

Bioenergie aus der Landwirtschaft

eine neue Herausforderung an das regionale Sortenwesen

III. Getreide für die Ethanolproduktion

Bodo Stölken, Volker Michel, Gabriele Pienz

Einleitung

Mit der Richtlinie 2003/20/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur „Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“ wurden Richtwerte für Mindestanteile an Biokraftstoffen im Kraftstoffmarkt beschlossen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden etwa 2 % eingesetzt. Bis zum Jahr 2010 soll dieser Anteil auf 5,75 % und darüber hinaus bis zum Jahr 2020 auf 20 % ansteigen. Mit der Umsetzung der Richtlinie wird neben der europaweiten Markteinführung von Biokraftstoffen und der Reduzierung von Treibhausgasen im Bereich des Verkehrs, auch ein neuer Absatzmarkt für landwirtschaftliche Rohstoffe geschaffen.

Für dieses ehrgeizige Ziel ist es notwendig neben Pflanzenölen und Biodiesel auch Bioethanol zu verwenden. Der aus Pflanzenöl gewonnene Biodiesel sowie reines Pflanzenöl werden in Dieselmotoren eingesetzt, während Ethanol als Ottokraftstoff Verwendung findet.

Mittlerweile arbeiten in Deutschland drei große Bioethanolanlagen in Zeitz, Zörbig und Schwedt. Sie haben zusammen eine jährliche Produktionskapazität von 560.000 m³ Ethanol (Tab. 1). Weitere Anlagen sind im Bau bzw. in der Planung. Rohstoff für diese Anlagen ist Getreide, zukünftig werden aber auch Zuckerrüben zum Einsatz kommen (Klein Wanzleben, Zeitz und Anklam). In Brasilien, dem Hauptproduzenten von Bioethanol, wird Zuckerrohr genutzt und in den USA ist es vor allem Mais.

Tab. 1: Bioethanolproduktion aus Getreide in Zeitz, Zörbig und Schwedt

	Rohstoffe	Menge (t/a)	Bioethanol (m³/a)	Futtermittel (t/a)
Südzucker AG Zeitz	Weizen	700.000	260.000	260.000
Mitteldeutsche BioEnergie GmbH Zörbig	Roggen, Triticale, Weizen, Mais	300.000	100.000	100.000
Nordbrandenburgische BioEnergie GmbH Schwedt	Roggen, Triticale, Weizen, Mais	600.000	200.000	200.000
		1.600.000	560.000	560.000

Anforderungen an den Rohstoff Getreide

An den Rohstoff Getreide für die Ethanolproduktion werden andere Anforderungen gestellt, als in der Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln (Tab. 2). Getreide für die Ethanolherzeugung muss vor allem Stärke und weniger Protein und Zellwandbestandteile enthalten. So eignen sich für diese Produktionsrichtung vor allem die Getreidearten Weizen, Triticale, Roggen und Mais, weniger die bespelzten Arten Gerste und Hafer. Stärke liefert auf dem Wege der enzymatischen Verzuckerung und der anschließenden Vergärung Ethanol, ist selbst aber nicht direkt vergärbare. Hohe Stärkegehalte liefern in der Regel auch hohe Ethanolausbeuten. Aber auch weitere Inhaltstoffe des Getreidekornes können teilweise abgebaut werden und so zur Ethanolausbeute beitragen. Cellulose kann zurzeit noch nicht genutzt werden, dies ist aber weltweit ein Forschungsziel.

