

ERHALTUNG DER ERTRAGSFAEHIGKEIT DES BODENS AUF LANGE SICHT  
UNTER DEM EINFLUSS VON  
FRUCHTFOLGE, DUENGUNG UND HERBIZIDEINSATZ

IV - Vergleichsuntersuchungen über chemische, physikalische  
und herbologische Parameter des Ertragspotentials  
eines Bodens unter Berücksichtigung der  
Ertragsentwicklung während 12 Versuchsjahren

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZUERICH

vorgelegt von  
WOLFGANG GERALD STURNY  
Dipl.Ing.Agr.ETH  
M.Sc. U of M  
geboren am 17. Juni 1955  
von Alterswil/FR

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. E.R. Keller, Referent  
Prof. Dr. H. Sticher, Korreferent  
Dr. F. Schwendimann, Korreferent

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

1. Der Strukturwandel in der Landwirtschaft als Folge des zunehmenden ökonomischen Druckes hat eine Spezialisierung und Rationalisierung in der modernen Pflanzenproduktion gefördert. Diese Entwicklung ist gekennzeichnet durch einseitig ausgerichtete, artenarme Fruchtfolgen sowie durch intensiven Einsatz von Mineraldüngern und bioziden Hilfsstoffen. Unter diesem Gesichtspunkt stellt sich die Frage, welche Auswirkungen dabei auf die Erhaltung der Ertragsfähigkeit des Bodens auf lange Sicht entstehen.
  
2. Im Rahmen eines langfristig konzipierten Feldversuches werden durch das Institut für Pflanzenbau der ETH auf einem Grundstück der Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik in Tänikon/TG (Nordostschweiz) periodische Vergleichsuntersuchungen durchgeführt, um den Einfluss von Fruchtfolge-, Düngungs- und chemischen Unkrautbekämpfungsmassnahmen auf chemische, physikalische und biologische Parameter des Ertragspotentials eines Bodens festzustellen. Nach seiner Textur ist der Boden ein schwach toniger Lehm mit einem Humusgehalt von ca. 5.5 % und einem pH (KCl) von 7.0. Die Versuchsanlage entspricht einem "split-split-plot design" und umfasst bei 6 Wiederholungen und 30 Einzelverfahren total 180 Parzellen à je 84 m<sup>2</sup> (SRZEDNICKI, KELLER und SCHWENDIMANN, 1978). Im Vergleich stehen folgende Hauptfaktoren:
  - drei fünfjährige Fruchtfolgen mit typischen Schwerpunkten: eine praxisübliche (40 % Klee gras), eine getreidebetonte (60 % Getreide) und eine maisbetonte (60 % Mais);
  - zwei Düngungsvarianten: eine ausschliesslich mineralische und eine kombiniert organisch-mineralische;
  - zwei Bodenherbizid-Wirkstoffgruppen mit je drei Herbizidstufen: Harnstoff- und Triazinderivate bei sparsamer (= Kontrollverfahren mit Kontakt-/Wuchsstoffpräparaten), normaler und doppelter Dosierung jährlich angewendet.
  
3. Im ersten Teil des Forschungsprojektes erfolgte 1971 - 1973 die parzellenweise Charakterisierung des Versuchsgrundstückes, die fortan die Vergleichsbasis für die in Abständen von fünf Jahren durchgeführ-

ten Gesamtuntersuchungen abgibt (SRZEDNICKI, 1977). Nach der ersten Fruchtfolgeperiode kommt MAILLARD (1981) im 1. Stichjahr 1978 zur beruhigenden Schlussfolgerung, dass die Ertragsfähigkeit des Bodens durch extreme Versuchsverfahren noch nicht - oder nicht wesentlich - beeinträchtigt ist.

