

# **Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors**

A. Bohner und M. Schink

## **Zusammenfassung**

Im Zeitraum 2004 bis 2006 wurde im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees der Phosphor- und Kalium-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Böden in der obersten Bodenschicht von 0-10 cm erhoben. Die Bodenuntersuchungen konzentrierten sich aufgrund der großen flächenmäßigen Verbreitung auf das Dauergrünland; insgesamt wurden 726 Bodenproben analysiert. Primäres Ziel war, einen Überblick über den Phosphor-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Oberböden im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees zu gewinnen und daraus das Phosphor-Verlustrisiko infolge Erosion, Abschwemmung und Auswaschung abzuschätzen. Die im Boden unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile wurden mit der CAL-Methode und mit der Wasser-Extraktionsmethode ermittelt. Die Ergebnisse der Bodenanalysen belegen sehr niedrige Gehalte an CAL-löslichem Phosphor unter Dauergrünland. Der Großteil der untersuchten Grünlandböden fällt nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) in die Gehaltsstufe A. Daher ist der tatsächliche und mögliche Phosphor-Eintrag aus den Grünlandböden in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer bei standortangepasster, ökologisch nachhaltiger Grünlandbewirtschaftung, sachgerechter Düngung und durchschnittlichen Niederschlagsereignissen gering. Die hohen jährlichen Niederschlagsmengen im Untersuchungsgebiet begünstigen allerdings insbesondere im stärker reliefierten Gelände bei verdichteten Oberböden den Oberflächenabfluss und somit den Phosphor-Eintrag in die Gewässer durch Abschwemmung.

## **Results of the soil analyses in the catchment of Mondsee and Irrsee with special regards to phosphorus**

### **Summary**

Over three years (from 2004 to 2006) the phosphorus and potassium status of the topsoil (0-10 cm of soil depth) in the catchments of lake Mondsee and lake Irrsee was investigated. Soil samples were taken mainly from grasslands, because in the study area this land-use pattern is prevailing. A total of 726 soil analyses have been conducted. The primary aim of this study was to get information about the phosphorus status of the topsoil in order to assess the risk of phosphorus losses from agricultural used soils by soil erosion, surface runoff, and leaching. The pools of various forms of phosphorus in the topsoil were determined by the calcium-acetate-lactate method (CAL-method) and by the water extraction method. Most of the grassland soils investigated reveal very low contents of CAL-soluble

phosphorus. According to the Austrian guideline for an appropriate manure application they have to be classified as phosphorus-deficient grassland soils. In conclusion, because of the frequently very low contents of CAL-soluble phosphorus in the topsoil, it can be assumed, that the actual and potential losses of phosphorus from the grassland soils to the groundwater and to the surface water are rather low if the grasslands are used in a sustainable, site adapted way and if rainfall is not extraordinary intensive. But the high amounts of annual precipitation in the study area favours especially on steeper slopes with compacted topsoils phosphorus losses by surface runoff.

## 1. Einleitung

Der Mondsee und Irrsee befinden sich noch immer in einem oligo-mesotrophen Zustand und der gewünschte oligotrophe Gewässerzustand wurde bisher noch nicht erreicht (GASSNER et al., 2002). Für die Eutrophierung der Gewässer ist in erster Linie der Phosphor verantwortlich (KUMMERT & STUMM, 1989). In den Einzugsgebieten eutrophierungsgefährdeter Gewässer muss daher versucht werden, die Phosphor-Einträge aus punktuellen und diffusen Quellen zu verringern. Für alle anderen Einzugsgebiete gilt es Maßnahmen zu setzen, welche ein Ansteigen dieser Phosphor-Einträge nachhaltig verhindern. Aus landwirtschaftlich genutzten Böden erfolgt der Phosphor-Eintrag durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung (BRAUN et al., 1991; GÄCHTER et al., 1996). Die Phosphor-Verluste werden sowohl vom Wasserhaushalt (insbesondere Niederschlagsmenge und -intensität), von der Parzellentopographie (insbesondere Hangneigung und Hanglänge) und von den Bodeneigenschaften (insbesondere Phosphor-Gehalt, pH-Wert, Redoxpotential, Gründigkeit, Textur, Struktur) als auch von der Art der Bewirtschaftung (Wiese, Weide, Mähweide, Acker, Garten), von der Intensität der Nutzung (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge pro Jahr) sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Menge, Häufigkeit, Art und Zeitpunkt der Düngung) im Einzugsgebiet der Gewässer bestimmt (FROSSARD et al., 2004). Die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Böden nehmen generell mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zu (MEISSNER et al., 1992). Um die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung qualitativ beurteilen zu können, sind zunächst einmal Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt der landwirtschaftlich genutzten Böden im Einzugsgebiet von Seen erforderlich. Anschließend können wirksame Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Gewässer sowie Maßnahmen, welche ein Ansteigen dieser Phosphor-Einträge nachhaltig verhindern, ausgearbeitet werden.

Mit der vorliegenden Studie werden primär folgende Ziele verfolgt:

- Beurteilung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Böden im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Gewässer;
- Analyse des Einflusses verschiedener Bewirtschaftungsarten, Nutzungsintensitäten und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Phosphor-Gehalt im Boden;
- Beurteilung des Phosphor-Eintragspotentials aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Seen und ihre Zuflüsse infolge Erosion, Abschwemmung und Auswaschung;
- Bereitstellung von Bodenanalysedaten für Düngeempfehlungen an die Landwirtinnen und Landwirte;
- Bereitstellung von Daten und Informationen für die Schulung und Beratung der Landwirtinnen und Landwirte mit dem Ziel, die Wasserqualität des Mondsees und Irrsees weiter zu verbessern, gleichzeitig aber auch die Lebensmittelproduktion in der Seenregion zu optimieren;
- Schaffung von Grundlagen für die Entwicklung von regionalen Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität des Mondsees und Irrsees.

## 2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees. Dem Untersuchungsgebiet gehören 17 Gemeinden aus den Bundesländern Oberösterreich und Salzburg an. Der Mondsee liegt in einer Seehöhe von 481 m; der Irrsee befindet sich in einer Seehöhe von 553 m. Der südliche Teil des Untersuchungsgebietes gehört tektonisch zu den Nördlichen Kalkalpen. Hier dominieren verschiedene Kalke und Dolomite. Der Großteil des Untersuchungsgebietes befindet sich in der Flyschzone. Hier sind Sandsteine, Siltsteine und verschiedene Mergel die wichtigsten Gesteinsarten. Das Untersuchungsgebiet wird von zwei unterschiedlichen Landschaftstypen geprägt. Während in den Nördlichen Kalkalpen aus Karbonatgesteinen aufgebaute isolierte Bergstöcke vorherrschen, ist die Flyschzone geomorphologisch vorwiegend durch eine flachwellige Hügellandschaft charakterisiert (OBERHAUSER, 1980). Das heutige Landschaftsbild ist das Ergebnis der pleistozänen Vergletscherung und der postglazialen Ablagerungen. Fluvioglaziale Sedimente sind daher im Untersuchungsgebiet vor allem in den Tallagen weit verbreitet, und somit an der Bodenbildung wesentlich beteiligt. Die Bodentypen sind im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees sehr vielfältig; am häufigsten und am weitesten verbreitet sind Braunerden, Kalkbraunlehme, Rendzinen und Ranker, Auböden, Pseudogleye und Gleye sowie Anmoore und Niedermoore. Eine klimatische Charakterisierung des Einzugsgebietes findet sich bei STRAUSS & STAUDINGER (2007). Insbesondere die hohen jährlichen Niederschlagsmengen steigern die Gefahr für erhöhte Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Gewässer. Das Klima in der Seenregion begünstigt die Grünlandwirtschaft und die Viehzucht. Im

