



## **Ethanolherzeugung aus stärkehaltigen Rohstoffen für Treibstoffzwecke**

Diplomarbeit  
**Christian Gangl**  
Wien, September 2004

### **Kurzfassung**

Die Treibstoffrichtlinie wurde im Mai 2003 vom Europäischen Parlament beschlossen, diese sieht die Verwendung von Biotreibstoffen vor. Die Kosten der Biotreibstoffproduktion wurden dadurch zu einer aktuellen Forschungsfrage.

Diese Arbeit beschäftigt sich im allgemeinen Teil mit der Ethanolproduktion aus stärkehaltigen Rohstoffen. Nach einem Überblick über die Ethanolproduktion und den Einsatz von Ethanol als Treibstoff in ausgewählten Ländern, werden die üblichen Verfahren der Bioethanolproduktion beschrieben. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Möglichkeiten der Verwertung der Schlempe gelegt. Neben Trocknung der Schlempe werden die Verbrennung und die Verwendung als Biogassubstrat erörtert. Die Kosten der Ethanolherzeugung werden mit den Rohstoffen Mais und Weizen für zwei Anlagengrößen kalkuliert, dabei werden die drei beschriebenen Varianten der Schlempeverwertung berücksichtigt. Bei ausschließlichen Einsatz von Ethanol aus Mais, zur Erfüllung einer 2%igen Beimischung zum Benzin im Jahr 2005, würden rund 21.000 ha für die Rohstoffbereitstellung benötigt, bei Weizen rund 44.100 ha. Zur Erfüllung des Beimischungsziels 2010 von 5,75% würden beim ausschließlichen Einsatz von Mais rund 60.900 ha benötigt, bei Weizen rund 126.900 ha. Die Bioethanolproduktion aus Mais ist kostenmäßig etwas günstiger als die aus Weizen. Derzeit besteht aber in Österreich kein Mais-, sondern ein Weizenüberschuss.

Nach den Kalkulationen ist bei beiden Kapazitäten die Trocknung der Schlempe einer anderen Verwertung vorzuziehen. Bei der Ethanolanlage mit 60 m<sup>3</sup> Tageskapazität ist die Nutzung der Schlempe in einer Biogasanlage in Erwägung zu ziehen, die Kostendifferenz zur Trocknung ist gering. Die Verbrennung der Schlempe ist die teuerste der untersuchten Varianten.

## Diskussion der Rechenergebnisse und Schlussfolgerungen



Ausgehend von Daten des Benzinkonsums und der durchschnittlichen Erträge von Mais und Weizen in den Jahren 1999 bis 2002 wurde ein Flächenbedarf von 21.000 ha (60.900 ha) Mais bzw. 44.100 ha (126.900 ha) Weizen zur Erfüllung des Beimischungsziels von 2% (5,75%) ermittelt. Der Selbstversorgungsgrad bei Mais beträgt aber nur rund 84%, die Nachfrage steigt durch die Verwendung zur Biogaserzeugung stetig. Der derzeitige Weizenüberschuss entspricht bei Annahme eines Hektarertrages von 51 dt einer Fläche von rund 75.000 ha. Bei einer Deckung des Ethanolbedarfs für die Beimischung von 2% zum Benzin würde der gegenwärtige Überschuss ausreichen, für die Beimischung von 5,75% müsste die Weizenfläche um rund 52.000 ha ausgeweitet werden.

Die Kosten für Ethanol verteilen sich auf die Kostenarten in den beiden Anlagengrößen unterschiedlich. In der Anlage mit 60 m<sup>3</sup> Tageskapazität erreichen die Kapitalkosten einen Anteil von 29% und in der Anlage mit 360 m<sup>3</sup> Tageskapazität 15%. Die Rohstoffkosten sowie die Transportkosten nehmen dagegen einen wesentlich höheren Anteil in der Anlage mit 360 m<sup>3</sup> Tageskapazität ein. Die kalkulierte Kostendegression in der großen Anlage geht auf niedrigere Kapital- und Personalkosten zurück.

