

Walter Schmidt, KWS Saat AG, Einbeck

Aspekte der Züchtung von Energiepflanzen am Beispiel Mais

Dem Energiepflanzenanbau wird in Deutschland eine große Zukunft vorausgesagt. Aktuell befinden sich ca. 3.500 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von fast 500 Megawatt am Netz. Man geht davon aus, dass sich die Anlagenzahl bis zum Jahr 2010 mehr als verdoppelt, wobei sich die elektrische Leistung mehr als verdreifacht. Für das Jahr 2015 werden vom Fachverband Biogas annähernd 20.000 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 6.000 MW und für das Jahr 2020 über 40.000 Anlagen mit einer Leistung von über 9.000 MW prognostiziert (SCHÜTTE, 2005). Um die wachsende Zahl der Biogasanlagen ausreichend mit Kofermenten versorgen zu können, werden zukünftig 2 bis 3 Millionen ha Energiepflanzen angebaut werden müssen: Eine große Herausforderung für den Pflanzenbau und die Pflanzenzüchtung.

Die Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck über das bei Mais vorhandene Biomasseleistungspotenzial, das es nun züchterisch und pflanzenbaulich auszuschöpfen gilt.

Die KWS SAAT AG hat als erstes Pflanzenzuchtunternehmen diese Herausforderung angenommen und schon vor vier Jahren damit begonnen, den Mais für die Energieproduktion züchterisch zu optimieren. Im Laufe der nächsten 8 Jahre will man bei der KWS Energiemaissorten entwickeln, die fast doppelt soviel leisten wie die heutigen Silomaissorten. Diese enorme Leistungssteigerung ist möglich, wenn man sich von den Restriktionen der Körner- und Silomaisszüchtung löst und neue Wege in der Maiszüchtung beschreitet.

Über die folgenden neuen züchterischen Ansätze soll die Gesamttrockenmasseleistung des Maises



Abbildung 1: Das Biomasseleistungspotenzial des Maises: Drei deutsche, eine italienische und eine peruanische Maissorte (v.li.n.re.) aus einer Energiemais-Leistungsprüfung bei Wesel, 2004

von heute 150 bis 180 dt/ha auf 300 dt/ha angehoben werden, was bei einer gleichzeitigen Verbesserung der Methanausbeute einer Steigerung von heute 5.000 m³ auf 10.000 m³ Methan/ha entspricht:

1. Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase
2. Züchterische Kombination von Spätreife und Kältetoleranz
3. Integration von Kurztagsgenen aus exotischen Populationen
4. Verbesserung der Trockenstresstoleranz
5. Adaption des Maises an eine C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge

6. Adaption des Maises auch an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus

Im Vortrag werden die ersten 3 züchterischen Ansätze und die bisherigen Erfolge dargestellt:

Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase

Anhand der folgenden vereinfachten grafischen Darstellung soll deutlich gemacht werden, warum der Ansatz, die vegetative Entwicklungsphase des Maises zu verlängern, viel versprechend ist, das Biomasse- und damit das Energie-Leistungspotenzial des

Mais zu steigern: In Abbildung 2 ist als schwarze Kurve der Verlauf der Gesamttrockenmassebildung einer Maissorte dargestellt, die für Silomaisnutzung gezüchtet wurde (SM = Silomais). Die hellere Kurve in Abbildung 2 gibt den Entwicklungsverlauf einer Maissorte wieder, die für die Energieproduktion züchterisch optimiert wurde (EM = Energiemais).

Bis zur Blüte der Silomaisorte haben die beiden Wachstumskurven einen identischen Verlauf: Die vegetative Gesamttrockenmasse beider Sorten steigt exponentiell an. Nach der Blüte der Silomaisorte laufen die beiden Wachstumskurven immer mehr auseinander. Die Kurve der Silomaisorte steigt zunächst nur noch linear an und flacht dann sehr schnell ab, während die Wachstumskurve der Energiemaisorte durch den späteren Eintritt in die generative Phase weiter einen exponentiellen Anstieg zeigt. Dieser weitere exponentielle Anstieg hat seine Ursache in der einfachen physiologischen Tatsache, dass die Energiemaisorte nach der Blüte der Silomaisorte ihre gesamte Assimilationsleistung weiter in zusätzliche vegetative Blattmasse investiert, während die Silomaisorte ihre weitere Assimilationsleistung in die Kolbenbildung investiert. Die zusätzlich gebildeten Blätter tragen nun bei der Energiemaisorte ihrerseits zur Assimilationsleistung bei, während die in die Kolben der Silomaisorte eingelagerten Kohlenhydrate nichts zur Assimilationsleistung beisteuern. So erklärt sich sehr leicht die Ertragsüberlegenheit der Energiemaisorte gegenüber der Silomaisorte. Die Überlegenheit der Energiemaisorte ist umso größer, je später die Ernte durchgeführt wird.

