

**Trotz relativ enger Reife-Ertrags-Beziehung
ist die Prognose des zu erwartenden
Ertrag nicht befriedigend möglich**

**Buschbohnen
Prognose, Ertrag
Reife, Qualität**

Zusammenfassung

Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Dresden-Pillnitz wurden 2008 an vier Sätzen mit jeweils zwei Sorten Ertragsparameter von Buschbohnen im Verlauf von 10 Tagen vor bis 7 Tagen nach einer praxisüblichen Ernte untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Bohnenertrag 7 Tage vor dem optimalen Erntetermin im Mittel erst bei rund 30 % des möglichen Ertrages liegt und mit jedem weiteren Tag um knapp 10 %-Punkte zunimmt. Gerade diese starke Ertragszunahme machte es allerdings schwierig, den potentiellen Ertrag eine Woche im Voraus verlässlich zu prognostizieren.

Versuchshintergrund u. -frage

Zur besseren Planung der Verarbeitungskapazitäten sucht die Verarbeitungsindustrie ein einfaches Prognosemodell, mit dem der Erntetermin, insbesondere aber die Erntemenge ca. eine Woche voraus prognostiziert werden kann. In einem ersten Versuchsjahr sollten zunächst der Ertragsverlauf mit zunehmender Reife und erste Kenngrößen für die Definition des Reifezustandes erarbeitet werden.

Material und Methoden

Zur Einbeziehung unterschiedlicher Witterungsverläufe wurden von Mitte Mai bis Anfang Juli insgesamt 4 Sätze Buschbohnen mit jeweils der fein sortierenden Sorte (Schwerpunkt bei 8,0 bis 9,0 mm Hüsendurchmesser) 'Stanley' und der sehr feinen (6,5 bis 8,0 mm) 'Flevaro' ausgesät. Dabei wurden mit drei Wiederholungen jeweils 9 Reihen ausgesät, so dass (ohne den 2 Randreihen) 7 Reihen = 7 potentielle Erntetermine möglich waren.

Die erste Ernte eines Satzes bzw. einer Sorte erfolgte, wenn größere Mengen 'pflückbarer' Hülsen an den Pflanzen vorhanden waren und der voraussichtliche Erntetermin in ca. einer Woche zu erwarten war. Danach wurden, unter Einbeziehung des Witterungs- und damit Reifeverlaufs, im Abstand von 2 bis 4 Tagen weitere Ernten durchgeführt. Als 'Normalernte' wurde der Erntetermin festgelegt, an dem bei einem Bruchtest nach dem Urteil von 2 Personen erste Hülsen Anzeichen von beginnender Bastigkeit zeigten. Auch das Urteil der Pflückkräfte (Gärtnerinnen) wurde bei der Qualitätsbeurteilung einbezogen; es deckte sich ausnahmslos mit dem Ergebnis des Bruchtests. In einigen Fällen wurde aber bei dem folgenden Erntetermin (wieder übereinstimmend) festgestellt, dass die Bohnen immer noch eine gute Qualität aufwiesen; hier wurde dann der Termin der Normalernte entsprechend korrigiert.

Direkt vor einer Ernte wurden für die Bestimmung des **TrockenSubstanz**gehaltes 3 repräsentative Pflanzen je Parzellen (bei 3 Wiederholungen insgesamt 9 Pflanzen) herausgezogen und anschließend sämtliche Hülsen abgepflückt. Der TS-Gehalt wurde durch Trocknung bei 105°C bestimmt.

An weiteren 9, bei den späteren Ernteterminen eines Satzes 6 Pflanzen wurden sämtliche Hülsen nach ihrem Durchmesser ab 4 mm im 1 (bis 9 mm) bzw. 1,5 mm-Raster (10,5, 12,0 mm) mit Hilfe einer Lochschablone nach ihrem Durchmesser sortiert. Nach Auszählung und Wiegung jeder Größenklasse wurden die Bohnen in ca. 1 bis 1,5 cm lange Stücke geschnitten und die verschiedenen Größenklassen wieder vermischt. 100 g dieser Mischung wurden in die 'Kramer-Shear-Zelle' eines FTC-Tenderometers eingefüllt, durch Tauchen in Wasser befeuchtet und dann der Tenderometerwert bestimmt (3 Messwiederholungen).

**Versuche im deutschen Gartenbau
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz
Bearbeiter: Hermann Laber**

2 0 0 8

Kulturdaten:

16. Mai 2008: Aussaat 1. Satz: $50 \times 6,1$ cm (33 Korn/m^2); Sorten: fein: 'Stanley' (Enza), sehr fein: 'Flevoro' (Neb/PV) (3 Folgesaaten bis 3. Juli)
20. Mai: Aufdüngung des 1. Satzes auf 110 kg N/ha (0-60 cm) mit KAS (spätere Sätze ohne N-Düngung, da entsprechend hohe N_{min} -Vorräte)
17. Juli: erste Ernte des 1. Satzes ($4 \text{ lfd. m} = 2 \text{ m}^2$, 3 Wiederholungen)
18. Sept.: letzte Ernte des 4. Satzes
- Pflanzenschutz: Herbizideinsatz praxisüblich, intensive Bekämpfung von *Sclerotinia* bzw. *Botrytis*, um entsprechenden Ertragseffekten vorzubeugen