Die Verteilung der Kosten für Ethanol aus Mais trifft grundsätzlich auch für Weizen zu. Die Unterschiede betragen maximal 0,5%-Punkte bei den einzelnen Kostenarten. Die Ethanolherstellungskosten (beinhalten auch die Kosten für die Schlemphenverwertung und die Nebenprodukterlöse) aus Mais belaufen sich bei einer Tageskapazität von 60 m<sup>3</sup> auf 64 €/hl und bei 360 m<sup>3</sup> auf 48 €/hl. Zum Vergleich beziffern sich die Ethanolherstellungskosten von Weizen bei der kleinen Anlage mit 65 €/hl und bei der großen Anlage mit 49 €/hl. Der Rohstoff Mais hat demnach einen relativ geringen Kostenvorteil gegenüber Weizen. Angesichts der schon bestehenden Maisunterversorgung wird die Ethanolherstellung aus inländischem Mais schwer zu realisieren sein.

Die kalkulierten Ethanolherstellungskosten unterscheiden sich hinsichtlich der drei Schlemphenverwertungsvarianten. Die Nebenprodukterlöse übersteigen in der Variante DDGS die Kosten für die Nebenproduktgewinnung. In der Variante Biogas sind zwar die Kosten der Nebenproduktgewinnung höher als die der Nebenprodukterlös. Diese Variante ist aber trotzdem günstiger als die Variante Verbrennen. Die beiden Rohstoffe unterscheiden sich in dieser Hinsicht kaum. Nach Abzug der Nebenprodukterlöse von den Gesamtkosten ergeben sich die Herstellungskosten für Ethanol.

In der Variante DDGS mit 60 m<sup>3</sup> Tageskapazität übersteigen die Erlöse von 9,90 €/hl die Kosten der Nebenprodukte von 9,74 €/hl knapp. Bei der 360 m<sup>3</sup> Anlage tragen die Erlöse von 9,90 €/hl bereits deutlich zur Reduktion der Herstellungskosten bei, da die Kosten der Nebenprodukte auf 5,99 €/hl sinken. Dies ist überwiegend auf die niedrigen Kapitalkosten je hl der Trocknungseinheit zurückzuführen. Im Vergleich dazu können in der Variante Biogas bei beiden Produktionskapazitäten die Erlöse aus den Nebenprodukten Strom und Wärme, die Kosten nicht abdecken. Dies ist vor allem auf die wesentlich höheren Kapitalkosten für die Biogasanlage als für die Trocknung und auf die anfallenden Transportkosten für die Biogasgülle zurückzuführen. Für die Variante

Verbrennung fallen ausschließlich Kosten an, da dieser Teil ausgelagert ist. Die Ergebnisse zeigen, dass jeweils die Bioethanolproduktion mit anschließender Trocknung der Schlempe die günstigste unter den drei Varianten ist, gefolgt von der Variante Biogas.

Die Verarbeitung von Mais ist etwas günstiger, als die von Weizen. Konkret betragen die Ethanolherstellungskosten aus Mais bei der Anlage mit einer Tageskapazität von 60 m<sup>3</sup> 64, 67 und 80 €/je hl. Beim Einsatz von Weizen als Rohstoff belaufen sie sich auf 65, 67 und 85 €/je hl. Bei der 360 m<sup>3</sup> Anlage vermindern sich die Herstellungskosten gegenüber der kleineren Anlage bei Ethanol aus Mais (Weizen) in der Variante DDGS um rund 20 €/hl (20 €/hl), in der Variante Biogas um rund 16 €/hl (15 €/hl) und in der Variante Verbrennen um rund 16 €/hl (16 €/hl).

