MANGSTL, Anton und REINER, Ludwig: Konzeption eines pflanzenbaulichen Produktionsmodelles

1. Einleitung

Die Entwicklung von Modellen wird in der Pflanzenbauforschung künftig einen breiten Raum einnehmen. Unsere Arbeitsgruppe verfolgt das Konzept, für alle Entscheidungsschritte von der Saat bis zur Ernte arbeitsfähige Teilmodelle zu erarbeiten.

Beispiele:

- o Sortenwahl (SORTINFO)
- o Düngung (DÜNGPLAN)
- o Herbizidplan (HERBIS) u.a.

Diese Teilmodelle werden mit Hilfe des bayerischen Datenfernverarbeitungsnetzes von den Beratern intensiv genutzt und laufend verbessert.

Das sicher interessanteste Modell für die Simulation eines Weizenbestandes kommt von RITCHIE in Texas.

2. Das RITCHIE-Modell zur Simulation eines Weizenbestandes

Das Modell wurde unter der Leitung von J. RITCHIE in Temple, Texas entwickelt. R.A. FISCHER arbeitete dabei besonders intensiv an Ertrag und Ertragskomponenten, J.N. GALLAGHER an den 'vegetativen und Biomasse-Teilen' des Modells. Weitere Wissenschaftler leisteten technische Hilfe. Diesem Vortrag liegt die Diplomarbeit von Elisabeth HOLL, die sich sehr eingehend mit dem Modell befaßt hat, zugrunde (HOLL, 1982).

Eine grobe Übersicht über das Modell liefert das Flußdiagramm in Abbildung 1 auf Seite 264.
Die einzelnen Wachstumsstadien werden mit ISTAGE 1-9 bezeichnet (Abbildung 1 auf Seite 264). Die Stadien sind wie folgt definiert:

ISTAGE 7 = von Brache bis Saat

ISTAGE 8 = von Saat bis Keimung

ISTAGE 9 = von Keimung bis Feldaufgang

ISTAGE 1 = von Feldaufgang bis Beginn der generativen Phase ('Floral Initiation')

ISTAGE 2 = von Floral 'Initiation' bis Bildung des letzten Ährchens ('Terminal Spikelet')

ISTAGE 3 = von 'Terminal Spikelet' bis Ährenschieben

ISTAGE 4 = von Ährenschieben bis Ende der Blüte

ISTAGE 5 = von Ende der Blüte bis Reife (physiologische Reife)

