

Effektivität der Kalkung und Stickstoffdüngung bei Weizen auf vier verschiedenen Böden im Bundesstaat Santa Catarina (Brasilien)*

The effect of lime and nitrogen fertilization of wheat in the Federal State of Santa Catarina (Brasil)

Von H. Winkler**)

1. Einleitung

Zu einem bedeutenden Weizenimportland hat sich nach dem 2. Weltkrieg Brasilien entwickelt. Im Verlauf der letzten sechs Jahre mußten jährlich ca. 2 Mio. t Weizen, d. h. etwa die Hälfte des Inlandsverbrauchs, eingeführt werden, um den auf Weizenprodukte wie Weißbrot, Spaghetti etc. eingestellten Konsum einer stark wachsenden Bevölkerung sicherzustellen (3). Der augenblickliche Weizenverbrauch in Brasilien dürfte bei 35 kg/Einwohner u. J. liegen, jedoch wird in den nächsten Jahren eine Zunahme bis auf 100 kg/Einwohner u. J. erwartet (5). Das würde unter den gegebenen Bedingungen bedeuten, daß der bereits beträchtliche Devisenabfluß für den Weizenimport sich noch erhöhen wird, wenn es nicht gelingt, die Inlandsproduktion wesentlich zu steigern.

Seit einigen Jahren werden große Anstrengungen unternommen, die einheimische Weizenproduktion durch Erhöhung der Flächenerträge und durch Inkulturnahme bisher nicht als Ackerland genutzter Ländereien zu steigern. Dabei kommt der Ertragssteigerung besonderer Bedeutung zu, weil in Anbetracht der niedrigen Durchschnittserträge von etwa 1000 kg/ha durch gezielten Einsatz von Kalk und Mineraldünger kurzfristig Ertragssteigerungen zu erwarten sind. Es wurden deshalb in den Jahren 1970 und 1971 an mehreren Orten des Bundesstaates Santa Catarina auf verschiedenen Böden Feldversuche durchgeführt, um die Wirkung der Kal-

*) Die Arbeit wurde im Rahmen der technischen Hilfe der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt und finanziell gefördert von der landwirtschaftlichen Beratungsorganisation ACARESC, der Secretaria da Agricultura (SC) und der Versuchsstation Caçador-SC (Ministério da Agricultura).

***) Dr. Hans Winkler, Diplomagraringenieur, Mitarbeiter der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), z. Z. in Südbrasilien tätig.

Anschrift: D 5202 Hennef/Sieg, In der Aue 5

kung und Stickstoffdüngung auf den Weizenertrag festzustellen. Über die Ergebnisse wird nachfolgend berichtet.

2. Standortverhältnisse, Versuchsmethodik

2.1. Klima, Witterung

Nach Köppen, zit. bei Lago (6), befindet sich der Bundesstaat Santa Catarina im subtropisch, feuchten Klimabereich. Der größte Teil des Untersuchungsgebietes zeichnet sich durch einen kühlen Sommer, der Rest durch einen warmen Sommer aus. Die klimatischen Verhältnisse gestatten den Anbau von Weizen (1).

Die jährlichen Niederschläge schwanken zwischen 1500 bis 2300 mm. Sie sind über das ganze Jahr gut verteilt. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 16 bis 18° C. Die Witterungsverhältnisse in den zwei Versuchsjahren entsprachen weitgehend dem langjährigen Mittel (13, 14).

2.2. Bodenverhältnisse

Die Versuchsflächen befanden sich in Höhenlagen von 500 bis 900 m NN mit hügeligem bis bergigem Gelände.

Ausgangsgestein für die Bodenbildung sind Basalt aus der Formation Trias und Sedimentgesteine aus der Formation Karbon und Perm. Die Einteilung der Böden erfolgte nach Bodentypen, ihre Benennung nach FAO-Nomenklatur (4) und der landesüblichen Klassifikation im Rahmen der Bodenkartierung (7). Im folgenden werden die Ausgangswerte der bodenchemischen und -physikalischen Untersuchungen für die einzelnen Bodentypen angegeben, auf denen Versuche angelegt wurden.

2.2.1. Luvic Phaeozem (Brunizem Avermelhado Raso)

Ausgangsgestein: Basalt; Textur: 66% Ton, 12% Schluff

Tabelle 1 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen (Mittel von 4 Versuchen)

| pH | P | K | Organ. Substanz | Al | Ca+Mg | Kalkbedarf |
|-----|-----|------|-----------------|-----|-------|------------|
| | | ppm | % | me% | me% | to/ha |
| 5,5 | 1,9 | +120 | 3,7 | 0,2 | 13,2 | 3,1 |

2.2.2. Rhodic Ferralsol (Latosol Roxo Distrófico)

Ausgangsgestein: Basalt; Textur: 60% Ton, 29% Schluff

Tabelle 2 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen (Mittel von 3 Versuchen)

| pH | P | K | Organ. Substanz | Al | Ca+Mg | Kalkbedarf |
|-----|-----|------|-----------------|-----|-------|------------|
| | | ppm | % | me% | me% | to/ha |
| 4,7 | 2,2 | +143 | 3,8 | 1,9 | 6,5 | 8,7 |

2.2.3. Humic Acrisol (Rubrozem)

Ausgangsgestein: Sedimente; Textur: 50% Ton, 23% Schluff

Tabelle 3 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen (Mittel von 3 Versuchen)

| pH | P | K | Organ. Substanz | Al | Ca+Mg | Kalkbedarf |
|-----|-----|------|-----------------|-----|-------|------------|
| | ppm | ppm | % | me% | me% | to/ha |
| 4,7 | 4,5 | +134 | 4,0 | 1,7 | 6,9 | 12,7 |

2.2.4. Humic Ferralsol (Latosol Húmico Distrófico)

Ausgangsgestein: Basalt: Textur: 54% Ton, 40% Schluff

Tabelle 4 Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen (Mittel von 1 Versuch)

| pH | P | K | Organ. Substanz | Al | Ca+Mg | Kalkbedarf |
|-----|-----|-----|-----------------|-----|-------|------------|
| | ppm | ppm | % | me% | me% | to/ha |
| 4,1 | 2,8 | 136 | 4,2 | 5,0 | 2,2 | 15,2 |

2.3. Versuchsplan

Die Versuche waren systematisch gestreut, nach der Blockmethode in vierfacher, vereinzelt in dreifacher Wiederholung angelegt (je 1 Block mit und ohne Kalk, je Block 12 Versuchsglieder). Parzellengröße: 24 m², gerntete Fläche 10 m².