Untersuchungsgebiet ist daher der überwiegende Teil der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche Dauergrünland, während der Ackerbau flächenmäßig eine geringe Bedeutung hat. Das Dauergrünland wird von Mähwiesen und Mähweiden dominiert. Die Mähwiesen werden zum Großteil drei- bis viermal pro Jahr gemäht und auf den Mähweiden finden meist drei bis vier Nutzungen pro Jahr statt. Gedüngt wird nahezu ausschließlich mit hofeigenem Wirtschaftsdünger (Rindergülle, Rindermist); eine mineralische Ergänzungsdüngung kommt nicht besonders häufig vor. Der Rinderbesatz liegt meist unter 1,4 GVE pro Hektar und ist damit – nach europäischen Maßstäben gemessen – nicht sehr hoch. Kraftfutter wird im Seengebiet in geringem Maße eingesetzt.

### 3. Material und Methoden

In den Jahren 2004, 2005 und 2006 wurden im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees insgesamt 726 Bodenproben für chemische Analysen aus dem Oberboden (0-10 cm Bodentiefe) gezogen. Die Probenahme wurde größtenteils vor der Düngung im Herbst und nur vereinzelt im Frühjahr oder zwei bis drei Wochen nach einer Düngegabe in Form einer repräsentativen Mischprobe durchgeführt. Die Auswahl der Beprobungsflächen und die Bodenprobenahme gemäß ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) erfolgten – nach einer Einschulung – durch die Landwirte und landwirtschaftlichen Berater. Aufgrund der großen flächenmäßigen Verbreitung wurde vor allem Dauergrünland beprobt. Untersucht wurden Dauerwiesen (n = 510), Mähweiden (n = 169), Dauerweiden (n = 10), Ackerflächen und Gartenbeete (n = 15) sowie Naturschutzflächen (n = 5). Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Analysemethoden richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-Lösung gemäß ÖNORM L 1083; elektrische Leitfähigkeit konduktometrisch gemäß ÖNORM L 1092; Phosphor und Kalium mit der CAL-Methode gemäß ÖNORM L 1087; wasserlöslicher Phosphor-Gehalt gemäß ÖNORM L 1092).

Aufgrund der speziellen Problemstellung (Seen-Eutrophierung) wurden die Bodenanalysen auf den Phosphor fokussiert. Die in Österreich übliche Routineuntersuchungsmethode für Phosphor ist die Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode). Im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung zur Beurteilung der Nährstoffsituation wird in Österreich bei Dauergrünland nur der Oberboden (0-10 cm) beprobt. Somit können die Phosphor-Gehalte der untersuchten Bodenproben aus dem Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit den Gehaltsklassen und Versorgungsstufen gemäß den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) verglichen und dementsprechend interpretiert werden. Außerdem ist dadurch auch ein Vergleich mit den Grünlandböden aus anderen Regionen Österreichs möglich. Aufgrund dieser einfachen Routineuntersuchungen können Phosphor-Austräge mit dem Sickerwasser aus landwirtschaftlich genutzten Böden allerdings nicht quantifiziert werden. Dazu wären umfangreiche Lysimeterversuche notwendig. Unter der Annahme, dass Böden mit einem hohen Gehalt an CAL- und wasserlöslichem Phosphor im Oberboden in der

Regel auch ein größeres Phosphor-Verlustrisiko aufweisen, ist eine qualitative Beurteilung der Eutrophierungsgefährdung von aquatischen Ökosystemen durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung aber möglich.

Die unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile im Boden wurden mit zwei verschiedenen Phosphor-Bestimmungsmethoden charakterisiert. Die landwirtschaftliche Referenzmethode in Österreich und in Bayern für die Bestimmung des Phosphor-Gehaltes im Boden ist die CAL-Methode. Mit dieser chemischen Extraktionsmethode wird der CAL-lösliche Phosphor-Pool im Boden erfasst. Damit kann der „Kapazitätsfaktor“ annähernd ermittelt werden. Mit der CAL-Extraktion ist in erster Linie eine qualitative Beurteilung des Phosphor-Versorgungszustandes von Böden möglich; quantitative Angaben wie beispielsweise die Höhe der mineralischen Phosphor-Ergänzungsdüngung oder Aussagen zur Phosphor-Verfügbarkeit für Pflanzen sind hingegen problematisch. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die CAL-Methode die Phosphor-Verfügbarkeit in Böden mit hohem  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt erheblich unterschätzt (ZORN & KRAUSE, 1999). Mit der Messung des Phosphor-Gehaltes im Wassereextrakt wird der „Intensitätsfaktor“ festgestellt. Die Extraktion mit Wasser liefert Informationen über die Menge an wasserlöslichem und damit leicht mobilisierbarem bzw. sofort auswaschbarem Phosphor im Boden.

Die Art der Bewirtschaftung, die Intensität der Nutzung sowie die Art und das Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Beprobungsfläche wurden befragt. Die Datenauswertung erfolgte mittels Beschreibender Statistik und einfachen Regressionsanalysen. Für alle Analyseergebnisse sind das arithmetische Mittel und der Variabilitätskoeffizient angegeben.

#### **4. Ergebnisse**

Der Großteil der untersuchten Böden befindet sich in den obersten 10 cm im ökologisch günstigen Silikat-Pufferbereich ( $\text{pH CaCl}_2$ : 6.2 - 5.0); ein nennenswerter Anteil gehört auch dem Karbonat-Pufferbereich ( $\text{pH CaCl}_2$ : > 6.2) und dem Austauscher-Pufferbereich ( $\text{pH CaCl}_2$ : 5.0 - 4.2) an (Abb. 1). In carbonathaltigen Böden im Karbonat-Pufferbereich verzeichnen mineralische Phosphor-Dünger vom Typ der weicherdigen Rohphosphate (Hyperphosphat) wegen des hohen pH-Wertes, der großen Säureneutralisationskapazität und der hohen Calcium-Aktivität in der Bodenlösung eine sehr niedrige Auflösungsgeschwindigkeit. Hyperphosphat löst sich im Boden umso besser, je niedriger der pH-Wert, je kalkärmer der Boden und je feuchter der Standort ist. Die Grünlandböden im Austauscher-Pufferbereich haben bereits einen Kalkbedarf; eine Aufkalkung ( $\text{pH-Ziel im Grünland}$ : 5.0 - 6.2) ist sinnvoll.