4. Nach zehnjähriger Versuchsdauer untersucht WEISSKOPF (1986) im Vergleichsjahr 1983 die Humuschemie, die Bodenmikrobiologie und die Bodenfauna, das antiphytopathogene Potential sowie die Produktequalität und Herbizidrückstände im Weizenkorn. Die parallel dazu durchgeführten Untersuchungen über chemische, physikalische, herbologische und ertragsbildende Parameter des Ertragspotentials dieses Bodens sind Hauptbestandteil der vorliegenden Arbeit. Die unter den standörtlichen Versuchsbedingungen (536 m ü. M.,  $\emptyset$  1186 mm/Jahr Niederschläge,  $\emptyset$  7.8°C/Jahr) erzielten Resultate sind im folgenden zusammengefasst. Bei der Interpretation wird berücksichtigt, dass das im 2. Stichjahr 1983 applizierte Triazinherbizid besonderer Umstände wegen phytotoxische Schäden an der Winterweizen-Testkultur (Zenith) verursacht und somit zu einer nicht erwarteten experimentellen Beeinträchtigung verschiedener Untersuchungsfaktoren geführt hat.
5. Beim **Nährstoffhaushalt** entzieht die praxisübliche Fruchtfolge dem Boden am meisten  $K_2O$ , die getreidebetonte am wenigsten. Bei der maisbetonten Fruchtfolge nimmt der Gehalt an  $P_2O_5$  und austauschbarem Mg ab. In Kombination mit Harnstoffderivaten erfolgt bei mineralischer Düngung eine Abnahme des Gehaltes an austauschbarem Mg. Bei Triazinderivaten steigen der pH-Wert, der  $P_2O_5$ -Gehalt und die Basensättigung, der  $K_2O$ -Gehalt verringert sich jedoch - immer im Vergleich zum organisch-mineralischen Düngungsregime. Normal bzw. doppelt dosierte Triazinderivate erhöhen den pH-Wert, gleichzeitig verringert sich die Kationenaustauschkapazität, am ausgeprägtesten bei der Faktorenkombination maisbetonte Fruchtfolge x mineralische Düngung. Der  $P_2O_5$ -Gehalt steigt durch verminderten Nährstoffentzug wegen der phytotoxischen Wirkung.
6. Bei den **bodenphysikalischen Parametern** bewirkt im Vergleich zur praxisüblichen Fruchtfolge die getreidebetonte und noch ausgeprägter die maisbetonte eine Zunahme der scheinbaren Dichte sowie eine Abnahme des Grobporenanteils. Im Triazinversuch wird demzufolge der Mittelpo-

renbereich, insbesondere jener der engen Mittelporen, grösser; somit erhöht sich der Bodenfeuchtigkeitsgehalt sowie bei getreidebetonter Fruchtfolge das Gesamtporenvolumen. Die organisch-mineralische Düngung löst im Harnstoffversuch, bei gleichzeitiger Reduktion der scheinbaren Dichte, eine aggregatstabilisierende Wirkung aus. Die insbesondere bei doppelter Triazindosierung verursachten Phytotoxizitätsschäden vermindern die Aggregatstabilität, erhöhen jedoch aufgrund eines gesteigerten Mittelporenanteils das Gesamtporenvolumen.