2.4. Düngung, Kalkung

Von den 12 Varianten im Versuchsplan werden an dieser Stelle lediglich die 4 der Stickstoffdüngung in Betracht gezogen. Stickstoff, gegeben als Harnstoff (46 % N) zur Aussaat, wurde im ersten Versuchsjahr bei einer Düngung von 200 kg/ha P₂O₅ (Supertripelphosphat, 46% P₂O₅) und 30 kg/ha K₂O (60%iges Kalidüngesalz) in den Abstufungen: 0, 25, 50 und 75 kg/ha N geprüft. Die Kalkung erfolgte 2 bis 3 Monate vor Aussaat des Weizens gemäß Bodenanalyse mit dem Ziel, den pH-Wert der Böden auf 6,5 anzuheben. Nach Weizen wurde Soja ohne Düngung ausgesät. Der Weizen im 2. Versuchsjahr erhielt eine Grunddüngung von 30 kg/ha K₂O und 90 kg/ha P₂O₅ (45 kg/ha davon zu der erneut auf Weizen folgenden Soja), Stickstoff wie oben angegeben. Alle Böden gelten als sehr gut mit Kali versorgt, die Phosphordüngung wurde optimal gestaltet.

2.5. Saat, Pflegemaßnahmen, Ernte

Die Saatbettvorbereitung erfolgten mit Pflügen und Eggen der Bauern (tierische Zugkraft). Aussaat 110 kg/ha von Hand, Reihenabstand 20 cm, verwendete Weizensorte IAS 51 (langstrohig). Die Erträge wurden auf 87% Trockensubstanz umgerechnet.

2.6. Bodenchemische und -physikalische Untersuchungen

Phosphor und Kali: Methode North Carolina (Mehlich)

Kalkbedarf: Methode SMP (modif. nach Kussow)

Organische Substanz: Naßveraschung

Aluminium, Kalzium, Magnesium: Extraktionslösung n KC1, Indikator Eriochrom pH: Glaselektrode, Suspension 1 : 1, in Wasser

Textur: Pipettmethode (Bodenbehandlung mit n NaOH)

2.7. Auswertung der Versuchsergebnisse

Jeder Versuch wurde zunächst varianzanalytisch verrechnet und ausgewertet (11). Bei der anschließenden Zusammenfassung der Versuche des gleichen Bodentyps in Gruppen diente als Gruppierungsmerkmal das mittlere Quadrat des Fehlers (2). Die Ertragsfunktionen wurden mit Hilfe von Orthogonalpolynomen berechnet. Ertragsfunktionen gleichen Grades von 2 Jahren wurden gemittelt. Bei Ertragsfunktionen unterschiedlichen Grades wurden die für jedes Jahr errechneten Werte gemittelt.

Der Berechnung der Produktionskosten lagen Angaben von de Frattini (5) für das Landwirtschaftsjahr 1973/74 zu Grunde. Neuerliche Preiserhöhungen für Dünger, Kalk, Pflanzenschutzmittel, Treib- und Schmierstoffe wurden berücksichtigt*. Bei Einbeziehung der Arbeitsstunden, der Abschreibung für Maschinen und Geräte, Saatgut etc., jedoch ohne Kalk und Dünger, beliefen sich die Kosten auf 487,— Cr\$/ha.

Die Kosten für die Kalk- und einen Teil der Phosphatdüngung (120 von den 200 kg/ha P_2O_5) wurden auf einen Zeitraum von 5 Jahren verteilt. Den Berechnungen liegt eine jährliche Düngung von 80 kg/ha P_2O_5 und 30 kg/ha K_2O zu Grunde; Stickstoff gemäß Angaben in Tab. 6. Pacht und Administrationskosten wurden nicht berücksichtigt.

3. Ergebnisse

Die in den Jahren 1970 und 1971 auf vier verschiedenen Böden mit Kalkung und einer gestaffelten N-Düngung zu Weizen erzielten Ertragsergebnisse gehen aus Tabelle 5 hervor. Den höchsten Durchschnittsertrag erreichte der Boden Luvic Phaeozem (1951 kg/ha), gefolgt vom Humic Acrisol (1768 kg/ha) und dem Rhodic Ferralsol (1742 kg/ha). Mit Abstand den niedrigsten Durchschnittsertrag (1101 kg/ha) ermittelte man auf dem Boden Humic Ferralsol.

*) 50 kg Harnstoff (46%) = 172,00 Cr\$, 50 kg Tripelphosphat (46%) = 170,00 Cr\$
50 kg Kali (60%) = 72,50 Cr\$, 1 to Kalk (Branntkalk, 80% CaO) = 162,00 Cr\$
1 Cr\$ = 0,30 DM (Stand Februar 1975).