Bei der eigentlichen Ernte der Parzellen wurden nahezu sämtliche Hülsen einer Pflanze von Hand geerntet (nur Hülsen mit einer Länge von weniger als ca. 2 cm mussten nicht unbedingt abgepflückt werden, da sie beim Gewichtsertrag praktisch keine Rolle spielen). Die für die Trockensubstanz- und Sortierungsbestimmung geernteten Bohnen wurden bei der Ertragsauswertung mit eingerechnet. Der Ertrag z.B. an Hülsen $> 6 \text{ mm}$ wurde auf Basis der Sortierbestimmung für den gesamten Parzellenertrag hochgerechnet.

Ergebnisse

Das Ertragsniveau (Hülsen $> 6 \text{ mm}$) lag zum Normalerntetermin im Mittel der 4 Sätze bei 202 dt/ha ('Stanley') bzw. 189 dt/ha bei 'Flevoro' (Tab.). Der häufig beschriebene Abfall des Ertragsniveaus bei späteren Aussaatterminen zeigte sich nicht (Abb. 1).

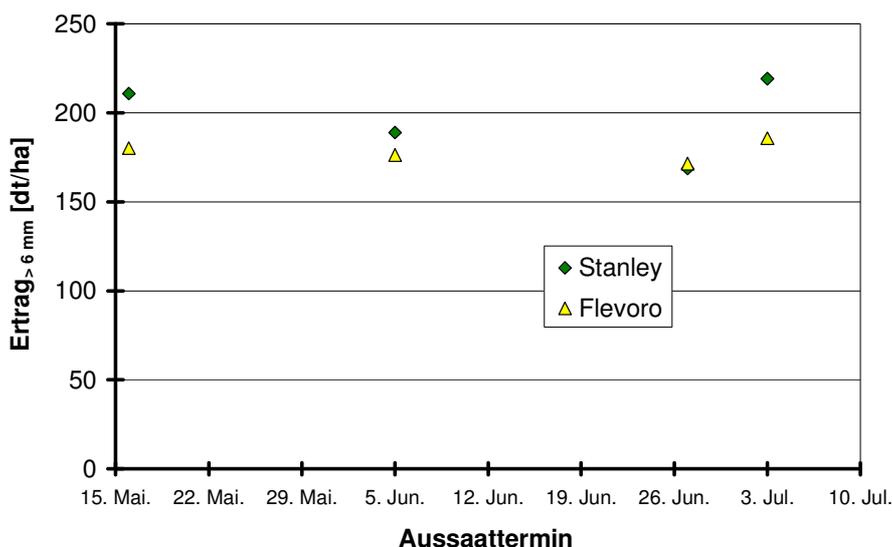


Abb. 1: Ertrag von Bohnen $> 6 \text{ mm}$ bei Normalernte in Abhängigkeit vom Aussaattermin
(Mittelwerte über jeweils drei Wiederholungen)

Trotz des geringfügig unterschiedlichen Ertragsniveaus der beiden Sorten ließen sich bei der Darstellung des Ertragsverlaufs mit zunehmender Reife beide Sorten problemlos zusammenfassen. Neben der quadratischen Funktion (Abb. 2) ließ sich der Ertragsverlauf auch gleich gut mit einem 'Linear Response and Plateau-Modell' beschreiben, aus dem tägliche Ertragszuwächse vor der Normalernte von $19,2 \text{ dt/ha}$ abzuleiten sind (Abb. 3). Damit fiel der tägliche Ertragszuwachs deutlich höher aus als von NEUVEL (1994) angegeben, der, in Abhängigkeit von dem Reifestadium, täglich Ertragszunahmen von 3 bis 10 dt/ha anführte.

Bei Umrechnung in einen Relativertrag (Normalernte = 100 %) ergibt sich ein täglicher Zuwachs von knapp 10 %-Punkten (Abb. 4)*. Das heißt, dass z. B. 7 Tage vor der Normalernte im Mittel erst gut 30 % des potentiellen Ertrags realisiert sind und so bei einer stichprobenartigen Ertrags Erfassung auf den Ertrag bei Normalernte geschlossen werden könnte.

* Auf Basis der Daten eines niederländischen Versuchs ergibt sich nur ein täglicher Ertragszuwachs von 6,5 %-Punkten, doch kann dies u. a. darauf beruhen, dass die Festsetzung des Normalerntetermins bezüglich des Reifegrads von dem hiesigen abweicht. Auch ein langsamerer Ertragszuwachs auf Grund der möglicherweise kühleren Temperaturen ist denkbar.