7. Bei der **Unkrautflora** entwickeln sich bei sparsamer Herbiziddosierung in der getreidebetonten Fruchtfolge die monokotylen Agropyron repens (L.) Beauv. und - insbesondere in der maisbetonten Fruchtfolge - Poa annua L. zu dominierenden Arten. Durch die Applikation von Triazinderivaten werden diese Ungräser eliminiert; Harnstoffderivate vermögen die Verqueckung hingegen nicht zu unterbinden. Die dikotylen Cirsium arvense (L.) Scop. und Galium aparine L. entwickeln sich in der getreidebetonten Fruchtfolge zu Problemunkräutern, zumal da spezifische Wirkungslücken der Bodenherbizide bestehen. Die mineralische Düngung fördert die Ausbreitung von Agropyron repens und Galeopsis tetrahit L., die organisch-mineralische diejenige von Poa annua. Eine doppelte Aufwandmenge steigert die Wirkung von Bodenherbiziden gegenüber der normalen nicht. Sowohl einseitige, vor allem maisbetonte Fruchtfolgegestaltung als auch wiederholte Applikationen von Bodenherbiziden ziehen eine Artenverarmung nach sich.
8. **Herbizidrückstände im Boden** werden u.a. mit Hilfe des Kresse-Biotests nachgewiesen. Vier Monate nach der letzten Applikation des Harnstoffderivates Tribunil (Methabenzthiazuron) ist ein um 3 % bzw. 4 % reduziertes Pflanzenwachstum in der 0 - 5 cm-Bodenschicht zu beobachten, dies bei normaler bzw. doppelter Herbiziddosierung im Vergleich zur Kontrolle (Wachstoffsstoffpräparat). Die chemischen Analysen weisen bei doppelter Dosierung etwas grössere Wirkstoffmengen in der getreidebetonten als in der praxisüblichen Fruchtfolge auf. Die Rückstände bei doppelter Dosierung sind als "leicht riskant" zu prognostizieren. Acht Monate später zeigen aufgrund des TS-Ertrages einer Rübsen- (Brassica campestris L.) Feldkultur die mit doppelter Herbiziddosierung behandelten Parzellen noch eine deutliche Persistenz, die sich leicht ertragsmindernd auf die Folgefrucht Gerste auswirkt.

Ertragszunahme aus als die normale. Triazinderivate dagegen wirken im Vergleich zur Kontrolle ertragsmindernd, wenn sie in doppelter Dosierung appliziert werden - vor allem bei getreidebetonter Fruchtfolge. Bei diesem Fruchtfolgetyp werden nach normal dosierter Applikation tendenziell bessere Erträge erzielt als bei der praxisüblichen und maisbetonten Fruchtfolge, bei denen keine wesentlichen Ertragsvorteile gegenüber der Kontrolle entstehen.

11. Abschliessend kann festgehalten werden, dass die Auswirkungen der verschiedenen Verfahren - besonders bei den extremen Varianten - nach fünf Versuchsjahren (eine Fruchtfolgeperiode) meist im Ansatz erkennbar sind, nach zehn Versuchsjahren (zwei Fruchtfolgeperioden) hingegen zunehmend signifikant in Erscheinung treten.

12. Der Versuch wird fortgesetzt.

## RESUME

### MAINTIEN DE LA FERTILITE DU SOL A LONG TERME SOUS L'ENJEU DES ASSOLEMENTS, DES AMENDEMENTS FERTILISANTS ET DES TRAITEMENTS HERBICIDES

IV - Etudes comparatives de paramètres chimiques, physiques et malherbologiques du potentiel de rendement d'un sol en tenant compte de l'évolution du rendement des cultures pendant les 12 années d'essai

1. Spécialisation et rationalisation sont des expressions caractéristiques de l'agronomie moderne, en général, et de la production végétale, en particulier. Les causes en sont les contraintes économiques croissantes. Cette évolution se distingue en grandes cultures par des rotations simplifiées, limitées à quelques espèces et par une utilisation fréquente des engrais minéraux et des produits phytosanitaires. Ces pratiques culturales soulèvent le problème du maintien de la fertilité des sols à long terme.
2. L'Institut de Production Végétale de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich a conçu un essai en champ de longue durée sur une parcelle du domaine de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural à Taenikon/TG (Suisse orientale). D'après sa texture, le site est un limon argileux avec une teneur en matière organique d'environ 5.5 % et un pH (KCl) voisin de 7. Le dispositif expérimental en forme de "split-split-plot" avec 6 répétitions comprend 30 variantes, totalisant 180 parcelles d'une surface de 84 m<sup>2</sup> (SRZEDNICKI, KELLER et SCHWENDIMANN, 1978).