Mit diesem relativ einfachen physiologischen Trick, die exponentielle Wachstumsphase der Pflanzen durch eine Verschiebung der Blüte zu verlängern, lassen sich nicht nur bei Mais, sondern auch bei den meisten unserer anderen Kulturarten enorme Leistungssteigerungen erzielen.

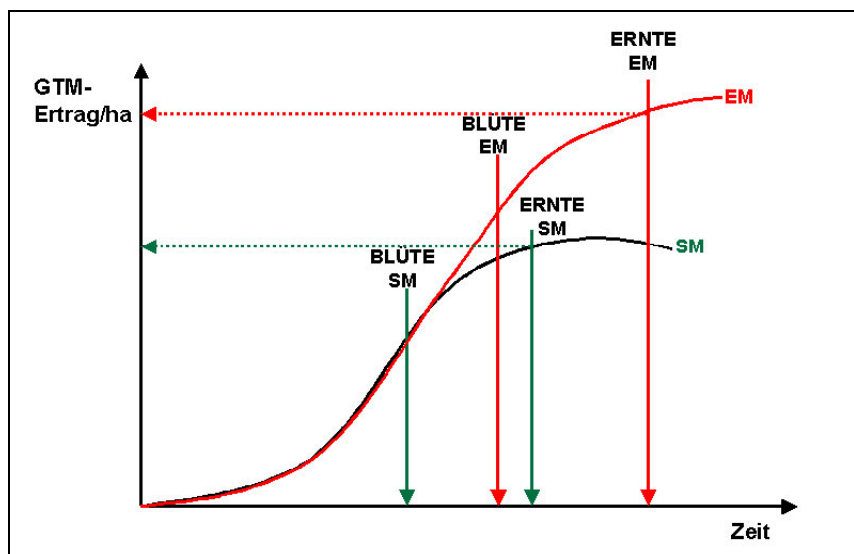


Abbildung 2: Gesamttrockenmassebildung (GTM-Ertrag) bei einer Silomais- (SM) und bei einer Energiemaisorte (EM).

Züchterische Kombination von Spätreife und Kältetoleranz

Die Blüte der Maissorten auf einen späteren Zeitpunkt zu verlegen ist leicht. Dazu braucht man lediglich in die in Südfrankreich, Ungarn oder Italien angebauten Reifegruppen zu wechseln und schon hat man so spät blühendes Zuchtmaterial zur Hand, wie man es für den Energiemaisanbau in Deutschland braucht.

Leider haben die dort verwendeten Zuchtmaterialgruppen einen entscheidenden Nachteil: Sie sind nicht an unser kühles Klima adaptiert und besitzen deshalb bei Kälte keine ausreichend gute Jugendentwicklung. In den letzten 5 Jahren haben wir bei der KWS SAAT AG alle neueren Hybriden aus unseren südeuropäischen Zuchtprogrammen sehr intensiv unter den deutschen und auch unter den niederländischen Anbaubedingungen auf ihre Eignung als Energiemaishybriden getestet. In den ersten 3 Prüfjahren waren einige der südeuropäischen Sorten den besten konventionellen deutschen Silomaisorten (zum Teil

erheblich) überlegen. Anders in den letzten beiden Jahren 2004 und 2005, die sich durch sehr niedrige Temperaturen während des Jugendwachstums auszeichneten: Hier kamen die südeuropäischen Sorten fast ausnahmslos während der Jugendentwicklung aufgrund ihrer schlechten Kältetoleranz gegenüber den deutschen Silomaisorten in einen großen Entwicklungsrückstand (Abb. 3). Der war in der Regel so groß, dass er in den wärmeren Sommermonaten nicht mehr aufgeholt werden konnte.

Damit sind wir Züchter gefordert, in den Energiemaishybriden Spätreife und Kältetoleranz zusammenzuführen. Dies ist auf verschiedenen Wegen möglich:

Ein nahe liegender Weg ist die Selektion auf Kältetoleranz im späten südeuropäischen Zuchtmaterial nicht erst bei den schon fertigen Sorten vorzunehmen, sondern schon dort, wo noch die volle genetische Varianz vorhanden ist: Auf der Linienebene nämlich, noch bevor eine Einschränkung des Materials über einen Test auf Kombinationsfähigkeit erfolgt ist.

