

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Grünland und dem Institut für Lebensmitteltechnologie der Universität Hohenheim)

Eignung des Korngutes von Weizen und Triticale für die Bioethanolproduktion in Abhängigkeit vom Verarbeitungszeitpunkt nach der Reife¹

Von W. AUFHAMMER, H.-J. PIEPER, E. KÜBLER und V. SCHÄFER

(Mit 4 Abbildungen)

Zusammenfassung

Untersucht wurde die Eignung des Kornguts von Winterweizen und -triticale zur Bioethanolproduktion in Abhängigkeit vom Verarbeitungszeitpunkt nach der Reife. Zusätzlich wurde geprüft, ob die Fallzahl eine Beurteilung der Eignung einer Partie für die autoamylolytische Verarbeitung zuläßt. Materialbasis war Korngut aus zwei Feldversuchen mit zwei Sorten je Art. Die Arten und Sorten wurden nach den Kriterien Kornertrag/ha und korneigene Enzymaktivität ausgewählt. Die Untersuchungen erfolgten, teils unter Einbezug von Ernteterminen, 2 bis 11 Monate nach der Reife. In Laborgärversuchen wurde die Bioethanolausbeute (Liter/dt Korntrockenmasse) ohne (o. E.) und mit (m. E.) Zusatz technischer Fremdenzympräparate analysiert. Außerdem wurde die Fallzahl bestimmt. Die Ausbeuteergebnisse ermöglichten die Errechnung des autoamylolytischen Quotienten. Basierend auf dem Kornertrag/ha (dt/ha) wurde der Bioethanolertrag (Liter/ha) errechnet.

Mit und insbesondere ohne Fremdenzymzusatz stieg die Bioethanolausbeute art- und sortenspezifisch mit zunehmender Zeitspanne zwischen Reife und Korngutverarbeitung. Die Mehrausbeuten betragen m. E. bis zu 1,1 l und o. E. bis zu 9,6 l/dt Trockenmasse. Der Bioethanolertrag/ha wurde durch einen sortenverschiedenen Trend zur Minderung des Kornertrags bei verzögerter Ernte beeinflusst. Die Verluste hingen vermutlich mit Kornausfall zusammen. Eine Vorhersage der Verarbeitungseignung ohne Fremdenzymzusatz anhand von Fallzahlen war bei den untersuchten Proben nur in begrenztem Umfang möglich. Einflüsse der Umwelt und Lagerbedingungen auf die Verarbeitbarkeit bedürfen weiterer Untersuchungen.

Schlüsselworte: Triticale, Weizen, Lagerung, Bioethanolausbeute (l/dt), Bioethanolertrag (l/ha).

¹ Die Untersuchungen wurden durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Suitability of grain of wheat and triticale for bioethanol production as dependent on the processing date after maturity

Summary

The suitability of grains of winter wheat and winter triticale for bioethanol production as dependent on the processing date after maturity was investigated. Furthermore the correlation between falling number and the suitability of grains for autoamylolytic processing was checked. Grain material sets of two cultivars per species from two field trials were used. Species and cultivars were chosen on account of high grain yields per ha and high native enzyme activities. Partly including harvesting dates, grain sets were investigated 2 to 11 months after maturity. Under addition (+e) and without an addition (-e) of technical enzymes the bioethanol output per unit of dry matter (l/dt) was analyzed. Additionally the falling numbers were determined. The output results allowed the calculation of the autoamylolytic quotient. Based on grain yields (dt/ha) bioethanol yields (l/ha) were calculated.

Related to increasing periods between maturity and processing under addition of technical enzymes and particularly without technical enzymes the bioethanol output raised cultivar specifically. The bioethanol surplus amounted up to 1.1 l (+e) and up to 9.6 l/dt dry matter (-e) respectively. The bioethanol yields (l/ha) were reduced by cultivar specific trends according to yield depression at a delayed harvest time. Presumably the yield depression referred to grain shattering. A forecast of the autoamylolytic processing suitability by the falling numbers of the investigated grain sets proved to be doubtful. Effects of storage conditions on the suitability for processing need further investigations.

Key-words: triticale, wheat, storage, bioethanol output (l/dt), bioethanol yield (l/ha).

1. Einleitung

1.1 Literaturübersicht

Moderne Verfahren der Bioethanolproduktion ermöglichen die Nutzung korneigener Enzyme zum Abbau von Stärke in vergärbare Zucker (PIEPER und SENN 1987). Damit sind technische Fremdenzympräparate aus Bakterien und Schimmelpilzen teilweise oder vollständig ersetzbar (RAU 1990, SENN et al. 1993). Das Korngut verschiedener Getreidearten und -sorten variiert in Interaktion mit den Aufwuchsbedingungen in den autoamylolytischen Eigenschaften (AUFHAMMER et al. 1993, SCHÄFER 1993). Der technologische Einsatz korneigener Enzyme verlangt jedoch konstant hohe autoamylolytische Aktivitäten und diesbezüglich die Prüfbarkeit von Getreidepartien vor der Verarbeitung. Als Maß für die Wirkung korneigener Enzyme auf den Abbau von Reservestoffen wird die Fallzahl verwendet (PERTEN 1964, THOMAS 1991). Zwischen der Höhe der Fallzahl und der α -Amylaseaktivität wurden negative Beziehungen zwischen $r = -0,77$ und $r = -0,93$ festgestellt (CLARKE et al. 1986, MOSS and STILES 1987). Der Zustand des Korngutes und damit die Fallzahl ist u. a. vom Reifeverlauf und dem Erntetermin abhängig. Relevante Befunde liegen bei Weizen und Triticale vor (McEWAN und HASLEMORE 1983, CLARKE et al. 1986, OETTLER 1988, MARES und OETTLER 1991). Die Aktivität des korneigenen Enzymsystems ist durch Inhibitoren, die an der Kontrolle des Stärkemetabolismus beteiligt sind, blockierbar (PACE et al. 1978, SILANO 1987). Nach PACE et al. (1978) erreicht die Wirkung von α -Amylaseinhibitoren zur Vollreife des Weizenkorns ein Maxi-