**Tab. 2: Qualitätsanforderungen an Getreide für die Ethanolproduktion
(MBE Zörbig, NBE Schwedt und Südzucker Bioethanol GmbH Zeitz)**

Merkmal		Weizen	Roggen	Triticale
Feuchtegehalt	%	< 15	< 15	< 15
HLG	kg	> 72	> 68	-
Anteil Besatz				
Mutterkorn	%	-	< 0,1	-
Bruchkorn/ Schmachtkorn	%	< 20	< 20	< 20
Mykotoxine				
Deoxinivalenol	mg/kg	< 0,5	< 1	< 1
Zearalenon	mg/kg	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ochratoxin A	mg/kg	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Stärkegehalt				
MBE Zörbig / NBE Schwedt	% i. 85 % TM	-	> 55	-
Südzucker AG Zeitz	% i. 85 % TM	-	> 58	-
Fallzahl	s	> 175	-	-
TKM	g	-	28-40	-

Eine gute Kornqualität, die z.B. in einem hohen Hektolitergewicht (HLG), einem hohen Tausendkorngewicht (TKG), einer hohen Mehlausbeute (Analyse der Mahleigenschaften) und/oder einer guten Siebsortierung zum Ausdruck kommt, ist ein relativ gut handhabbares indirektes Kriterium für hohe Stärke- und geringe Rohproteingehalte und fließt daher im Handel teilweise in die Bewertung von Getreidepartien ein.

Weizenpartien für die Ethanolproduktion sollten in der Regel nicht mehr als 12 % Rohprotein enthalten, also deutlich weniger als Back- und Futterweizen. Bei Roggen sollten sowohl Back- als auch Ethanolroggen nicht mehr als 11 % Rohprotein aufweisen, da höhere Gehalte eine geringere Mehlausbeute zur Folge haben.

Eine weitere wesentliche Anforderung an Ethanolgetreide ist eine geringe Belastung mit Mykotoxinen und mit tierischen Schädlingen oder Konservierungsstoffen aus der Lagerung. Da das Koppelprodukt Schlempe in der Tierernährung zum Einsatz kommt sind hier geltende Richtwerte einzuhalten. Eingesetzte Roggenpartien sollten daher einen geringen Mutterkornbefall, Weizen und Triticale eine geringe Mykotoxinbelastung aufweisen.

Der Landwirt, der gezielt Bioethanolgetreide anbauen möchte, muss neben seiner Arten- und Sortenwahl auch die produktionstechnischen Besonderheiten beim Anbau von Getreide für die Bioethanolproduktion beachten. Weizen ist so zu führen, dass er bei hohen Erträgen niedrige Proteingehalte erreicht. Dies kann insbesondere durch eine ertragsbetonte frühe Stickstoffdüngung ohne späte Qualitätsgabe erreicht werden (s. auch Tab. 5). Bei Roggen und Triticale spielt die Qualitätsbeeinflussung durch eine veränderte Produktionstechnik eine deutlich geringere Rolle als beim Weizen. Gesunde Pflanzenbestände zur und nach der Blüte fördern bei allen Arten durch Verlängerung der Kornfüllungsphase hohe Stärke- und geringe Rohproteingehalte sowie eine gute Kornqualität.

In der industriellen Erzeugung von Ethanol kommt es vor allem auf die Alkoholergiebigkeit des Rohstoffes an, also auf eine hohe Stärkemenge pro Maischansatz als Voraussetzung für eine hohe Ethanolausbeute je Tonne eingesetzten Getreides. Stärkegehalt und Ethanolausbeute sind eng korreliert. Bei der Bewertung des Stärkeertrages ist aber zu berücksichtigen, dass Getreidepartien mit gleichen Stärkegehalten in gewissen Grenzen zu unterschiedlichen Ethanolausbeuten führen können.

Weizen und Triticale haben mit 65 – 70 % Stärke i.TM höhere Gehalte als Roggen, der in der Regel um etwa 4-5 % niedriger liegt (Tab.3). Dies korrespondiert mit höheren Pentosangehalten beim Roggen. Pentosan, ein Nichtstärkepolysaccharid (NSP), ist Bestandteil der Zellmembran und der Samenschale.