Hier kam uns bei KWS in den letzten Jahren eine Entwicklung zugute, die die Hybridzüchtung gegenwärtig revolutioniert: Nachdem man in der Hybridzüchtung nun viele Jahrzehnte lang die Inzuchtlinien über einen sich über viele Generationen hinziehenden Selbstungsprozess entwickelt hat, steht uns heute die in Hohenheim am Lehrstuhl von Herrn Professor Geiger zur Praxisreife entwickelte Dihaploidentechnik (kurz: DH-Technik) zur Verfügung, die es uns erlaubt, die Inzuchtlinien innerhalb eines Jahres zu entwickeln. An anderer Stelle wurden die vielen Vorteile dieser Methode aus Züchtersicht dargestellt (SCHMIDT, W., 2003).



Abbildung 3: Die kältetolerante deutsche Standardsorte GAVOTT (rechts) inmitten zahlreicher kälteempfindlicher italienischer Hybriden, aufgenommen im Juli 2004 in einer Energiemais-Leistungsprüfung in Wesel

Für das KWS-Energiemais-Zuchtprogramm ist in diesem Zusammenhang wichtig gewesen, dass auch alle südeuropäischen KWS-Züchter ihre Zuchtprogramme komplett auf diese neue Technik der Linienentwicklung umgestellt haben. Dadurch war es in den letzten Jahren ein Leichtes, das gesamte aktuelle südeuropäische Inzuchtlinienmaterial an

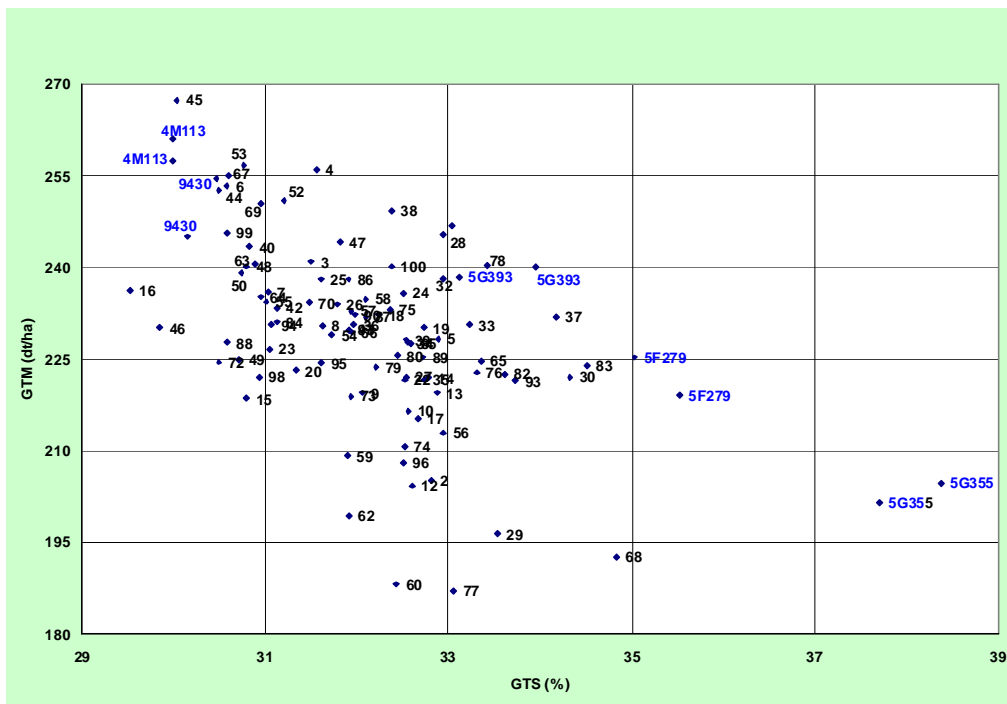


Abbildung 4: Gesamttrockenmasseertrag (GTM dt/ha) in Abhängigkeit von der Ganzpflanzenabreife (GTS %) von 90 neuen Energiemais-Hybriden (und 10 Standards) aus späten auf Kältetoleranz selektierten südeuropäischen DH-Linien, gekreuzt mit einem deutschen Flinttester

den besten südeuropäischen Linien, die wir in den Energiemaisversuchen der beiden Vorjahre identifiziert hatten, wurden ca. 250 faktorielle Kreuzungen hergestellt, die im Jahr 2005 in Bernburg und Wesel getestet wurden. Die Spitzenleistungen dieser Hybriden lagen zwischen 280 und 290 dt/ha. Sie realisierten damit ein Ertragsniveau, das rund 70 dt/ha höher lag als beispielsweise das Ertragspotenzial der Hybride MARCELLO, die diesen Monat noch mit besten Zulassungschancen beim Bundessortenamt zur Zulassung ansteht.



