

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

Aus der Professur für Landschaftsökologie und Standortkunde
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Zusammenfassung der kumulativen Dissertation

**Re-evaluating phosphorus fertilization in Europe: Conclusions from
long-term field experiments
(Neubewertung der Phosphor-Düngung in Europa: Schlussfolgerungen
aus Langzeit-Feldversuchen)**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturæ (Dr. agr.))

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von M.Sc. Kristin Steinfurth
wohnhaf in Rostock

Verteidigung am 24. Januar 2025

Phosphorus (P) is an irreplaceable and often limiting plant nutrient, making P fertilization a frequent measure in crop production. Excessive soil P concentrations however, increase the risk of P losses to the environment, causing the eutrophication of surface waters. In connection with fluctuating P fertilizer prices, this calls for a reevaluation of current P fertilization practices. A major source of knowledge on yield response to P fertilization as well as the effect of P fertilization on the soil P status are long-term field experiments (LTFEs). Yet results of different European LTFEs are hard to compare, due to the use of different P extraction methods, leading to non-equivalent soil test P (STP) values. The same problem is present for the assessment and comparison of existing European P fertilizer recommendation schemes. A possible solution is the conversion between values derived from different methods, but large differences between published equations question their reliability for other soils than the ones used to establish the equation.

This thesis aimed to (1) make STP values determined with different extraction methods reliably comparable, (2) provide transparently deduced critical STP values (STP values below which the average relative yield falls below a given value, e.g., 95% of maximum yield, due to P insufficiency) as a basis for comparisons with STP target values of existing European fertilizer recommendation schemes, and (3) investigate effects of different crop, soil or climate variables on critical STP values or STP development by joint analyses of data from many different European LTFEs.

Equations for the conversion of values derived from extraction methods commonly used in Europe to the widely used Olsen method were collected and reviewed. This review revealed patterns connected to soil characteristics, especially with regard to pH and carbonate content. Therefore, the selection of an equation based on soils similar to the soil in question, will make STP values as reliably comparable as possible. However, since a large part of the variation between different equations remains unexplained and additional problems exist with regard to the form of the equations (e.g., linear vs. nonlinear), the use of conversion equations remains a considerable source of error.

The common features of most European fertilizer recommendation schemes are target ranges of STP, which should be reached or maintained (built-up and maintenance approach). To reach optimum yields, while not promoting excessive fertilizer use, the threshold of the target range should be closely related to critical STP values. Within the framework of this thesis, data from many European LTFEs on P fertilization were collected and processed to extend an existing database. Using conversion equations, it was possible to jointly analyze the gathered data to determine critical Olsen-P values for different crops and soils and compare these to thresholds of target ranges of different European fertilizer recommendation schemes. Converted threshold values largely varied between recommendation schemes and often exceeded these critical Olsen-P values, calling for a reconsideration of extraordinarily high country-specific thresholds. In

addition, differences in critical Olsen-P values between crops and soil types implied that adjustments based on crops and soil parameters would be a reasonable measure towards more cost-effective and environment-friendly P fertilization.

Due to P accumulation over many years of fertilizer application, many European cropped soils exhibit STP values, which strongly exceed critical STP values. In such cases, omitted P fertilization would be an option to reduce fertilizer costs and environmental risks. To investigate effects of such omitted P fertilization on STP values over time, the STP development of the unfertilized treatments of our LTFE database was examined and compared. Hereby, large differences between treatments were revealed, influencing the timeframe needed to reach critical Olsen-P values. Out of the crop, soil and climate variables most commonly recorded in experiments (P export, clay content, soil organic carbon, pH, average annual temperature and precipitation), soil clay content, precipitation and temperature were showing significant effects on parameters of Olsen-P development. However, the amount of variation explained by the considered variables was low, indicating that the recording of further data like the maximum P sorption capacity, total P or subsoil P would be a reasonable addition in future experiments.

Phosphor (P) ist ein essentieller und oft limitierender Pflanzennährstoff, weshalb P-Düngung eine häufige Maßnahme im Pflanzenbau ist. Zu hohe P-Konzentrationen im Boden erhöhen jedoch das Risiko von P-Verlusten an die Umwelt, was zur Eutrophierung von Oberflächengewässern führen kann. Im Zusammenhang mit den zusätzlich schwankenden Preisen für P-Düngemittel ist eine Neubewertung der derzeitigen P-Düngepraxis erforderlich. Eine wichtige Wissensquelle hinsichtlich der Ertragswirkung von P-Düngung sowie des Effektes von P-Düngung auf den P-Status des Bodens sind Langzeit-Feldexperimente (long-term field experiments; LTFEs). Jedoch sind die Ergebnisse verschiedener europäischer LTFEs schwer zu vergleichen, da unterschiedliche P-Extraktionsmethoden verwendet werden. Dies führt zu nicht äquivalenten P-Bodengehalten (soil test P- bzw. STP-Werten). Dasselbe Problem besteht hinsichtlich der Bewertung und des Vergleichs bestehender europäischer P-Düngeempfehlungen. Eine mögliche Lösung ist die Umrechnung zwischen Werten, die mit Hilfe verschiedener Methoden bestimmt wurden. Die große Varianz entsprechender veröffentlichter Gleichungen stellt jedoch ihre Zuverlässigkeit für andere Böden, als die zur Ableitung der Gleichung verwendeten, in Frage.