mum. Bis zu 3 Monaten nach der Ernte konnte WARCHALEWSKI (1983) keine Veränderung der Enzymaktivität im Weizenkorn feststellen. Während der weiteren Lagerung stieg die α -Amylaseaktivität deutlich an.

1.2 Problemstellung

Die vorliegenden Untersuchungen stellen einen Ausschnitt aus einem größeren Experimentalprogramm zur Produktion von Korngut für die Bioethanolproduktion dar. Der Teilaspekt ist auf folgende Fragen ausgerichtet:

- Wieweit hängt die Verarbeitbarkeit von Korngut vom Verarbeitungszeitpunkt nach der Reife der Getreidebestände ab? Welche Konsequenzen ergeben sich bezüglich der Eignung des Kornguts verschiedener Arten und Sorten?
- Ist die arten- und sortenspezifische Kornguteignung differenziert zu bewerten, wenn neben der Bioethanolausbeute je dt Rohstoff der Bioethanolertrag je ha einbezogen wird?
- Gibt die Ermittlung der Fallzahl in ausreichendem Maße Aufschluß über die Eignung einer Getreidepartie für die autoamylolytische Verarbeitung?

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Das Kornmaterial wurde aus zwei mehrfaktoriellen Feldversuchen entnommen. Nähere Angaben enthält Tabelle 1. Die Versuche enthielten je zwei Wintertriticale- und zwei Winterweizensorten. Die Arten und Sorten wurden im Hinblick auf ihr Kornertragspotential und die Enzymaktivität im Korngut ausgewählt (Tab. 1). Hierzu lagen Informationen aus früheren Untersuchungen vor (AUFHAMMER et al. 1993). Die Sorten wurden mit zwei unterschiedlichen Intensitäten, das N-Düngungsniveau sowie den Wachstumsregulator-, den Fungizid- und den Insektizideinsatz betreffend, angebaut (Tab. 1). Zur Erörterung der vorliegenden Problematik werden nur Mittelwerte über beide Intensitätsstufen herangezogen. Die Maßnahmenfolgen der beiden Intensitätsstufen werden daher nicht im einzelnen aufgeführt. Auf dem Standort Ihinger Hof umfaßte

Tabelle 1
Versuchsanlage

Jahr	Standort	Höhenlage	Mittl. Jahrestemp. ¹	Jahresniederschlag ¹
1991/92	Ihinger Hof	480 m NN	9,2 °C	719 mm
1991/92	Oberer Lindenhof	700 m NN	8,6 °C	928 mm

Arten	Sorten- gruppe 1	Korn- ertrag ²	Enzym- aktivität ³	Sorten- gruppe 2	Korn- ertrag ²	Enzym- aktivität ³
Wintertriticale	Alamo	8	8	Lasko	6	6
Winterweizen	Adular	6	8	Contra	9	2

Intensität: N-Düngung, Wachstumsregulator-, Fungizid- und Insektizideinsatz

geringe Anbauintensität
hohe Anbauintensität

¹ im Jahr 1992

² nach beschreibender Liste, Bundessortenamt 1991

³ nach eigenen Voruntersuchungen, 1 = sehr gering, 9 = sehr hoch

der Versuch den Faktor Erntetermin mit den Stufen Ernte bei Vollreife und Ernte fünf Wochen nach Vollreife. Der Versuch auf dem Standort Oberer Lindenhof enthielt aufgrund späterer Abreife ausschließlich den Erntetermin bei Vollreife.

Das gedroschene Korngut beider Versuche wurde mit 10 bis 11 % Feuchtigkeit bei Raumtemperatur gelagert und in unterschiedlichen Zeitabständen nach der Ernte verarbeitet. Eine Übersicht über die Ernte- bzw. die aufeinanderfolgenden Untersuchungstermine gibt Tabelle 2. Einbezüglich der Ernte- und der anschließenden Untersuchungstermine wurde damit das Korngut aus dem Versuch auf dem Standort Ihinger Hof zu fünf verschiedenen Terminen nach der Vollreife untersucht. Das Korngut des Standortes Oberer Lindenhof wurde zu zwei Terminen analysiert.