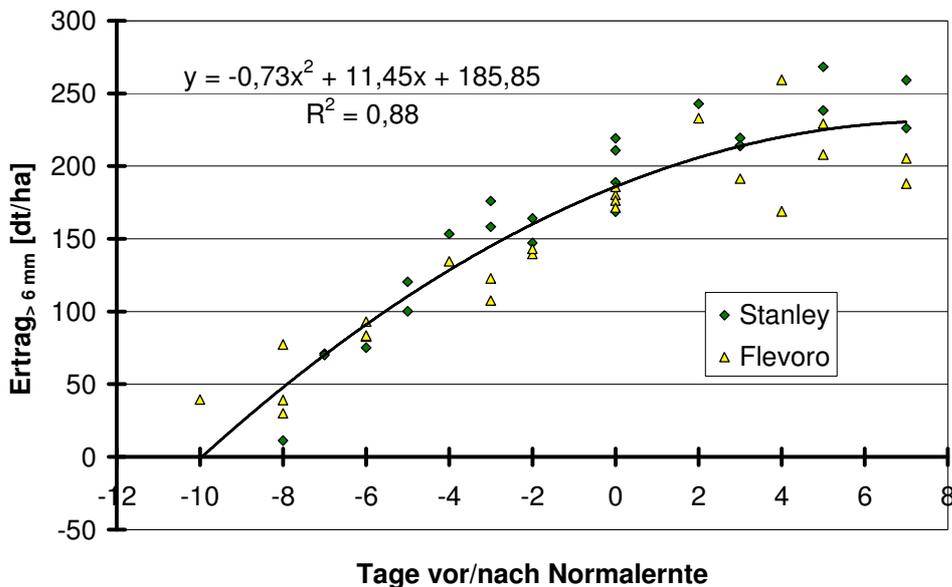


Abb. 2: Ertrag von Bohnen > 6 mm in Abhängigkeit von Erntetermin
 (4 Sätze, Mittelwerte über jeweils drei Wiederholungen)