ISTAGE 6 = Tag der Reife

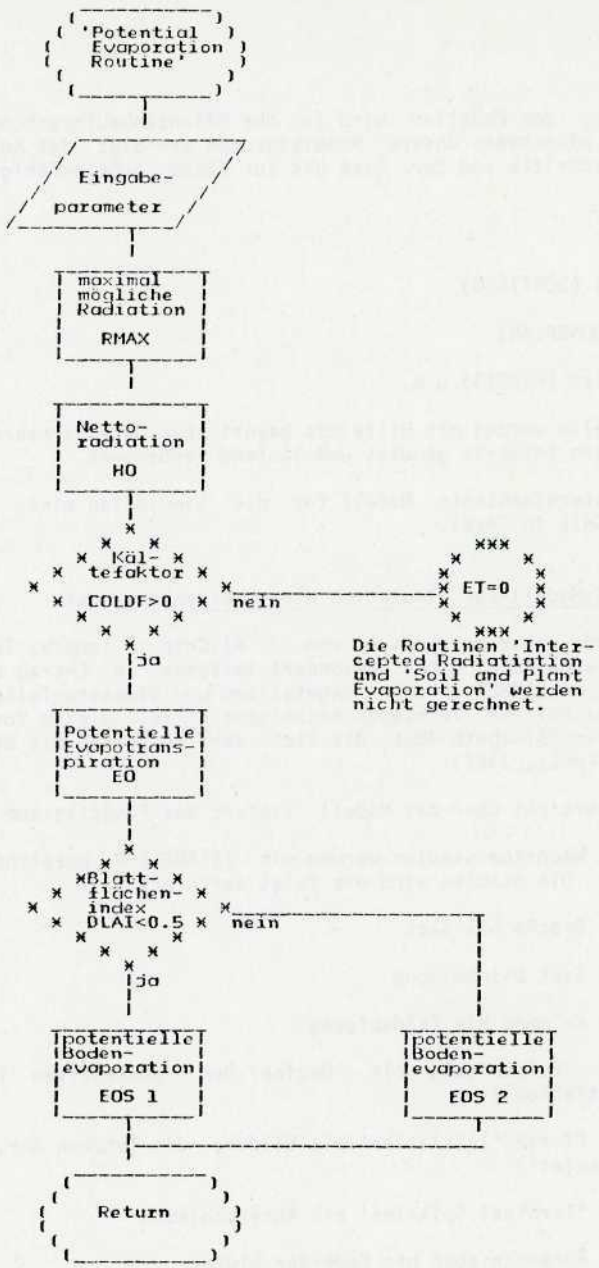


Abbildung 1: Das RITCHIE-Modell 'Version Mai-79'

2.1 Erklärung der Eingabeparameter

Das Modell benötigt 4 verschiedene Typen der Eingabe:

1. Tägliche Witterungsdaten, bestehend aus:

   - Maximaltemperatur (grd C)
   - Minimaltemperatur (grd C)
   - Niederschlag (mm)
   - Solarradiation (cal/qcm und Tag)

2. Angaben zur Saat:

   - Saatdatum
   - Saattiefe (mm)
   - Saatdichte (Pflanzen/qm)

3. Bodeninformationen, bestehend aus:

   - Zahl und Stärke der berücksichtigten Bodenschichten (mm)
   - Zum Saatzeitpunkt pflanzenverfügbares Wasser in den betreffenden Bodenschichten (ccm/ccm)
   - Nutzbare Feldkapazität in den betreffenden Bodenschichten (ccm/ccm)
   - Konstante zur maximal möglichen Bodenevaporation
   - Albedo der Bodenoberfläche

4. Genetisch sortenspezifische Parameter, bestehend aus:

   - 'F3' = Konstante, die die Vernalisationsintensität eines Jahres in Verbindung mit der Vernalisationsempfindlichkeit einer Sorte angibt (Std./VVD**2)
   - 'F4' = Konstante, die die Vernalisationsempfindlichkeit der Sorte angibt (VVD)
   - 'P5' = benötigte Wärmesumme ab Blühende, um zur Reife zu kommen (grd C-Tage)

Die Benennung VVD bedeutet 'Vernalisationstage'. Die Werte dieser Parameter sind für deutsche Verhältnisse geschätzt, da die Möglichkeit, sie experimentell zu bestimmen, nicht besteht.

2.2 Subroutinen des RITCHIE-Modelles

Das Modell besteht aus 18 Subroutinen. Diese Subroutinen führen von der Evaporation und Wasserbilanz, der Vernalisation, des Blattflächenindexes bis hin zu den Ertragsstrukturkomponenten umfangreiche Berechnungen durch.
Drei dieser Subroutinen sollen kurz vorgestellt werden.

2.2.1 Berechnung der Bodenwasserbilanz

Eingabeparameter für die Subroutine:

- Tatsächliche Evapotranspiration (mm/Tag)
- Niederschlag (mm/Tag)
- Anzahl der zugrunde gelegten Bodenschichten (7)
- Stärke der einzelnen Schichten (250 mm)
- Maximal pflanzenverfügbares Bodenwasser in jeder Schicht (ccm/ccm)
- Aktuelles pflanzenverfügbares Wasser in jeder Schicht (ccm/ccm), (Wert des vorhergehenden Tages)

Berechnet wird vom Modell das pflanzenverfügbare Wasser für die einzelnen Bodenschichten.