Tabelle 2
Ernte- und Untersuchungstermine – Übersicht

Standort	Erntetermine	Untersuchungstermine	
Ihinger Hof	7. 8. 1992	10. 1992	T1
		2. 1993	T2
		7. 1993	T3
	10. 9. 1993	1. 1993	T4
		7. 1993	T5
Oberer Lindenhof	18. 8. 1992	12. 1992	T1
		1. 1993	T2

2.2 Parametererfassung und Auswertung

Zur Ermittlung der Bioethanolausbeute (l Bioethanol/dt Korntrockenmasse) aus Proben des Erntegutes wurden, bei gleichzeitiger Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes, Gärversuche ohne (autoamylolytisch) und mit Fremdenzymzusatz nach einem früher beschriebenen Maischschemata durchgeführt (AUFHAMMER et al. 1993). Der Alkoholgehalt in den vergorenen Maischen wurde nach der Methode von REBELEIN (1973) bestimmt. Der Bioethanolertrag (l Bioethanol/ha) errechnete sich durch Multiplikation der Bioethanolausbeute mit den entsprechenden Kornträgen (dt/ha). Als Maß für die autoamylolytische Aktivität einer Getreideprobe wurde der autoamylolytische Quotient (AAQ, %) nach RAU (1990) errechnet. Hierzu wird die Bioethanolausbeute ohne Fremdenzymzusatz auf die Ausbeute mit Fremdenzymzusatz bezogen. Zur Bestimmung der Fallzahl (Sekunden; Einwaage 7 g, korrigiert entsprechend dem jeweiligen Trockensubstanzgehalt) wurde derselbe Schrot (0,5 mm Sieb) wie für die Gärversuche verwendet.

Die Parameter jeder der beiden Versuchsanlagen wurden varianzanalytisch überprüft. Bezüglich des Versuches auf dem Standort Ihinger Hof wurden hierzu die dreimalige Untersuchung des Kornmaterials der Ernte bei Vollreife und die zweimalige Untersuchung der fünf Wochen nach Vollreife durchgeführten Ernte (Tab. 2) zu fünf Stufen des Faktors „Untersuchungstermin“ zusammengenommen. Beim Versuch auf dem Standort Oberer Lindenhof umfaßte dieser Faktor zwei Stufen. Hier wurde nur das bei Vollreife geerntete Korngut zweimal untersucht, wobei die Ausbeute mit Fremdenzymzusatz nur zum ersten Termin ermittelt wurde. In den Abbildungen werden Grenzdifferenzen bei 5 % Grenzwahrscheinlichkeit für die dargestellte Interaktion angegeben und entsprechend indiziert. Da die Differenzen zwischen der Bioethanolausbeute mit und ohne

Fremdenzymzusatz im Einzelfall informativ sind, wurde die Grenzdifferenz für den Vergleich der Enzymstufen (E) innerhalb der Sorte (S) zu den einzelnen Untersuchungsterminen (T) zusätzlich angegeben. Diese Grenzdifferenz wird mit E (S(T)) indiziert.

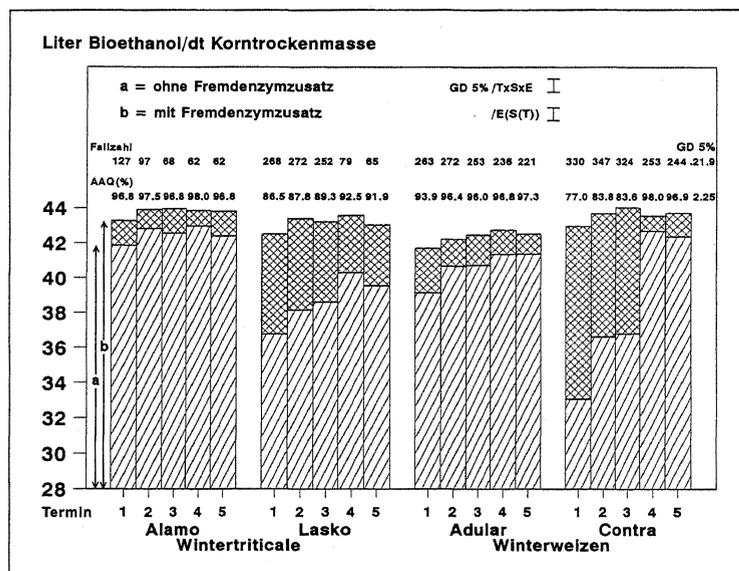
Die Kornerträge (dt/ha) wurden als Mittelwerte über vier Feldwiederholungen geprüft und in den Abbildungen 1 und 3 dargestellt bzw. angegeben. Die Laboranalysen am Korngut vom Versuch Ihinger Hof erfolgten an Kornmaterial von zwei Feldwiederholungen. Aufgrund geringfügiger Variation zwischen den Wiederholungen ergab die Multiplikation der dargestellten Kornerträge mit den Alkoholausbeuten nicht in allen Fällen exakt die dargestellten Alkoholerträge. Die Abweichungen waren minimal, eine Informationsbeeinflussung ergab sich an keiner Stelle. Beim Kornmaterial des Versuchs Oberer Lindenhof basieren sowohl die Kornerträge als auch die Laboranalysen auf vier Feldwiederholungen.