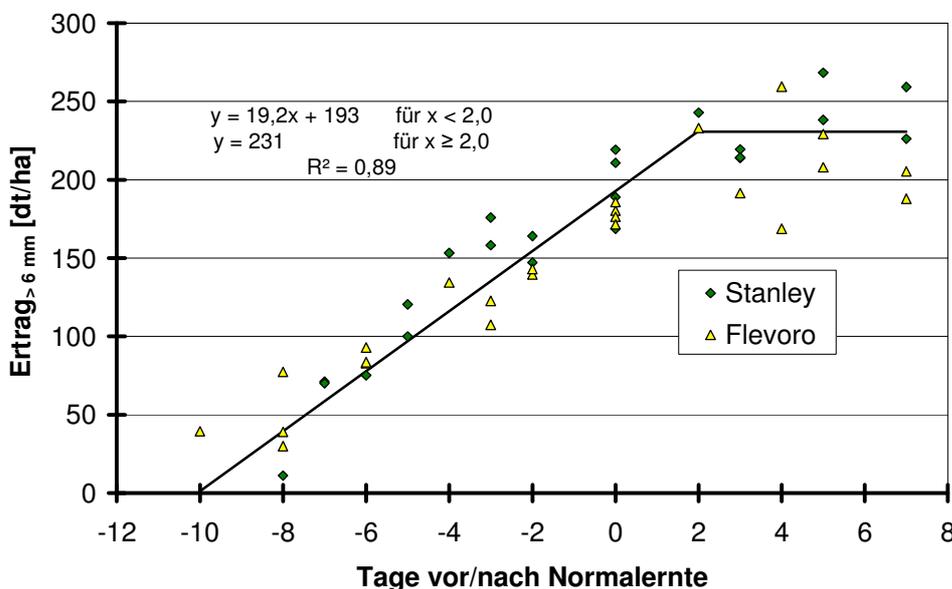


Abb. 3: Ertrag von Bohnen > 6 mm in Abhängigkeit von Erntetermin

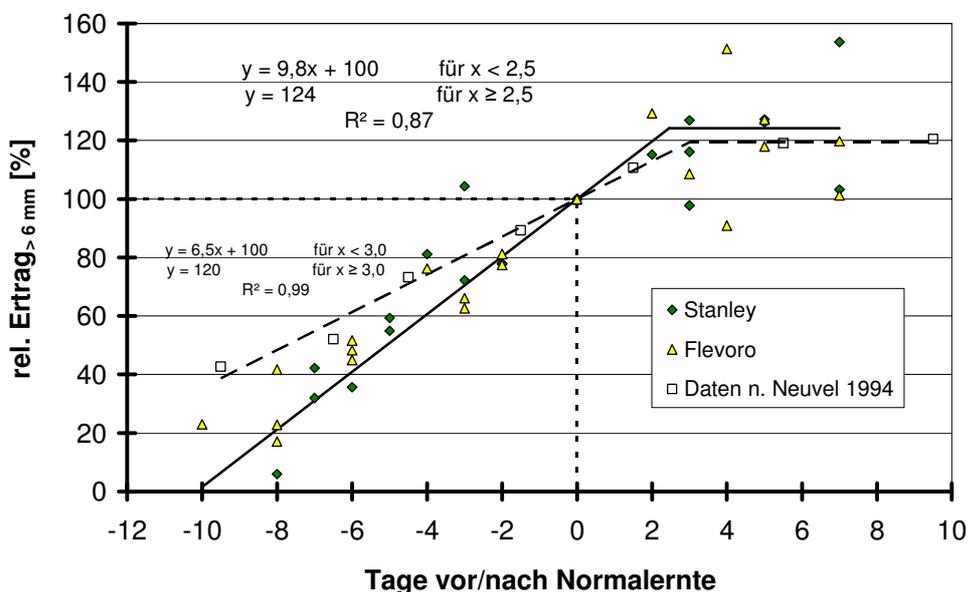


Abb. 4: Relativer Ertrag (Ertrag am Normalerntetag = 100 %) in Abhängigkeit von Erntetermin
 (Daten nach NEUVEL 1994 basieren (offensichtlich) nur auf einem Satz/Versuch, Erntetermin mit Samenanteil von ca. 12 % (= "sehr gute Qualität") wurde als Normalernte angesetzt.)

Leider ist die 'Hochrechnung' des potentiellen Ertrags trotz der relativ engen Reife-Ertrags-Beziehung in keinsten Weise befriedigend: Prognostiziert man auf Basis des 6 bis 8 Tage vor der Normalernte (= 1. Ernte; bei 'Flevoro', 3. Satz = 2. Ernte) ermittelten Ertrages das Ergebnis am Normalerntetag, so sind in 2 von 8 Fällen die Erträge stark über- bzw. unterschätzt (Abb. 5). Auch eine Ertragsschätzung auf Basis des Ertrags an Bohnen > 4 mm (die ja innerhalb einer Woche die notwendige Größe von 6 mm erreichen könnten, vgl. auch unten) brachte keinerlei Verbesserung der Prognose.

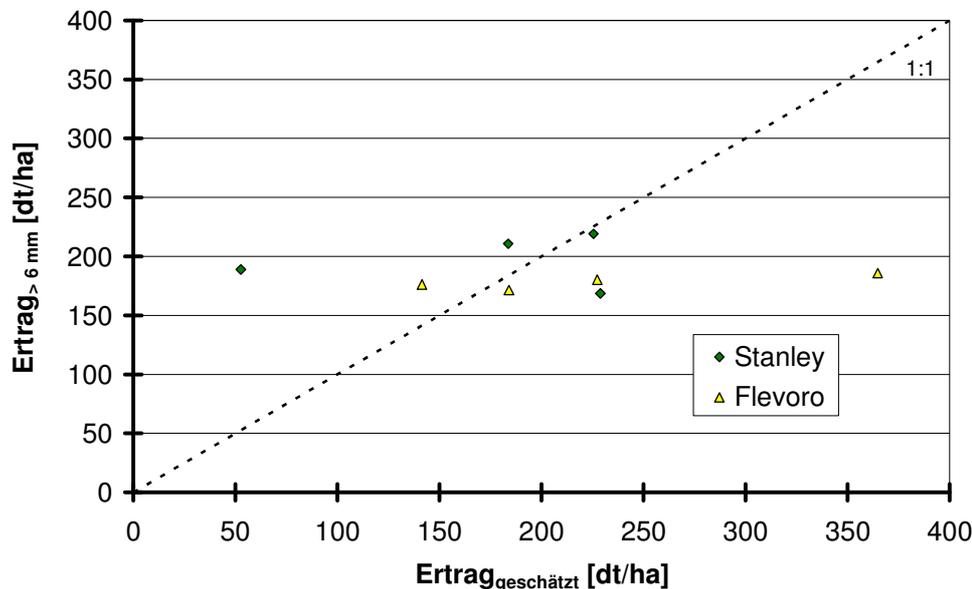


Abb. 5: Geschätzter Ertrag auf Basis der Ertrages an Bohnen > 6 mm 6 bis 8 Tage vor der Normalernte (täglich Ertragszuwachs 9,8 %-Punkte entsprechend Regressionsgleichung in Abb. 4) und tatsächlicher Ertrag am Normalerntetag

Der tägliche Ertragszuwachs ist sicherlich auch von den jeweils herrschenden Temperaturen abhängig. Im Versuch zeigte sich allerdings keine Verbesserung der Reife-Ertrags-Beziehung, wenn statt der Tage vor/nach Normalernte die entsprechende Wärmesumme eingesetzt wurde (Abb. 6). Entsprechend brachte auch eine Wärmesummen-basierte Ertragsprognose keine Vorteile.

