baden- Württemberg – Auf dem Weg zum nachhaltigen Anbau“, Stuttgart 2006.

**LEIBLE ET AL., 2003**

Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, Ch.; Wintzer, D. (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft - Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Karlsruhe. Wissenschaftlicher Bericht. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. 2003.

**LfL, 2011**

Landesamt für Landwirtschaft (2011): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, 9. unveränderte Auflage. Freising-Weihenstephan: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft.

**MAIER, 1999**

Maier, D.; Faix O.; (1999): Heizöl und Chemie-Rohstoffe aus Holz - Flash-Pyrolyse eröffnet neue Möglichkeiten., Forschungsreport ELF, Heft 1/1999.

**RICHTLINE 2009/ 28  
EG**

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT (2009/ 28/ EG): Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/ EG und 2003/30/ EG.

**STATISTIK AUSTRIA,  
2010**

Statistik Austria (2010). Feldfruchternte 2009, Eigenverlag Wien.

**STATISTIK AUSTRIA  
2009**

Statistik Austria (2009): Bodennutzung in Österreich, URL: [www.statistik.at/web\\_de/statistiken/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/bodennutzung/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/index.html), Abgerufen: Juli 2011.

**THRÄN ET AL., 2005**

Thrän D.; Weber M.; Scheuermann A.; Fröhlich N.; Zeddies J.; Henze A.; Thoroe C.; Schweinle J.; Fritsche U.; Jenseit W. (2005). Nachhaltige Biomassennutzungsstrategie im europäischen Kontext. Leib-zig: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

## Anhang A: Grundlagen & Ergebnisse der Potenzialabschätzung

Tabelle A.1: Betrachtete landwirtschaftliche Kulturen samt Anbau in Österreich 2009 in ha

Kulturen	Anbau 2009
Winterweichweizen	267.496
Sommerweichweizen	4.501
Hartweizen (Durum)	17.874
Dinkel	6.905
Roggen	53.171
Wintermenggetreide	2.713
Wintergerste	84.746
Sommergerste	101.111
Hafer	26.571
Triticale	46.309
Sommermenggetreide	4.904
Sonstiges Getreide (Sorghum, Hirse, Buchweizen etc.)	8.382
Körnererbsen	22.306
Pferde(Acker)bohnen	3.695
Andere Hülsenfrüchte (Linsen, Wicken, Süßlupinen etc.)	2.693
Winterraps	55.801
Sommerraps	255
Sojabohnen	18.419
Öllein	677
Mohn	2.011
<b>Gesamt</b>	<b>755.204</b>

Tabelle A.2: Strohbedarf für Einstreu für das Szenario „mit Konkurrenz“ nach Bezirken:

Politischer Bezirk	Einstreubedarf Kälber je Tag	Einstreubedarf Jungrinder 6 M.- 1 Jahr je Tag	Einstreubedarf Kühe 1-2 Jahre je Tag in kg	Einstreubedarf Kalbinnen 1-2 Jahre je Tag in kg	Einstreubedarf Kalbinnen ab 2 Jahren je Tag in kg	Einstreubedarf Mutterkühe je Tag in kg	Einstreubedarf Milchkühe je Tag in kg	Summe Strohbedarf pro Jahr in t
Eisenstadt(Stadt)	0	2	0	2	0	0	0	2
Rust	0	0	0	12	0	0	0	4
Eisenstadt (Land)	87	343	2	214	77	261	182	425
Güssing	532	1135	8	1584	566	830	2030	2440
Jennersdorf	146	307	5	478	120	590	318	716
Mattersburg	49	415	2	127	38	60	38	266
Neusiedl am See	171	694	0	610	379	1296	128	1196
Oberpullendorf	178	475	3	547	180	315	644	855
Oberwart	798	2762	18	3432	1121	1071	3404	4601
Klagenfurt (Stadt)	199	432	0	485	278	764	420	941
Villach (Stadt)	241	281	0	790	410	549	1049	1211
Hermagor	1045	456	3	3254	2362	2967	4139	5192
Klagenfurt Land	1713	4075	20	4903	2054	5661	3981	8179
Sankt Veit an der Glan	3867	4217	36	9158	5357	17481	8393	17706
Spittal an der Drau	4639	3067	18	10694	7783	17985	10032	19790
Villach Land	1879	1997	30	6168	3458	6071	6699	9600
Völkermarkt	1628	2986	21	4920	2138	6098	4028	7964
Wolfsberg	4104	5083	35	10414	5412	15488	8537	17911
Feldkirchen	1869	1800	27	4586	2878	8552	4296	8763
Krems an der Donau	0	0	0	2	0	0	0	1
St. Pölten (Stadt)	186	655	2	557	166	71	630	827
Waidhofen an der Y.	877	734	2	3372	1778	1427	4178	4514
Wiener Neustadt St.	1	0	0	0	0	0	2	1
Amstetten	8023	18449	35	25798	9050	7952	32462	37145
Baden	848	1375	11	2258	907	1545	2367	3399
Bruck an der Leitha	309	1097	8	192	46	132	138	701
Gänserndorf	348	533	2	324	127	291	138	643
Gmünd	2284	4200	30	7092	2206	6159	7599	10793
Hollabrunn	572	1678	9	552	122	314	390	1327
Horn	1405	6005	3	2371	638	840	2432	4998
Korneuburg	769	3898	2	518	151	144	513	2188
Krems a. d. D- L.	1680	5527	6	5282	1380	2976	5031	7987
Lilienfeld	1532	1320	14	5054	2914	4493	6180	7850
Melk	5177	13322	27	15619	4522	5106	18144	22600
Mistelbach	475	2165	3	722	142	755	276	1656
Mödling	184	192	3	538	170	300	756	782
Neunkirchen	2464	4598	21	7771	2767	7886	6965	11852
St. Pölten (Land)	4587	10404	20	13260	5897	5714	14967	20019
Scheibbs	4961	7800	21	16459	7298	8367	18528	23154
Tulln	1444	7577	2	581	235	248	449	3845
Waidhofen an der T.	2570	9883	44	7085	1790	3189	6561	11359
Wiener Neustadt L.	2710	6386	27	8266	2645	5744	9543	12892