Tab. 3: Stärke- und Pentosengehalte von Getreide (nach Stölken u.a. 1996)

	Weizen (% i.TM)		Roggen (% i.TM)		Triticale (% i.TM)	
	Ø	Spanne	Ø	Spanne	Ø	Spanne
Stärkegehalt	66,5	63,2 – 68,1	62,9	62,3 – 63,8	67,6	63,1 – 69,5
Pentosengehalt	6,0	5,3 – 7,3	8,5	8,1 – 8,9	6,3	6,0 – 6,6

Beim Weizen und besonders beim Roggen und Triticale, ist die Ethanolausbeute auch vom Gehalt und der Viskosität der NSP abhängig. Sie sollten beide gering sein. Für eine effektive Ethanolproduktion ist daher auch die Kenntnis über die Enzymaktivität des Getreides und den Zustand der Stärke wichtig. Günstig können höhere Hydrolaseaktivitäten bei einer geringeren Fallzahl sein.

Insbesondere feuchte Witterung während der Samenbildung und Samenreife führt zu einer Erhöhung der Enzymaktivität und einem damit verbundenen Stärkeabbau (versteckter Auswuchs). Dieser Vorgang kann bis zum sichtbaren Auswuchs führen, der dann mit Ertrags- und Stärkeverlusten verbunden ist. Es gibt unterschiedliche Intensitätsgrade des Stärkeabbaus, die mittels der Verkleisterungseigenschaften der Stärke im Amylographen bestimmt werden können. Infolge einer beginnenden Keimung können schnell 4-5 % Stärke verloren gehen.

Enzymarmes Getreide, dass bei sehr trockenem und sonnenscheinreichem Wetter heranwächst, mit einer hohen Agglomeration der Stärke und der NSP und damit hohen Werten in der Fallzahl und im Amylogramm, ist weniger gut für das vorherrschende Kaltmaisverfahren geeignet.

Insgesamt sind ein hoher Gehalt an vergärbaren Kohlenhydraten, eine hohe Aktivität der Hydrolasen, ein geringer Anteil an NSP mit niedriger Viskosität und ein niedriger Proteingehalt anzustreben.

Bewertungskriterien bei der Sortenwahl

In Tab. 4 sind die derzeit von der LFA herangezogenen Eigenschaften und Parameter für die Sortenbewertung zur Ethanolproduktion aufgeführt. Es handelt sich dabei z.T. um Parameter, die besonders regionalspezifisch reagieren und daher in den regional angelegten LSV erfasst werden. Für andere Parameter mit weniger ausgeprägter Regionalspezifität oder mit geringerer Relevanz werden bundesweite Beschreibungen z.B. aus der Beschreibenden Sortenliste herangezogen.

Da die relative Sortendifferenzierung beim Kornertrag größer als beim Stärkegehalt ist, wird der Stärkeertrag maßgeblich durch den Kornertrag bestimmt.

Neben den im oberen Teil diskutierten spezifischen Anforderungen an Sorten für die Ethanolherzeugung ist die allgemeine Anbaueignung der Sorten im Anbaugebiet Voraussetzung. Dabei geht es neben dem regionalen Ertragspotential um weitere Anbaueigenschaften wie Standfestigkeit, Winterfestigkeit, Krankheitsresistenzen sowie wertbestimmende Qualitätsmerkmale. Diese Eigenschaften sind mit den Ergebnissen der Landessortenversuche hinreichend sorten- und regionalspezifisch beschrieben und münden in regionalen Sortenempfehlungen (www.agrarnet-mv.de).

Aufgrund der vergleichsweise geringeren Differenzierung in den nachfolgend beschriebenen Parametern bei **Winterroggen** und **Wintertriticale** sind die unter der o.g. Adresse abrufbaren allgemeinen Sortenempfehlungen auch für die Ethanolproduktion anzuwenden. Nur beim **Winterweizen** wurden bereits in 2006 spezielle Sortenempfehlungen für die Ethanolproduktion gegeben (siehe auch Tab. 6).