2.2.2 Berechnung des Blattflächenindexes

Eingabeparameter für die Subroutine:

- Tangens des Breitengrades (grd)
- Dauer der Dämmerung (Std.)
- Wärmeeinheiten (grd C-Tage)
- Bodenwasserdefizitindex
- Blattflächenindex des vorhergehenden Tages (qm/qm)
- Triebe pro qm

In dieser Routine werden

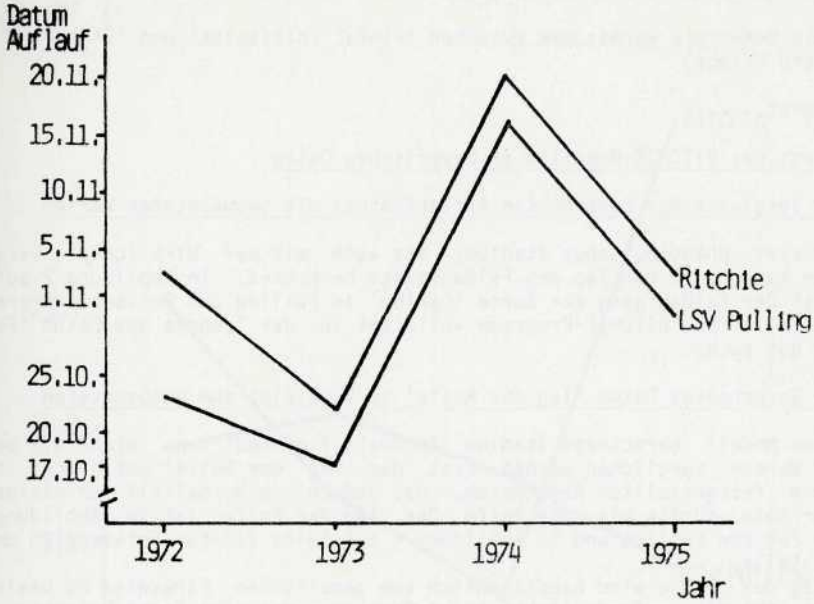
- die Tageslänge einschl. Dämmerung (Std.)
- der tägliche Blattflächenzuwachs eines Triebes (qm/Tag) und
- die tägliche Blattfläche pro Bodenfläche (qm/qm)

berechnet.

2.2.3 Bestimmung des Beginns der generativen Phase (Floral Initiation)

Eingabeparameter für die Subroutine:

- Reale Wärmesumme seit Feldaufgang (grd C-Tage)
- Notwendige Wärmesumme seit Feldaufgang, um das Stadium 'Floral Initiation' zu erreichen (grd C-Tage)
- Tag im Jahr: IDATE
- Tag im Monat: I



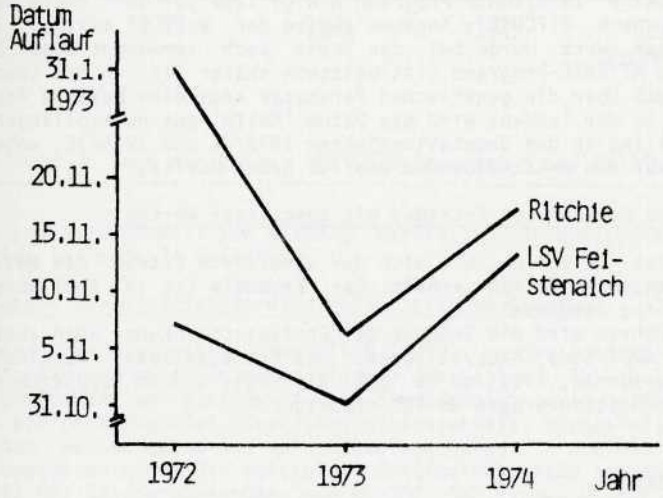


Abbildung 2: Auflaufdatum: RITCHIE-Programm - LSV Pulling und Feistenaich

In dieser Routine werden

- o der Eintrittstermin des Stadiums 'Floral Initiation' und
- o die benötigte Wärmesumme zwischen 'Floral Initiation' und 'Blüte' (grd C-Tage)

berechnet.