<b>Wien-Umgebung</b>	92	302	0	228	89	284	182	<b>429</b>
<b>Zwettl</b>	4898	8774	51	15139	4176	8166	19454	<b>22140</b>
<b>Linz</b>	44	82	2	144	74	188	138	<b>245</b>
<b>Steyr</b>	2	12	0	12	2	0	0	<b>11</b>
<b>Wels</b>	22	91	0	41	29	14	63	<b>95</b>
<b>Braunau am Inn</b>	8319	17582	44	27502	9137	8208	36969	<b>39333</b>
<b>Eferding</b>	898	1783	11	2774	845	1664	3384	<b>4146</b>
<b>Freistadt</b>	6758	11899	63	20575	5890	12788	25328	<b>30405</b>
<b>Gmunden</b>	1424	2614	9	5513	2491	2615	7187	<b>7976</b>
<b>Grieskirchen</b>	4271	10678	17	13109	4006	5711	13935	<b>18880</b>
<b>Kirchdorf an der K.</b>	2532	3029	11	8868	4152	3878	12341	<b>12705</b>
<b>Linz-Land</b>	334	684	2	379	187	167	818	<b>938</b>
<b>Perg</b>	3694	7577	29	10433	2426	5768	14364	<b>16166</b>
<b>Ried im Innkreis</b>	5435	14474	17	15310	4387	3753	18423	<b>22557</b>
<b>Rohrbach</b>	6765	8522	35	23503	7318	10839	29181	<b>31449</b>
<b>Schärding</b>	6162	13507	26	19538	6319	5862	23489	<b>27340</b>
<b>Steyr-Land</b>	2941	4090	35	9456	3934	6098	10238	<b>13428</b>
<b>Urfahr-Umgebung</b>	4095	5196	47	15434	4963	7079	19568	<b>20579</b>
<b>Vöcklabruck</b>	6306	9926	41	20206	7634	6330	34329	<b>30942</b>
<b>Wels-Land</b>	537	1925	8	1152	408	833	1236	<b>2226</b>
<b>Salzburg</b>	159	218	2	432	290	135	1163	<b>876</b>
<b>Hallein</b>	1361	677	11	4164	2959	2594	9344	<b>7705</b>
<b>Salzburg-Umgebung</b>	4777	4226	30	18626	9264	5177	44069	<b>31452</b>
<b>Sankt Johann im P.</b>	3198	1169	15	11390	8215	8454	10397	<b>15636</b>
<b>Tamsweg</b>	1579	794	5	6005	4349	3569	5654	<b>8013</b>
<b>Zell am See</b>	4573	1519	26	16990	11983	11337	16614	<b>23010</b>
<b>Graz</b>	247	211	0	415	180	306	393	<b>639</b>
<b>Bruck an der Mur</b>	1307	1733	9	3660	1963	3647	3923	<b>5928</b>
<b>Deutschlandsberg</b>	2421	4699	35	6084	2374	8109	5858	<b>10796</b>
<b>Feldbach</b>	1240	3502	8	2950	1054	3351	2883	<b>5470</b>
<b>Fürstenfeld</b>	281	600	5	571	216	641	581	<b>1056</b>
<b>Graz-Umgebung</b>	3166	5609	20	8570	3713	8130	9938	<b>14288</b>
<b>Hartberg</b>	4723	10090	48	13606	4692	8829	16913	<b>21498</b>
<b>Judenburg</b>	2627	2808	21	8458	4920	6335	9681	<b>12720</b>
<b>Knittelfeld</b>	1513	1416	6	6012	3434	2031	8388	<b>8322</b>
<b>Leibnitz</b>	1105	4058	5	2256	838	3236	1976	<b>4918</b>
<b>Leoben</b>	1382	1632	17	4826	2686	2093	6255	<b>6895</b>
<b>Liezen</b>	4051	4378	18	14940	9290	7251	19448	<b>21672</b>
<b>Mürzzuschlag</b>	1162	1627	9	3283	1450	3591	3290	<b>5260</b>
<b>Murau</b>	3413	3914	17	10195	6012	9353	11433	<b>16183</b>
<b>Bad Radkersburg</b>	255	905	5	730	199	555	695	<b>1220</b>
<b>Voitsberg</b>	2067	2083	29	5789	2784	8304	5823	<b>9811</b>
<b>Weiz</b>	3718	5755	33	12202	5134	7944	15122	<b>18216</b>
<b>Innsbruck-Stadt</b>	125	72	2	466	262	134	734	<b>654</b>
<b>Imst</b>	1435	960	6	4637	3014	3410	3815	<b>6306</b>
<b>Innsbruck-Land</b>	3133	1622	17	11285	6202	6087	11423	<b>14515</b>
<b>Kitzbühel</b>	3334	739	33	12722	8798	4554	18026	<b>17595</b>
<b>Kufstein</b>	3481	869	32	16301	9252	4331	21267	<b>20269</b>
<b>Landeck</b>	1393	754	3	4267	2566	3443	2724	<b>5529</b>
<b>Lienz</b>	2841	1826	23	8148	5162	8264	5700	<b>11667</b>
<b>Reutte</b>	514	415	3	1826	1238	1292	2387	<b>2801</b>
<b>Schwaz</b>	3813	667	24	13042	6982	2547	20562	<b>17387</b>
<b>Bludenz</b>	1349	742	12	4956	2863	2489	5324	<b>6473</b>
<b>Bregenz</b>	3752	1174	50	12394	6898	2717	22301	<b>17989</b>
<b>Dornbirn</b>	610	1195	3	2174	1243	941	2661	<b>3222</b>
<b>Feldkirch</b>	1222	1661	9	5028	2386	1715	5472	<b>6384</b>
<b>Wien Gesamt</b>	7	0	0	5	34	6	36	<b>32</b>
<b>Summe:</b>	<b>209.412</b>	<b>337.394</b>	<b>1.535</b>	<b>654.773</b>	<b>292.930</b>	<b>396.815</b>	<b>799.443</b>	<b>982.690</b>