L'essai a pour but d'étudier les interactions entre la rotation des cultures, la fumure et les traitements herbicides sur le sol et sur le rendement des cultures; il comprend:

- Trois types d'assolement d'une durée de 5 ans appelés: usuel (40 % de prairies artificielles), céréalier (60 % de céréales) et riche en maïs (60 % de maïs).
- Deux variantes de fumure: l'une purement minérale et l'autre organo-minérale.
- Deux types d'herbicides rémanents appliqués à trois doses: herbicides du groupe des phénylurées et des triazines substituées en dosage économe (= variante de référence avec herbicide de contact ou systémique), normal et double, appliqués chaque année.

3. La première étape de ce projet de recherches consistait, de 1971 à 1973, à caractériser la situation de départ de chacune des parcelles, qui dès lors sert de référence pour les analyses globales effectuées tous les 5 ans (SRZEDNICKI, 1977). Au terme du premier cycle de rotation, en 1978, MAILLARD (1981) tira une conclusion plutôt rassurante: les différentes variantes extrêmes n'avaient pas encore - du moins pas essentiellement - influencé négativement le potentiel de rendement du sol en question.
4. Après 10 années d'essai, en 1983, WEISSKOPF (1986) étudia la chimie de l'humus, la microbiologie et la faune du sol, le potentiel anti-phytopathogène ainsi que la qualité des grains du blé y compris la présence de résidus herbicides. Parallèlement à ces travaux, on s'est attaché à étudier l'évolution des rendements des cultures, des mauvaises herbes et de certaines propriétés chimiques et physiques du sol. Ces recherches font l'objet de cette thèse.

Les résultats obtenus dans les conditions expérimentales locales (536 m d'altitude, 1186 mm de précipitations annuelles,  $\bar{\theta}$  7.8°C annuel) sont résumés par la suite. En 1983, la culture-test, du blé d'automne (Zénith), a subi des dégâts causés par l'herbicide dans la partie de l'essai traité avec les dérivées de la triazine. Il en est tenu compte dans l'interprétation des résultats.

5. Parmi les **propriétés chimiques du sol**, l'assolement usuel extrait le plus de potassium et l'assolement céréalier le moins. L'assolement riche en maïs provoqua une diminution de la teneur en acide phosphorique et en magnésium échangeable. Les herbicides du groupe des phénylurées diminuèrent la teneur en magnésium échangeable dans les parcelles fertilisées uniquement avec des engrais minéraux. Les herbicides du groupe des triazines provoquèrent une élévation du pH, de la teneur en acide phosphorique et du pourcentage de saturation en bases, par contre, la teneur en potassium diminua par rapport à la variante organo-minérale. Le sol des parcelles traitées avec des herbicides triazines en dosage normal et double respectivement, montra un pH plus élevé. Simultanément, la capacité d'échanges en cations diminua, le plus prononcé dans l'interaction "assolement riche en maïs x fumure minérale". L'augmentation de la teneur en acide phosphorique est due à une extraction moindre en éléments nutritifs causée par les effets phytotoxiques.

6. Parmi les **propriétés physiques du sol**, une augmentation de la densité apparente ainsi qu'une diminution du volume des pores grossiers furent constatées dans l'assolement céréaliier et davantage encore dans l'assolement riche en maïs, ceci comparé à l'assolement usuel. Dans l'essai avec les triazines, le volume des pores moyens et plus particulièrement celui de la classe des pores fins-moyens, s'agrandit. Par conséquent, la teneur en humidité du sol fut augmentée ainsi que le volume total des pores dans les parcelles de l'assolement céréaliier. Dans l'essai avec les phénylurées, la fumure organo-minérale créa un effet positif sur la stabilité des agrégats en y réduisant simultanément la densité apparente. Mis à part les dégâts causés sur le blé, l'application des triazines en dosage double diminua la stabilité des agrégats du sol mais augmenta le volume total des pores, en particulier celui des pores moyens.
  
