

## Der maximal mögliche Kornertrag und Störungen in der Kolbenentwicklung

Während der Kolbenentwicklung kann es zu zahlreichen Störungen kommen, welche zu sehr unterschiedlich deformierten Kolben führen. Anhand der Deformierung der Kolben können Rückschlüsse auf den Zeitpunkt der Störung getroffen werden. Ein normal entwickelter Maiskolben besitzt 14-18 Kornreihen und im Schnitt 400-600 Körner (25-50 Körner pro Reihe). 35-40 Körner pro Reihe sind normal und akzeptabel.

Der maximal mögliche Kornertrag wird in 4 verschiedenen Entwicklungsphasen festgelegt:

1. Die Festlegung der maximalen Anzahl Kornreihen (~ 6-Blattstadium)
2. Die Festlegung der maximalen Anzahl Körner pro Kornreihe (Kolbenentwicklung bis kurz vor der Blüte)
3. Die maximale Anzahl an befruchteten Eizellen (Blüte)
4. Die Ausbildung der maximalen Korngröße (Kornfüllungsphase ab Milchreife)

### 1. Die Entwicklung des Hauptkolbens / Anzahl Kornreihen pro Kolben:

Ungefähr mit der Entwicklung des 4.-5.Laubblatts beginnt die Maispflanze pro Knoten einen Kolben anzulegen. Der Hauptkolben der Hybridsorten ist später der höchste Kolben an der Pflanze und sitzt je nach Sorte am 6. bis 9.Stängelknoten. Je früher die Sorte desto früher wird der Kolben gebildet und ist dementsprechend in der Regel an einem niedrigeren Knoten. Ist der Hauptkolben etabliert, so wird das weitere Wachstum der anderen Kolben gebremst bzw. gestoppt, da er die apikale Dominanz besitzt. Das Kolbenwachstum erfolgt vom Meristem an der Kolbenspitze her. Dort entstehen die primären Samenanlagen in 4-9 Reihen (Abb.1). Im Laufe der Kolbenentwicklung bilden sich dann ausgehend von der Basis des Kolbens aus einer primären Reihe je 2 Reihen weibliche Stempelblüten. Das ist der Grund, warum immer eine gerade Anzahl an Kornreihen auf dem Kolben zu finden ist. Einige Wissenschaftler geben als Zeitraum für die Festlegung der Anzahl Kornreihen ungefähr das 6-Blattstadium an, andere je nach Sorte das 4- bis 9-Blattstadium. Ist der Kolben ausdifferenziert und das Meristem nicht mehr zu sehen, so ist die maximale Anzahl an Kornreihen determiniert (Abb. 2).

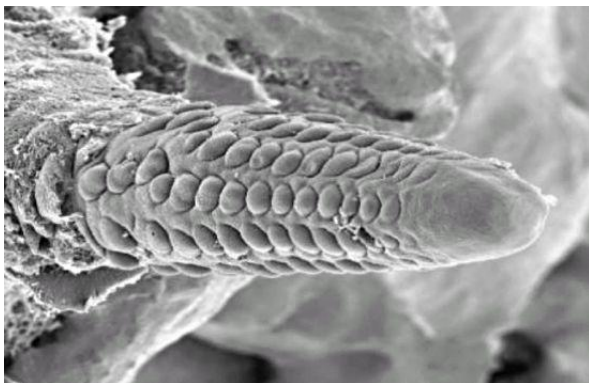


Abb. 1: Bildung der Samenanlagen aus dem Meristem (Meristem ~ 400µm), diese Pflanze war im 8-Blattstadium (dankend zur Verfügung gestellt von Dr. Antonio Perdomo)

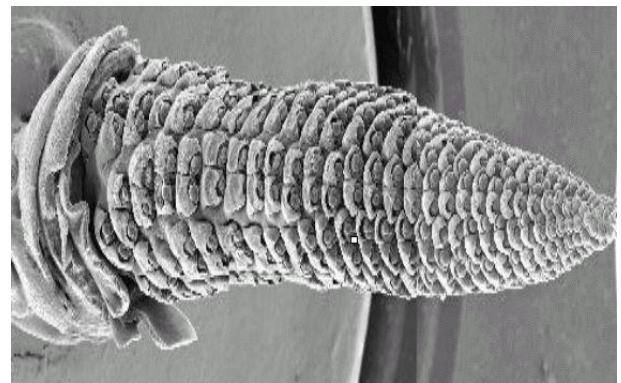


Abb. 2: vollständig angelegter Kolben mit paarigen Reihen von weiblichen Blüten, diese Pflanze war ungefähr im 11-Blattstadium (oder circa BBCH 34)