**Tabelle A.3: Stroherträge in dt der ausgewählten Kulturen je Bundesland**

	<b>Ackerbohne</b>	<b>Körnererbsen</b>	<b>Sojabohnen</b>	<b>Winterraps</b>	<b>Sommerraps</b>	<b>Mohn</b>	<b>Öllein<sup>1</sup></b>
<b>Burgenland</b>	18,3	19,2	26,8	46,8	37,2	8,4	40,0
<b>Kärnten</b>	21,7	32,1	26,7	31,5	37,7	10,0	40,0
<b>Niederösterreich</b>	25,6	23,5	28,7	53,2	33,7	13,0	40,0
<b>Oberösterreich</b>	27,0	20,5	27,5	62,1	37,1	16,4	40,0
<b>Salzburg</b>	25,0	25,0	24,6	50,8	37,7	10,0	40,0
<b>Steiermark</b>	25,5	28,3	29,4	58,0	40,0	19,2	40,0
<b>Tirol</b>	25,0	25,0	25,0	31,5	37,7	10,0	40,0
<b>Vorarlberg</b>	25,0	25,0	25,0	31,5	37,7	10,0	40,0
<b>Wien</b>	25,0	12,5	26,1	42,7	33,7	13,0	40,0

Quelle: Statistik Austria 2010, <sup>1</sup>LfL, 2011

## Anhang B: Weitere Daten von Material und Methode

Tabelle B.1: Düngewert des Strohs ausgewählter Kulturen

Kultur	TM/ kg in %	Ertag Stroh/ ha/ Ö 2010	kg N/ dt/ FM	Preis pro kg N	Düngewert N/ dt FM in €	kg P2O5/ dt/ FM	Preis pro kg P2O5	Düngewert P2O5/ dt FM in €	kg K2O/ dt/ FM	Preis pro kg K2O	Düngewert K2O/ dt FM in €	kg MgO/ dt/ FM	Preis pro kg MgO	Düngewert MgO/ dt FM in €	Düngewert pro dt FM Stroh in €	Düngewert pro ha in €/t	Düngewert/ kg Lufttrocken (86% TM) in C/kg
Winterweizenstroh	0,86	41,04	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,4	0,74	<b>1,04</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,18	89,4672	<b>2,18</b>
Somemrweizenstroh	0,86	32,64	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,4	0,74	<b>1,04</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,18	71,1552	<b>2,18</b>
Hartweizenstroh	0,86	36	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,4	0,74	<b>1,04</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,18	78,48	<b>2,18</b>
Haferstroh	0,86	40,48	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,7	0,74	<b>1,26</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,402	97,23296	<b>2,40</b>
Roggenstroh	0,86	31,77	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	2	0,74	<b>1,48</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,624	83,36448	<b>2,62</b>
Triticalestroh	0,86	43,38	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,7	0,74	<b>1,26</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,402	104,19876	<b>2,40</b>
Dinkelstroh	0,86	21,92	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,4	0,74	<b>1,04</b>	0,2	0,5	<b>0,1</b>	2,18	47,7856	<b>2,18</b>
Sommergerstestroh	0,86	30,4	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,7	0,74	<b>1,26</b>	0,1	0,5	<b>0,05</b>	2,352	71,5008	<b>2,35</b>
Wintergerstestroh	0,86	37,73	0,5	1,2	<b>0,6</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	1,7	0,74	<b>1,26</b>	0,1	0,5	<b>0,05</b>	2,352	88,74096	<b>2,35</b>
Körnererbsenstroh	0,86	23	1,5	1,2	<b>1,8</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	2,6	0,74	<b>1,92</b>	0,3	0,5	<b>0,15</b>	4,318	99,314	<b>4,31</b>
Ackerbohnenstroh	0,86	25,4	1,5	1,2	<b>1,8</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	2,6	0,74	<b>1,92</b>	0,3	0,5	<b>0,15</b>	4,318	109,6772	<b>4,31</b>
Sojabohnenstroh	0,86	27,5	1,5	1,2	<b>1,8</b>	0,3	1,48	<b>0,44</b>	2,6	0,74	<b>1,92</b>	0,3	0,5	<b>0,15</b>	4,318	118,745	<b>4,31</b>
Winterrapsstroh	0,86	53,89	0,7	1,2	<b>0,84</b>	0,35	1,48	<b>0,52</b>	2,35	0,74	<b>1,74</b>	0,4	0,5	<b>0,21</b>	3,302	177,94478	<b>3,30</b>