Tab. 4: Parameter der LFA zur Sortenbewertung von Getreide für die Ethanolproduktion

Eigenschaft / Parameter	Winterweizen	Winterroggen	Wintertriticale
Kornertrag und allgemeine regionale Eignung	LSV	LSV	LSV
Ethanolausbeute	In Vorbereitung	In Vorbereitung	In Vorbereitung
Stärkegehalt	LSV	LSV	LSV
Rohproteingehalt	LSV	BSL (LSV)	- (LSV)
Parameter für die Kornqualität			
Hektolitergewicht (HLG)	LSV	LSV	LSV
Tausendkornmasse (TKM)	BSL	BSL	BSL
Mehlausbeute	BSL	-	-
Mykotoxinbildner			
Ährenfusarium	BSL	-	-
Mutterkorn	-	BBA	-
Fallzahl	LSV	LSV	- (LSV)

LSV – regionale Bewertung für Anbauggebiete in MV durch Landessortenversuche
 BSL – Ausprägungsstufen (1-9) in Beschreibender Sortenliste des BSA (nicht regional)
 BBA – Sonderuntersuchung der Biologischen Bundesanstalt (nicht regional)

Die Ethanolausbeute ist das unmittelbare und wesentlichste Qualitätskriterium. Ausgewählte Sortimente aus Landessortenversuchen 2006 in Mecklenburg-Vorpommern werden derzeit analysiert. Die Ergebnisse werden demnächst vorgestellt. Die Sortenbewertung wird allerdings nicht ausschließlich auf der unmittelbaren Analyse der Ethanolausbeute beruhen können, sondern es sind indirekte, massenanalytisch beherrschbare Parameter einzubeziehen. Gründe dafür sind:

- umfangreiche Sortimente, schneller Zuchtfortschritt und Sortenwechsel
- je Sorte sind mehrjährige und mehrortige Daten aufgrund der zu erwartenden Interaktionen zwischen Sorte und Umwelt erforderlich
- die sehr differenzierte technologische und gärungstechnische Führung in unterschiedlichen Brennereien lässt sich nur unvollkommen in einem standardisierten Analyseverfahren nachvollziehen

Trotzdem besteht auch im Sortenwesen die Notwendigkeit, indirekte Parameter durch die direkte Bestimmung der Ethanolausbeute zu begleiten und zu validieren.

Die mehrortige Analyse der Stärkegehalte in den Landessortenversuchen mit Weizen, Roggen und Triticale ist seit 2006 fester Bestandteil der Sortenprüfung in der Landesforschungsanstalt (LFA). Aufgrund der ausreichenden Anzahl Daten je Sorte war beim Winterweizen bereits 2006 eine relativ stabile regionale Einschätzung der Sortenrelationen möglich (Tab. 6). Bei Winterroggen und Triticale wird 2007 ein entsprechender Stand erreicht sein. Aus der Analyse in benachbarten Anbaugebieten ist aber bekannt, dass die Sortendifferenzierung relativ gering ist.

Die aus den aktuellen Sortenprüfungen hergeleiteten Abstufungen im Rohproteingehalt sind nicht aus Versuchen mit einem Düngungsregime für die Ethanolherzeugung gewonnen. Die Sortenrangfolge wird in der Regel davon aber weitgehend unbeeinflusst bleiben, wie erste Versuche mit den Sorten Hermann und Tommi zeigen (Tab. 5). Beide Sorten reagieren auf die Änderung des N-Düngungsregimes in gleicher Weise.

Tab. 5: Einfluss unterschiedlicher N-Düngungs-Strategien auf Ertrag und Rohproteingehalt bei Winterweizensorten
(Versuche zu N-Düngeverfahren 2005-06, LFA, Dr. B. Boelcke)

Var.	Beschreibung	Ertrag (dt/ha)		RP-gehalt (%)	
		Hermann	Tommi	Hermann	Tommi
	Sorte				
2	200/220 in 4 Gaben	94,4	92,6	13,8	14,8
3	200/220 NTS Vegt.beg.	94,4	90,5	12,8	14,0
4	200/220 NPK Vegt.beg.	94,6	89,7	12,3	13,6

Vegt.beg. = Vegetationsbeginn

Die Parameter der Kornausbildung HLG, TKM und Mehlausbeute sind im aktuellen Weizensortiment positiv, allerdings nicht ausgesprochen eng korreliert. Beim HLG und bei der Mehlausbeute sind höhere Korrelationen zum Stärkegehalt festzustellen. Die Parameter der Kornqualität werden in der LFA derzeit für die Sortenbewertung zur Ethanolproduktion nur in dem Maße herangezogen, wie sie in sonstigen Qualitätsanalysen ohnehin anfallen.