7. Du point de vue **malherbologique**, c'est en dosage économe dans l'assolement céréaliier que les monocotylédones, Agropyron repens (L.) Beauv. et, notamment dans l'assolement riche en maïs, Poa annua L. devinrent les mauvaises herbes dominantes. Par l'application d'herbicides du groupe des triazines, ces graminées furent éliminées. Les herbicides du groupe des phénylurées, par contre, ne furent pas efficaces contre le chiendent. Les dicotylédones, Cirsium arvense (L.) Scop. et Galium aparine L. devinrent des espèces problématiques dans l'assolement céréaliier, d'autant plus que dans ce cas il s'agit d'une inefficacité spécifique aux herbicides rémanents. La fumure purement minérale favorisa l'infestation des espèces Agropyron repens et Galeopsis tetrahit L., tandis que la fumure organo-minérale favorisa celle de Poa annua. Par rapport au dosage normal, le dosage double n'améliora pas l'efficacité des herbicides rémanents contre la plupart des mauvaises herbes. D'une manière générale, on a assisté à une diminution du nombre des espèces de mauvaises herbes dans la rotation chargée en maïs et dans les parcelles traitées chaque année avec des herbicides résiduaaires.
  
8. Les **résidus herbicides dans le sol** furent détectés à l'aide du test biologique du cresson (Lepidium sativum L.). Quatre mois après la dernière application de l'herbicide Tribunil (methabenzthiazurone, groupe des phénylurées), on a constaté une croissance végétale moindre de 3 % et 4 % dans les 5 cm superficiels du sol, ceci dans les dosages normal et double, par rapport au dosage économe (herbicide systémique). De plus, les analyses chromatographiques montrèrent



à dosage double des quantités d'herbicides légèrement plus importantes dans l'assolement céréaliier que dans l'assolement usuel. Les résidus détectés dans le sol des parcelles traitées au dosage double devaient être considérés comme pouvant avoir un léger effet phytotoxique sur la culture suivante. Le semis de navettes (Brassica campestris L.) après la culture du blé d'automne comme engrais verts, et dans le cas présent comme test biologique in situ, montra qu'à la récolte effectuée huit mois plus tard, les parcelles traitées en dosage double avaient un rendement de matière sèche inférieur au dosage simple; ces résultats confirmaient ainsi nos pronostics basés sur les analyses chromatographiques. Dans ces mêmes parcelles, avec la culture principale suivante qui était de l'orge de printemps, on observa également une légère diminution du rendement en grain.

Dans l'essai avec les triazines, on a constaté une diminution de 4 % du rendement de la matière sèche du cresson dans la couche du sol de 0 à 5 cm de l'assolement riche en maïs. Ceci laisse supposer une légère action phytotoxique des résidus herbicides en présence dans le sol. Sur la base des analyses chimiques on a constaté un léger déplacement vertical de l'atrazine et de deux de ses métabolites déalkylés, certes en quantités minimes, dans le sol des parcelles fertilisées uniquement avec des engrais minéraux et traitées à dosage double dans l'assolement riche en maïs. On a observé en revanche aucune action dépressive sur le rendement de la culture des navettes.

9. Dans l'essai avec les phénylurées substituées, le **rendement en grain du blé d'automne** de l'assolement céréaliier, fortement envahi par les mauvaises herbes, a été inférieur à ceux de l'assolement usuel, dans lequel deux années de prairie artificielle avaient précédé la culture du blé. Dans l'essai de triazines, le rendement du blé des assolements céréaliier et riche en maïs traités à la dose économe ont été également inférieurs à ceux de l'assolement usuel. A densité comparable de mauvaises herbes, un rendement meilleur fut enregistré après féverole. La fumure organo-minérale favorisa les composantes de rendement dans l'assolement céréaliier, et la fumure purement minérale dans l'assolement riche en maïs. Contrairement à l'herbicide phénylurée, l'herbicide triazine provoqua - en dosage normal et davantage en dosage double - de sévères dégâts sur la culture de blé, ce qui causa une réduction importante du rendement du blé. Due à une profondeur irrégulière lors du semis du blé, causée par le semoir à fraise, de nombreuses racines ont absorbé cet herbicide de position suite aux fortes précipitations.