Quellen: Lfi,2011, DB- Katalog, DLG- Futterwerttabelle

**Tabelle B2: Personalkosten für Synthese- und Pyrolyseanlagen in Abhängigkeit der Anlagengröße**

<b>Syntheseanlage(n)</b>					
<b>Verarbeitungs- kap. in t Slurry</b>	<b>MWth- je Anlage</b>	<b>Personalkos- tenansatz in %</b>	<b>Gesamtkosten- Anlage in Mio €</b>	<b>Personalk. je An- lage in Mio/ J</b>	
50.000	37	0,9081	65	0,59	
100.000	74	0,7636	105	0,80	
200.000	147	0,6421	170	1,09	
400.000	294	0,5400	277	1,50	
600.000	441	0,4879	368	1,79	
800.000	588	0,4540	450	2,04	
1.000.000	735	0,4294	526	2,26	
1.500.000	1.103	0,3880	699	2,71	
2.000.000	1.471	0,3611	854	3,08	
2.500.000	1.838	0,3415	999	3,41	

<b>Pyrolyseanlage(n)</b>					
<b>Verarbeitungs- kap. in t Stroh FM</b>	<b>MWth- je Anlage</b>	<b>Personalkos- ten-ansatz in %</b>	<b>Gesamtkosten- Anlage in M €</b>	<b>Personalk. je An- lage in Mio/ J</b>	
1.000.000	550	0,4617	96,0	0,44	
500.000	275	0,5491	49,7	0,27	
200.000	110	0,6905	22,1	0,15	
100.000	55	0,8211	13,1	0,11	
66.667	36	0,9087	10,3	0,095	
50.000	27,5	0,9765	9,0	0,09	
40.000	22	1,0325	8,4	0,09	
33.333	18,33	1,0806	8,0	0,09	
28.571	15,75	1,1231	7,9	0,09	
25.000	13,75	1,1612	7,8	0,09	

## Anhang C: Weitere Daten und Ergebnisse der Standort- und Kapazitätsplanung

**Tabelle C.1: Realisierte Pyrolysestandorte und Verarbeitungskapazität sowie der am Standort anfallenden Transportkosten (1. Transportstufe) für die Sensitivitätsanalyse Transportkosten**