3. Ergebnisse

3.1 Bioethanolausbeute in Abhängigkeit vom Untersuchungstermin

Auch mit Fremdenzymzusatz wurde das Ausbeutemaximum nicht beim ersten Untersuchungstermin erzielt. Durchgängig konnte bei einem späteren Untersuchungstermin eine Mehrausbeute von ca. 1 l Bioethanol/dt Korngut nachgewiesen werden (Abb. 1). In sehr viel stärkerem Ausmaß differierten, abhängig vom Untersuchungstermin, die autoamylolytisch erzielten Alkoholausbeuten aus genotypisch verschiedenen Rohstoffpartien. Um zunächst die Eckvarianten des Versuchs Ihinger Hof herauszugreifen: bei der Wintertriticale Alamo spielte der Untersuchungstermin bezüglich der Ausbeute eine relativ geringe, bei der Winterweizensorte Contra hingegen die entscheidende Rolle. Aus Korngut von Alamo konnten autoamylolytisch bereits beim ersten Untersuchungstermin 42 l Bioethanol je dt Rohstoff gewonnen werden. Bei späterer Untersu-

Abb. 1: Bioethanolausbeute ohne und mit Fremdenzymzusatz, Autoamylolytischer Quotient (AAQ) und Fallzahl in Abhängigkeit von Art, Sorte und Untersuchungstermin, Standort Ihinger Hof, 1992



chung wurde 1 l mehr gewonnen. Mit Fremdenzymen lag die Ausbeute bei 44 l/dt, wobei auch hier ein Termineffekt von 0,7 l nachweisbar war. Der AAQ zeigte keine Veränderung (Abb. 1). Das Ausbeuteniveau, das mit Fremdenzymzusatz bei der Sorte Contra erzielt wurde, entsprach dem der Sorte Alamo bei gleichem Verfahren.

Autoamylolytisch wurden allerdings beim ersten Untersuchungstermin aus Contra-Korngut nur 33 l je dt Rohstoff gewonnen. Erst zum vierten Termin wurden 43 l/dt erreicht. Der AAQ stieg im Zeitverlauf von 77 auf 97 %. Zwischen diesen Eckvarianten ist das Verhalten der beiden anderen Sorten einzuordnen. Bei der Wintertriticale Sorte Lasko war die Abhängigkeit des autoamylolytisch erreichbaren Ausbeuteniveaus vom Untersuchungstermin stärker ausgeprägt als bei der Winterweizensorte Adular. Aus dem Adular-Korngut konnten ohne Fremdenzymzusatz 1 bis 2 l Bioethanol/dt mehr gewonnen werden als aus dem Lasko-Korngut. Mit Fremdenzymzusatz übertraf Lasko die Sorte Adular in der Ausbeute (Tab. 1). Die Befunde vom Standort Oberer Lindenhof entsprachen inhaltlich den geschilderten Ergebnissen vom Standort Ihinger Hof. Auch hier trat die, im Gegensatz zur Winterweizensorte Adular, große Bedeutung des Untersuchungstermins bei der Sorte Contra deutlich hervor (Abb. 3).

3.2 Bioethanolertrag in Abhängigkeit vom Untersuchungstermin

Der Bioethanolertrag/ha resultiert aus dem Kornertrag/ha und der Bioethanolausbeute je dt Kornrohstoff. Bei der Ernte fünf Wochen nach Vollreife auf dem Standort Ihinger Hof wurden bei drei der vier Sorten tendentiell geringere Kornerträge als bei der Ernte zur Vollreife ermittelt (Abb. 2). Diese Tendenzen deuten z. B. auf Ausfallverluste hin. Die geringeren Kornerträge sind für die Kalkulation der Bioethanolerträge bei den Untersuchungsterminen T4 und T5 relevant. Um das Bioethanol-Ertragspotential der Bestände zu erfassen, wurden daher zusätzlich die Kornerträge der Ernte bei Vollreife mit den Bioethanolausbeuten bei den Untersuchungsterminen T4 und T5 multipliziert und als theoretische Bioethanolerträge angegeben (Abb. 2).