10. Sur l'ensemble des 12 **années d'essai**, le **bilan** suivant peut être **dressé sur la base des rendements des cultures**. Le rendement des cultures traitées aux phénylurées et fertilisées uniquement avec des engrais minéraux a été supérieur à celui des parcelles recevant une fumure organo-minérale; la différence de rendement est plus importante dans l'assolement usuel que dans celui céréalier. Le rendement des parcelles traitées aux triazines et fertilisées également uniquement avec des engrais minéraux a été supérieur à celui des parcelles recevant une fumure organo-minérale; la différence de rendement est quelque peu plus importante dans l'assolement riche en maïs que dans celui usuel. Dans l'assolement céréalier, la fumure organo-minérale a fourni les meilleurs rendements par rapport à la fumure minérale.

Le rendement des cultures traitées aux phénylurées est légèrement supérieur à celui des parcelles traitées uniquement avec des herbicides de contact ou systémiques. Dans l'assolement usuel, aucune différence de rendement n'apparaît entre les dosages normal et double; dans celui céréalier, le dosage double améliore quelque peu le rendement par rapport au dosage normal. Quant aux herbicides du groupe des triazines, ils ont eu un effet négatif sur les rendements par rapport au témoin (herbicide de contact ou systémique) quand ils sont appliqués au dosage double, et ceci particulièrement dans l'assolement céréalier. Dans ce même assolement, le dosage normal a entraîné des rendements légèrement plus élevés que dans les assolements usuel et riche en maïs, dans lesquels aucune différence importante n'est à signaler par rapport au dosage de référence.

11. Depuis la mise en place de l'essai en 1973, on constate une évolution du potentiel de rendement du sol, et ceci dans les variantes expérimentales simulant des pratiques culturales quelque peu extrêmes (double dosage des herbicides rémanents, aucune fumure organique, rotation chargée en maïs). Si, en 1978 après 5 années d'essai, aucune modification importante de la fertilité du sol n'était à signaler, mis à part quelques paramètres chimiques et biologiques du sol dans les variantes extrêmes citées précédemment, le même optimisme ne peut pas être prôné en 1983 après 10 années d'essai.

12. Planifié comme un essai de longue durée, le présent essai va se poursuivre.

## SUMMARY

### LONG-TERM RETENTION OF SOIL FERTILITY UNDER THE INFLUENCE OF CROP ROTATION, FERTILIZER TREATMENTS, AND HERBICIDE APPLICATIONS

IV - Comparative studies on chemical, physical, and herbological factors of the yield potential of a soil in consideration of yield development during a 12 year experimental period

1. Structural changes in agriculture as a result of increasing economic pressure has led to marked increases in the specialization and rationalization of modern plant production. This development is characterized by one-sided crop rotations - with few species - as well as the intensive use of mineral fertilizers, and xenobiotics. This state of affairs requires critical examination, namely the impact upon the long-term yield potential of the soil.