Die maximale Anzahl der Kornreihen einer Sorte ist genetisch festgelegt. Hat eine Sorte statt der üblichen 16 nur 12 Reihen gebildet, so kann davon ausgegangen werden, dass ungefähr zwischen dem 4- und 9-Blatt-Stadium ein starker Umweltstress aufgetreten ist. Mögliche Ursachen wären zum Beispiel Kälte, Trockenheit, unsachgemäßer Einsatz von Spritzmitteln oder N-Mangel.

Tritt eine Störung ein, wenn bereits die Hälfte der Samenanlagen des Kolbens in 2 Blüten differenziert ist, so kann auch innerhalb des Kolbens die Anzahl der Reihen unterschiedlich sein. In Abbildung 3 ist ein Kolben einer Maispflanze zu sehen, welche nicht fachgerecht und zu spät mit einem Sulfonylharnstoff-Herbizid behandelt wurde. Diese Herbizide wirken auf die Zellteilung. Kann die Maispflanze den Wirkstoff nur ungenügend abbauen und gelangt genügend aktiver Wirkstoff in den Kolben, dann kann auch die Teilung der Samenanlage auf 2 Fruchtknoten gehemmt werden.



Abb.3: **Ausdünnen** eines Kolbens in den oberen zwei Dritteln nach einem nicht fachgerechten Einsatz eines Sulfonylharnstoff-Herbizids

## 2. Die Vorbereitung der Eizellen auf die Befruchtung / Anzahl Körner pro Reihe:

Zunächst werden auf dem Kolben die Samenanlagen, wie im oberen Absatz beschrieben, angelegt. Dann müssen die Zellen ausdifferenzieren und reifen. Dieser Prozess ist dynamisch und beginnt bei den zuerst gebildeten Zellen an der Kolbenbasis und dauert bis circa eine Woche vor der Blüte. Parallel zu der Entwicklung an der Kolbenspitze differenzieren die nächsten, neu angelegten Blüten aus. Der Kolben braucht in dieser Zeit kontinuierlich genügend Nährstoffe und Wasser, um alle angelegten Fruchtknoten so auszubilden, dass sie Narbenfäden (Griffel) produzieren können und befruchtungsfähig sind. Stehen nicht genügend Nährstoffe und Wasser zur Verfügung, so wird die Pflanze die maximale Anzahl an befruchtungsfähigen Eizellen reduzieren, damit eine Mindestanzahl an Eizellen ausreichend versorgt ist und so die Vermehrung der Pflanze sichern kann. Welche Eizellen abgestoßen werden, hängt von der Länge, der Art und vor allem dem zeitlichen Auftreten der Stresssituation innerhalb der Kolbenentwicklung ab. Wurden die zuerst angelegten, unteren Eizellen durch Stress geschädigt, so kann die Pflanze durch eine bessere Versorgung der Zellen am oberen Kolbenende versuchen, die Schädigung wieder auszugleichen.

Einen moderaten, länger anhaltenden Stress kompensiert die Pflanze in der Regel über die Reduzierung der Eizellen an der Spitze des Kolbens, da die Zellen an der Kolbenbasis bereits weiter ausgereift sind und näher an der Nährstoffquelle sitzen. Ist der Stress kurz und sehr intensiv, kann die Reduzierung Eizellen verteilt über den ganzen Kolben betreffen. Der Kolben wird dann später ungleichmäßig bis sehr lückig aussehen.

Ein Foto von Kolben veranschaulicht die unterschiedlichen Auswirkungen von Umweltstress bei unterschiedlichem Entwicklungsstadium (Abb.4). In den Subtropen wurde am 20., 24. und 28. Dezember jeweils eine Parzelle Maispflanzen gesät. Während der frühen Phase der Kolbenbildung traten 2 Tage mit kühlen Temperaturen unter 10°C auf. Die Kolben der Parzelle mit dem ersten Aussaattermin hatten bereits

die Bildung der Eizellen fast abgeschlossen und entwickelten sich relativ normal. Die Pflanzen der zweiten Aussaat waren in der Mitte der kritischen Phase und zeigen Deformationen in der Mitte des Kolbens. Die Pflanzen der letzten Aussaat fingen gerade mit der Ausbildung der Eizellen auf dem Kolben an. Die zuerst angelegten, unteren Samenanlagen wurden so stark geschädigt, dass dort fast keine Körner zu finden sind. Die zuletzt ausgereiften, oberen Eizellen konnten sich wieder normal entwickeln. Zwischen dem ersten und letzten Aussaattermin lagen nur 8 Tage und trotzdem sehen die Kolben sehr unterschiedlich aus.