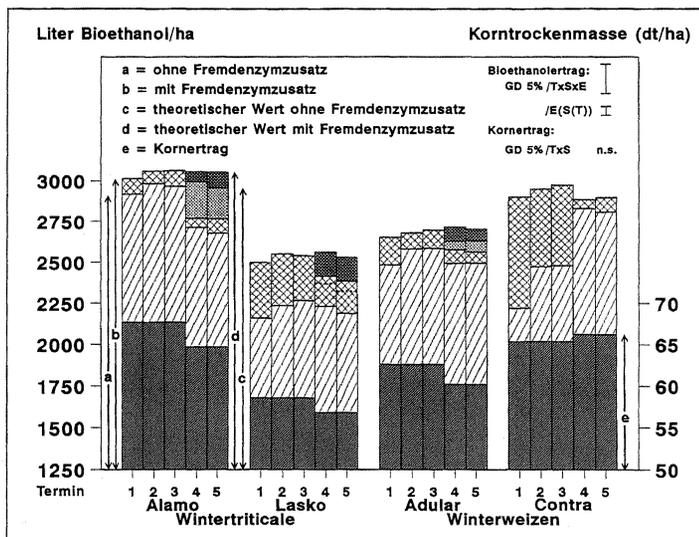


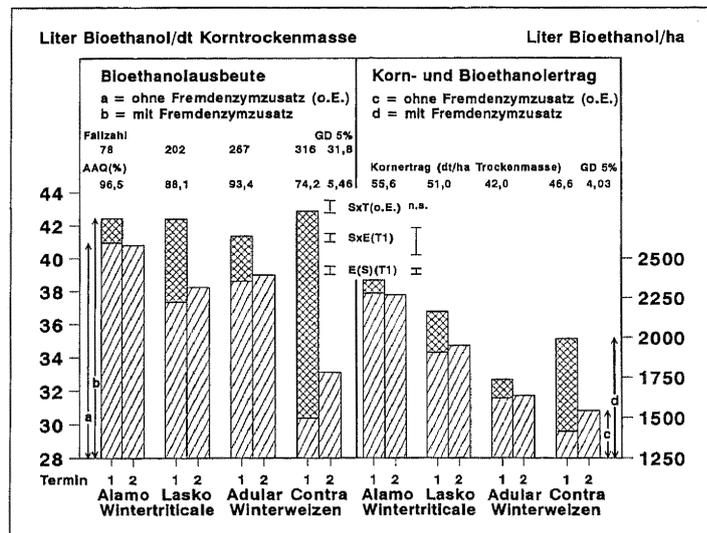
Abb. 2: Korn- und Bioethanolertrag ohne und mit Fremdenzymzusatz in Abhängigkeit von Art, Sorte und Untersuchungstermin, Standort Ihinger Hof, 1992

Autoamylolytisch wurden aus Korngut der Wintertriticale-sorten Alamo bereits beim zweiten Verarbeitungstermin 3000 l Bioethanol/ha erzeugt. Der Fremdenzymzusatz erbrachte einen Mehrertrag von etwa 70 l/ha. Kornertragsverluste durch späte Ernte bedeuteten einen Ertragsverlust von ca. 250 l Bioethanol/ha. Contra, die leistungsfähigste Winterweizensorte, erreichte annähernd das Bioethanolertragsniveau von Alamo, aber erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt. Bei den Beständen dieser Sorte war keine Kornverlustgefahr im Zeitraum zwischen erstem und zweitem Erntetermin erkennbar. Sowohl deutlich geringere Kornerträge als auch geringere Bioethanolausbeuten führten bei den beiden verbleibenden Sorten zu beträchtlich niedrigeren Bioethanolerträgen/ha. Mit Fremdenzymen erreichten Laskobestände um 2500 l, Adularbestände entsprechend 2700 l Bioethanol/ha. Autoamylolytisch konnten diese Erträge erst ab dem vierten Untersuchungstermin näherungsweise erreicht werden, keine Kornverluste aufgrund von Ernteverzögerung vorausgesetzt. Traten solche Verluste, tendenziell angedeutet, ein, ging der mögliche Mehrertrag, resultierend aus höheren Bioethanolausbeuten bei späterer Verarbeitung, verloren (Abb. 2).

3.3 Beziehungen zwischen der Fallzahl und dem Autoamylolytischen Quotienten

Die Abbildungen 1 und 3 enthalten auch die zu den einzelnen Untersuchungsterminen ermittelten Fallzahlen. Mit Korngut von Alamo wurden zum ersten Termin standortabhängig Fallzahlen zwischen rund 80 und 130 gemessen. Die Fallzahlen von Lasko lagen zum gleichen Zeitpunkt doppelt so hoch. Die höchsten Ausgangswerte wies mit Werten über 300 die Winterweizensorte Contra auf. Mit zunehmender Zeitspanne nach dem ersten Untersuchungstermin gingen die Fallzahlen durchgängig, aber sortenspezifisch zurück. Bis zum 5. Termin fielen die Fallzahlen des Kornguts der beiden Wintertriticale-sorten aus dem Versuch Thinger Hof auf Werte um 60, die der beiden Winterweizensorten lagen noch zwischen 220 und 260 (Abb. 1, 3).

Abb. 3: Bioethanol-ausbeute und -ertrag ohne und mit Fremdenzym-zusatz, Autoamylolytischer Quotient (AAQ), Fallzahl und Kornertrag in Abhängigkeit von Art, Sorte und Untersuchungs-termin, Standort Oberer Lindenhof, 1992



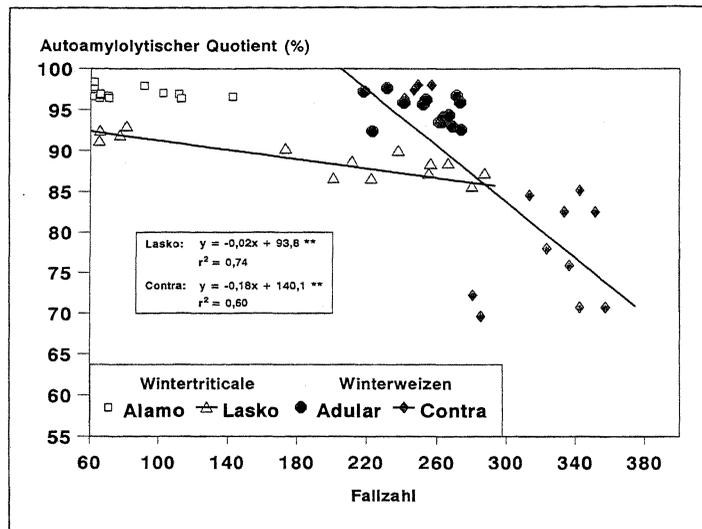


Abb. 4: Beziehung zwischen der Fallzahl und dem Autoamylolytischen Quotienten bei Wintertriticale und Winterweizen (Werte aus den Versuchen Ihinger Hof, Oberer Lindenhof)