Abbildung 6a: Eine Maispopulation aus dem peruanischen Kurztag, angebaut im deutschen Landtag, aufgenommen im Zuchtgarten Gondelsheim im September 2005



Abbildung 6b: Maisstängel einer peruanischen Sorte, Zuchtgarten aufwuchs Gondelsheim, 2002

Integration von Kurztaggen aus exotischen Populationen

Nun gibt es noch einen ganz anderen Weg, die Biomasse- und damit die Energieleistung des Maises zu steigern:

Wenn man an den tropischen Kurztag angepasste süd- oder mittelamerikanische Maispopulationen im mitteleuropäischen Langtag anbaut, dann reagiert dieser Mais mit einem verstärkten vegetativen Wachstum. Manche dieser exotischen Maisrassen werden 4-5

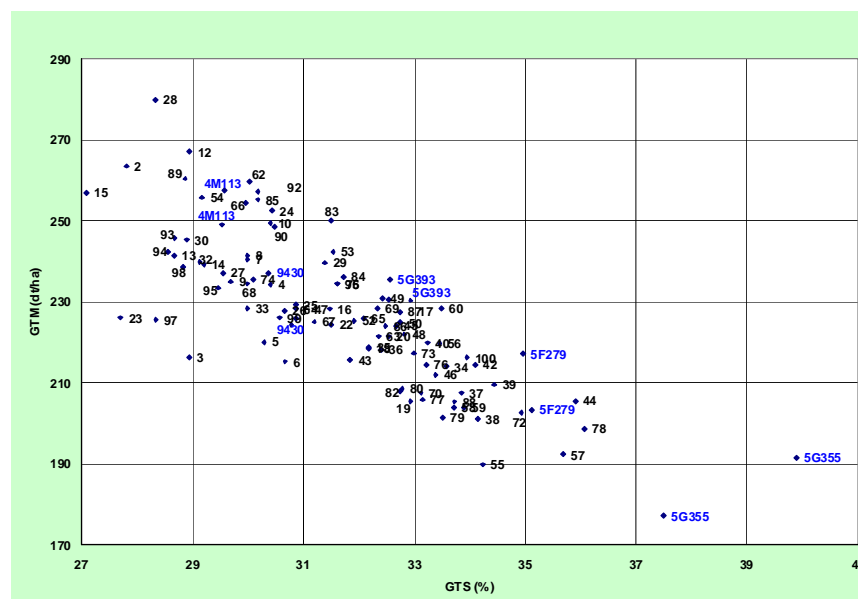


Abbildung 7: Gesamttrockenmasseertrag (GTM dt/ha) in Abhängigkeit von der Ganzpflanzenabreife (GTS %) von 90 neuen Energiemais-Hybriden (und 10 Standards) aus deutsch-mexikanischen Energiemais-Inzuchtlinien, gekreuzt mit einem deutschen Flintsingle

m lang (Abb.1 und Abb. 6a). Aber nicht nur das Längenwachstum ist bei diesen Maisformen stimuliert, sondern auch das Dickenwachstum der Stängel (Abb. 6b).

Es ist nahe liegend, die Wirkung solcher genetisch gesteuerten Wachstumsregulationen in einem Energiemais-Zuchtprogramm zu nutzen. Indem man die Photoperiodische Empfindlichkeit (Kurztagreaktion) sowohl auf der Saat- wie auch auf der Pollenspenderseite der Energiemaishybriden einlagert, kann deren vegetative Masseleistung erheblich verbessert werden. Die Einlagerung von solchen „Kurztagsgenen“ aus mexikanischen Quellen auf der Mutterseite und peruanischen Quellen auf der Vaterseite stellt sicher, dass die Heterosis zwischen Saatelter- und Pollenspender-Genpool erhalten bleibt.