**December 20      December 24      December 28**

Abb. 4: Auswirkung von Kältestress auf Pflanzen mit unterschiedlichem Aussaattermin (Südhalbkugel)

Selten aber immer wieder finden sich Maisfelder mit Kolben, die im unteren Bereich eine normale Anzahl an Kornreihen besitzen, aber statt der üblichen 35-40 Körner pro Reihe nur 12-16 bilden und eine völlig kornlose Spitze besitzen (Abb.5). Diese Kolben können so gedrungen sein, dass sie wie eine Handgranate aussehen. Sie werden auch **Bierdosenkolben** genannt. An manchen findet sich an der Spitze ein Fortsatz, der wie ein Rispenarm oder ein rudimentärer Kolben aussieht. Die genaue Ursache ist nicht bekannt, es wird jedoch angenommen, dass während der Anlage der Eizellen, circa im 7-11-Blattstadium ein sehr starker Kältestress die weitere Kolbenentwicklung gestoppt hat. Eine zu späte Applikation von Sulfonylharnstoff-Herbiziden wird ebenfalls in einigen Quellen als mögliche Ursache genannt.



Abb. 5: Bierdosenkolben:  
in der Entwicklung  
stecken geblieben



Abb. 6: Fingerkolben:  
mehrere Kolben auf  
einem Kolbenstiel



Abb.7: „Bärentatze“:  
breiter, flacher Kolben,  
der manchmal mehrere  
Spitzen hat

Die Ursache von **Fingerkolbigkeit** ist ebenfalls nicht ganz geklärt (Abb.6). Am wahrscheinlichsten ist ein Temperaturstress während der Kolbenbildungsphase. Am Stiel eines jeden Kolbens befinden sich mehrere Knoten. Von jedem dieser Knoten

kann sich wiederum ein neuer Kolben entwickeln, der relativ normal, gedungen entwickelt oder ohne Körner sein kann.

Bei der Entstehung von breiten flachen Kolben, die zum Teil mehrere Spitzen haben können, werden kühle Temperaturen als mögliche Ursache angenommen (Abb.7).

### 3. Die Blüte / Anzahl befruchteter Eizellen am Kolben:

Für eine erfolgreiche Bestäubung muss lebender Pollen auf fruchtbaren Narbenfäden landen. Pollen kann innerhalb von wenigen Minuten bei hohen Lufttemperaturen (40°C) und starkem Trockenstress absterben, wenn der Wassergehalt im Pollen von 80 auf 40% absinkt. Liefert der Narbenfaden dem vitalen Pollen zur Schlauchausbildung zügig genügend Wasser und Nährstoffe, so kann die Eizelle auch bei höheren Temperaturen befruchtet werden. Genügend Wasser ist wichtig für das Wachstum der Narbenfäden, ihre Lebensdauer, die Versorgung der Pollenschläuche, der Eizelle und der Zygote. Nähere Informationen stehen in dem Artikel „Die Bedingungen zur Blüte beeinflussen den Kornansatz“ (Nummer 913).

Trockenheit kann das Wachstum der Narbenfäden verzögern und damit zu einem deutlich ungleichen Abblühen der Pflanze führen. Im Extremfall bedeutet es, dass bereits die Pollenausschüttung stattgefunden hat, bevor der Hauptteil der Narbenfäden aus den Lischblättern heraus gewachsen ist. Eine stark **verzögerte weibliche Blüte** ist zum Beispiel daran erkennbar, dass nur vereinzelt Körner im unteren Drittel des Kolbens befruchtet wurden. Die Narbenfäden an der Kolbenbasis wachsen schneller als die anderen und sind die ersten, welche zu sehen sind (Abb.8). Im leichteren Fall ist nur die Spitze oder das obere Drittel nicht bestäubt und kornlos. Die Spindel ist jeweils normal lang. Ist der Kolben am unteren Ende kornlos, so kann es sein, dass die ältesten Narbenfäden bereits abgestorben waren, bevor vitaler Pollen sie befruchten konnte oder sie das Pollenschlauchwachstum nicht unterstützen konnten (Abb.9). Die Maispflanze kann einen lückigen Kornansatz an der Basis des Maiskolbens kompensieren, indem sie an der Kolbenspitze mehr Körner produziert. Trockenstress kann auch zu einer insgesamt ungleichmäßigen Bestäubung führen. Im schlimmsten Fall sitzen nur einige zufällig verteilte Körner am Kolben (Abb.10).