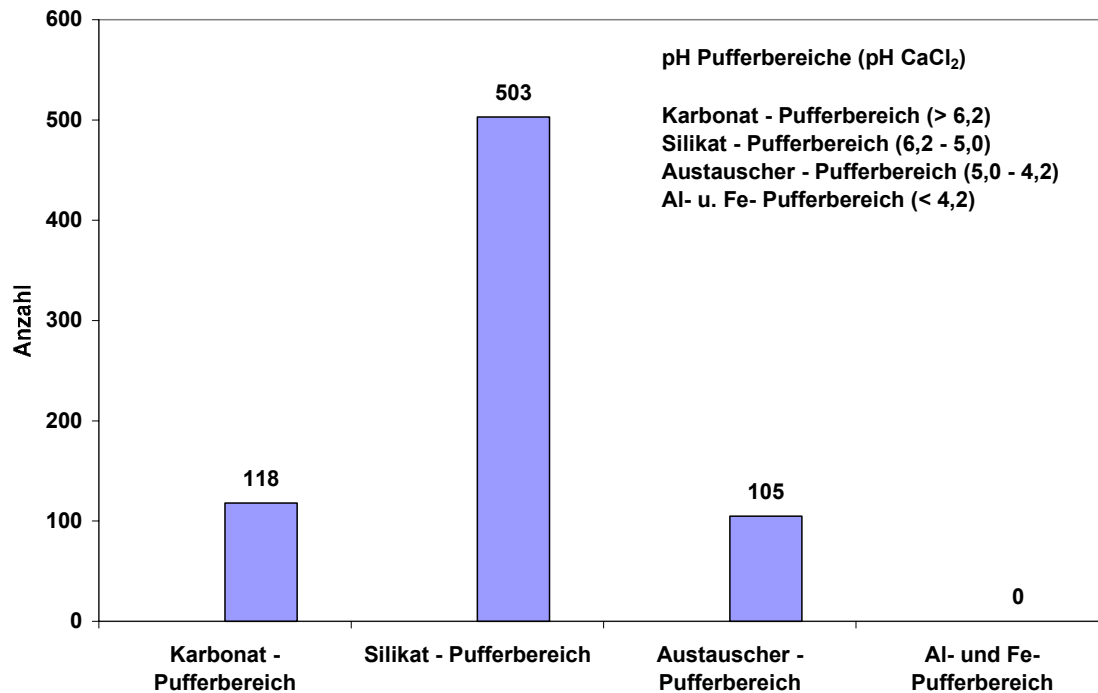


Abb. 1: pH-Werte (pH CaCl<sub>2</sub>) der untersuchten Böden (n = 726) in der Bodentiefe 0-10 cm

Der Großteil der untersuchten Böden fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte) (Abb. 2). Vor allem die Grünlandböden sind im Oberboden – beurteilt nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt (Abb. 4). Auch HEINZLMAIER et al. (2005) und BOHNER & EDER (2006) mussten in anderen österreichischen Landschaftsräumen den Großteil ihrer untersuchten Grünlandböden der Gehaltsstufe A zuordnen. Ein hoher Anteil an ungenügend mit CAL-löslichem Phosphor versorgten Grünlandböden dürfte somit kein Unikum des Untersuchungsgebietes sein. Eine Überprüfung der zur Zeit gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den CAL-löslichen Phosphor-Gehalt von Grünlandböden gemäß den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) ist daher notwendig. Deutlich günstiger ist die Versorgung der Böden mit CAL-löslichem Kalium; die Mehrheit der untersuchten Böden befindet sich in der Gehaltsstufe C (ausreichende Kalium-Gehalte) (Abb. 3).

Der Phosphor-Gehalt im Oberboden ist stark von der Art der Bewirtschaftung abhängig. Die Acker- und Gartenböden sind im Durchschnitt deutlich besser mit CAL- und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden (Abb. 4, 5). Vor allem Gartenböden sind in den obersten 10 cm häufig mit Phosphor stark überdüngt; CAL-lösliche Phosphor-Gehalte bis 389 mg pro kg Feinboden wurden gemessen.

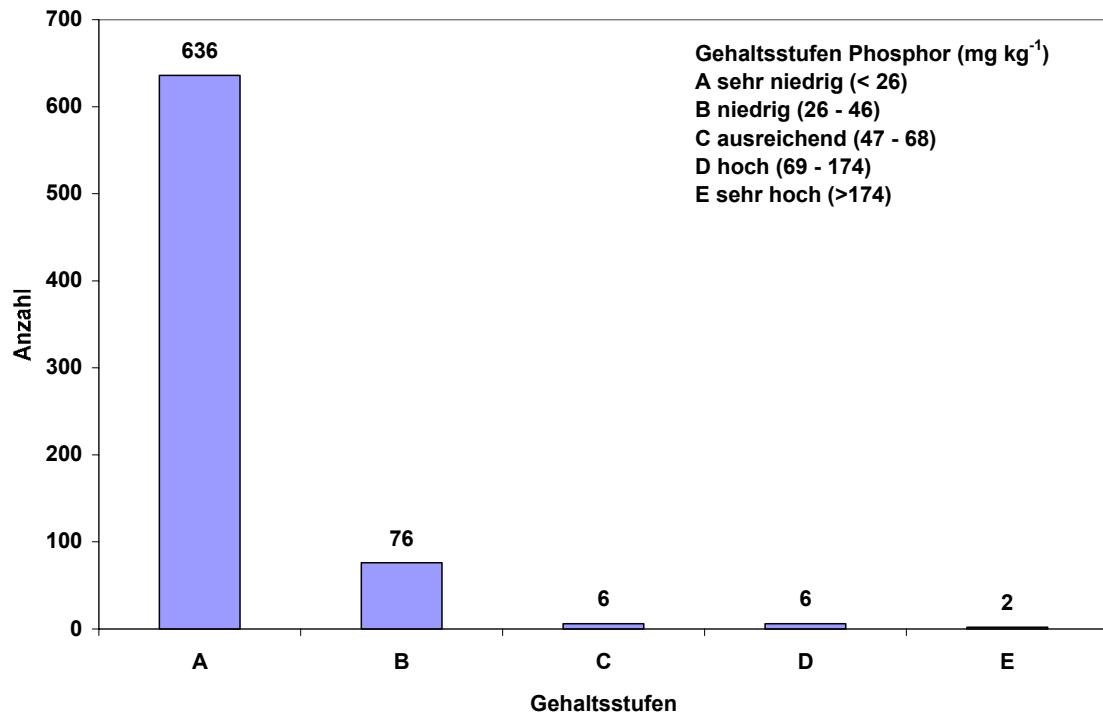


Abb. 2: Phosphor-Gehaltsstufen (CAL-Methode) der untersuchten Böden (n = 726)