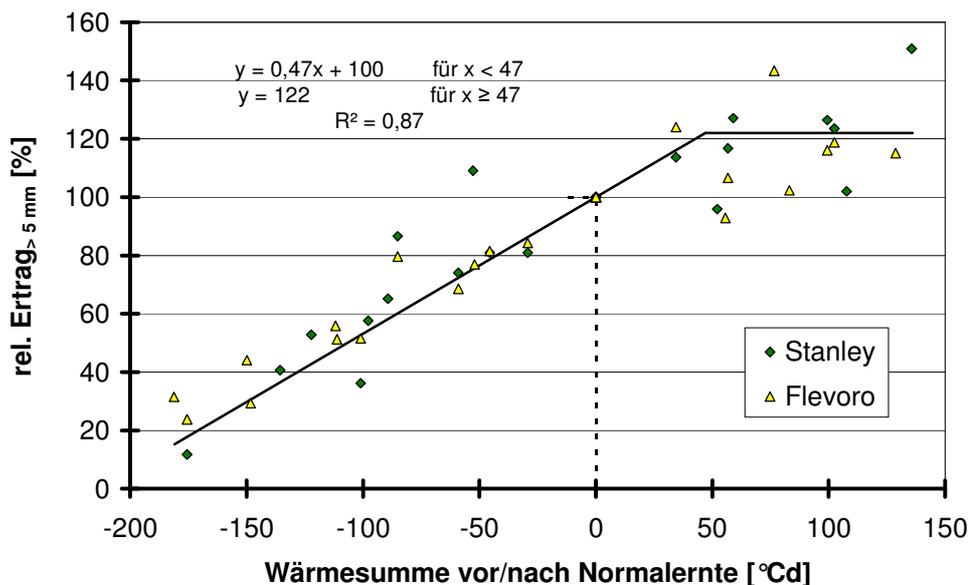


Abb. 6: Relativer Ertrag in Abhängigkeit von der Wärmesumme (Basistemperatur 0 °C) vor/nach der Normalernte

Ein anderer Prognoseansatz wäre es, von der Anzahl (an potentiell erntefähigen) Hülsen pro Pflanze bzw. m² auf den Ertrag zu schließen. In der Praxis wird hier teilweise folgende 'Faustformel' angewendet:

$$\text{Anzahl Hülsen}_{\text{potentiell erntefähig}} / \text{Pflanzen} \div 2 = \text{t/ha.}$$

Bei Berücksichtigung von durchschnittlich 20 % Ernteverlusten bei einer maschinellen Ernte und Berechnung auf Basis sämtlicher 6 bis 8 Tage vor der Normalernte vorhandener Hülsen konnte mit dieser 'simplen' Gleichung der Ertrag mit einem 'Ausreißer' erstaunlich gut prognostiziert werden (Abb. 7). Setzt man allerdings nur die Anzahl Hülsen > 4 mm ein, von denen man annehmen kann, dass sie innerhalb einer Woche den geforderten Durchmesser von mindestens 6 mm erreichen werden, so kommt es generell zu ein Unterschätzung.

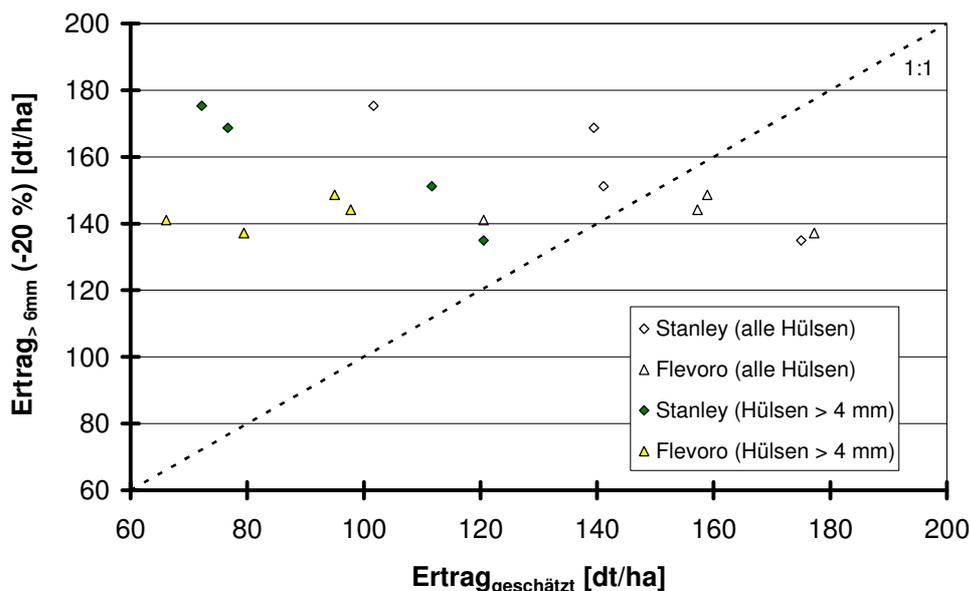


Abb. 7: Geschätzter Ertrag auf Basis der Anzahl Hülsen pro Pflanze 6 bis 8 Tage vor dem Normalerntetag und tatsächlicher Ertrag (reduziert um 20 %) am Normalerntetag

Das eine Woche vor der Haupternte aus der Anzahl an Hülsen > 4 mm nur mäßig auf den Ertrag am Normalerntetag geschlossen werden kann wird auch daran deutlich, dass 6 bis 8 Tage vor der Haupternte im Mittel nur 16,1 ('Stanley') bzw. 16,9 ('Flevoro') Hülsen > 4 mm pro Pflanze gefunden wurden, während zur Ernte 22,0 ('Stanley') bzw. 21,5 ('Flevoro') Hülsen > 6 mm pro Pflanze vorhanden waren. Damit müssen auch noch kleinere Hülsen als 4 mm innerhalb der Woche die erforderliche Größe von mindestens 6 mm erreicht haben. Im Versuch wurde allerdings nur noch die Anzahl an Hülsen < 4 mm erfasst; ob eine noch weitere Sortierung z.B. in eine Klasse '3 bis 4 mm' für eine Ernteprognose-Methode praktikabel ist, ist allerdings zu bezweifeln. Möglicher Weise ist die Erfassung der kleineren Sortierung besser über die Länge der Hülsen möglich, im Versuch wurde dieses allerdings nicht durchgeführt.