**Frisst der Maiswurzelbohrer an den Narbenfäden, so kann es zu ähnlichen Schäden wie bei Trockenstress zur Blüte kommen.** Eine unvollständige Bestäubung kann auch durch Phosphat-Mangel hervorgerufen werden, ist aber selten.



Abb.8: Bestäubung nur am Anfang der weiblichen Blüte (links 2. und rechts am 3.Tag), Symptom wie bei verzögerter weibl. Blüte



Abb. 9: schlechter Kornansatz aufgrund von Trockenstress und Hitze zum Anfang der Blüte: nur die oberen Eizellen wurden zum Ende der Blüte befruchtet



Abb. 10: Trockenstress, Insektenfraß oder Phosphatmangel: generell lückiger Kornansatz, Kornreihen kaum erkennbar

Ist die Spitze des Kolbens unbesetzt und sind noch lange Narbenfäden innerhalb der recht fest geschlossenen Lieschblätter zu finden, spricht man von einer **Knäuelbildung der Narbenfäden**. Dieses Phänomen tritt häufiger bei Sorten mit recht engen Lieschblättern an der Kolbenspitze auf. Es wird angenommen, dass ungewöhnlich kühle Sommernächte während der Narbenwachstumsphase das Wachstum der Fäden der oberen Eizellen so schwächen, dass sie nicht durch die festen Lieschblätter mit den bereits dort durchgewachsenen älteren Narbenfäden dringen können. Sie wachsen dann innerhalb der Lieschblätter weiter und verdrehen sich (Abb.11).



Abb. 11: Knäuelbildung der Narbenfäden

Ist der Kolben ungewöhnlich lang, kann es sein, dass die letzten Narbenfäden der oberen Eizellen durch die Lieschblätter treten, wenn die männliche Blüte bereits abgeschlossen ist. Die Spitze dieser Kolben ist dann ebenfalls zur Ernte leer. Besonders bei sehr guter Versorgung mit Nährstoffen oder sehr dünner Bestandesdichte können extrem große Kolben angelegt werden. Manche Sorten zeigen häufiger unbekornete, leere Spitzen als andere Sorten. Leere Spitzen können daher neben Umwelt-Stress auch andere Ursachen haben.



Abb.12: Kolben mit leerer Spitze (Kolben mit „Nase“)

Narbenfäden können bis zu 10 Tage weiter wachsen, so lange sie nicht befruchtet werden (Abb.13 und 14). Ist eine Eizelle befruchtet worden, so trennt sie sich vom Narbenfaden. Ein bis 3 Tage nach der Befruchtung verbräunt der Narbenfaden sichtbar an der Pflanze. Der mögliche maximale Kornansatz lässt sich daher kurze Zeit später mit dem Schütteltest abschätzen (siehe Kasten).



Abb.13: sehr lange Narbenfäden aufgrund von mangelhafter Bestäubung, der Pollen fehlt nach einem schweren Hagelschaden

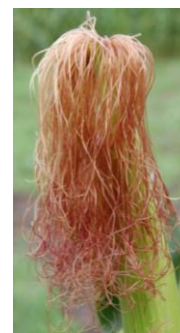


Abb.14: unbestäubte, lange Fäden



Abb.15: unbestäubter Kolben

#### Schütteltest: Den Kornansatz circa 3 Tage nach der Blüte schätzen:

1. Einen Kolben pflücken und vorsichtig die Lieschblätter öffnen.
2. Den Kolben vorsichtig am unteren Ende anfassen und mit der Spitze nach unten halten.
3. Den Kolben vorsichtig schütteln. Die Narbenfäden aller bestäubten Eizellen fallen dann ab. Die verbleibenden Fäden an den nicht befruchteten Samenanlagen zählen. Diese durch die Gesamtzahl aller Samenanlagen teilen und mal 100 rechnen. Dann diese Zahl von 100 abziehen. Das ergibt den Prozentsatz der erfolgreichen Bestäubung.