In den Landessortenversuchen mit Winterweizen werden derzeit nur Sorten geprüft, die in der Anfälligkeit für Ährenfusarium mit der Note 5 oder besser eingestuft sind. Damit ist aus der Sicht der Sortenwahl ein entscheidender Beitrag zur Risikominimierung hinsichtlich der Belastung mit Fusariumtoxinen gegeben, der auch für die Ethanolproduktion uneingeschränkt relevant ist. Beim Winterroggen sollten Sorten mit mittlerer bis geringer Mutterkornanfälligkeit bevorzugt werden. Für Triticale liegen derzeit leider noch keine offiziellen Sortenbeschreibungen hinsichtlich Mutterkorn und Ährenfusarium vor.

Eine gewisse Schwäche von Weizensorten in der Fallzahl, die bei Brotweizen in den maritim beeinflussten Gebieten Mecklenburg-Vorpommerns nicht toleriert wird, kann beim Ethanolweizen in gewissen Grenzen förderlich sein, solange die geringen Fallzahlen nicht mit sichtbarem Auswuchs einhergehen. So wird zum Beispiel die Sorte Ephoros nicht für den Brotweizenanbau empfohlen, könnte aber durchaus gute Voraussetzungen für die Ethanolproduktion besitzen.

Gruppierung des aktuellen LSV-Sortimentes Winterweizen

Beim Winterweizen kann allgemein die Aussage getroffen werden, dass sich für die Ethanolproduktion ertragsstarke Sorten mit hohem Stärke- und geringem Rohproteingehalt, guter Kornausbildung und geringer Fusariumanfälligkeit eignen.

Für die Gruppierung der Sorten (Tab. 6) wurden die Eigenschaften der Kornausbildung TKM, HLG und Mehlausbeute mittels Faktorenanalyse zu einem Komplex-Merkmal „Faktor_Korn“ verdichtet. Dieses Merkmal wurde daraufhin gemeinsam mit den Parametern Stärkegehalt und Rohproteingehalt einer Clusteranalyse unterzogen. Dadurch konnten Gruppen gebildet werden, die hinsichtlich ihrer Eignung für die Ethanolproduktion unterschiedlichen zu bewerten sind

Tab. 6: Gruppierung von Weizensorten nach Eignung für die Ethanolproduktion nach Faktoren- und Clusteranalyse; Sortiment der LSV in MV 2006

