

Diss. ETH Nr. 13496

**Microbially mediated phosphorus transformation processes  
in cultivated soils**

A dissertation submitted to the  
**Swiss Federal Institute of Technology Zurich**

for the degree of

**Doctor of Technical Sciences**

presented by

FRITZ OEHL

Dipl. Ing. Agr. Universität Hohenheim

born January 2, 1967

citizen of Hainfeld (Pfalz)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. E. Frossard, examiner

Prof. Dr. H. Sticher, co-examiner

Prof. Dr. M. McLaughlin, co-examiner

Dr. A. Oberson, co-examiner

Zurich 1999

**ABSTRACT****Microbially mediated phosphorus transformation processes in cultivated soils**

There is a lack in knowledge about microbially mediated phosphorus (P) transformation processes in soils. In this thesis, existing isotopic techniques for measuring  $P_o$  mineralisation and kinetics of microbial P uptake were improved during incubations under conditions of constant soil respiration rates, constant inorganic P ( $P_i$ ) concentrations in the soil solution and constant size of microbially bound P. The methods were applied on differently cultivated soils deriving from a Swiss long-term field experiment, located in Therwil. The soils were taken after 20 years of different farming from the non-fertilised control (NON), a conventional treatment receiving exclusively mineral fertilisers (MIN) and two organic farming systems (DYN = bio-dynamic and ORG = bio-organic). The soils differ highly in microbial parameters. To follow the evolution of P movement and  $P_i$  availability determined by physicochemical processes during three rotations (21 years), a second soil layer (30-50 cm) and a second conventional treatment receiving both, animal manure and mineral fertiliser were additionally included.

In 1998, physicochemically determined  $P_i$  availability assessed by isotopic exchange kinetics had decreased in agreement with the negative P budgets of DYN, ORG and MIN soils. In addition, a P downward movement had increased available  $P_i$  in the subsoil layer. Decreasing available  $P_i$  in the topsoil and increased total subsoil P caused a net upward movement of P due to an increased P uptake by crops from the subsoil during the third rotation.

While physicochemically determined  $P_i$  availability was lower, a higher significance of microbially mediated P transformation processes was revealed in organically cultivated than in MIN soils. First, more available  $P_i$  was delivered from biological and biochemical  $P_o$  mineralisation processes in the organically cultivated soils during incubation. Daily  $P_o$  mineralisation in the soils ( $1.5-2.2 \text{ mg P kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) corresponded to 4.9-9.1 % of available  $P_i$  determined by physicochemical processes. Secondly, the  $P_{chl}$  size and the cycling through  $P_{chl}$  were increased in organically cultivated soils. This was expressed in increased  $^{33}\text{PO}_4$  uptake rates and a more rapid convergence between the isotopic compositions in the soil solution and in  $P_{chl}$ . Fifty-six days after soil labelling,  $^{33}\text{PO}_4$  uptake into  $P_{chl}$  was 7.1-17.5 % of the initially applied tracer. The findings suggest a significant contribution of microbially mediated P transformation processes in the overall P cycling of the investigated soils.

## ZUSAMMENFASSUNG

### **Mikrobiell gesteuerte Phosphor-Transformationsprozesse in ackerbaulich genutzten Böden**

Es bestehen grosse Wissenslücken in mikrobiell gesteuerten Phosphor- (P) Transformationsprozesse in Böden. Deshalb wurden in dieser Arbeit in Inkubationsversuchen Isotopentechniken zur Bestimmung der P-Mineralisierung und mikrobieller P-Aufnahmeraten weiterentwickelt unter Bedingungen konstanter Bodenatmung, konstanter anorganischer P-Konzentrationen in der Bodenlösung und konstanter mikrobieller P-Gehalte. Die Methoden wurden in ackerbaulich genutzten Böden angewandt, die aus dem Oberboden (0-20 cm) eines 20 Jahre alten Langzeitversuch in Therwil (Schweiz) entnommen wurden. Zwei biologische Verfahren (DYN = bio-dynamisch und ORG = bio-organisch), ein ausschliesslich mineralisch gedüngtes Verfahren (MIN) und eine ungedüngte Kontrolle (NON) wurden untersucht. Um sie P-Verfügbarkeit und P-Verlagerung über drei Fruchtfolgen (21 Jahre) zu verfolgen, wurde die zweite Bodentiefe (30-50 cm) und ein zweites konventionelles Verfahren, das neben mineralischer Düngung auch Hofdünger erhält, ebenfalls analysiert.

Im Jahr 1998 hatte die auf physikalisch-chemischen Prozessen beruhende P-Verfügbarkeit (ebenfalls mit Isotopentechniken bestimmt) in Dyn, ORG und MIN entsprechend der negativen P-Bilanzen abgenommen. Ausserdem waren im Durchschnitt jährlich 5-7 kg P pro ha in den Unterboden verlagert worden. In der zweiten Bodentiefe stiegen deshalb die P-Gehalte und die P-Verfügbarkeit. Aufgrund der Umverteilung von P im Profil nahmen die Kulturpflanzen in der dritten Fruchtfolge P vermehrt auch aus dem Unterboden auf. Dies führte zu einer P-Aufwärtsverlagerung im entsprechenden Zeitraum, da P mit den Ernterückständen in den Oberboden zurückgebracht wurde.

Während die physikalisch-chemisch bedingte Verfügbarkeit in den biologischen Anbauverfahren etwas geringer war als in MIN, war die Bedeutung der mikrobiell gesteuerten P-Transformationsprozesse in den biologischen Verfahren höher. Das P-Mineralisierungspotential, die mikrobiellen P-Aufnahmeraten und der P-Fluss zwischen Mikroorganismen und der Bodenlösung waren höher. Tägliche Mineralisierungsraten in den Böden ( $1.5-2.2 \text{ mg P kg}^{-1}$ ) entsprachen 4.9 bis 9.1 % der physikalisch-chemisch bedingten P-Verfügbarkeit. Der mikrobiell gebundene P und die Geschwindigkeit seines Umsatzes war in den biologischen Verfahren bedeutender. Dies drückte sich auch in einer schnelleren Anpassung der isotopischen P-Zusammensetzung der Mikroorganismen gegenüber der Bodenlösung aus. Zwischen 7.1 und 17.5 % des ursprünglich zugeführten  $^{33}\text{PO}_4$  wurden 56 Tage nach der Markierung in den Mikroben wiedergefunden. Die Ergebnisse zeigen, dass mikrobiell bedingte P-Transformationen in Ackerböden einen beachtlichen Beitrag im P-Kreislauf haben können.