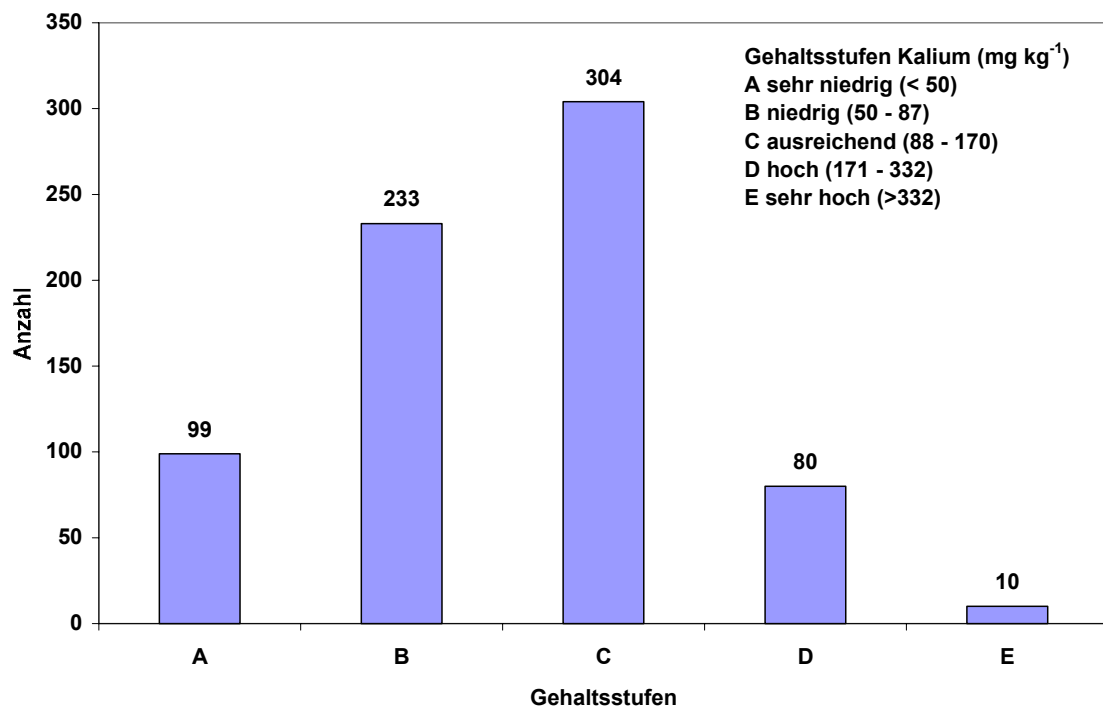


Abb. 3: Kalium-Gehaltsstufen (CAL-Methode) der untersuchten Böden (n = 726)

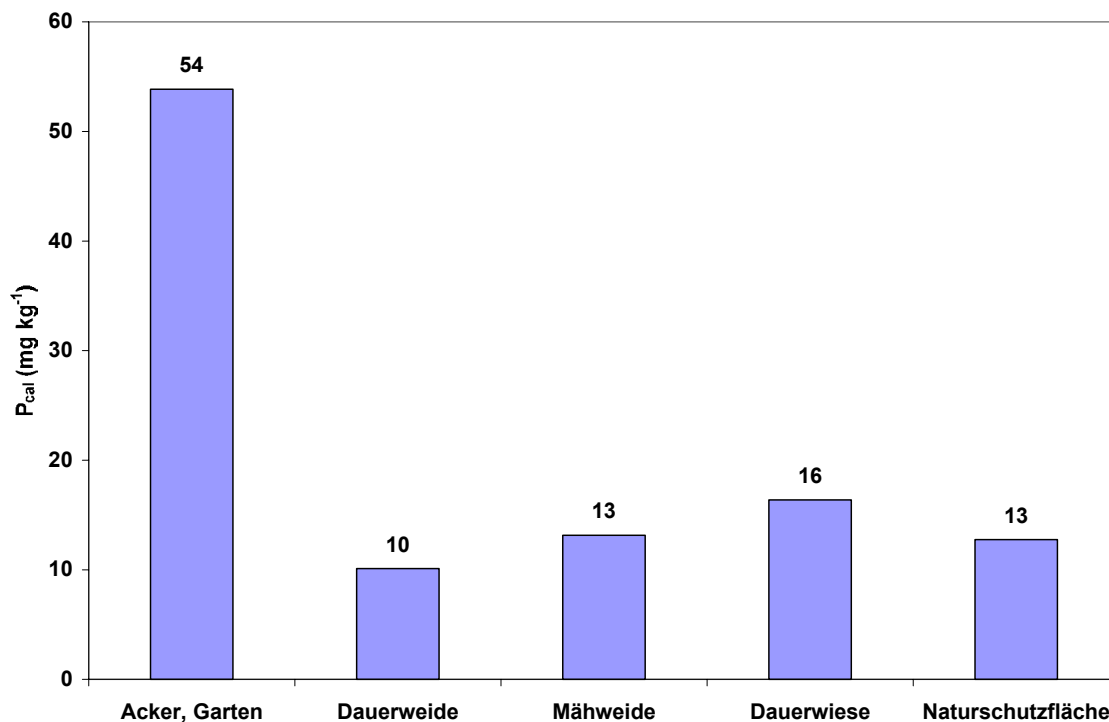


Abb. 4: CAL-löslicher Phosphor-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 209; Dauerweide n = 10, V% = 36; Mähweide n = 169, V% = 52; Dauerwiese n = 510, V% = 63; Naturschutzfläche n = 5, V% = 75)

Beim CAL-löslichen Kalium-Gehalt sind diese bewirtschaftungsbedingten Unterschiede deutlich schwächer ausgeprägt (Abb. 6). Während der CAL- und wasserlösliche Phosphor-Gehalt insbesondere der Grünlandböden im Oberboden primär von der Höhe der zugeführten Düngermenge in der Gegenwart und/oder Vergangenheit abhängt (BOHNER, 2005), wird der CAL-lösliche Kalium-Gehalt – neben der Art der Bewirtschaftung und Intensität der Nutzung – auch sehr wesentlich von der Art und Menge an Tonmineralien im Boden, von der mineralogischen Zusammensetzung sowie vom Grad der Verwitterung des bodenbildenden Muttergesteins beeinflusst. Daher können ton- und glimmerreiche, saure Grünlandböden auch ohne Düngerezufuhr von Natur aus sehr Kalium-reich sein (BOHNER & EDER, 2006).

Auffallend und nicht plausibel ist der im Durchschnitt niedrige CAL-lösliche Kalium-Gehalt in den Oberböden der untersuchten Dauerweiden (Abb. 6). Intensiv genutzte Kulturweiden weisen im Oberboden in der Regel hohe CAL-lösliche Kalium-Gehalte auf (BOHNER & EDER, 2006; BOHNER & TOMANOVA, 2006). Die ungewöhnlich niedrigen CAL-löslichen Kalium-Gehalte in den Oberböden der untersuchten Dauerweiden können nur dadurch erklärt werden, dass im Seengebiet vor allem extensiv genutzte Hutweiden und Kulturweiden beprobt wurden. Außerdem war der Stichprobenumfang bei den Dauerweiden viel zu gering, um eine zuverlässige und



abgesicherte Aussage über die Nährstoffsituation der Oberböden treffen zu können, und es fehlen Angaben zur langjährigen Düngungs- und Nutzungsgeschichte. Für die überwiegend niedrigen CAL-löslichen Phosphor-Gehalte der untersuchten Grünlandböden dürften zwei Faktoren hauptverantwortlich sein. Zum einen ist der Rinderbesatz und damit der Wirtschaftsdüngeranfall im Seengebiet – nach europäischen Maßstäben gemessen – im Allgemeinen nicht sehr hoch, und zum anderen erhalten die Grünlandböden überwiegend hofeigenen Wirtschaftsdünger (Rindergülle, Rindermist) und nicht besonders häufig eine mineralische Phosphor-Ergänzungsdüngung. Rindergülle und Rindermist sind – im Gegensatz zu Schweinegülle und Schweinemist – vergleichsweise phosphorarme Wirtschaftsdünger.