Nicht befruchtete Samenanlagen schrumpfen in der weiteren Kolbenentwicklung und sind nachher nicht mehr erkennbar. Die Spindel wächst während der Kornfüllungsphase, um Platz für die sich entwickelnden Körner zu machen. Nicht befruchtete Regionen auf dem Kolben sehen dementsprechend „leer“ aus. Ungefähr 10 Tagen nach der Befruchtung sind kleine, wässrige Körner sichtbar (BBCH71).

#### 4. Das Kornwachstum nach der Befruchtung / Korngröße:

Nach der Befruchtung beeinflusst nur noch das Korngewicht den maximal möglichen Kornertrag. Bis aus der erfolgreich befruchteten Samenanlage ein druschreifes Korn entstanden ist, vergehen ungefähr 8 Wochen. In den ersten 3 Wochen entwickelt sich hauptsächlich der Embryo. Danach liegt der Schwerpunkt auf der Bildung von Speichergewebe und der Einlagerung von Stärke, der Kornfüllungsphase. Die Körner an der Kolbenbasis entwickeln sich etwas früher und liegen näher an der Quelle der Assimilate als die Körner an der Spitze. Verringert Stress die zur Verfügung stehenden Assimilate, so sterben die Körner an der Spitze daher zuerst ab (Abb.16). Die Reduzierung geht so lange, bis die zur Verfügung stehende Menge an Assimilaten für die verbleibenden Körner ausreicht. Die abgestorbenen Körner werden schrumpelig, heller und bleiben rudimentär zu sehen. Bei starkem Stress findet die Reduktion der Körner über den ganzen Kolben verteilt statt (Abb.17). Manchmal sterben die Körner nicht nur an der Spitze sondern auch entlang einer oder mehrerer Reihen ab (Abb.18). Die Kolben können dann auch gekrümmt sein. Gerade bei Trockenheit sind die Kolben häufig klein, unförmig, verbogen und können weniger Reihen und Körner haben.



Abb.16: Reduzierte Spitze aufgrund von Trockenheit und Hitze, Blattkrankheiten, starker Bewölkung oder Nährstoffmangel



Abb. 17: Abstoßung von Körnern aufgrund von starkem Trockenstress



Abb. 18: Abstoßung von Kornreihen aufgrund von starkem Trockenstress; möglich auch bei N- und Bor-Mangel oder Blattverlust

Auch Nährstoffmangel kann eine schlechte Kolben- oder Kornfüllung oder gänzlich kornlose Kolben bedingen (Tabelle 1). Die Pflanze zeigt dann aber auch parallel an den Blättern Mangelsymptome, welche zuzuordnen sind.

Symptom am Kolben	Nährstoffmangel und Ursachen mit ähnlichen Symptomen
Schlecht gefüllte Spitze, leichter Kolben, sehr lose, schrumpelige, schlecht gefüllte Körner	Schwerer Kalium-Mangel Aber auch anderer Stress während der Teigreife: früher Frost, Verlust von Blattfläche durch Krankheiten oder Hagel, schlechte Nährstoffversorgung oder Absterben der Pflanze durch Stängelfäule
Kleine Kolben mit lückigem Kornansatz, manchmal verbogen und mit schlecht gefüllten Körnern (bei Cu-Mangel durch Blütendeformation)	Phosphatmangel, Kupfermangel, Kalkmangel, Insektenfraß an Narbenfäden, Trockenheit
Keine oder verzögerte Blütenbildung, nur wenige, deformierte Körner	Zinkmangel
Kleiner Kolben mit leerer Spitze, manchmal deformiert und mit weniger Kornreihen (und bei N-Mangel mit geringem Gehalt an Rohprotein)	Stickstoffmangel (früh und zur Hauptbedarfszeit) Trockenheit Zu hohe Bestandesdichte
Reduzierte Kolbenspitze	N-Mangel zum Beginn der Kornbildung bis zur Milchreife Trockenheit
Kurze, ungleichmäßig befruchtete Kolben mit leeren Spitzen und ungleichmäßig entwickelten Körnern, manchmal gekrümmte Kolben wenn Reihen fehlen	Bormangel (nur auf sauren, armen Sandböden, Symptom hauptsächlich am Kolben – Bodenprobe wichtig) Trockenheit
Verzögerte Kornausbildung, fahlgelbe Maiskörner	Schwefelmangel