2. During the course of field experiments the Crop Science Department of the Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich) has been and is continuing a comparative analysis to investigate the influence of crop rotation, fertilizer treatments, and herbicide applications on the chemical, physical, and biological parameters of the yield potential of a soil. The experimental site is located at the Swiss Federal Research Station for Farm Management and Agricultural Engineering at Taenikon/TG (northeastern Switzerland). The soil type is a clay loam with an organic matter content of about 5.5 % and a pH (KCl) of 7. A split-split-plot experimental design is used consisting of 6 replicates and 30 single treatments, for a total of 180 plots with a size of 84 m<sup>2</sup> each (SRZEDNICKI, KELLER and SCHWENDIMANN, 1978). The following variables are being compared:

- three 5 year crop rotations with emphasis on: practice-oriented (hereafter defined as a 40 % grass-clover ley combination in the rotation), cereal-dominated (60 % cereals), and corn-dominated (60 % corn);
- two fertilizer treatments: one purely mineral, and the other a mixed organic mineral;
- residual herbicides of two different families applied annually at two rates: urea and triazine derivatives at the recommended and twice the recommended rate. A control treatment consists of contact-/auxin-type herbicides at the recommended rate.

3. The first part of this research project was directed at determining the initial state of each plot (1971 - 1973). Thereafter, comparative examinations are conducted at 5 year intervals (SRZEDNICKI, 1977). Based on the results of the 1<sup>st</sup> target-year 1978 - after the completion of one crop rotation period - MAILLARD (1981) came to a rather reassuring conclusion, namely that the yield potential of the soil had not yet been affected - at least not substantially - by excessive experimental treatments.
4. At the end of the 10 year experimental period, in the 2<sup>nd</sup> target-year of 1983, WEISSKOPF (1986) studied factors such as humus chemistry, soil microbiology and -fauna, the antiphytopathogen potential as well as the quality of the test crop including herbicide residues. In conjunction, chemical and physical properties as well as herbological and crop performance factors of the yield potential of the soil were studied. The principal results are reported in the thesis proper. Results obtained under the local experimental conditions (altitude 536 m, total precipitation per annum 1186 mm,  $\bar{\theta}$  7.8°C per annum) are summarized subsequently. Their interpretation takes into consideration, that, due to particular circumstances, the triazine herbicide applied in 1983 had caused phytotoxic injuries on the test crop winter wheat (cv. Zenith). Hence this impediment had to be taken into account.
5. For the **soil chemical properties**, the practice-oriented crop rotation deprived the soil most of potassium, whereas the cereal-dominated rotation was the least depriving in this regard. The corn-dominated crop rotation lowered contents of phosphorous and exchangeable magnesium. In combination with urea herbicides, a decrease of the content of exchangeable magnesium took place in plots treated with mineral fertilizers. Triazine herbicides gave rise to higher pH-values and phosphorous contents as well as to better base saturation; potassium contents were, however, decreased compared with the organic mineral fertilizer treatment. Application of triazine herbicides at the recommended and twice the recommended rate, respectively, increased pH-values, and, simultaneously, cation exchange capacity was decreased, most distinctively within the interaction "corn-dominated crop rotation x mineral fertilizer treatment". Phosphorous contents rose due to reduced nutrient removal caused by the phytotoxic effects.

6. For the **soil physical properties**, increased bulk densities and a decrease in large pores were caused by the cereal-dominated and even more distinctively by the corn-dominated rotation compared with the practice-oriented crop rotation. In the triazine experiment, the volume of medium sized pores was extended accordingly, in particular the narrow ones. Thus, the soil moisture contents were increased as well as the total pore space in the plots of the cereal-dominated crop rotation. In the urea experiment, organic mineral fertilizers improved aggregate stability; simultaneously they reduced bulk density. The harmful effects on the test crop caused by the triazine herbicide - particularly when applied at twice the recommended rate - reduced aggregate stability. However, due to an increased volume of medium sized pores, the total pore space was expanded.
  
7. Based on **weed populations** in the control treatment, the monocots Agropyron repens (L.) Beauv. and Poa annua L. became the dominant species in the cereal-dominated rotation and the latter more so in the corn-dominated crop rotation. These grassy weeds were effectively controlled by triazine herbicides. Urea herbicides, however, were not able to stop the spread of quack grass. Dicots such as Cirsium arvense (L.) Scop. and Galium aparine L. became problematic weeds in the cereal-dominated crop rotation, because the soil-applied herbicides were not effective in this case. Mineral fertilizers led to the infestation by Agropyron repens and Galeopsis tetrahit L. whereas organic mineral fertilizers caused a Poa annua infestation. Further, doubling the recommended application rate failed to remedy the effectiveness of the residual herbicides. One-sided crop rotations, especially the corn-dominated rotation, together with repeated applications of soil-applied herbicides led to the diminution of the number of weed species.
  