<b>Szenario "mit Konkurrenz", +25% Transportkosten</b>					
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität	Transportkosten (Lief. zu Pyro.) in €			
Wels	53.334	1.588.142	Mödling	100.000	2.028.635
Oberwart	50.000	429.048	Wien	180.000	5.929.440
Wiener Neustadt	50.000	451.281	Eisenstadt (Land)	50.000	144.660
Gmünd	66.667	855.119	Bruck an der Leitha	100.000	-
Wien-Umgebung	80.000	550.815	Gänserndorf	160.000	-
Horn	100.000	646.348	Mistelbach	66.667	250.349
<b>Summe</b>				<b>1.056.668</b>	<b>12.873.838</b>
<b>Szenario "mit Konkurrenz", -25% Transportkosten</b>					
Wels	53.334	951.738	Wien	17.500	159.524
Wiener Neustadt	66.667	401.121	Bruck an der Leitha	100.000	-
Gmünd	66.667	383.466	Gänserndorf	200.000	934.353
Tulln	500.000	11.335.691	Mistelbach	36.000	-
<b>Summe</b>				<b>1.040.168</b>	<b>14.165.893</b>
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", -25% Transportkosten</b>					
Ried im Innkreis	66.667	736.495	Melk	500.000	11.866.953
Wels-Land	100.000	921.146	Horn	100.000	378.705
Grieskirchen	66.667	475.535	Hollabrunn	100.000	-
Leibnitz	53.334	507.687	Korneuburg	60.000	-
Oberwart	100.000	1.068.311	Gänserndorf	200.000	845.017
Oberpullendorf	60.000	185.582	Mistelbach	200.000	550.324
Linz-Land	70.000	300.738	Neusiedl am See	66.667	-
<b>Summe</b>				<b>1.743.335</b>	<b>17.836.494</b>
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", +25% Transportkosten</b>					
Ried im Innkreis	66.667	1.035.791	St. Pölten (Land)	66.667	618.253
Wels-Land	100.000	1.487.174	Baden	66.667	1.004.507
Grieskirchen	66.667	730.053	Horn	100.000	754.790
Feldbach	100.000	3.132.340	Hollabrunn	100.000	-
Oberwart	66.667	724.163	Korneuburg	100.000	855.229
Oberpullendorf	66.667	694.463	Wien V	40.000	661.208
Linz-Land	66.667	404.313	Bruck an der Leitha	66.667	328.054
Steyr-Land	36.000	390.493	Gänserndorf	200.000	1.594.566
Amstetten	66.667	838.257	Mistelbach	200.000	828.173
Zwettl	50.000	304.713	Neusiedl am See	80.000	150.071
Waidhofen a. d. Thaya	50.000	190.354	<b>Summe</b>	<b>1.756.003</b>	<b>16.726.966</b>

**Tabelle C.2: Realisierte Pyrolysestandorte und Verarbeitungskapazitäten, sowie der am Standort anfallenden Transportkosten (1. Transportstufe) für die Sensitivitätsanalyse Rohstoffangebot**

<b>Szenario "mit Konkurrenz", 80% des Strohangebotes</b>					
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität	Transportkosten (Lief. Zu Pyro.) in €			
Oberpullendorf	50.000	186.254	Gänserndorf	200.000	2.018.143
Zwettl	50.000	58.579	Mistelbach	200.000	1.318.999
Hollarbrunn	200.000	2.572.947	Neusiedl am See	60.000	-
Bruck an der L.	80.000	665.280	<b>Summe:</b>	<b>840.000</b>	<b>6.820.201</b>
<b>Szenario "mit Konkurrenz", 50% des Strohangebotes</b>					
Horn	66.667	35.051	Mistelbach	200.000	1.218.422
Hollabrunn	100.000	381.446	Neusiedl a. See	60.000	-
Gänserndorf	100.000	-	<b>Summe:</b>	<b>526.667</b>	<b>1.634.920</b>
<b>Szenario „mit Konkurrenz“, 25% des Strohangebotes</b>					
Hollabrunn	100.000	334.506	Mistelbach	160.000	350.525
			<b>Summe:</b>	<b>260.000</b>	<b>685.031</b>
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", 80% des Strohangebotes</b>					
Wels-Land	66.667	271558	Horn	66.667	-
Oberpullendorf	100.000	1098337	Hollabrunn	100.000	-
Linz-Land	66.667	292537	Korneuburg	200.000	3997778
Amstetten	66.667	689938	Bruck an der Leitha	66.667	263824
Zwettl	66.667	590190	Gänserndorf	200.000	1389150
St. Pölten (Land)	66.667	494531	Mistelbach	200.000	436616
Tulln	66.667	501823	Neusiedl am See	66.667	-
			<b>Summe:</b>	<b>1.400.003,00</b>	<b>10.026.287,10</b>
<b>Szenario ohne Konkurrenz", 50% des Strohangebotes</b>					
St. Pölten (Land)	50.000	136.804	Bruck an der Leitha	66.667	260.048
Horn	100.000	522.182	Gänserndorf	200.000	1.067.528
Hollabrunn	100.000	-	Mistelbach	200.000	<b>282.225</b>
Korneuburg	100.000	681.625	Neusiedl a. See	66.667	-
			<b>Summe:</b>	<b>883.334</b>	<b>2.950.411</b>
<b>Szenario „ohne Konkurrenz“, 25% des Strohangebotes</b>					
Hollabrunn	100.000	-	Mistelbach	200.000	481.961
Korneuburg	50.000	-	<b>Summe:</b>	<b>350.000</b>	<b>481.961</b>