Generell besteht auch noch das Problem, vor der Ernte abzuschätzen, wann ein Bestand voraussichtlich erntereif sein wird. Aus der Literatur ist bekannt, dass mit zunehmender Reife u. a. der **TrockenSubstanz**gehalt der Hülsen zunimmt (Zusammenfassung bei LABER 2006, die Literaturdaten beziehen sich allerdings eher auf den Zeitraum nach der Normalernte). Im Versuch zeigte sich ebenfalls ein entsprechender Zusammenhang (Abb. 8): Eine Woche vor der Normalernte lagen die TS-Gehalte um 7 bis 7,5 %, während am Normalerntetag im Mittel TS-Gehalte von 8,0 ('Stanley') bzw. 8,5 % ('Flevoro') gefunden wurden. Der nur geringe Anstieg bzw. die Streuung lassen es aber wenig aussichtsreich erscheinen, von dem TS-Gehalt mit ausreichender Genauigkeit auf den (zukünftigen) Reifegrad schließen zu können. (Im Versuch wurde allerdings jeweils der TS-Gehalt sämtlicher Hülsen bestimmt; möglicherweise führt eine getrennte Ermittlung für die verschiedenen Größenfraktionen zu einer engeren und damit brauchbareren Beziehung.)

(Die am Normalerntetag gefundenen TS-Gehalte von 7,6 bis 8,8 % korrespondieren mit Ergebnissen des Bundessortenamtes (ZORN 1966, vgl. LABER 2006), die unterhalb eines TS-Gehaltes von 9 % "gute" bis "noch gute" Qualitäten ausweisen. FERREIRA et al. (2006) definieren dagegen eine "optimale Qualität" mit einem TS-Gehalt von 10 %, ein Wert der bei ZORN bei "noch brauchbaren" Bohnen-Qualitäten gefunden wurde.)

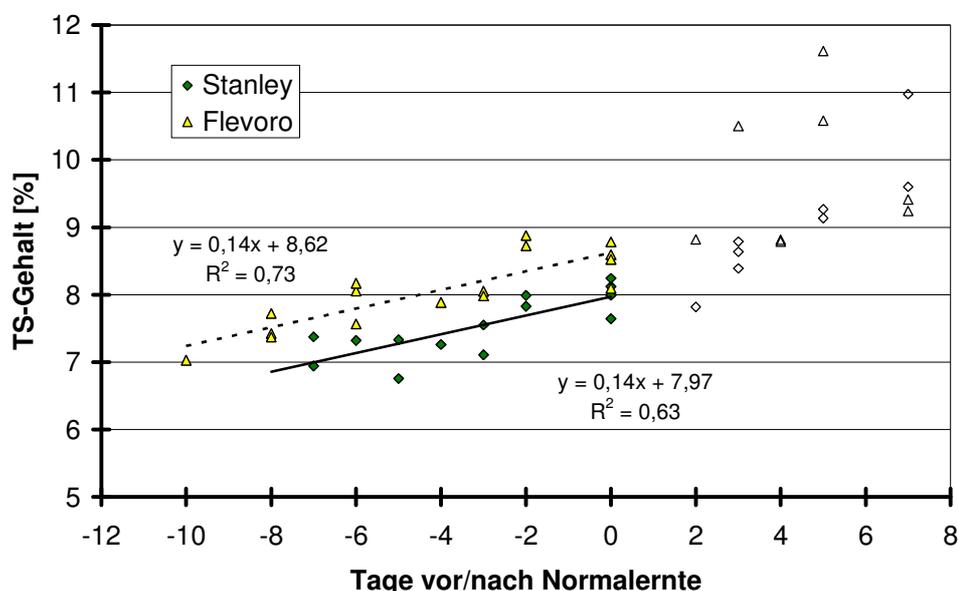


Abb. 8: Zunahme des Trockensubstanzgehaltes der Hülsen aller Sortierungen mit zunehmender Reife (die Regressionsgleichungen wurde nur für den für die Prognose relevanten Bereich bis zur Normalernte berechnet)

Entsprechend der Streuung bei der TS-Zunahme mit zunehmender Reife zeigte sich bei 'Stanley' keine 'brauchbare' Beziehung zwischen dem TS-Gehalt und dem Ertrag (Abb. 9). Bei 'Flevoro' fiel diese Beziehung deutlich enger aus, eine Prognose auf Basis eines ca. eine Woche vor dem Normalerntetag ermittelten Ertrages und dessen TS-Gehalt war damit aber in keinster Weise möglich.