In Abbildung 4 wurden die errechneten AAQ-Werte der vier Sorten von beiden Versuchen und allen Untersuchungsterminen gegen die entsprechenden Fallzahlen aufgetragen. Nicht eingezeichnet, aber erkennbar, ergaben sich über alle Wertepaare hinweg, ebenso über die Sorten innerhalb der Arten Triticale bzw. Weizen, negative Beziehungen zwischen den Autoamylolytischen Quotienten und den Fallzahlen. Fragestellungsbezogen interessiert hier in erster Linie die Beziehung innerhalb der Sorten in Abhängigkeit von den Untersuchungsterminen. Bei der Triticalesorte Alamo lag keine Beziehung vor. Der Halbierung der Fallzahl stand nur eine minimale Veränderung des AAQ gegenüber. Bei der Sorte Lasko konnte eine negative Korrelation von $r = -0,86^{**}$ mit allerdings sehr geringer Neigung der Regressionsgeraden nachgewiesen werden. Aus den Werten der Weizensorte Adular war keine Beziehung ableitbar. Demgegenüber wurde bei der Sorte Contra eine negative Korrelation von $r = -0,68^{**}$ mit relativ ausgeprägtem Abfall der Regressionsgeraden in einem sehr begrenzten Fallzahlbereich nachgewiesen.

4. Diskussion

Die Verarbeitbarkeit von Korngut, bezogen auf die Bioethanolausbeute je dt Rohstoff, hing in sortenverschiedenem Ausmaß vom Verarbeitungszeitpunkt nach der Ernte ab. In keinem Fall wurde bereits beim ersten Verarbeitungstermin, ca. zwei Monate nach der Ernte, die maximal mögliche Ausbeute erreicht. Dies gilt primär für das autoamylolytische Verfahren, in dem sich erhebliche Sortenunterschiede zeigten. Auch bei Zusatz einer optimierten Fremdenzymkombination (PIEPER und THOMAS 1989) ließen sich die maximalen Ausbeuten zu diesem Zeitpunkt noch nicht erzielen. Demnach erstreckte sich der genotypspezifische Anstieg nativer Enzymaktivitäten im Korn über einen erheblichen Zeitraum. Die korneigenen Enzyme konnten durch den Fremdenzymzusatz weitgehend, aber nicht vollkommen ersetzt werden. MUNDY et al. (1983) stellten an Gerstenmalz Effekte korneigener α -Amylase-Inhibitoren fest, die unter Hitzeeinwirkung im Maischprozeß inaktiviert wurden. Unter den Temperatur-

und pH-Bedingungen unserer Gärversuche blieben inhibierende Substanzen den Angaben in der Literaturübersicht von SILANO (1987) und unseren Ergebnissen folgend, offensichtlich weitgehend stabil. Nach WARCHALEWSKI (1983) steigt mit der Lagerdauer die Enzymaktivität vermutlich infolge nachlassender Inhibitorwirkung an. Hinweise auf den genotypisch differenzierten Ablauf dieser physiologischen Prozesse liegen bei Triticale (MARES und OETTLER 1991) und bei Weizen (MARCHYLO et al. 1980, MARES und GALE 1990) vor. Die Autoren heben die Vergleichbarkeit hierbei festgestellter α -Amylasen mit denen, die vom Keimprozeß bekannt sind, hervor. Von daher weisen die Sortenunterschiede im Keimverhalten von Gerste, wie sie aus der Braugerstenforschung bekannt sind, in die gleiche Richtung (AUFHAMMER 1957, 1976, 1979, 1985). Zusammenfassend können damit Sorteneigenschaften in Interaktion mit dem Erntezeitpunkt und/oder den Lagerbedingungen die autoamylolytisch gewinnbaren Bioethanolausbeuten in erheblichem Maße mitbestimmen. In abgeschwächter Form gilt dies – den vorliegenden Ergebnissen folgend – selbst für die Verarbeitung mit Fremdenzymzusatz. Ob in der Fremdenzymierung weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen und sinnvoll sind, müßte geprüft werden.