**Tabelle C.3: Realisierte Pyrolysestandorte und Verarbeitungskapazitäten, sowie der am Standort anfallenden Transportkosten (1. Transportstufe) für die Sensitivitätsanal. Größen-degression**

<b>Szenario "mit Konkurrenz", Größendegressionskoeffizient: 0,6</b>					
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität	Transportkosten (Lief. Zu Pyro.) in €			
Wels	100.000	2.362.193	Hollabrunn	90.000	85.171
Oberpullendorf	160.000	2.709.780	Gänserndorf	160.000	898.576
Zwettl	100.000	1.208.540	Mistelbach	160.000	-
Wien-Umgebung	180.000	3.477.324	Neusiedl am See	66.667	170.594
Horn	66.667	154.765	<b>Summe</b>	<b>1.083.334</b>	<b>11.066.943</b>
<b>Szenario "mit Konkurrenz", Größendegressionskoeffizient: 0,8</b>					
Ried im Innkreis	33.333	498.966	Tulln	30.000	-
Wels-Land	25.000	332.304	Horn	66.667	154.765
Güssing	28.571	186.515	Hollabrunn	100.000	454.958
Oberpullendorf	66.667	534.827	Bruck an der Leitha	28.571	-
Amstetten	28.571	395.475	Gänserndorf	200.000	2.060.181
Scheibbs	33.333	1.193.160	Mistelbach	200.000	1.263.826
Zwettl	66.667	418.252	Neusiedl am See	66.667	200.279
Baden	66.667	972.194	<b>Summe</b>	<b>1.040.714</b>	<b>8.665.703</b>
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", Größendegressionskoeffizient: 0,6</b>					
Ried im Innkreis	100.000	1.492.088	Tulln	53.334	194.062
Wels-Land	100.000	1.176.947	Horn	100.000	522.182
Fürstenfeld	200.000	5.170.131	Hollabrunn	100.000	-
Oberpullendorf	66.667	403.409	Korneuburg	66.667	4.296
Linz-Land	100.000	1.109.040	Bruck an der Leitha	66.667	261.800
Amstetten	100.000	1.600.597	Gänserndorf	200.000	1.134.903
Zwettl	66.667	556.925	Mistelbach	200.000	704.658
St. Pölten (Land)	100.000	1.289.318	Neusiedl am See	66.667	-
Baden	66.667	756.468	<b>Summe</b>	<b>1.753.336</b>	<b>13.554.922</b>
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", Größendegressionskoeffizient: 0,8</b>					
Ried im Innkreis	100.000	1.508.792	St. Pölten (Land)	66.667	546.197
Wels-Land	100.000	1.163.054	Krems an der Donau	25.000	-
Grieskirchen	33.333	-	Wiener Neustadt (Land)	25.000	60.781
Völkermarkt	25.000	486.511	Baden	40.000	200.460
Feldbach	66.667	1.044.070	Tulln	66.667	462.563
Hartberg	22.500	109.579	Horn	100.000	652.162
Oberwart	66.667	616.692	Hollabrunn	100.000	-
Oberpullendorf	50.000	61.829	Korneuburg	66.667	7.175
Linz-Land	66.667	298.415	Bruck an der Leitha	66.667	263.824
Steyr-Land	28.571	29.310	Gänserndorf	200.000	1.322.134
Amstetten	66.667	710.779	Mistelbach	200.000	743.291
Zwettl	40.000	-	Neusiedl am See	66.667	-
Waidhofen an der Thaya	50.000	269.062	<b>Summe</b>	<b>1.739.407</b>	<b>10.556.679</b>