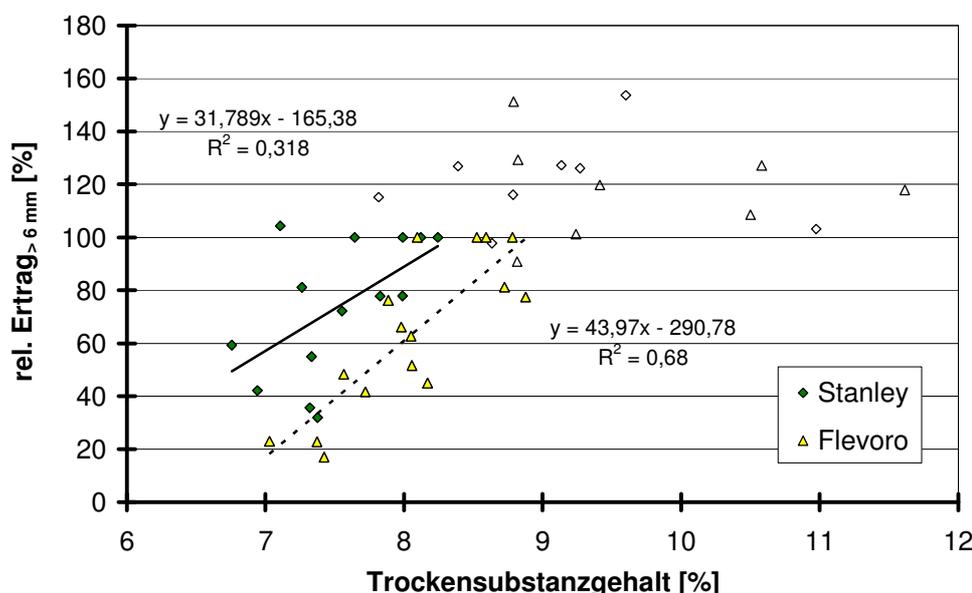


Abb. 9: Relativer Ertrag (Ertrag am Normalerntetag = 100 %) in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt der Hülsen (die Regressionsgleichungen wurde nur für den für die Prognose relevanten Bereich bis zur Normalernte berechnet)

Auch der Tenderometerwert der Hülsen nahm mit zunehmender Reife zu, die Streuung fiel aber noch etwas höher als beim TS-Gehalt aus (Abb. 10), so dass dieser Parameter (dessen Bestimmung zudem größeren Aufwand als die Bestimmung des TS-Gehaltes erfordert) für die Reifebestimmung bzw. Ertragsprognose nicht als besonders geeignet erscheint.

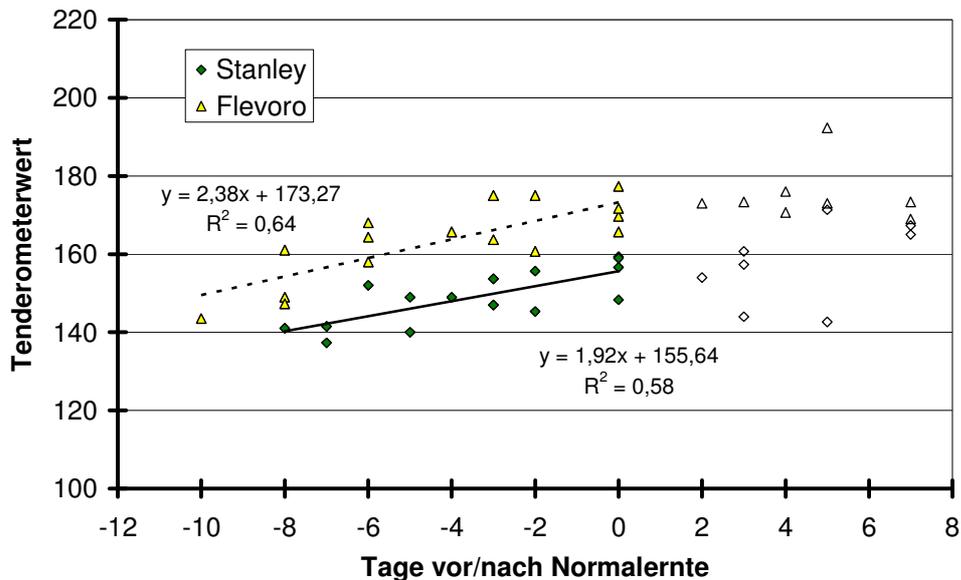


Abb. 10 Zunahme des Tenderometerwertes der Hülsen aller Sortierungen mit zunehmender Reife (die Regressionsgleichungen wurde nur für den für die Prognose relevanten Bereich bis zur Normalernte berechnet)

Fazit

Die enge Reife-Ertrags-Beziehung 'weckte die Hoffnung', ein geeignetes Ertrags-Prognosemodell finden zu können. Der sehr starke Ertragszuwachs innerhalb einer Woche ist aber letztendlich auch dafür verantwortlich, dass sich bei der Hochrechnung des Ertrages über eine Woche kleine 'Fehler' zu massiven Fehleinschätzungen aufbauen können. Eine Lösungsmöglichkeit für dieses Problem ist bisher nicht in Sicht.