2.3 Test des RITCHIE-Modelles an bayerischen Daten

2.3.1 Vergleich des berechneten Auflaufdatums mit beobachteten Werten

Als erstes phänologisches Stadium, das auch mit der Wirklichkeit verglichen werden kann, wird der Tag des Feldaufgangs berechnet. In Abbildung 2 auf Seite 267 ist der Feldaufgang der Sorte 'Caribo' in Pulling und Feistenaich graphisch dargestellt. Das RITCHIE-Programm vollzieht in der Tendenz das Datum 'Feldaufgang' gut nach.

2.3.2 Berechnetes Datum 'Tag der Reife' im Vergleich zum beobachteten

Das vom Modell berechnete Stadium 'Anthesis finished' kann nicht mit beobachteten Werten verglichen werden. Erst der 'Tag der Reife' entspricht in etwa unserem festgestellten Erntedatum, das jedoch im Normalfall um einige Tage später sein dürfte als die Reife. Der Tag der Reife ist in Abbildung 3 auf Seite 269 für Pulling und in Abbildung 4 auf Seite 270 für Feistenaich und Haar dargestellt.
Der Tag der Reife wird hauptsächlich vom genetischen Parameter P5 beeinflußt. Dieser gibt die erforderlichen grd C-Tage an, die eine Sorte braucht, um vom Stadium 'Anthesis finished' zur Reife zu kommen. Bei 8 vergleichbaren Werten ist sechsmal die Reife im RITCHIE-Programm einige Tage vor der Ernte der Landessortenversuche. Nach RITCHIE's Angaben sollte der Wert P5 maximal 700 grd C-Tage sein. Dieser Wert wurde bei den Tests auch verwendet. Das Stadium 'Ährenschieben' im RITCHIE-Programm ist meistens später als in den Landessortenversuchen, so daß über die genetischen Parameter kaum eine bessere Anpassung zu erreichen ist. In der Tendenz wird das Datum 'Reife' gut nachvollzogen. Eine Ausnahme macht Pulling in den Vegetationsjahren 1972/73 und 1975/76, wobei auch hier das Bodenwasser den entscheidenden Einfluß haben dürfte.

2.3.3 Vergleich des berechneten Ertrages mit gemessenen Werten

Sehr interessant ist letztlich, wie sich der simulierte Ertrag des Weizens im Vergleich zum gemessenen Ertrag verhält. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 auf Seite 271 für Pulling dargestellt.
In den geprüften Jahren wird die Tendenz der Ertragsschwankung, wenn auch nicht mit der gleichen Amplitude, nachvollzogen. Das Ertragsniveau, verglichen mit den Landessortenversuchen, liegt um ca. 30% niedriger und im Vergleich mit den bayerischen Durchschnittserträgen um 10% niedriger.

3. Künftige Arbeiten

In Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern (RITCHIE, Temple/Texas, SCAMMEL Rothamstaed, HANUS, Kiel u.a.) soll das vorhandene Modell für Weizen weiterentwickelt werden. Nach dem Schema für das Weizenmodell hat Dr. SCAMMEL ein Gerstenmodell entwickelt. Dieses Modell ist seit kurzem in Weihenstephan implementiert. Unsere Arbeitsgruppe arbeitet sehr intensiv an verschiedenen Teilmodellen (SORTINFO, SEPTPROG, HERBIS, DÜNGPLAN u.a.). Einige dieser Teilmodelle können Subroutinen im RITCHIE-Modell ersetzen oder können in Richtung Produktionstechnik erweitert werden. Den Kern eines umfassenden Modells soll das