Tabelle 5: Zweijährige Weizenerträge (kg/ha) auf vier verschiedenen Böden (ohne/mit Kalk)

| Bodentyp | Luvic Phaeozem | | | | Rhodic Ferralsol | | | | Humic Acrisol | | | | Humic Ferralsol | | | |
|-------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| | ohne Kalk | | mit Kalk | | ohne Kalk | | mit Kalk | | ohne Kalk | | mit Kalk | | ohne Kalk | | mit Kalk | |
| N kg/ha | 1970 (4V.) | 1971 (2V.) | 1970 (4V.) | 1971 (2V.) | 1970 (3V.) | 1971 (2V.) | 1970 (3V.) | 1971 (2V.) | 1970 (3V.) | 1971 (3V.) | 1970 (3V.) | 1971 (3V.) | 1970 (1V.) | 1971 (1V.) | 1970 (1V.) | 1971 (1V.) |
| 0 | 1863 | 1753 | 1908 | 1530 | 1753 | 1117 | 2036 | 1498 | 1929 | 1037 | 1963 | 1496 | 490 | 542 | 1087 | 1282 |
| 25 | 2296 | 1968 | 2134 | 1818 | 1813 | 1281 | 2277 | 1926 | 2056 | 1261 | 2323 | 1591 | 987 | 605 | 1525 | 1462 |
| 50 | 2417 | 1858 | 2075 | 1653 | 1902 | 1697 | 2057 | 1721 | 2189 | 1467 | 2303 | 1727 | 927 | 575 | 1660 | 1565 |
| 75 | 2101 | 2057 | 1968 | 1817 | 1836 | 1396 | 2013 | 1558 | 1857 | 1442 | 2023 | 1631 | 1277 | 572 | 1605 | 1462 |
| | * | — | * | — | — | * | — | * | — | * | — | — | * | — | * | * |
| Tukey 5% | 300 | 362 | 168 | 503 | 539 | 413 | 387 | 383 | 390 | 374 | 429 | 333 | 491 | 421 | 389 | 236 |
| Mittel | 2169 | 1909 | 2021 | 1704 | 1826 | 1373 | 2096 | 1676 | 2008 | 1302 | 2153 | 1611 | 920 | 573 | 1469 | 1443 |
| Mittel (o./mit Kalk) | 2039 | | 1863 | | 1599 | | 1886 | | 1655 | | 1882 | | 747 | | 1456 | |
| Mehrertrag Kalkung | — 176 | | | | + 287 | | | | + 227 | | | | + 709* | | | |
| Mittel (Bodentypen) | 1951 | | | | 1742 | | | | 1768 | | | | 1101 | | | |

Anmerkung: Die Angaben unterhalb der Jahre zeigen die Zahl der durchgeführten Versuche an.

* Signifikanz bei 5% (Test Tukey)

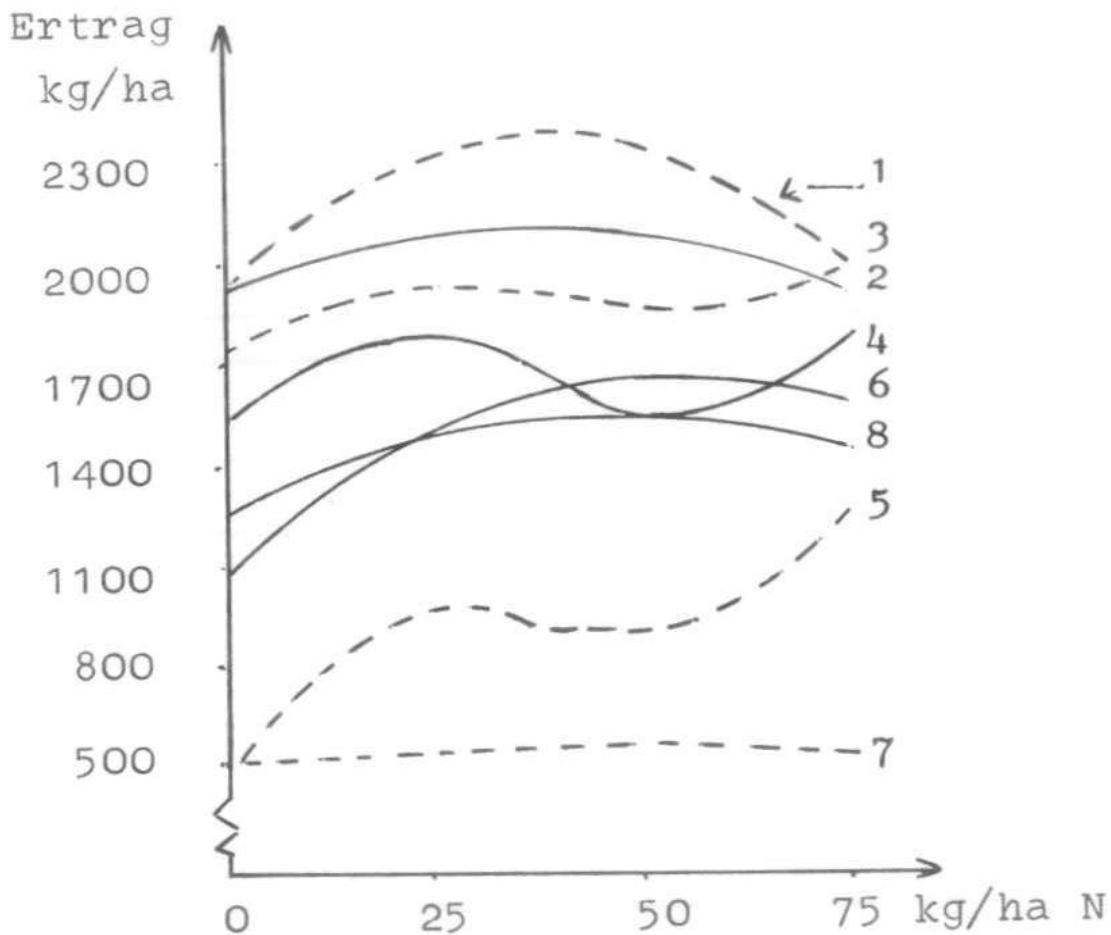


Abbildung 1: Wirkung der Stickstoffdüngung bei Weizen auf den Böden Luvic Phaeozem (1—4) und Humic Ferralsol (5—8)

Luvic Phaeozem:

- 1— 1970/ ohne Ca $y = 1919 + 24,146N - 0,2997N^2$
- 2— 1970/ mit Ca $y = 1929 + 10,469N - 0,1332N^2$
- 3— 1971/ ohne Ca $y = 1753 + 23,543N - 0,7668N^2 + 0,00676N^3$
- 4— 1971/ mit Ca $y = 1527 + 31,101N - 0,9879N^2 + 0,00834N^3$