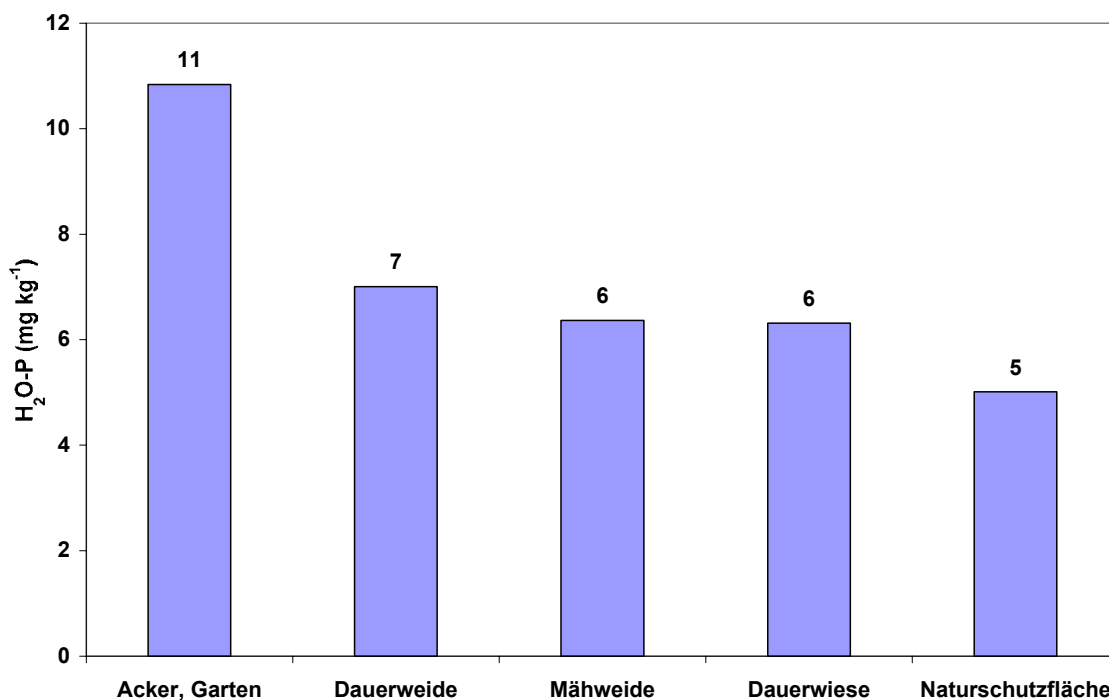


Abb. 5: Wasserlöslicher Phosphor-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 137; Dauerweide n = 10, V% = 30; Mähweide n = 163, V% = 39; Dauerwiese n = 500, V% = 44; Naturschutzfläche n = 4, V% = 42)

Der Phosphor-Gehalt der Grünlandböden wird auch von der Intensität der Nutzung sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst. Vor allem bei den untersuchten Dauerwiesen ist mit steigender Nutzungsintensität (früherer und häufigerer Schnitt) eine Zunahme des CAL-löslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden zu beobachten (Abb. 7).

Sowohl bei den untersuchten Dauerwiesen als auch bei den untersuchten Mähweiden ist mit steigender Nutzungsintensität ein höherer CAL-löslicher Kalium-Gehalt im Oberboden festzustellen (Abb. 7, 8). Bei den untersuchten Dauerwiesen mit mindestens vier Schnitten pro Jahr und bei den untersuchten Mähweiden mit vier

Nutzungen pro Jahr führt die zusätzliche Applikation von Mineraldünger auch zu höheren CAL-löslichen Phosphor- und Kalium-Gehalten im Oberboden (Abb. 9, 10).

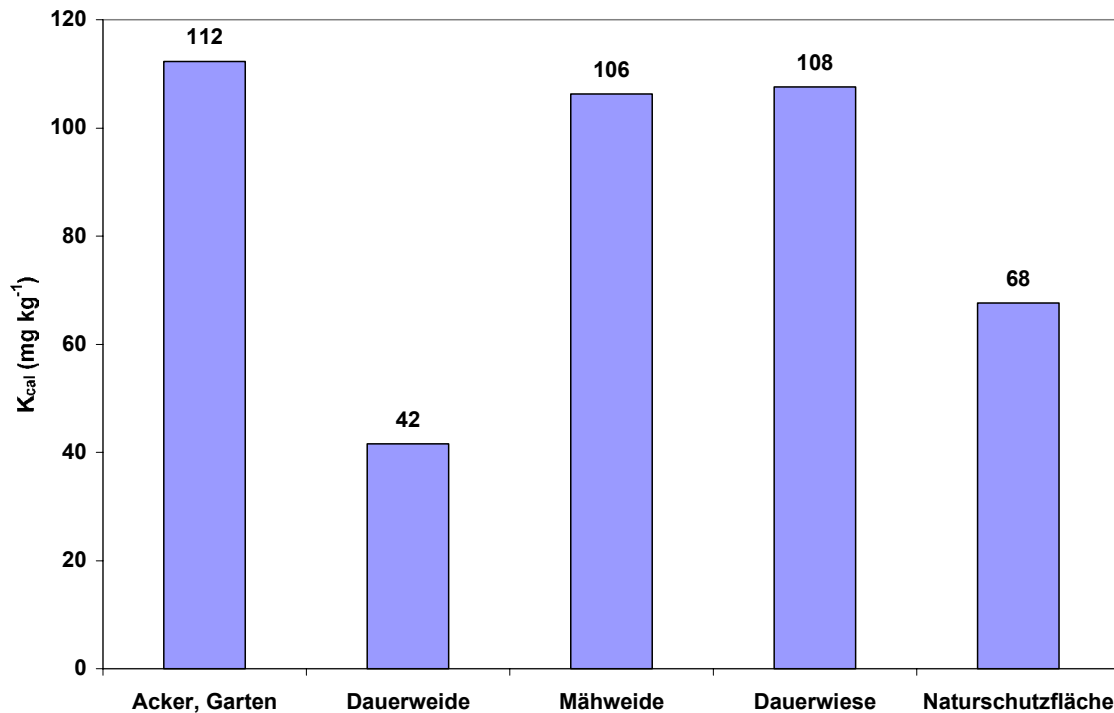


Abb. 6: CAL-löslicher Kalium-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 113; Dauerweide n = 10, V% = 22; Mähweide n = 169, V% = 58; Dauerwiese n = 510, V% = 56; Naturschutzfläche n = 5, V% = 39)

Wie die polynomische Regressionsfunktion in Abb. 11 zeigt, nimmt der wasserlösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden mit steigendem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt im Schwankungsbereich der gemessenen Phosphor-Werte nicht überproportional zu.

Das Verhältnis von CAL-löslichem Phosphor-Gehalt zu wasserlöslichem Phosphor-Gehalt beträgt im Mittel etwa 2.5:1; ungefähr 40 % des CAL-löslichen Phosphors im Oberboden liegen somit in wasserlöslicher und damit leicht mobilisierbarer und sofort auswaschbarer Form vor. In den Böden im Karbonat-Pufferbereich (pH CaCl<sub>2</sub>: >6.2) ist dieser prozentuale wasserlösliche Phosphor-Anteil mit ca. 34 % naturgemäß etwas niedriger. Eine erhöhte Calcium-Konzentration und ein hoher pH-Wert in der Bodenlösung erniedrigen die Löslichkeit von Calcium-Phosphaten und reduzieren somit die wasserlösliche Phosphor-Fraktion im Boden. Die Böden im Karbonat-Pufferbereich dürften deshalb ein geringeres Phosphor-Auswaschungsrisiko als vergleichbare Böden im Silikat-, Austausch- oder Aluminium- und Eisen-Pufferbereich besitzen.