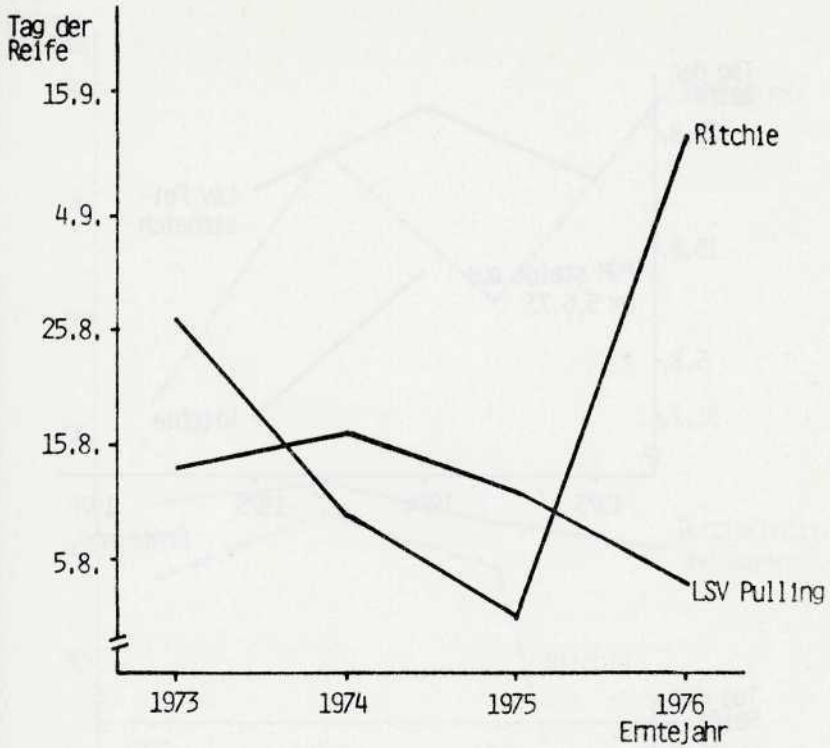


Abbildung 3: Tage der Reife: RITCHIE-Programm - LSV Pulling

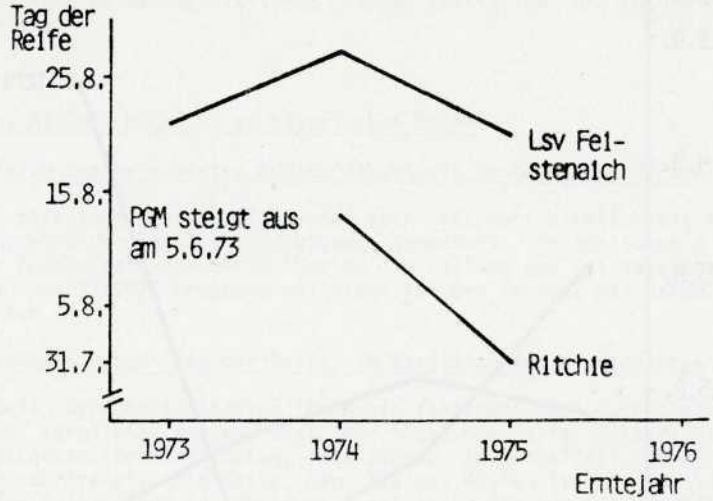
Weizensimulationsmodell von RITCHIE darstellen. An zwei Beispielen werden die geplanten Teilmodelle erläutert.

1. Prognose der Eintrittstermine phänologischer Stadien

Im Rahmen der Disseration von OTTER (1982) wurden Schätzgleichungen für die Eintrittstermine phänologischer Stadien erarbeitet. In Tabelle 6 auf Seite 272 sind für Sommer und Winterweizen im Bundesgebiet sowie differenziert nach Regionen einige Kenngrößen dieser Regressionsansätze dargestellt.
Neben dem Aussaatdatum und der Höhenlage gehen in die Gleichungen vor allem Witterungsdaten ein. Die multiplen Bestimmtheitsmaße schwanken zwischen 0,75 und 0,97 bei Stichprobengrößen von n>1000. Der Einbau dieser Gleichungen in das Modell von RITCHIE läßt eine wesentlich höhere Vorhersagegenauigkeit des Eintrittstermines phänologischer Stadien erwarten.