Humic Ferralsol

- 5— 1970/ ohne Ca $y = 490 + 43,945N - 1,2200N^2 + 0,00103N^3$
- 6— 1970/ mit Ca $y = 1093 + 21,524N - 0,1970N^2$
- 7— 1971/ ohne Ca $y = 548 + 2,193N - 0,0260N^2$
- 8— 1971/ mit Ca $y = 1276 + 11,040N - 0,1130N^2$

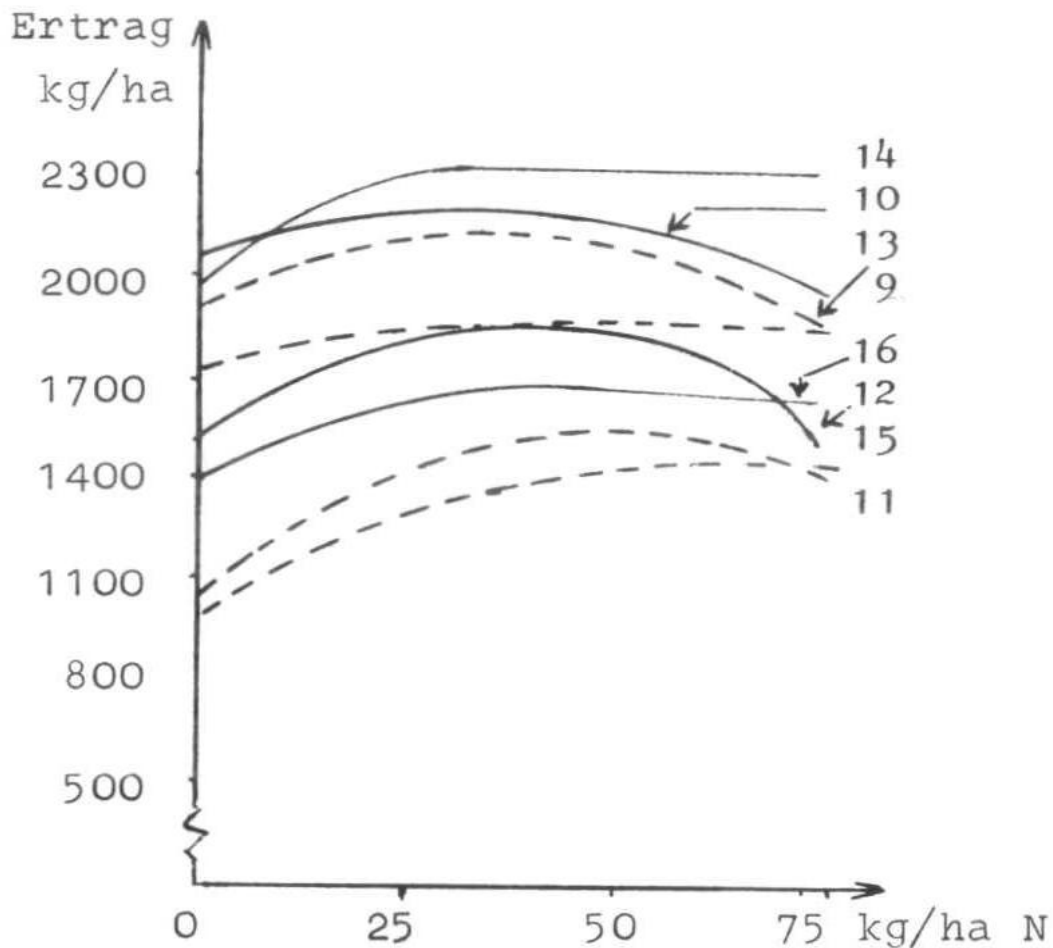


Abbildung 2: Wirkung der Stickstoffdüngung bei Weizen auf den Böden Rhodic Ferralsol (9—12) u. Humic Acrisol (13—16)

Rhodic Ferralsol

- 9— 1970/ ohne Ca $y = 1744 + 5,145N - 0,0506N^2$
 10— 1970/ mit Ca $y = 2067 + 7,404N - 0,1140N^2$
 11— 1971/ ohne Ca $y = 1069 + 18,976N - 0,1862N^2$
 12— 1971/ mit Ca $y = 1532 + 17,604N - 0,2360N^2$

Humic Acrisol

- 13— 1970/ ohne Ca $y = 1905 + 13,424N - 0,1833N^2$
 14— 1970/ mit Ca $y = 1969 + 19,840N - 0,2560N^2$
 15— 1971/ ohne Ca $y = 1027 + 13,518N - 0,0997N^2$
 16— 1971/ mit Ca $y = 1482 + 7,944N - 0,0770N^2$

Die Wirkung der Kalkung auf den einzelnen Böden war unterschiedlich. Der größte Ertragsunterschied zwischen Variante gekalkt und ungekalkt, der auch statistisch gesichert ist, wurde mit 709 kg/ha auf dem Boden Humic Ferralsol ermittelt. Auf den Böden Rhodic Ferralsol und Humic Acrisol ergab die Kalkung nur einen Mehrertrag von 287 bzw. 227 kg/ha, auf dem Boden Luvic Phaeozem bewirkte sie gar einen Ertragsabfall von 176 kg/ha gegenüber der Kontrolle (Tab. 5). Auf ungekalkten Flächen betrug im Durchschnitt gegenüber der Stickstoffmangelvariante der Weizenmehrertrag für 25 kg/ha N 249 kg/ha, für 50 kg/ha N 359 kg/ha, was einer Ertragszunahme von 10,0 bzw. 7,2 kg/ha Weizen je 1 kg/ha N entspricht. Auf den gekalkten Flächen erzielte man für entsprechende Düngermengen Mehrerträge von 282 und 290 kg/ha Weizen, die Ertragszunahmen lagen bei 11,3 bzw. 5,8 kg/ha Weizen je 1 kg/ha verabreichten Stickstoffs. Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, führte die N-Düngung nur in der Hälfte aller Fälle zu statistisch gesicherten Ertragsunterschieden, was sich auch im flachen Verlauf der Ertragskurven widerspiegelte (Abb. 1, 2). Das Bestimmtheitsmaß von durchschnittlich 18% (nicht signifikant) besagt, daß nur 18% der Streuung des Ertrages auf die Stickstoffdüngung, 82% dagegen auf andere Einflüsse zurückzuführen sind. Ungeachtet dessen lassen die erzielten Ergebnisse Rückschlüsse auf die Ertragsleistung der angebauten Weizensorte zu und ermöglichen die Aufstellung von vorläufigen N-Düngungsempfehlungen, was aus Mangel an anderen Unterlagen eine gründlichere Auswertung des vorliegenden Materials rechtfertigt.