**Tabelle C.4: Realisierte Pyrolysestandorte und Verarbeitungskapazitäten, sowie der am Standort anfallenden Transportkosten (1. Transportstufe) für die Sensitivitätsanalyse Kapitalkosten**

<b>Szenario "mit Konkurrenz", +25% Kapitalkosten</b>						
Pyrolysestandort	Anlagenkapazität	Transportkosten (Lief. Zu Pyro.) in €				
Wels	100.000	2.640.727	Hollabrunn	100.000	411.858	
Oberwart	60.000	642.206	Korneuburg	200.000	4.161.171	
Oberpullendorf	50.000	219.550	Gänserndorf	100.000	0	
Zwettl	66.667	479.049	Mistelbach	200.000	1.467.384	
Horn	100.000	936.759	Neusiedl a. See	66.667	200.329	
			<b>Summe:</b>	<b>1.043.334</b>	<b>11.159.036</b>	
<b>Szenario "mit Konkurrenz", -25% Kapitalkosten</b>						
Oberwart	66.667	934.822	Hollabrunn	100.000	394.069	
Oberpullendorf	50.000	173.365	Korneuburg	100.000	1.216.514	
Linz- Land	100.000	243.836	Bruck a. der Leitha	<b>50.000</b>	<b>115.678</b>	
Zwettl	66.667	453.838	Gänserndorf	100.000	0	
Baden	40.000	278.603	Mistelbach	200.000	1.521.619	
Horn	100.000	938.295	Neusiedl a. See	66.667	200.329	
			<b>Summe:</b>	<b>1.040.001</b>	<b>8.665.499</b>	
<b>Szenario „ohne Konkurrenz“, +25% Kapitalkosten</b>						
Ried im Innkreis	100.000	1.659.441	St. Pölten (Land)	500.000	14.159.675	
Wels- Land	100.000	1.799.664	Horn	100.000	522.182	
Feldbach	66.667	1.215.703	Hollabrunn	100.000	0	
Oberwart	66.667	617.853	Gänserndorf	200.000	1.105.472	
Oberpullendorf	50.000	89.149	Mistelbach	200.000	534.402	
Linz- Land	180.000	3.203.474	Neusiedl a. See	90.000	396.521	
			<b>Summe:</b>	<b>1.753.334</b>	<b>25.303.536</b>	
<b>Szenario "ohne Konkurrenz", -25% Kapitalkosten</b>						
Ried im Innkreis	66.667	814.882	Baden	66.667	727.724	
Wels- Land	100.000	1.201.481	Tulln	66.667	486.745	
Grieskirchen	66.667	601.197	Horn	100.000	516.150	
Feldbach	100.000	2.670.400	Hollabrunn	100.000	0	
Oberwart	100.000	1.238.363	Korneuburg	66.667	4.199	
Oberpullendorf	66.667	403.409	Bruck an der Leitha	66.667	260.104	
Linz- Land	100.000	1.096.771	Gänserndorf	200.000	1.067.808	
Amstetten	66.667	784.995	Mistelbach	180.000	120.425	
Zwettl	100.000	1.328.166	Neusiedl am See	66.667	0	
St. Pölten (Land)	66.667	494.531	<b>Summe:</b>	<b>1.746.670</b>	<b>13.817.358</b>	