8. **Herbicide residues in the soil** were detected by a cress- (Lepidium sativum L.) bioassay. Four months after the last application of the urea herbicide Tribunil (methabenzthiazuron), reduced plant growth of 3 % and 4 % was observed in the surface 5 cm of soil at the recommended and twice the recommended rate, respectively, compared with the control (auxin-type herbicide). Further, analytical determinations showed somewhat higher amounts of chemical concentrations remaining in the soil of the cereal-dominated crop rotation in contrast to the practice-oriented form, both at twice the recommended rate.

These residues could be predicted as "slightly injury-suspicious". Based on the dry matter weights of an additional turnip rape (Brassica campestris L.) test crop in the field harvested eight months later, plots sprayed at twice the recommended herbicide rate still showed a distinct persistence of residues which slightly decreased the yield of the subsequent barley crop.

In the triazine experiment, a 4 % reduction in cress dry matter was noticed at the 0 - 5 cm soil depth in plots of the corn-dominated crop rotation, which indicates a certain phytotoxic effect due to the presence of chemical residues. Based on the analytically detected minor residues of atrazine and two of its dealkylated metabolites, a slight herbicide leaching could be observed within the interaction "mineral fertilizer treatment x twice the recommended herbicide rate" in the corn-dominated crop rotation. Triazine herbicides did not affect the growth of the turnip rape test crop.

9. In contrast to the practice-oriented crop rotation, for which 2 years of ley directly preceded the wheat crop, **wheat grain yields** were lower in the heavily weed infested cereal-dominated crop rotation of the urea experiment. The same was true for the control treatment (auxin-type herbicide) in the cereal and corn-dominated crop rotations of the triazine experiments. At comparable weed densities, better yields were obtained after fababeans. Mixed organic mineral fertilizers favoured yield components in the cereal-dominated crop rotation, and purely mineral fertilizers in the corn-dominated crop rotation. In contrast to the urea herbicide, the triazine herbicide caused - at the recommended rate and more markedly at twice the recommended rate - severe phytotoxic injuries on the wheat crop plants, which led to massive yield losses. Reasons were the inappropriate "semavator" seeding-technique and excessive precipitation.
10. The **yield development in 12 years of research**, in combination with urea herbicides, showed a more pronounced yield increase for the practice-oriented rotation than for the cereal-dominated crop rotation, in the mineral fertilizer treatment. In combination with triazine herbicides, mineral fertilizers increased yields for the practice-oriented rotation and slightly more markedly for the corn-domi-

nated crop rotation. For the cereal-dominated crop rotation, a scanty yield disadvantage was apparent.

In contrast to the control which was treated with contact- or auxin-type herbicides, urea herbicides had little effect on yields. At recommended and twice the recommended rates urea herbicides led to equal yields for the practice-oriented crop rotation. For the cereal-dominated crop rotation there was a slightly more pronounced yield increase when the application rate was doubled. Conversely, triazine herbicides decreased yields when applied at twice the recommended rate, especially for the cereal-dominated crop rotation in comparison to the control treatment. However, when applied at the recommended rate, the cereal-dominated crop rotation seemed to produce better yields than the practice-oriented and corn-dominated crop rotations, for which no substantial yield advantages were observed.

11. To conclude, it should be emphasized that the impact of the different treatments - especially excessive crop management practices - was marginal after the initial 5 year cycle. However, in 10 years of research, after two complete cycles, certain specific trends have emerged of greater significance.
12. The experiments are continuing.