Eine Wechselbeziehung zwischen Kalkung und N-Düngung wurde in keinem Fall festgestellt. Der allgemeine Ertragsabfall im zweiten Jahr erklärt sich aus einem starken Rostbefall (hauptsächlich *Puccinia recondita*), der auch zum Verlust einiger Versuche führte. Trotz dieses Krankheitsbefalls stimmen die Ergebnisse prinzipiell mit den im Vorjahr gewonnenen Daten überein. Ein Einfluß der Soja auf die Höhe der N-Düngung im zweiten Versuchsjahr konnte nicht nachgewiesen werden.

Von den chemischen Untersuchungsergebnissen, die an anderer Stelle veröffentlicht werden, sind hier lediglich die Ca+Mg- und die Al-Gehalte der gekalkten Flächen nach der Ernte des ersten Weizens von Interesse. Sie waren wie folgt: Humic Ferralsol (2 me% Al, 6 me% Ca+Mg), Rhodic Ferralsol und Humic Acrisol (0,8 me% Al, 9–12 me% Ca+Mg), Luvic Phaeozem (0,1 me% Al, 20 me% Ca+Mg).

4. Diskussion

4.1. Kalkung

Als Folge der Kalkung gingen die Aluminiumgehalte der sauren Böden Humic Ferralsol, Humic Acrisol und Rhodic Ferralsol um mehr als die Hälfte zurück, gleichzeitig nahmen die Ca+Mg-Werte deutlich zu. Die zu erwartenden Ertragssteigerungen jedoch blieben mit Ausnahme des sehr sauren Bodens Humic Ferralsol, der einen Ausgangswert von 5 me% Al aufwies, aus. Bei den Böden Humic Acrisol und Rhodic Ferralsol, deren

Gehalte von 1,7 bzw. 1,9 me⁰/₀ Al immer noch als pflanzenschädlich gelten, war die Wirkung der Kalkung auf den Ertrag gering. Hieraus kann geschlossen werden, daß die in den Versuchen verwendete Weizensorte, von extrem sauren Standorten einmal abgesehen, sich sehr tolerant verhält gegenüber der starken Azidität der Böden und den sich daraus ergebenden hohen Al-Gehalten. Ähnliche Beobachtungen wurden auch an anderen Weizensorten Südbraziens gemacht (8, 10).

Die hohen Kalkgaben, die zwar die Anbaubedingungen in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeitsverhältnisse wesentlich verbesserten, stehen in keinem Verhältnis zu den erzielten Mehrerträgen beim Weizen und lassen die Empfehlungen allgemein als überhöht erscheinen. So beobachtete man besonders beim Boden Luvic Phaeozem einen Anstieg der Ca+Mg-Werte von 13 auf über 20 me⁰/₀, der aber einen beträchtlichen Ertragsabfall gegenüber Variante ungekalkt zur Folge hatte. Es bestätigte sich, daß Böden mit Gehalten von 13–15 me⁰/₀ Ca+Mg im Weizenanbau die höchsten Erträge erzielen und durch Kalkung keine Mehrerträge erwarten lassen (9). Deshalb erscheint es auch nicht sinnvoll, die Ca+Mg-Gehalte der Böden Rhodic Ferralsol und Humic Acrisol, die nach der Kalkung bei 9–12 me⁰/₀ lagen, zu erhöhen. Die Ertragsunterschiede zwischen dem Luvic Phaeozem und den beiden zuletzt genannten Böden sind wahrscheinlich nicht durch weitere Kalkung auszugleichen, sondern dürften vielmehr auf andere dem Komplex Standort zuzuschreibende im Minimum befindliche Einflußgrößen zurückzuführen sein. Für den Boden Humic Ferralsol, der mit Abstand das niedrigste Ertragsniveau von allen Standorten aufwies, wäre zu empfehlen, anstatt der hohen Meliorationskalkung in kürzeren Zeiträumen mit kleineren Kalkgaben und anderen flankierenden Anbaumaßnahmen die Bodenfruchtbarkeit schrittweise zu verbessern. Die geringen Ansprüche der z. Z. verwendeten Weizensorten an den Basenhaushalt der Böden dürfen nicht dazu verleiten, die Bemessung der Kalkgaben allein an dieser Kultur auszurichten, was besonders bei nachfolgendem Leguminosenanbau (Soja, Bohnen) zu Ertragseinbußen führen kann. Ein kürzlich in Angriff genommenes Forschungsprogramm, in dem mehr den Besonderheiten der Böden und den unterschiedlichen Ansprüchen der Kulturen Rechnung getragen wird, soll deshalb die bisherigen Richtlinien für die Kalkung im Hinblick auf die Gestaltung von Fruchtfolgen überprüfen.