Bei verzögerter Ernte können Kornverluste flächenertragsbezogenen Ausbeutegewinne infolge angestiegener Enzymaktivitäten konterkarieren. Eindrucksvoll deutete sich dies bei der Triticalesorte Alamo an. Ausgehend von den Korn-erträgen bei Vollreife und den Ausbeuten nach späterer Ernte resultierten Mindererträge an Bioethanol in der Größenordnung von 250 bis 300 l/ha. Zwar sind die sortenverschiedenen Kornertragsverluste/ha im vorliegenden Datenmaterial biometrisch nicht nachweisbar, der Nachweis von Bioethanolmindererträgen/ha die Verwendung angegebener Grenzdifferenzen hierfür ist durchaus vertretbar daher fragwürdig, das Problem an sich ist fragestellungsorientiert jedoch bedeutend. Der Trend zu Kornverlusten ist ursächlich durchaus nachvollziehbar. Eine verzögerte Ernte dürfte daher bei Sorten, die zu Kornausfall und/oder zum Zusammenbruch der Bestände mit Ährenverlusten beim Drusch neigen, kein brauchbares Verfahren darstellen. Hiervon abgesehen kann eine Verschiebung des Drusches erntereifer Bestände in erheblichem Maße zu Befall mit Pilzen wie *Cladosporium* ssp. und *Fusarium* ssp. führen (MEYER et al. 1986, LEPSCHY 1992). Verarbeitungsrelevante Einflüsse auf und im Korn akkumulierter Mykotoxine sind ohne Überprüfung nicht von der Hand zu weisen. Insgesamt dürfte die zeitgerechte Ernte bei Voll-/Totreife, verbunden mit ggf. arten- und sortenspezifisch kontrollierter Lagerung, die zielgerechtere Alternative darstellen. Atmungsverluste während der Lagerung liegen in den genannten Zeiträumen unter den erwähnten Bedingungen im Promillebereich (POMERANZ 1992, STEINER 1994) und sind daher zu vernachlässigen.

Eine Bewertung von gelagertem Korngut hinsichtlich der Verarbeitungseignung mit Hilfe der Fallzahl erscheint fragwürdig. Allerdings liegen nur relativ kleine Datensätze hierzu vor. Die ableitbaren Beziehungen ermöglichen nur in sehr begrenztem Umfang Vorhersagen zur Verarbeitbarkeit einer Partie. Bei Triticalesorten stand einem teils erheblichen Rückgang der Fallzahl keine oder nur eine sehr geringe Veränderung des Autoamylolytischen Quotienten gegenüber. Bei den Weizensorten war ein teils erheblicher Anstieg des Quotienten mit einer nur geringen Fallzahlveränderung verbunden. Soweit bekannt, wird die Fallzahl durch die Stärkequalität und die α -Amylaseaktivität des Kornmaterials bestimmt. Nach Untersuchungen von RINGLUND (1980) bei Weizen ist die Bedeutung der α -Amylaseaktivität wesentlich größer als die der Stärke. Im Vergleich zu Weizen weist Roggen bei gleicher α -Amylaseaktivität niedrigere

Fallzahlen auf (PERTEN 1964). Bei Triticale ist daher ein niedrigeres Fallzahl-niveau als bei Weizen zu erwarten. In den vorliegenden Untersuchungen wiesen die Kornproben der Triticalesorte Lasko und der Weizensorte Adular aus dem Versuch Ihinger Hof zum ersten und zweiten Untersuchungstermin gleiches Fallzahlniveau auf. Trotzdem unterschieden sich die Werte der Autoamylolytischen Quotienten um zehn Einheiten. Hierfür ist die unterschiedliche Abbaubarkeit des Stärkekompleses verantwortlich. Zweifellos wären zu dieser Frage ebenso wie zum Einfluß der Lagerbedingungen differenzierende, ggf. sortenspezifische Untersuchungen notwendig. Diese sollten auch auf breiter Basis die Variabilität der Aufwuchs- und Abreifebedingungen einbeziehen.