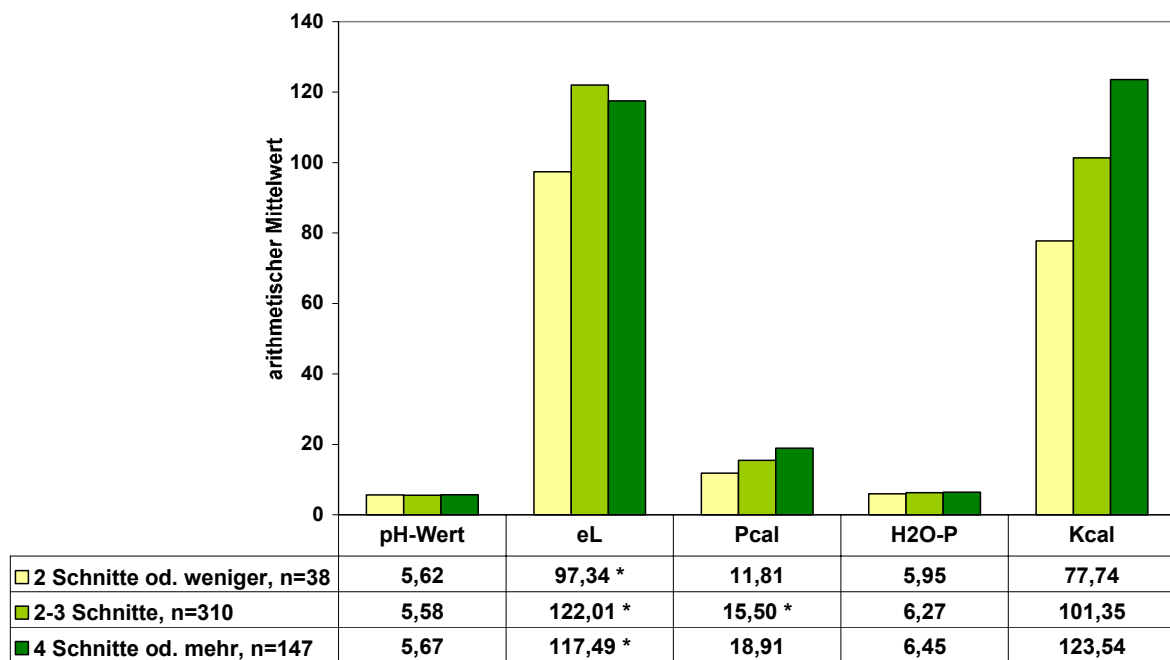


Abb. 7: Bodenkennwerte von Dauerwiesen (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit (eL = elektrische Leitfähigkeit in  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $P_{\text{cal}}$ ,  $K_{\text{cal}}$  = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt in  $\text{mg kg}^{-1}$ ;  $\text{H}_2\text{O-P}$  = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt in  $\text{mg kg}^{-1}$ ); \* = Variabilitätskoeffizient > 60 %

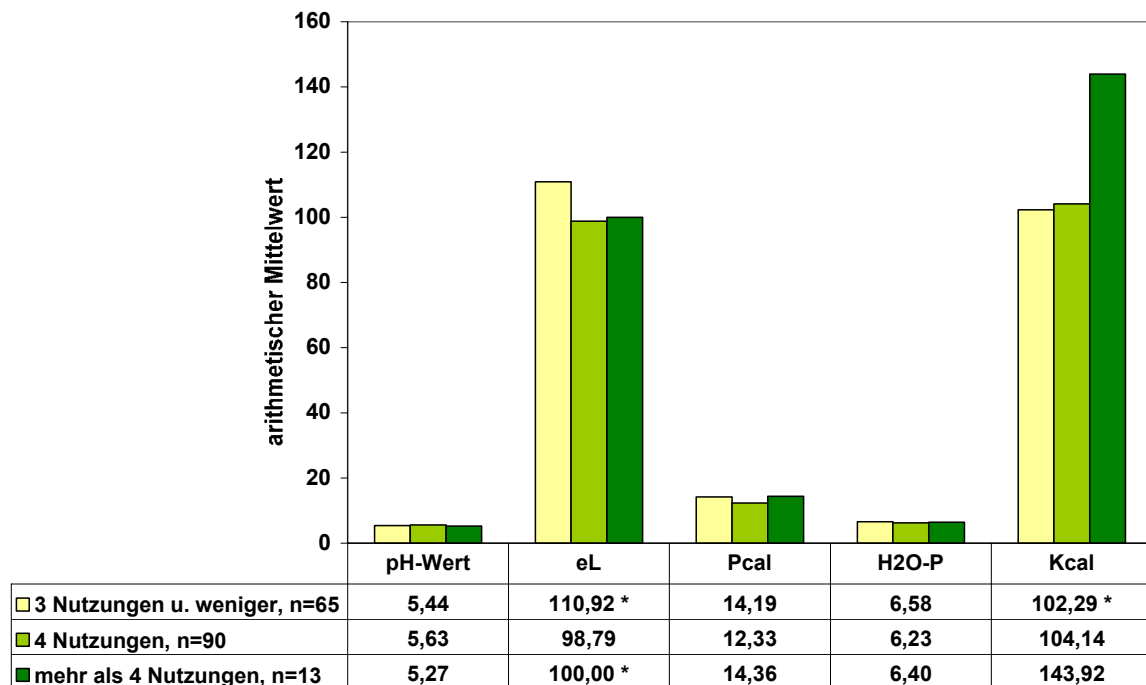


Abb. 8: Bodenkennwerte von Mähweiden (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität; \* = Variabilitätskoeffizient > 60 %

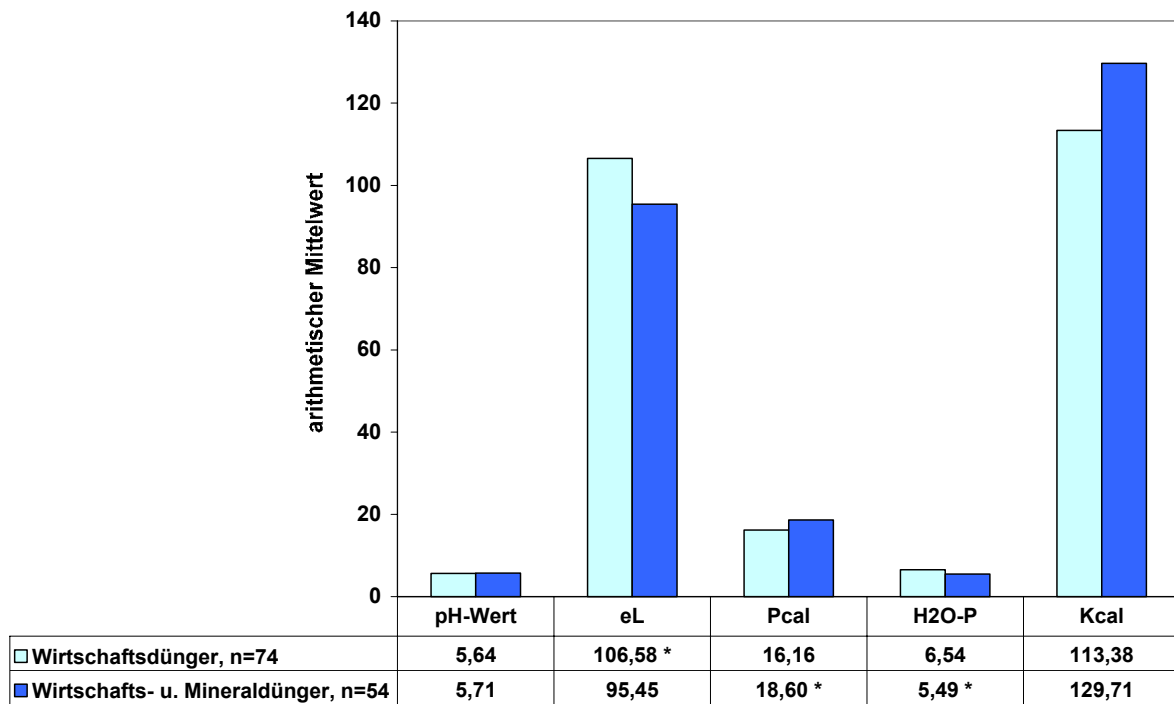


Abb. 9: Bodenkennwerte von Dauerwiesen mit vier Schnitten pro Jahr oder mehr (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Düngung; \* = Variabilitätskoeffizient > 60 %