4.2. Stickstoffdüngung

Anhand von Produktionsfunktionen wurden die maximalen und wirtschaftlichen N-Düngermengen im Weizenanbau für vier verschiedene Böden ermittelt. Wie aus Tabelle 6 hervorgeht, konnten die Höchsterträge im Durchschnitt auf ungekalkten mit 43,1 kg/ha N und auf gekalkten Flächen mit 36,0 bzw. 40,1 kg/ha N bei Berücksichtigung des Bodens Humic Ferralsol erreicht werden. Die wirtschaftlichen N-Düngermengen lagen unter Zugrundelegung der bestehenden Preis-Kostenverhältnisse (84 Cr\$/60 kg Weizen 8,17 Cr\$/1 kg N) entsprechend bei 25,2 kg/ha N (ohne Kalk) und bei 20,0 bzw. 23,4 kg/ha N (mit Kalk) um fast die Hälfte niedriger als die

Höchstgaben und erreichten im Durchschnitt 96–99% der Maximalerträge. Die Anhebung des Weizenpreises von 84 auf 100 bis 120 Cr\$/60 kg, mit der vor der nächsten Ernte gerechnet werden kann, ermöglicht in Abhängigkeit von Standort und Preisniveau den zusätzlichen wirtschaftlichen Einsatz bis zu höchstens 9 kg/ha N. Die damit erzielten Mehrerträge sind unbedeutend. Fiktive Preiserhöhungen für die N-Düngung von 8,17 auf 9,14 und 10,08 Cr\$/kg N reduzieren je nach vorgegebenem Erlöspreis die Düngermengen nur um 3 bis 4 kg/ha N – im niedrigen Preisniveau etwas stärker als im hohen – ohne die Ertragshöhe wesentlich zu beeinflussen. Generell ist festzustellen, daß sich auf den einzelnen Böden das Düngungsoptimum bei veränderten Erlös- und Düngerpreisen ziemlich stabil verhält und Erträge, die mit den als wirtschaftlich ermittelten N-Düngergaben erzielt wurden, nahezu den Maximalerträgen entsprachen.

Der Standort und die Kalkung übten einen Einfluß auf die Höhe der Düngermengen aus. Bei abnehmender Fruchtbarkeit der Böden waren in der Reihenfolge Luvic Phaeozem, Rhodic Ferralsol, Humic Acrisol und Humic Ferralsol steigende Düngermengen nötig, ohne daß das geringere Ertragspotential des schlechteren Standortes dadurch kompensiert wurde. Auf den gekalkten Flächen erzielte man mit Ausnahme des Bodens Luvic Phaeozem bei um 10% geringeren N-Düngergaben höhere Erträge als auf den ungekalkten. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf die besseren Wachstumsbedingungen und eine damit möglicherweise verbundene stärkere Mineralisierung der organischen Substanz, die zu einem zusätzlichen Stickstoffangebot im Boden geführt haben kann.

In einer früheren Arbeit konnte nachgewiesen werden, daß die Phosphatdüngung eine sehr starke Wirkung auf die Weizenerträge hat (12). Der Ertragszuwachs durch die Stickstoffdüngung war bei ausreichender Nährstoffversorgung, die auf dem größten Teil der Standorte vorausgesetzt werden kann, dagegen unbefriedigend. Auf Grund der geringen Standfestigkeit (Langstrohigkeit) und der Anfälligkeit für Pilzkrankheiten ist die hier verwendete Weizensorte nicht in der Lage, über die ermittelten Gaben hinaus wesentlich höhere Stickstoffdüngermengen zu verwerten. Die Wirkung des Stickstoffs ließe sich durch verschiedene Maßnahmen erhöhen. Die Aufteilung der N-Düngergabe (Stadiendüngung) wird bereits in der Praxis durchgeführt, indem man einen kleinen Teil der Gesamtstickstoffmenge zur Aussaat und den Rest 30–50 Tage danach gibt. Dadurch wird zwar die Lagergefahr herabgesetzt, ökonomisch vertretbare Ertragssteigerungen werden jedoch nicht erzielt. Über die wirtschaftliche Anwendung halmverkürzender Mittel liegen keine eindeutigen Erfahrungen vor. Aus all dem ist zu schließen, daß die hier verwendete wie auch andere brasilianische Weizensorten nur einen geringen Spielraum für die Anwendung von Stickstoffdüngern besitzen und somit keine Voraussetzungen für eine weitere Leistungssteigerung bieten.

4.3. Deckungsbeitrag aus dem Weizenanbau

Wie Tabelle 7 zeigt, ist der Deckungsbeitrag aus dem Weizenanbau bei den gegebenen Preis- und Kostenverhältnissen (84 Cr\$/60 kg Weizen,

Tabelle 6: Wirtschaftliche Stickstoffmengen (kg/ha N) bei variierten Weizen- und Düngerpreisen sowie die entsprechenden Erträge, ausgedrückt in % der jeweiligen Höchstträge auf vier verschiedenen Böden (mit/ohne Kalk)

| Bodentyp (ohne/mit Kalk) | | Weizenpreis Cr \$ / 60 kg | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 84 | | | 100 | | | 110 | | | 120 | | |
| | | Düngerpreis Cr \$ / 1 kg N | | | | | | | | | | | |
| | | 8,17 | 9,14 | 10,8 | 8,17 | 9,14 | 10,08 | 8,17 | 9,14 | 10,08 | 8,17 | 9,14 | 10,08 |
| Luvic Phaeozem | ohne Ca | 22,4 98,9% | 21,4 98,6% | 20,6 98,3% | 23,6 99,2% | 22,8 99,0% | 22,1 98,8% | 24,2 99,3% | 23,7 99,2% | 22,8 98,8% | 24,8 99,4% | 24,1 99,3% | 23,5 99,1% |
| | mit Ca | 16,7 98,0% | 15,1 97,6% | 13,6 97,1% | 18,9 98,6% | 17,5 98,3% | 16,2 97,9% | 19,8 98,8% | 18,6 98,5% | 17,4 98,3% | 20,7 99,0% | 19,5 98,8% | 18,5 98,5% |
| Rhodic Ferralsol | ohne Ca | 26,3 95,8% | 23,3 94,7% | 20,5 93,6% | 30,3 97,1% | 27,8 96,3% | 25,4 95,5% | 32,1 97,5% | 29,8 96,9% | 27,7 96,3% | 33,7 98,0% | 31,6 97,4% | 29,6 96,8% |
| | mit Ca | 19,0 97,6% | 17,1 97,0% | 15,1 96,3% | 21,7 98,3% | 20,1 97,9% | 18,5 97,4% | 23,0 98,6% | 21,4 98,2% | 20,0 97,9% | 24,0 98,8% | 22,7 98,6% | 21,3 98,2% |
| Humic Acrisol | ohne Ca | 27,0 96,6% | 24,5 95,7% | 22,2 94,8% | 30,3 97,6% | 28,3 97,0% | 26,3 96,4% | 31,8 98,0% | 29,9 97,5% | 28,1 97,0% | 33,2 98,3% | 31,4 97,9% | 29,8 97,5% |
| | mit Ca | 24,2 97,5% | 22,1 96,8% | 20,1 96,1% | 27,0 98,2% | 25,3 97,8% | 23,6 97,3% | 28,3 98,5% | 26,7 98,1% | 25,2 97,7% | 29,4 98,7% | 28,0 98,4% | 26,6 98,1% |
| Humic Ferralsol | ohne Ca | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | mit Ca | 33,7 96,6% | 31,5 95,7% | 29,3 94,8% | 36,7 97,6% | 34,9 97,0% | 33,1 96,3% | 38,1 97,9% | 36,4 97,5% | 34,8 97,0% | 39,3 98,3% | 37,8 97,8% | 36,3 97,5% |