Literatur:

FERREIRA, M.E., A. DE VARENNES, J.P. DE MELO-ABREU and M.I. VIEIRA 2006: Predicting pod quality of green beans for processing. *Scientia Horticulturae* **109**, S. 207-211

LABER, H. 2006: Erntereifebestimmung bei Buschbohnen. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung 04/2006, S. 45-57 (auch www.hortigate.de)

NEUVEL, J.J. 1994: Teelt van Stamslabonen, Flageolets en Bruine Bonen. Teelthandleiding Nr. 66, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad

ZORN, Chr. 1966: Zur Frage der Haltbarkeit von Grünen Bohnen. *Industrielle Obst- und Gemüseverwertung* **51**, S. 129-133

Tab.: Ertrags- und Qualitätsergebnisse (Ergebnisse der Normalernte **fett** markiert)

Aussaat	1. Satz		2. Satz		3. Satz		4. Satz	
	16.5.		5.6.		27.6.		3.7.	
	Stanley	Flevoro	Stanley	Flevoro	Stanley	Flevoro	Stanley	Flevoro
1. Ernte	17.7	17.7	31.7	31.7	25.8	25.8	1.9	3.9
Tage vor/nach ¹⁾	-6	-6	-8	-8	-7	-10	-7	-8
Hülsen _{> 4 mm} /Pfl. ²⁾	15	20	11	13	24	14	14	19
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl. ²⁾	7	10	2	4	12	6	7	12
Hülsen _{gesamt} /Pfl. ²⁾	28	31	28	24	35	30	20	32
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha] ³⁾	75	93	11	30	71	39	70	77
TS-Gehalt [%] ⁴⁾	7,3	8,1		7,4	6,9	7,0	7,4	7,7
TW-Wert ⁵⁾	152	168	141	149	137	144	142	161
2. Ernte	21.7	21.7	4.8	4.8	27.8	27.8	3.9	5.9
Tage vor/nach	-2	-2	-4	-4	-5	-8	-5	-6
Hülsen _{> 4 mm} /Pfl.	27	30	22	24	23	16	18	16
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.	20	19	17	17	16	7	13	9
Hülsen _{gesamt} /Pfl.	32	35	30	33	31	35	23	24
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]	164	140	153	134	100	39	120	84
TS-Gehalt [%]	7,8	8,9	7,3	7,9	6,8	7,4	7,3	8,2
TW-Wert	156	175	149	166	140	147	149	164
3. Ernte	23.7	23.7	6.8	6.8	29.8	29.8	5.9	8.9
Tage vor/nach	0	0	-2	-2	-3	-6	-3	-3
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.	24	23	19	16	20	11	18	17
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]	211	180	147	143	176	83	158	123
TS-Gehalt [%]	7,6	8,6	8,0	8,7	7,1	7,6	7,6	8,0
TW-Wert	157	177	145	161	147	158	154	175
4. Ernte	25.7	25.7	8.8	8.8	1.9	1.9	8.9	11.9
Tage vor/nach	2	2	0	0	0	-3	0	0
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.	38	40	23	19	22	22	18	24
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]	243	233	189	176	169	107	219	186
TS-Gehalt [%]	7,8	8,8	8,1	8,8	8,0	8,1	8,2	8,5
TW-Wert	154	173	148	166	159	164	159	172
5. Ernte	28.7	28.7	11.8	11.8	4.9	4.9	11.9	15.9
Tage vor/nach	5	5	3	3	3	0	3	4
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.	24	32	23	23	16	21	17	24
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]	268	229	219	191	214	171	214	169
TS-Gehalt [%]	9,1	10,6	8,8	10,5	8,4	8,1	8,6	8,8
TW-Wert	171	192	144	173	157	170	161	176
6. Ernte			13.8	13.8	8.9	8.9	15.9	18.9
Tage vor/nach			5	5	7	4	7	7
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.			18	27	21	43	18	34
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]			238	208	259	259	226	188
TS-Gehalt [%]			9,3	11,6	9,6	8,8	11,0	9,2
TW-Wert			143	173	165	171	167	173
7. Ernte						11.9		
Tage vor/nach						7		
Hülsen _{> 6 mm} /Pfl.						25		
Ertrag _{> 6 mm} [dt/ha]						205		
TS-Gehalt [%]						9,4		
TW-Wert						169		

¹⁾ Tage vor bzw. nach der Normalernte (= praxisüblichen Ernte); ²⁾ Hülsendurchmesser ermittelt an einer Stichprobe von 3 bzw. 2 Pflanzen pro Wiederholung; ³⁾ Mittelwert über die Wiederholungen, Ernte aller Hülsen, Hochrechnung des Ertrages > 6 mm auf Basis des Sortierergebnisses der Stichprobe;

⁴⁾ Trockensubstanzgehalt: ermittelt an einer Stichprobe von 3 Pfl./Wiederholung, Bohnen aller Sortierungen;

⁵⁾ Tenderometerwert (3 Messwiederholungen) ermittelt an einer Stichprobe von 3 bzw. 2 Pflanzen pro Wiederholung, Hülsen aller Sortierungen auf ca. 1 bis 1,5 cm Länge geschnitten, 100 g Hülsen je Messwiederholung