2. Konzeption von Modellbausteinen im Hinblick auf den Erfolg von Pflanzenbehandlungsmaßnahmen

In der Dissertation von ANDERL (1982) wurden die Landessortenversuche der Fruchtart Weizen im Bundesgebiet (1969 - 1980, ca. 100 000 Parzellen) auch im



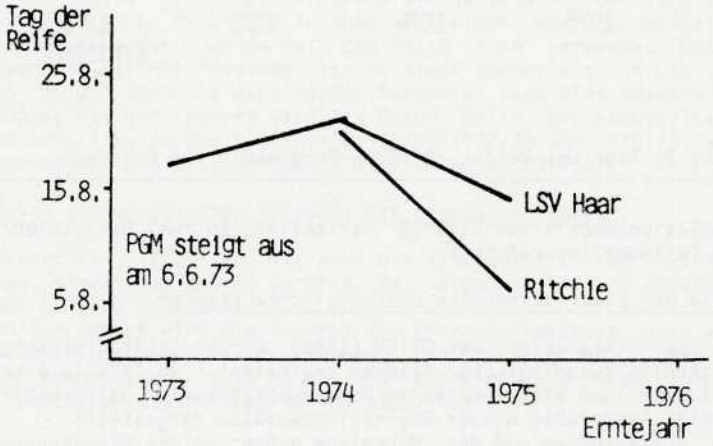


Abbildung 4: Tag der Reife: RITCHIE-Programm - LSV Feistenaich und Haar

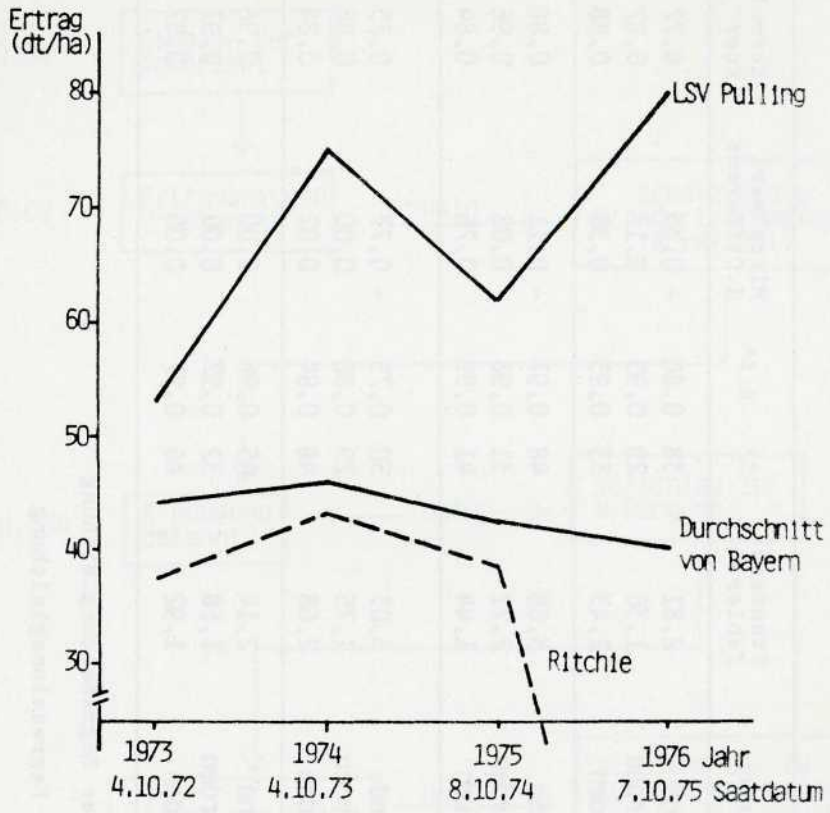


Abbildung 5: Erträge von 1973-1976 RITCHIE-Programm - LSV Pulling

Hinblick auf die Entwicklung von Modellbausteinen ausgewertet. Am Beispiel des Cycocel-Einsatzes (CCC) soll dieses Vorgehen erläutert werden.
Abbildung 7 auf Seite 273 stellt das Flußdiagramm für den Einsatz von CCC dar. Es soll anhand dieses Beispiels das Vorgehen bei der Anwendung derartiger Flußdiagramme erläutert werden. Es ist zunächst notwendig, die Ackerzahl anzugeben. Die Parameter 'Ertragsniveau', 'N-Düngung' und 'Lagerdruck' können aufgrund persönlicher Erfahrung und Standortkenntnis vorgegeben oder geschätzt werden.