Zum Vergleich seien an dieser Stelle die Höchstträge mit den entsprechenden N-Düngermengen zitiert

Luvic Phaeozem: ohne Kalk 2189 kg/ha Weizen — 30,9 kg/ha N
(sem/com calcáreo) mit Kalk 1973 kg/ha Weizen — 30,5 kg/ha N
Rhodic Ferralsol: ohne Kalk 1713 kg/ha Weizen — 50,9 ka/ha N
(sem/com calcáreo) mit Kalk 2022 kg/ha Weizen — 35,7 kg/ha N
Humic Acrisol: ohne Kalk 1787 kg/ha Weizen — 47,6 kg/ha N
(sem/com calcáreo) mit Kalk 2015 kg/ha Weizen — 41,7 kg/ha N
Humic Ferralsol: ohne Kalk —
(sem/com calcáreo) mit Kalk 1612 kg/ha Weizen — 52,5 kg/ha N

Preisstand Februar 1975:
84 Cr \$ / 60 kg Weizen (trigo),
8,17 Cr \$ / 1 kg N (incl. Zinsen):
alle weiteren Preisangaben
sind fiktiv.

Tabelle 7: Deckungsbeitrag (Cr\$/ha) aus der Weizenproduktion bei den Preisen für Weizen und N-Dünger auf vier verschiedenen Böden (ohne/mit Kalk)

| Bodentyp (ohne/mit Kalk) | | Weizenpreis Cr \$/60 kg | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|--------------------------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| | | 84 | | | 100 | | | 110 | | | 120 | | |
| | | Düngerpreis Cr \$/1 kg N | | | | | | | | | | | |
| | | 8,17 | 9,14 | 10,08 | 8,17 | 9,14 | 10,08 | 8,17 | 9,14 | 10,08 | 8,17 | 9,14 | 10,08 |
| Luvic Phaeozem | ohne Ca | 1394 | 1373 | 1353 | 1980 | 1957 | 1936 | 2328 | 2305 | 2283 | 2697 | 2674 | 2651 |
| | mit Ca | 982 | 966 | 953 | 1506 | 1488 | 1467 | 1817 | 1799 | 1782 | 2152 | 2130 | 2112 |
| Rhodic Ferralsol | ohne Ca | 630 | 606 | 585 | 1076 | 1048 | 1023 | 1343 | 1313 | 1286 | 1628 | 1596 | 1567 |
| | mit Ca | 773 | 755 | 741 | 1309 | 1288 | 1270 | 1627 | 1606 | 1586 | 1967 | 1944 | 1923 |
| Humic Acrisol | mit Ca | 744 | 619 | 695 | 1208 | 1193 | 1158 | 1492 | 1462 | 1435 | 1790 | 1759 | 1730 |
| | ohne Ca | 542 | 520 | 500 | 1075 | 1050 | 1027 | 1392 | 1365 | 1341 | 1730 | 1702 | 1674 |
| Humic Ferralsol | mit Ca | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ohne Ca | -214 | -245 | -274 | 209 | 174 | 139 | 461 | 425 | 392 | 730 | 693 | 658 |

1. Preisstand Februar 1975: 84 Cr\$/60 kg Weizen, 8,17 Cr\$/1 kg N (incl. Zinsen); alle weiteren Preisangaben sind fiktiv.
2. Deckungsbeitrag > 30% des Verkaufspreises für Weizen ist in der Tabelle durch Trennlinie gekennzeichnet.

8,17 Cr\$/1 kg N) unbefriedigend. Mit Ausnahme des Bodens Luvic Phaeozem erreichte kein Standort einen Deckungsbeitrag, der 30% des Verkaufspreises ausmacht, was allgemein angestrebt wird. Nur Erlöse ab 100, in einigen Fällen erst ab 110 Cr\$/60 kg Weizen ermöglichen mit Ausnahme des Bodens Humic Ferralsol aus allen Standorten einen zufriedenstellenden Deckungsbeitrag. Bei höherem Preisniveau überschreitet der Deckungsbeitrag des Bodens Luvic Phaeozem erheblich die angestrebte 30%-Grenze. Beim Boden Humic Ferralsol, der die niedrigste Ertragsfähigkeit aufweist und mit hohen Meliorationskosten belastet ist, deckte ein Weizenpreis von 100 Cr\$/60 kg gerade die Produktionskosten, ein Preis von 120 Cr\$/60 kg erlaubte einen sehr bescheidenen Geldüberschuß.

Da das N-Düngungsoptimum ziemlich stabil ist, schmälern steigende Kosten für Stickstoff den Deckungsbeitrag nur geringfügig. Größeren Einfluß auf die Höhe des Deckungsbeitrages dagegen haben die hohen Kosten für Kalk, die nur beim Boden Rhodic Ferralsol über einen höheren Weizenertrag kompensiert werden konnten.

5. Zusammenfassung

Im Bundesstaat Santa Catarina (Brasilien) wurden auf vier verschiedenen Böden zwei Jahre Feldversuche durchgeführt, um die Effektivität der Kalkung und Stickstoffdüngung im Weizenanbau zu untersuchen.