Literatur

- AUFHAMMER, G., 1957: Auswertung internationaler Sortenversuche zu Braugerste. *Brauwelt* 97, 439-443.
- AUFHAMMER, G., 1976: Ergebnisse zweijähriger Wintergerstenversuche. *Brauwelt* 116, 951-956.
- AUFHAMMER, G., 1979: Zur Keimung von Wintergerste. *Brauwissenschaft* 32, 103-105.
- AUFHAMMER, G., 1985: Systematische Keimuntersuchungen an international angebauten Sommer- und Wintergerstensorten. *Brauwissenschaft* 38, 468-471.
- AUFHAMMER, W., H. J. PIEPER, H. STÜTZEL und V. SCHÄFER, 1993: Eignung von Korngut verschiedener Getreidearten zur Bioethanolproduktion in Abhängigkeit von der Sorte und den Aufwuchsbedingungen. *Die Bodenkultur* 44, 183-194.
- BUNDESSORTENAMT, 1991: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte außer Kartoffeln. Verlag Alfred Strothe.
- CLARKE, J. M., T. N. MCCAIG and T. F. TOWNLEY-SMITH, 1986: Kernel development and changes in falling number in triticale compared with wheat. *Can. J. Plant Sci.* 66, 877-884.
- LEPSCHY, J., 1992: Fusarientoxine in Getreide Ihre Entstehung und Vorbeugungsmaßnahmen. *Gesunde Pflanze* 44, 35-40.
- MARCHYLO, B. A., L. J. LACROIX and J. E. KRUGER, 1980: α -Amylase isoenzymes in Canadian wheat cultivars during kernel growth and maturation. *Can. J. Plant Sci.* 60, 433-443.
- MARES, D. J. and M. D. GALE, 1990: Control of Alpha-Amylase Synthesis in Wheat Grains. In: RINGLUND, K., E. MOSLETH and D. J. MARES (eds.): Fifth International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. Westview Press, Boulder, San Francisco, 183-194.
- MARES, D. J. and G. OETTLER, 1991: α -Amylase-Activity in Developing Triticale Grains. *J. Cereal Sci.* 13, 151-160.
- MCEWAG, J. M. and R. M. HASLEMORE, 1983: The response of Triticale and Related Cereals to Conditions Inducing Preharvest Sprouting. In: KRUGER, J. E. and D. E. LABERGE (eds.): Third International Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. Westview Press, Boulder, Colorado, 279-286.
- MEYER, D., D. WEIPERT und H. MIELKE, 1986: Beeinflussung der Qualität von Weizen durch den Befall mit *Fusarium culmorum*. *Getreide, Mehl und Brot* 40, 35-39.
- MOSS, J. H. and C. P. STILES, 1987: Cultivar effects on falling number. In: MARES, D. J. (ed.): Fourth Int. Symp. on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. Westview Press, Boulder, Co., 534-540.
- MUNDY, J., I. SVENDSEN and J. HEJGAARD, 1983: Barley α -amylase/subtilisin inhibitor. *Carlsberg Res. Commun.* 48, 81-90.
- OETTLER, G., 1988: Analysis of a diallel cross among eight secondary hexaploid triticales for falling number. *Tag. Ber. Akad. Landwirtsch. Wiss. DDR* 266, 643-652.
- PACE, W., R. PARLAMENTI, A. UR RAB, V. SILANO and L. VITTOZZI, 1978: Protein α -amylase inhibitors from wheat flour. *Cereal Chem.* 55, 244-254.
- PERTEN, H., 1964: Application of the Falling Number Method for Evaluating Alpha-Amylase-Activity. *Cereal Chem.* 41, 127-140.
- PIEPER, H. J. und T. SENN, 1987: Das Ganzkorn-Maischverfahren ein neues druckloses Verfahren zur Gewinnung von Gärungsalkohol aus stärkehaltigen Rohstoffen. *Handbuch Brennerei- und Alkoholwirtschaft* 34, 275-291.
- PIEPER, H. J. und L. THOMAS, 1989: Vergleichende Untersuchungen zur amylytischen Wirkung von Handelsenzympräparaten in der Alkoholproduktion unter Berücksichtigung druckloser Maischverfahren. *Branntweinwirtschaft* 129, 70-77.

- POMERANZ, Y., 1992: Biochemical, Functional and Nutritive Changes During Storage. In: SAUER, D. B. (ed.): Storage of Cereal Grains and Their Products. Am. Ass. of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.
- RAU, T., 1990: Das autoamylolytische Enzymsystem des Weizens, seine quantitative Erfassung und technologische Nutzung bei fremdenzymreduzierter Amyolyse unter besonderer Berücksichtigung der Ethanolproduktion. Diss. Universität Hohenheim, Institut für Lebensmitteltechnologie.
- REBELEIN, H., 1973: Schnellverfahren zur Bestimmung des Alkohol-, Zucker- und Gesamt-SO₂-Gehaltes (durch Destillation) in Wein und Fruchtsäften sowie des Blotalkoholgehaltes. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. 2, 112-121.
- RINGLUND, K., 1980: Differences in Falling Number at Constant Alpha-Amylase Activity. In: GALE, M. D. and V. STOY (eds.): Second Int. Symp. on Pre-Harvest Sprouting in Cereals. Cereal Res. Commun. 8, 111-118.
- SCHÄFER, V., 1993: Anbau von Weizen, Triticale und Roggen als Rohstoff für die Bioethanolproduktion. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 6, 273-276.
- SENN, T., L. THOMAS und H. J. PIEPER, 1993: Zur Bedeutung autoamylolytischer Eigenschaften von Triticale-Sorten für die Gärungsalkoholgewinnung. Handbuch Brennerei- und Alkoholwirtschaft 40, 383-401.
- SILANO, V., 1987: α -Amylase Inhibitors. In: KRUGER, J. E., D. LINNEBACK und C. E. STAUFER: Enzymes and Their Role in Cereal Technology. Am. Ass. of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.
- STEINER, A. M., 1994: Persönliche Mitteilung.
- THOMAS, L., 1991: Enzymtechnische Untersuchungen mit Triticale zur technischen Amyolyse unter besonderer Berücksichtigung der fremdenzymfreien Bioethanolproduktion. Diss. Universität Hohenheim, Institut für Lebensmitteltechnologie.
- WARCHALEWSKI, J. R., 1983: Present-day studies on cereals protein nature alpha-amylase inhibitors. Die Nahrung 27, 103-117.

(Manuskript eingelangt am 10. Jänner 1994, angenommen am 14. Februar 1994)

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Walter AUFHAMMER, Dr. Ernst KÜBLER und Dipl.-Ing. agr. Volker SCHÄFER, Institut für Pflanzenbau und Grünland (340), Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim PIEPER, Institut für Lebensmitteltechnologie (150), Universität Hohenheim, Garbenstraße 25, D-70599 Stuttgart