	Qualitätsgruppe	Ährenfusarium Resistenz	Korn-ertrag*	Stärke-gehalt*	Stärke-ertrag	Roh-protein-gehalt*	Kornausbildung			
							TKM	HLG*	Mehlaus-beute	Faktor_Korn
			(relativ)	(% in TM)	(relativ)	(%)	(1-9)	(kg/hl)	(1-9)	
GESAMT			100	65,5	100	13,8	5,2	77,4	6,8	0,0
sehr gute Voraussetzungen										
MITTEL			101	66,8	104	13,1	4,8	78,8	7,0	0,6
Skalmeje	C	+	103	67,6	107	13,1	4	77,6	8	0,5
Buteo	B	+	101	66,6	103	13,0	6	78,7	6	0,3
Anthus	B	+	101	66,8	103	13,2	5	79,2	7	0,8
Potenzial	A	+	101	66,3	103	13,2	4	79,6	7	0,7
Ephoros**	(B)		101	65,8	102	13,0	6	78,7	7	
gute Voraussetzungen, schwächer in der Kornausbildung (HLG)										
MITTEL			103	65,4	103	13,2	5,3	75,7	6,7	-0,7
Hermann	C	++	103	65,3	103	13,0	5	74,4	7	-1,1
Mulan	B	+	102	65,5	102	13,2	6	77,1	6	-0,4
Hybred	BH	+	104	65,4	104	13,3	5	75,6	7	-0,6
bedingte Eignung, breites A- und B-Sortiment, z.T. hoher RP-Gehalt										
MITTEL			99	65,7	100	13,6	5,2	78,2	7,1	0,5
Akratos	A	+	100	65,6	100	13,1	6	77,6	7	0,5
Dekan	B	+	100	66,0	101	13,2	4	77,8	7	0,0
Boomer	A	o	101	65,7	101	13,4	5	77,4	7	0,1
Cubus	A	+	99	66,1	100	13,5	5	77,6	7	0,2
Impression	A		100	66,2	101	13,8	5	78,6	7	0,6
Türkis	A	+	100	65,2	100	13,7	5	77,6	7	0,2
Tommi	A		100	65,4	100	13,9	5	77,4	8	0,8
Alitis	A	+	99	65,9	99	13,4	5	79,1	8	1,5
Brilliant	A	+	99	65,5	99	13,4	4	79,3	7	0,6
Striker	B	+	99	65,6	99	13,5	5	77,7	7	0,2
Pegassos	A	+	96	66,4	98	13,4	7	78,3	7	1,1
Sobi	A	++	99	65,2	98	13,9	7	79,5	6	0,9
Leiffer	A	+	98	65,3	98	14,0	5	78,2	7	0,5
bedingte Eignung, schwächere Kornausbildung, z.T. hoher RP-Gehalt										
MITTEL			101	65,0	101	13,7	4,0	75,8	5,3	-2,0
Paroli	A	-	102	64,8	101	13,5	6	76,0	5	-1,4
Carenius	B	o	102	64,5	101	13,5	2	74,8	5	-3,2
Campari	B	o	102	65,0	101	13,9	4	75,9	5	-2,1
Meteor	A	+	100	65,6	100	13,8	4	76,5	6	-1,2
zu hoher RP-Gehalt bei guter Kornausbildung										
MITTEL			98	65,7	98	14,4	5,7	78,2	7,0	0,6
Tiger	A	+	99	65,6	99	14,7	8	78,6	7	1,5
Toras	A	+++	98	66,0	99	14,3	5	77,2	7	0,0
Torrild	A	o	96	65,6	97	14,3	4	78,8	7	0,4
zu hoher RP-Gehalt										
MITTEL			99	64,6	98	14,3	4,8	76,2	6,4	-0,8
Schamane	A	o	101	64,5	100	14,5	6	76,8	6	-0,5
Ellvis	A	o	100	64,8	99	13,9	4	76,2	7	-0,7
Manager	B	+	100	64,6	98	14,1	4	77,0	6	-1,0
Solitär	B	+++	99	64,6	98	14,8	4	76,0	7	-0,8
Drifter	B	o	97	64,3	96	14,0	6	75,0	6	-1,2
nicht für Ethanolproduktion geeignet (E-Weizen)										
MITTEL			93	65,0	93	14,6	6,2	77,3	7,2	0,6
Privileg	E	+	95	65,2	94	14,3	5	78,2	7	0,4
Magister	E	++	95	65,1	94	14,4	7	78,0	7	1,0
Akteur	E	+	95	64,6	93	15,2	6	77,1	7	0,3
Enorm	E	++	92	65,3	92	14,1	6	76,2	8	0,6
Cetus	E	o	91	64,7	90	15,0	7	77,2	7	0,6

* mehrjähriges regionales Mittel im Anbauggebiet D-Nord (überwiegend Mecklenburg-Vorpommern)

** nicht in der Faktorenanalyse zur Kornausbildung einbezogen