1. Stickstoffgaben von 30–50 kg/ha erzielten Höchsterträge. Die Wirkung der Stickstoffdüngung wurde vom Bodentyp und der Kalkung beeinflusst.
2. Das wirtschaftliche Optimum der Stickstoffdüngung lag um fast die Hälfte niedriger als die Höchstgaben und erreichte 96–99% der Maximalerträge. Das Düngungsoptimum verhielt sich bei veränderten Weizen- und Düngerpreisen ziemlich stabil.
3. Die angewandten Stickstoffdüngermengen waren niedrig, die damit erzielten Erträge unbefriedigend. Als begrenzend für die Steigerung der Stickstoffdüngung wirkten sich die geringe Standfestigkeit der Weizensorte und ihre Anfälligkeit für Pilzkrankheiten aus.
4. Die bisher verabreichten Kalkgaben waren überhöht. Kalzium- und Magnesiumgehalte von 13–15 me% im Boden erwiesen sich als ausreichend zur Erzielung von Höchsterträgen.
5. Der Deckungsbeitrag aus der Weizenproduktion stellte sich unter den gegebenen Preis-Kostenverhältnissen als unbefriedigend heraus. Höhere Weizenpreise ermöglichen einen zufriedenstellenden Deckungsbeitrag.

Resumo

Título: Efeito da calagem e adubação nitrogenada sobre a produção do trigo em quatro unidades de solo no Estado de Santa Catarina (Brasil). Nas condições em que os experimentos foram conduzidos os dados permitem tirar as seguintes conclusões:

1. Doses de 30 a 50 kg/ha N atingiram produções máximas. O efeito do nitrogênio foi afetado pelo tipo do solo e pela calagem.
2. As doses de nitrogênio que indicam a máxima eficiência econômica estiveram quase na metade das doses da máxima eficiência técnica, alcançando 96 a 99% da produção máxima possível. O ponto econômico da adubação nitrogenada se tornou estável aos preços variáveis do trigo e do referido adubo.
3. As doses de nitrogênio foram baixas e conseqüentemente as produções. O porte alto da variedade e pouca resistência às doenças de fungos foram os fatores mais limitantes para o emprego de maiores quantidades de nitrogênio na lavoura do trigo.
4. As quantidades de calcáreo até há pouco recomendadas foram superdosadas, teores de 13 a 15 me⁰/₀ Ca + Mg no solo se tornaram suficientes para atingir a produção máxima.
5. Ao preço atual de trigo o lucro foi insuficiente, apenas preços mais altos permitem uma renda satisfatória.

Summary

The effect of lime and nitrogen fertilization on the wheat production on four different soils in the Federal State of Santa Catarina (Brazil) were investigated.

The data of the experiments carried out permit the following conclusions:

1. The highest yields were obtained with 30 to 50 kg/ha N depending on soil type and liming.
2. The economic dosis of nitrogen was approximately half of the highest nitrogen levels reaching 96 to 99% of the highest wheat yields obtained. The optimum fertilizer level remained relatively stable with the variable returns and nitrogen fertilizer costs.
3. The nitrogen levels were low and the resulting yields unsatisfactory. The factors most limiting for the application of more nitrogen turned out the low lodging resistance of the wheat variety and their susceptibility to fungal diseases.
4. The quantity of lime until now recommended is far to high. Contents of 13 to 15 me⁰/₀ Ca + Mg in the soil turned out to be sufficient in order to maximize yields.
5. At actual prize-cost relations the profit of the wheat production was unsatisfactory. Only higher wheat prizes enable one to obtain an adequate profit margin.

Literatur

1. BEIERSDORF M. I. C. e MOTA da F. S., 1971: Cultura do trigo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. MA - EPE - IPEAS, Pelotas (Brasil).
2. BOX G. E. P., 1954: Some Theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems. Ann. Math. Stat. 25, 290—302.

3. Deutsche Überseeische Bank, 1974: Wirtschaftsbericht Lateinamerika, Spanien und Portugal. Ausgabe November, S. 17.
4. Food and Agricultural Organisation of the United Nations (FAO), 1970: Key to the soil units for the soil map of the world. — Land and Water Div., Roma (Italy).
5. FRATTINI J. de A., 1973: Trigo: O penoso caminho da fartura. *Dirigente Rural* (Anuário 1974), XII, 123—131.
6. LAGO P. F., 1968: Santa Catarina — a terra, o homem e a economia. Edição da UFSC, Florianópolis-SC (Brasil).
7. LEMOS de R. et al., 1973: Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina. Vol. I, II. Imprensa universitária, Santa Maria (Brasil).
8. MACHADO M. O., 1972: Resposta de algumas variedades e linhagens de trigo a aplicação de altas doses de nitrogênio e a calagem. MA, DNPEA IPEAS — Setor de Solos, Pelotas (Brasil) — Hektographiert.
9. MORAES de O e WINKLER H., 1971: Ensaio de adubação e calagem. Trigo em rotação com soja no Estado de Santa Catarina, II parte. Rede Experimental Catarinense, Caçador, SC (Brasil) — Hektographiert.
10. PATELLA J. F., CARVALHO de L. F. X., MACHADO M. O., 1968: Alguns resultados de calagem com variedades de trigo no Rio Grande do Sul. MA — IPEAS, Pelotas (Brasil) — Hektographiert.
11. PIMENTAL GOMES F., 1970: Curso de estatística experimental. 4ª edição, Piracicaba (Brasil).
12. WINKLER H., 1974: Efeito da calagem e adubação fosfata sobre a produção do trigo e a disponibilidade de fósforo em 4 unidades de solo no Estado de Santa Catarina (im Druck).
13. WITIUK N., 1971: Dados de meteorologia, Santa Catarina 1970. Rede Experimental Catarinense, Caçador, SC (Brasil).
14. — —, 1972 Meteorologia — Santa Catarina 1971, Rede Experimental Catarinense, Caçador, SC (Brasil).