In der Abbildung 7 sind die Erträge von 90 Energiemaishybriden dargestellt, die auf der Mutterseite neue deutsch-mexikanische Inzuchtlinien enthalten und auf der Vaterseite einen konventionellen Flinntester aus dem Silomaiszuchtprogramm. Die deutsch-mexikanischen Inzuchtlinien enthalten alle zu 75 % die deutsche Dent-Elitelinie 5G355 und zu 25 % Genmaterial mexikanischen Ursprungs. Die Prüfung wurde an 2 konventionellen deutschen Standorten (Bernburg und Wesel), an 2 konventionellen holländischen Standorten (Wilbertoord und Dronen) und zusätzlich an einem ökologisch bewirtschafteten Standort (Wiebrechtshausen bei Einbeck) durchgeführt. Man kann erkennen, dass die neuen deutsch-mexikanischen Inzuchtlinien den rekurrenten Elter 5G355 um bis zu 80 dt/ha in der Leistung übertreffen, eine Überlegenheit, die man in dieser Größenordnung zunächst nicht erwarten konnte.

Betrachtet man jedoch die Eigenleistung der Linien, dann wird diese Leistungssteigerung verständlich: Über eine mehrstufige Selektion mit sehr hohen Selektionschärfen, konnten Linien fixiert werden, die eine Biomasseleistung auf einem Niveau produzieren,

das bisher nicht für möglich gehalten wurde (Abb. 8).

Auch bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass diese enormen Leistungssteigerungen lediglich über eine genetische Verbesserung der Saatelterseite der Testkreuzungen erreicht wurden. Wie oben schon dargestellt, sollen natürlich auch auf der Vaterseite der Hybriden diese Kurztagsgene genutzt werden, um das Biomaspotenzial der Energiemaishybriden noch weiter zu steigern. Dazu wurden in den letzten Jahren aus einer der aktuellsten KWS-Flint-Eliteinzuchtlinie (1G908) und peruanischen Populationen neue deutsch-peruanische Inzuchtlinien entwickelt, die alle zu 75% Genanteile der adaptierten Linie 1G908 und zu 25% Genanteile aus verschiedenen peruanischen Populationen enthalten.

Das Ergebnis dieser Inzuchtlinien ist in der folgenden Abb. 9 dargestellt. Das Ergebnis dieser deutsch-peruanischen Linien ist mindestens ebenso spektakulär wie das in Abbildung 7 mit den

deutsch-mexikanischen Linien erzielte: Die besten deutsch-peruanischen Linien übertrafen den deutschen rekurrenten Eliteelter um fast 90 dt/ha und dies bei einer Reife von rund 33 %, also bei einer Reife, die der normalen deutschen Silomaisreife entspricht.

Die derzeit bedeutendste deutsche mittelfrühe Silomaisssorte GAVOTT wurde um fast 100 dt/ha übertroffen. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass diese Leistungssteigerung allein über eine Verbesserung der Pollenspenderseite der Hybriden erzielt werden konnte. Auf der Saatelterseite hatten diese Hybriden einen konventionellen Dentsingle aus dem Silomaiszuchtprogramm.

Die Erklärung für diesen sprunghaften Leistungsanstieg kann auch hier mit dem großen Massenzuwachs erklärt werden, der in den neuen deutsch-peruanischen Linien durch die Integration der Kurztagsgene fixiert werden konnte (Abb. 10).



Abbildung 8: Neue deutsch-mexikanische Energiemais-Inzuchtlinien (jeweils links im Bild) neben konventionellen Silomaislinien