Tab.1: Nährstoffmangelsymptome am Kolben



Abb. 19: N-Mangel Kolben auf der rechten Seite, links die gut versorgten Kolben (einer Sorte)

Tritt während der Einlagerungsphase vor der Bildung des Schwarzen Punktes ein Verlust von Blattfläche durch Krankheiten oder Hagel auf oder stirbt die Pflanze frühzeitig durch Stängelfäule oder Frost, so erreichen die Maiskörner nicht ihre maximale Größe. Trockenheit ab Zeitpunkt der Teigreife führt ebenfalls zu etwas kleineren Körnern. Im Extremfall findet eine schnelle Notabreife statt. Ist der Schwarze Punkt entwickelt, gibt es keine weitere Einlagerung in das Korn. Der maximale Ertrag des Kolbens vor der Ernte ist dann definitiv festgelegt.

Der Kornertrag pro Kolben setzt sich aus der Kornanzahl und dem Gewicht jedes einzelnen Korns zusammen. Dabei ist die Anzahl der Körner der weitaus wichtigste Faktor für den Kornertrag. Ein kleiner Verlust an Körnern erzeugt keinen großen Verlust im Kornertrag, da die umliegenden Körner der Fehlstelle etwas größer werden und dabei den Verlust in geringem Maß ausgleichen können. Werden die Fehlstellen jedoch zahlreicher, so können die auf dem Kolben entstehenden Körner diesen Mangel nicht mehr über ein höheres Gewicht ausgleichen. Nach Otegui et al. (1995) beruhen ungefähr 85 % der Kornertragsschwankungen in der Regel auf der Anzahl der Körner pro Fläche, während die restlichen 15 % von der veränderlichen Korngröße beeinflusst werden. Das bedeutet, wenn 2 Maisfelder den gleichen Kornertrag haben, haben sie mit großer Wahrscheinlichkeit auch die gleiche Anzahl Körner pro Fläche. Dabei produziert das Feld mit der höheren Bestandesdichte wahrscheinlich mehr aber dafür auch kleinere Kolben als das Feld mit der niedrigeren Bestandesdichte.

Ertragsverluste durch Trockenheit hängen wie oben beschrieben vom zeitlichen Auftreten und von der Dauer des Trockenstresses ab. Die frühe vegetative Entwicklung ist dabei nicht so kritisch bei Wassermangel, wie die anderen Phasen. Am größten sind die Verluste durch Trockenstress kurz vor und während der Blüte und Befruchtung. Tritt während der Kornbildung und -füllung bis zur Teigreife Wassermangel auf, so können die Verluste beim Silage-Ertrag zwischen 40 und 20 % liegen.

#### **Zusammenfassung:**

Kleine, abgestoßene oder fehlende Körner können den Zeitpunkt für das Auftreten von Stress anzeigen: Wurden keine Körner an einem Teil des Kolbens angesetzt, so trat der Stress vor oder während der Bestäubung auf. Sehr kleine oder eingetrocknete Körner belegen einen Stress während der Kornfüllungsphase. Sind nur die oberen Körner etwas kleiner, aber nicht abgestorben und eingetrocknet, so trat der Stress nur zum Ende der Kornfüllungsphase auf.

**Referenzen:** Otegui, M. E., F. H. Andrade, and E. E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research* 40: 87-94.

Hurle, K., Mehrrens, J., Meinert, G. 2005. Mais: Unkräuter, Schädlinge, Krankheiten. Verlag Th. Mann. Nährstoffmangelkrankungen: Seite 132 – 137

Ohio State University. Extension Service. Abnormal Corn Ears.  
<http://agcrops.osu.edu/corn/EARABNORMALITIES.php>

IOWA State University. Extension and Outreach. Corn Field Guide.

Strachan, S.D. 2010. Corn Grain Yield in Relation to Stress During Ear Development. *Crop Insights*. Volume 14 No. 1.

---

#### **Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH**

Apensener Str. 198, 21614 Buxtehude

Tel.: 0 41 61 / 737-0, Fax: 0 41 61 / 737-100, E-Mail: [piode@pioneer.com](mailto:piode@pioneer.com), Internet: [www.pioneer.com/de](http://www.pioneer.com/de)

Das DuPont Oval Logo ist ein eingetragenes Warenzeichen von DuPont. ®, TM, SM sind Warenzeichen und Dienstleistungsmarken von Pioneer. © 2012 PHIL.