Tabelle 6: Statistische Kenndaten der Schätzgleichungen für Ährenschieben und Gelbreife

Fruchtart	phänolog. Stadium	Region	Standard-fehler	Z*	B %*	Mittelwert d.Differenz	Korrel. Koeff.
SOMMER-WEIZEN	Ähren-schieben	Bund	2,81	38	0,86	- 0,33	0,77
		Norden	1,36	29	0,93	0,17	0,87
		Süden	2,43	33	0,93	0,38	0,88
	Gelb-reife	Bund	3,68	48	0,97	- 0,11	0,86
		Norden	2,22	31	0,96	0,08	0,96
		Süden	1,44	41	0,99	0,76	0,84
WINTER-WEIZEN	Ähren-schieben	Bund	3,03	50	0,75	- 0,73	0,75
		Norden	1,75	29	0,86	0,00	0,86
		Süden	2,68	48	0,84	0,02	0,84
	Gelb-reife	Bund	2,14	45	0,96	0,00	0,96
		Norden	1,58	32	0,97	0,00	0,97
		Süden	1,92	46	0,97	0,00	0,97

Z* = Zahl der Variablen in der Regressionsgleichung

B %* = Bestimmtheitsmaß in der Regressionsgleichung

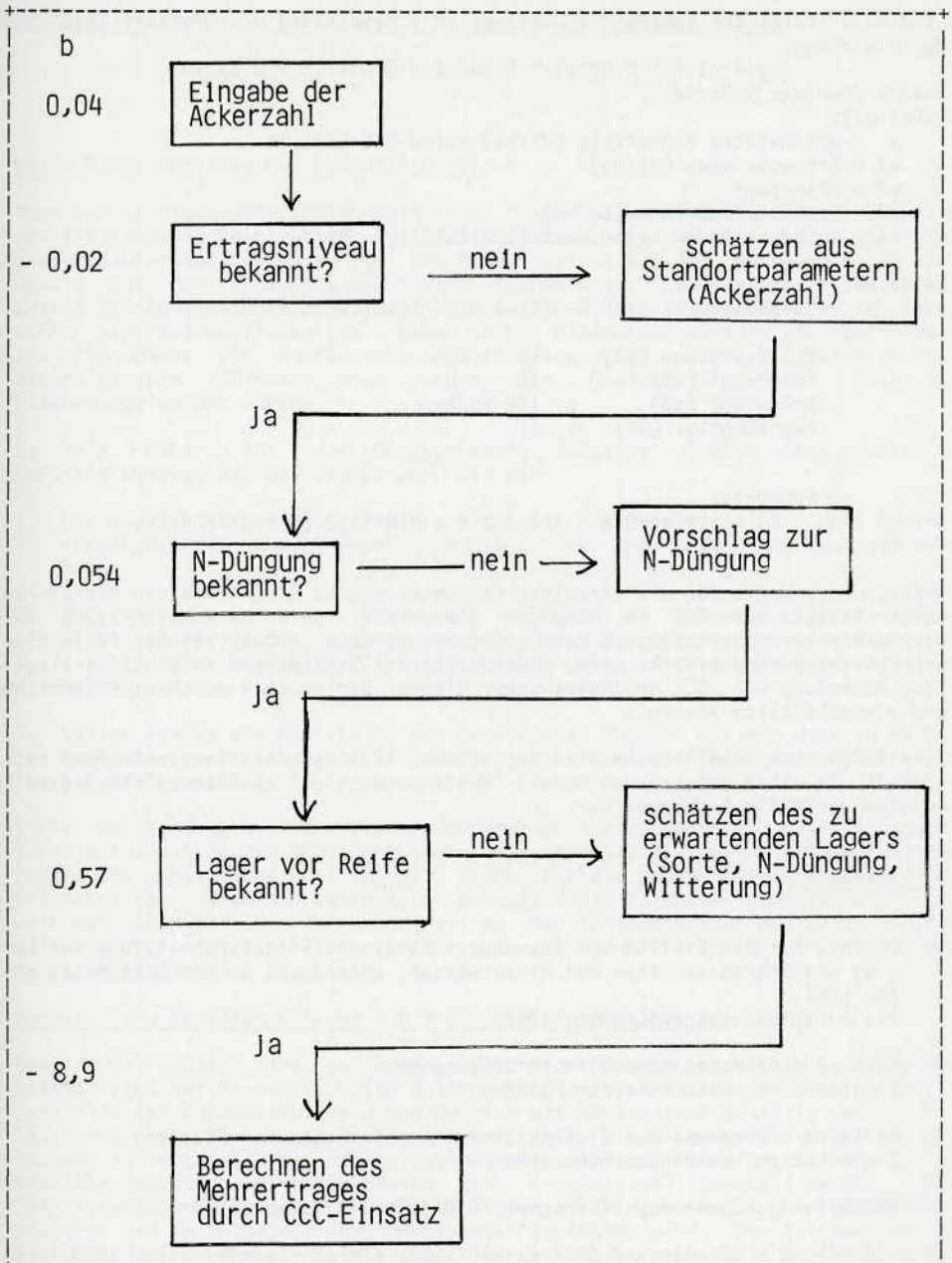


Abbildung 7: Flußdiagramm zum Einsatz von CCC

Sind alle Parameter bekannt, so erfolgt die Berechnung des Mehrertrages nach der Gleichung:

$$y = -8.9 - 0.02*x1 + 0.04*x2 + 0.054*x3 + 0.57*x4$$

Standardfehler: 5 dt/ha

wobei gilt:

y = Geschätzter Mehrertrag (dt/ha) durch CCC-Einsatz
x1 = Ertragsniveau (dt/ha)
x2 = Ackerzahl
x3 = Stickstoffdüngung (kg/ha)
x4 = zu erwartender Lagerdruck (Bonitur 1 bis 9)

Beispiel:

Parameter		Wert bzw. Schätzwert
Ertragsniveau (x1)	:	60 dt/ha
Ackerzahl (x2)	:	60