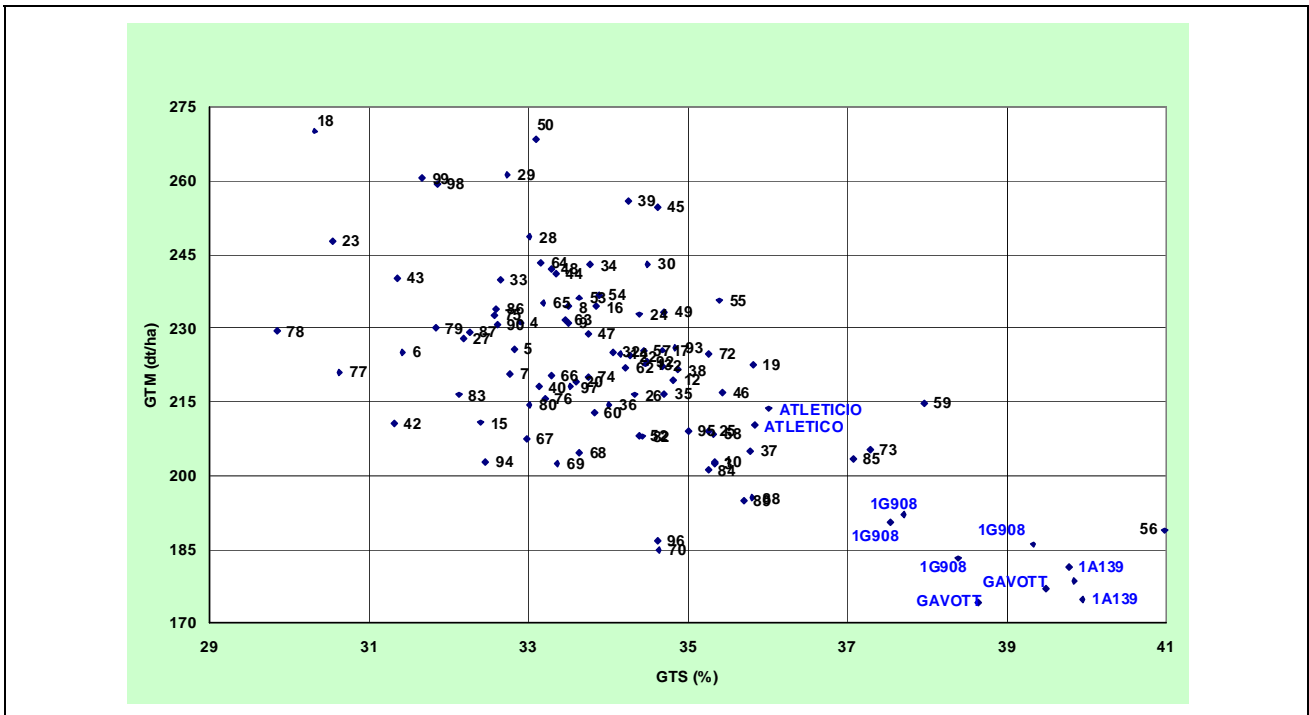


Abbildung 9: Gesamttrockenmasseertrag (GTM dt/ha) in Abhängigkeit von der Ganzpflanzenabreife (GTS %) von 90 neuen Energiemaishybriden (und 10 Standards) aus deutsch-peruanischen Energiemaish-Inzuchtlinien, gekreuzt mit einem deutschen Dentsingle

Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse lassen erkennen, dass über verschiedene Züchtungsstrategien und mit ganz verschiedenen Zuchtmaterialgruppen enorme Zuchtfortschritte in der Biomasse- und damit in der Energieleistung bei Mais zu erzielen sind. Die bisher erreichten Fortschritte sind weit höher ausgefallen als man erwarten konnte.

Das weitere Ziel im KWS-Energiemais-Zuchtprogramm wird es nun sein, die großen Zuchtfortschritte, die in den verschiedenen Zuchtmaterialgruppen bisher manifestiert werden konnten, sowohl in den Basispopulationen, auf denen die Reziproke Rekurrente Selektion aufbaut, als auch in den Hybriden zusammenzuführen: Das eingangs erwähnte Zuchtziel, die Gesamttrockenmasseleistung des Mais in unserem Klimaraum stabil über die 300 dt/ha-Marke



Abbildung 10: Neue deutsch-peruanische Energiemais-Inzuchtlinien neben der konventionellen Silomais-Elitelinie 1G908, aufgenommen im September 2005 im KWS-Zuchtgarten bei Passau

anzuheben, wird so in kurzer Zeit zu erreichen sein, weit früher als ursprünglich angenommen.

Literatur

- SCHMIDT, W., 2003: „Hybridmaiszüchtung bei der KWS SAAT AG.“ Vortrag bei der Tagung der Saatzuchtleiter in Gumpenstein am 25. November 2005
- SCHMIDT, W., 2004: „Energiermais für die Praxis – Welchen Beitrag kann die Züchtung leisten?“ Vortrag bei der Tagung des DMK in Bad Sassendorf am 18. November 2004
- SCHMIDT, W., 2005: „Die faszinierenden Möglichkeiten der Energiepflanzenzüchtung – Chance für mehr Ökologie und Ökonomie in der Landwirtschaft“ Vortrag bei der Biogas-Fachtagung in Kaisersesch am 01. Juli 2005
- SCHÜTTE, A., 2005: „Anforderungen und Perspektiven im Energiepflanzenbau.“ Vortrag anlässlich des 1. Einbecker Energiepflanzen-Kolloquiums am 07./08. Dez. 2005