SCHMITZ (2003, 110) berechnet bei Ethanol aus Mais für die beiden Anlagengrößen von 60 bzw. 360 m<sup>3</sup> inklusive Trocknung der Schlempe Kosten von 70,6 bzw. 53 €/hl (er bezeichnet diese als Selbstkosten). Diese Selbstkosten entsprechen im Wesentlichen den Gesamtkosten dieser Arbeit die 73,8 bzw. 54 €/hl betragen. Berechnungen von SCHMITZ enthalten auch Kosten für den Ethanoltransport zur Raffinerie von rund 0,5 € je hl. Beim Einsatz von Weizen gibt SCHMITZ die Selbstkosten mit 75 bzw. 57,7 €/hl an, in dieser Arbeit ergeben sich 74,5 bzw. 54,8 €/hl. Außer der Trocknung der Schlempe zieht Schmitz keine andere Schlempeverwertung in Betracht.

SENN (2003), der sich mit der Bioethanolproduktion und der Verwendung der Schlempe in einer Biogasanlage beschäftigt, kalkulierte einen Ethanolpreis bei der 30 m<sup>3</sup> Anlage von 65,9 €/hl, ohne Bewertung der Wärme. Die Schlempe wird in seinem Kalkulationsmodell zusammen mit Mais oder Raps als Biogassubstrat eingesetzt, größere Anlagekapazitäten werden von ihm teurer eingeschätzt. Bei einer Anlagenkapazität von 60 m<sup>3</sup> ergeben die vorliegenden Berechnungen vergleichbare Herstellungskosten von rund 67 €/hl. SENN führt weiter an, dass Anlagen mit Tageskapazitäten zwischen 8 bis 30 m<sup>3</sup> in ihrer Gesamtbetrachtung wegen der dezentralen Energieversorgung und der besseren Energiebilanz gegenüber zentralen Großanlagen von Vorteil sein können.

Die IEA (2003,71) gibt die Herstellungskosten von Bioethanol aus Weizen mit DDGS-Erzeugung zwischen 35 bis 62 US-Dollar für das Jahr 2000 an. Beim derzeitigen Wechselkurs sind die Kosten in den USA niedriger, beim Wechselkurs von 1:1 sind diese vergleichbar mit den in dieser Arbeit errechneten Werten von 44,78 bis 64,4 €/hl Ethanol.

In der Studie vom BAYSTMLF (2003) werden die Gesamtkosten für Bioethanol aus Mais mit 10,4 Cent je kWh beziffert, mit 9,3 Cent je kWh aus Weizen. Dies entspricht bei einem durchschnittlichen Energiegehalt von 7,41 kWh je Liter Ethanol 77 bzw. 68,9 €/hl. Nach Abzug der Nebenprodukterlöse ergeben sich Herstellungskosten für Ethanol aus Mais von umgerechnet 63,7 €/hl und aus Weizen von 53,3 €/hl. Die Rohstoffkosten betragen rund 50 bis 60% der Herstellungskosten und die Kosten für Nebenprodukte erreichen in etwa die Hälfte der Erlöse für die Nebenprodukte.

HENNIGES (2003, 58) kalkulierte Herstellungskosten von Ethanol aus Weizen von rund 55 €/hl. Dieser Berechnung liegt eine gemischte Anlage mit einer Tageskapazität von

rund 150 m<sup>3</sup> zu Grunde. Für Nebenprodukte wurden 6,80 €/hl gutgeschrieben. Für eine amerikanische Anlage (Tageskapazität rund 160 m<sup>3</sup>) berechnet HENNIGES (2003, 43) die Herstellungskosten von Ethanol aus Mais mit 27,64 €/hl. Die Gesamtkosten belaufen sich auf 43,90 €/hl, die Nebenprodukterlöse werden in der Höhe von 7,46 €/hl gutgeschrieben, die Subventionen betragen 8,81 €/hl.

Wie aus den eigenen Berechnungen und aus vorangegangenen Studien hervorgeht, erreichen die Rohstoffkosten etwa 50% der Herstellungskosten. Die Trocknung der Schlempe ist nach ökonomischen Kriterien der Variante Biogas und Variante Verbrennen vorzuziehen. Die Anlagenkapazität beeinflusst die Herstellungskosten, da die Personal- und Kapitalkosten in der Anlage mit 360 m<sup>3</sup> Tageskapazität stärker sinken als die Transportkosten.