N-Düngung (x3)	:	160 kg/ha
Lagerbonitur (x4)	:	5

Ergebnis:

$$y = -8.9 - 1.2 + 2.4 + 8.64 + 2.85 = 3.79 \text{ dt/ha}$$

Aufgrund der Werte für die einzelnen Parameter ergibt sich somit ein Mehrertrag durch Einsatz von CCC in Höhe von 3.8 dt/ha. Unter Berücksichtigung des Standardfehlers der Schätzung kann gefolgert werden, daß in 66% der Fälle eine Ertragsveränderung bewirkt wird, die zwischen -1.2 dt/ha und +8.8. dt/ha liegt. Eine Anwendung von CCC erscheint unter diesen Bedingungen durchaus angebracht und wirtschaftlich sinnvoll.

Herr ANDERL hat ähnliche Ansätze für andere Pflanzenbehandlungsmaßnahmen entwickelt. In einem umfassenden Modell 'Weizenproduktion' stellen solche Bausteine eine wertvolle Ergänzung dar.

4. Literatur

1. ANDERL, A.: Der Einfluß von Standort, Sorte und Pflanzenbehandlung auf Ertrag und Ertragsstruktur bei Winterweizen, untersucht an der Datenbasis von ISPFLANZ.
   Dissertation, Weihenstephan, 1982

2. HOLL, E.: Produktionsmodelle im Pflanzenbau.
   Diplomarbeit, Weihenstephan, 1982

3. OTTER, S.: Prognose der Eintrittstermine phänologischer Stadien.
   Dissertation, Weihenstephan, 1982

4. RITCHIE, J.: Wheat-May 79 Program. USDA, Temple/Texas, 1979

5. RITCHIE, J.: Climate and Soil Water. USDA, SEA-AR, Temple/Texas, 1980