Ziel dieser Arbeit war es, (1) die mit verschiedenen Extraktionsmethoden ermittelten STP-Werte zuverlässig vergleichbar zu machen, (2) transparent bestimmte kritische STP-Werte (STP-Werte, unter denen der durchschnittliche relative Ertrag aufgrund von P-Mangel unter einen bestimmten Wert fällt, z. B. 95% des Maximalertrags) als Grundlage für Vergleiche mit Zielwerten bestehender europäischer Düngeempfehlungen bereitzustellen und (3) die Auswirkungen verschiedener Pflanzen-, Boden- oder Klimavariablen auf kritische STP-Werte oder die STP-Entwicklung durch gemeinsame Analysen von Daten aus vielen verschiedenen europäischen LTFEs zu untersuchen.

Es wurden Gleichungen für die Umrechnung von in Europa gebräuchlichen Extraktionsmethoden in die weit verbreitete Olsen-Methode gesammelt und geprüft. Hierbei konnten Muster im Zusammenhang mit Bodeneigenschaften, insbesondere im Hinblick auf den pH-Wert und den Karbonatgehalt, festgestellt werden. Entsprechend lassen sich möglichst verlässliche Umrechnungen durch die Auswahl einer Gleichung erreichen, die auf Böden basiert, die dem betreffenden Boden möglichst ähnlich sind. Da dennoch ein großer Teil der Variation zwischen verschiedenen Gleichungen ungeklärt bleibt und zusätzliche Probleme hinsichtlich der Form der Gleichungen (z.B. linear vs. nicht linear) bestehen, stellt die Verwendung von Umrechnungsgleichungen weiterhin eine erhebliche Fehlerquelle dar.

Das gemeinsame Merkmal der meisten europäischen Düngeempfehlungen sind STP-Zielbereiche, die erreicht und erhalten werden sollten (Prinzip der Erhaltungsdüngung). Um optimale Erträge zu erzielen, ohne einen übermäßigen Düngemiteleinsatz zu fördern, sollte der Schwellenwert des Zielbereichs eng mit kritischen STP-Werten verknüpft sein. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Daten vieler europäischer LTFEs zur P-Düngung gesammelt und aufbereitet, um eine bestehende Datenbank zu erweitern. Mithilfe

von Umrechnungsgleichungen konnten die gesammelten Daten gemeinsam analysiert werden, um kritische Olsen-P-Werte für verschiedene Kulturpflanzen und Böden zu bestimmen und diese mit Schwellenwerten von Zielbereichen verschiedener europäischer Düngeempfehlungen zu vergleichen. Die umgerechneten Schwellenwerte schwankten stark zwischen den verschiedenen Düngeempfehlungen und überstiegen häufig die zuvor ermittelten kritischen Olsen-P-Werte. Dies legt nahe, dass ein Überdenken außergewöhnlich hoher länderspezifischer Schwellenwerte sinnvoll wäre. Darüber hinaus deuteten Unterschiede in den kritischen Olsen-P-Werten zwischen verschiedenen Kulturpflanzen und Bodentypen darauf hin, dass Anpassungen auf der Grundlage von Fruchtarten und Bodenparametern eine sinnvolle Maßnahme für eine kostengünstigere und umweltfreundlichere P-Düngung wären.

Aufgrund von P-Anreicherung über viele Jahre der Düngung weisen viele europäische Ackerböden STP-Werte auf, die kritische STP-Werte deutlich überschreiten. Entsprechend wäre in solchen Fällen der Verzicht auf P-Düngung eine Option, um Düngekosten und Umweltrisiken zu reduzieren. Um die Auswirkungen einer solchen unterlassenen P-Düngung auf die STP-Werte im Zeitverlauf zu untersuchen, wurde die STP-Entwicklung der ungedüngten Varianten unserer LTFE-Datenbank untersucht und verglichen. Dabei wurden große Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt, die sich auf den Zeitrahmen auswirken, der zum Erreichen kritischer Olsen-P-Werte erforderlich wäre. Es zeigte sich, dass von den in Experimenten häufig erfassten Pflanzen-, Boden- und Klimavariablen, (P-Export, Tongehalt, organischer Kohlenstoffgehalt des Bodens, pH-Wert, durchschnittliche Jahrestemperatur und Niederschlag), der Tongehalt des Bodens, der Niederschlag und die Temperatur signifikante Auswirkungen auf die Olsen-P-Entwicklung hatten. Der Umfang der durch die betrachteten Variablen erklärten Variation war jedoch gering, was darauf hindeutet, dass die Erhebung weiterer Daten eine sinnvolle Ergänzung in zukünftigen Experimenten wäre (z.B. P Sorptionskapazität, Gesamt-P oder Unterboden-P).