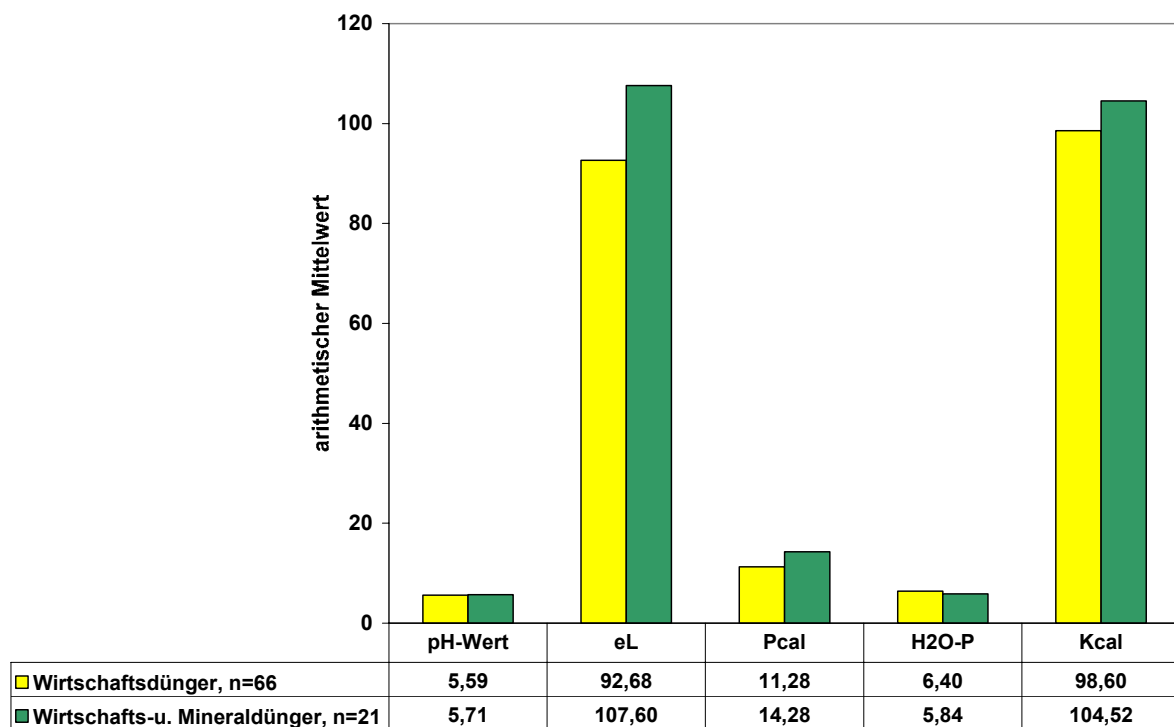


Abb. 10: Bodenkennwerte von Mähweiden mit vier Nutzungen pro Jahr (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Düngung

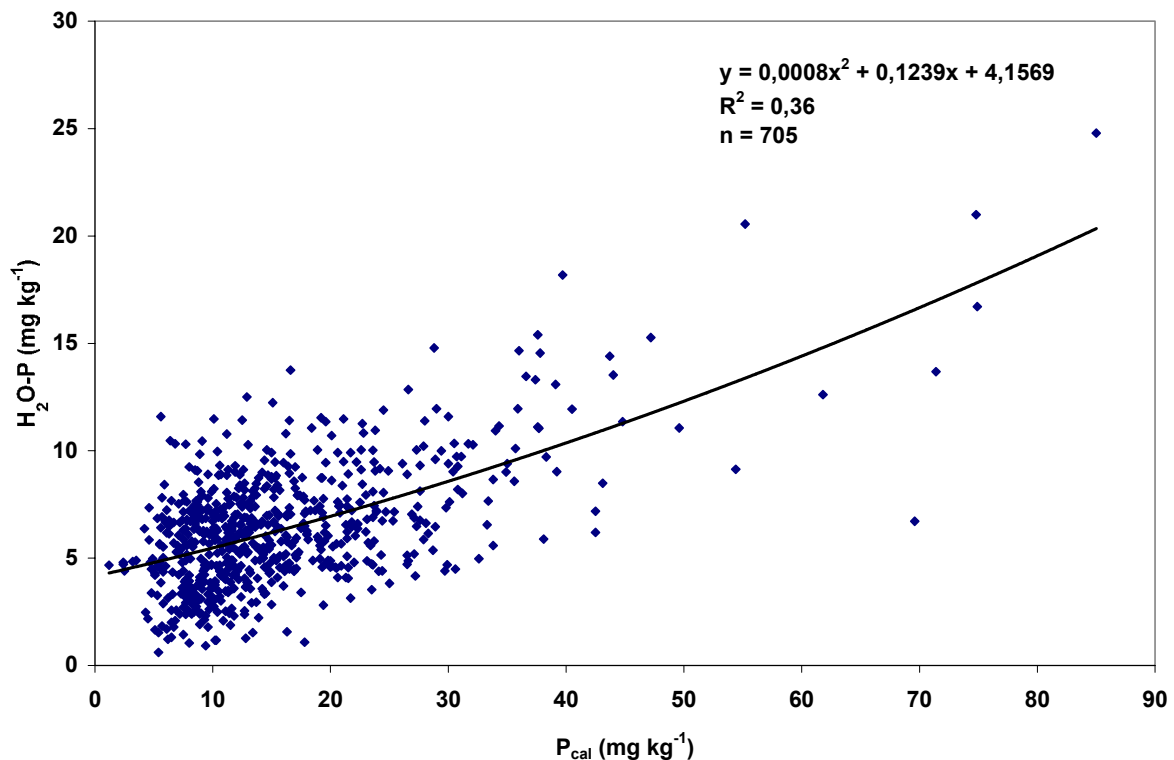


Abb. 11: Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und wasserlöslichem Phosphor-Gehalt in der Bodentiefe 0-10 cm

## 5. Schlussfolgerungen

Die Daten aus den Bodenanalysen ermöglichen eine Beurteilung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Oberböden im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees. Vor allem die Grünlandböden sind – beurteilt nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt.

Für den Mondsee und Irrsee wurde aus dem Einzugsgebiet eine tolerierbare Phosphor-Fracht von 0.5 kg Phosphor pro Hektar und Jahr ermittelt (STRAUSS & STAUDINGER, 2007).

Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, dass die Bodenerosion im Dauergrünland – im Gegensatz zu Ackerland – für die Eutrophierung der Gewässer eine geringe Bedeutung hat (WERNER et al., 1991; Von ALBERTINI et al., 1993; KLAGHOFER, 1997; PRASUHN, 2001). BOHNER et al., 2007 stellten im Rahmen eines mehrjährigen Lysimeterversuches fest, dass auf einer tiefgründigen, carbonatfreien Braunerde aus fluvioglazialen Sedimenten mit der Bodenart lehmiger Sand bei einer jährlichen Niederschlagsmenge von 862 bis 1371 mm die Phosphor-Austräge mit dem Sickerwasser weniger als 0.2 kg Phosphor pro Hektar und Jahr betragen. Der untersuchte Grünlandboden war ausreichend mit CAL-löslichem Phosphor versorgt

(Gehaltsstufe C) und wies sogar eine schwach positive Phosphor-Bilanz (mineralische Phosphor-Düngung > Phosphor-Entzug durch die Grünlandvegetation) auf. Eine Literaturübersicht lässt erkennen, dass aus intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht mehr als 1 kg Phosphor pro Hektar und Jahr mit dem Sickerwasser ausgetragen werden (SCHEFFER, 1977; SCHACHTSCHABEL et al., 1998), wobei für Dauergrünland ein jährlicher Durchschnittswert von 0.1 kg Phosphor pro Hektar angegeben wird (OTTO, 1980). Im Vergleich dazu macht der jährliche Phosphor-Eintrag aus der Atmosphäre durch nasse Deposition ungefähr 0.3 kg Phosphor pro Hektar aus (BOHNER et al., 2007). Nachdem im Untersuchungsgebiet der überwiegende Teil der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche wenig erosionsgefährdetes Dauergrünland ist und die Grünlandböden meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt sind kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees der tatsächliche und mögliche Phosphor-Eintrag aus den Grünlandböden in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer bei standortangepasster Grünlandbewirtschaftung und durchschnittlichen Witterungsverhältnissen geringer als die für die Seen tolerierbaren Frachten von 0.5 kg Phosphor pro Hektar und Jahr sein dürfte. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass größere Phosphor-Mengen aus „Problemflächen“ mit überdurchschnittlich hohen Phosphor-Gehalten im Oberboden, wie beispielsweise Gartenböden, in die Gewässer gelangen. Weitere „hot spots“ sind spezifische Phosphor-Anreicherungszone in intensiv genutzten Kulturweiden wie beispielsweise der Weideeingang (BOHNER & TOMANOVA, 2006), drainiertes Grünland (DIEPOLDER et al., 2005) oder intensiv genutztes Grünland mit lückenhafter Grasnarbe (DIEPOLDER et al., 2006).

Die Auswertung der Analysenergebnisse zeigt, dass der Phosphor-Status der landwirtschaftlich genutzten Oberböden sehr wesentlich von der Art der Bewirtschaftung, von der Intensität der Nutzung sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen abhängt. Die Acker- und Gartenböden sind im Oberboden im Durchschnitt deutlich besser mit CAL- und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Nachdem die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Böden mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zunehmen (SCHEFFER, 1977; OTTO, 1980; MEISSNER et al., 1992; RÖMER, 1997) kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass von den Phosphorreichereren und stärker erosionsgefährdeten Acker- und Gartenböden auch ein vergleichsweise höheres Phosphor-Austragsrisiko ausgeht. Vor allem bei den untersuchten Dauerwiesen ist mit steigender Nutzungsintensität (früherer und häufigerer Schnitt) eine Zunahme des CAL-löslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden zu beobachten. Bei den untersuchten Dauerwiesen mit mindestens vier Schnitten pro Jahr und bei den untersuchten Mähweiden mit vier Nutzungen pro Jahr führt die zusätzliche Applikation von Mineraldünger auch zu höheren CAL-löslichen Phosphor-Gehalten in den obersten 10 cm des Bodens. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung erhöht das Risiko für stärkere Phosphor-Einträge in die Gewässer vor allem dann, wenn es im Zuge der Intensivierung zu einer Narbenauflockerung und Lückenbildung im Pflanzenbestand kommt und/oder die Oberböden insbesondere in Hanglagen stärker verdichtet werden. Verdichtete,

strukturgeschädigte Böden in Hanglagen weisen infolge verminderter Infiltration von Regen- und Schneeschmelzwasser einen erhöhten Oberflächenabfluss sowie eine niedrigere Infiltrationsrate der Flüssigdünger (Gülle, Jauche) auf. Dies verstärkt das Risiko für eine Phosphor-Abschwemmung aus aufgebrauchten Düngemitteln in die Oberflächengewässer (VON ALBERTINI et al., 1993).

Erosionsgefährdete Acker- und Gartenböden haben im Untersuchungsgebiet flächenmäßig eine geringe Bedeutung. Der Phosphor-Austrag mit dem Sickerwasser ist bei Grünlandböden, sofern diese standortgemäß bewirtschaftet werden und keine außergewöhnlichen Niederschlagsereignisse stattfinden, im Allgemeinen gering (SCHEFFER, 1977; OTTO, 1980; SCHACHTSCHABEL et al., 1998; BOHNER et al., 2007). Somit ist anzunehmen, dass die Abschwemmung auf Grünland der wichtigste diffuse Eintragsweg für Phosphor von landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Seen und ihre Zuflüsse darstellt. Auf Grünland können erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden, insbesondere wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis oder im Winter über schneebedeckten und/oder gefrorenen Boden ausgebracht wird (BRAUN & LEUENBERGER, 1991; BRAUN & PRASUHN, 1997). Die hohen jährlichen Niederschlagsmengen im Untersuchungsgebiet begünstigen insbesondere im stärker reliefierten Gelände bei verdichteten Oberböden den Oberflächenabfluss und somit den Phosphor-Eintrag in die Gewässer durch Abschwemmung. Bei der Ausarbeitung regionaler Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Seen und ihre Zuflüsse muss daher vor allem die Abschwemmung auf Grünland mit höchster Priorität berücksichtigt werden. Um im Falle eines Starkregens oder bei der Schneeschmelze das Phosphor-Abschwemmungsrisiko möglichst gering zu halten, ist darauf zu achten, dass im Oberboden keine überhöhten Phosphor-Vorräte vorhanden sind, die Böden nicht verdichtet werden und die Grasnarbe keine Lücken aufweist.

## Dank

Dem anonymen Begutachter danken wir für Anmerkungen und konstruktive Kritik.

## 6. Literaturverzeichnis

- BOHNER, A., 2005: Soil chemical properties as indicators of plant species richness in grassland communities. *Grassland Science in Europe*, Vol. 10, 48-51.
- BOHNER, A. und G. EDER, 2006: Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland. Seminar Umweltprogramme für die Landwirtschaft, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 53-64.
- BOHNER, A., G. EDER und M. SCHINK, 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.

- BOHNER, A. and O. TOMANOVA, 2006: Effects of cattle grazing on selected soil chemical and soil physical properties. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 89-91.
- BRAUN, M., M. FREY und P. HURNI, 1991: Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). FAC Liebefeld, 87 S.
- BRAUN, M. und J. LEUENBERGER, 1991: Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Ackerland und Grasland während den Wintermonaten. *Landwirtschaft Schweiz*, Band 4, 555-560.
- BRAUN, M. und V. PRASUHN, 1997: Maßnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. *Agrarforschung* 4, 339-342.
- DIEPOLDER, M., S. RASCHBACHER und T. EBERTSEDER, 2005: Versuchsergebnisse zum P-Austrag aus Drainagen unter Grünland bei Düngerapplikation unmittelbar vor einem Starkregeneignis. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 17, 134-135.
- DIEPOLDER, M., F. PERETZKI, L. HEIGL und B. JAKOB, 2006: Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung. *Schule und Beratung*, Heft 4/06.
- FROSSARD, E., P. JULIEN, J.-A. NEYROUD und S. SINAJ, 2004: Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt – Situation in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 368, 172 S.
- GÄCHTER, R., A. MARES, C. STAMM, U. KUNZE und J. BLUM, 1996: Dünger düngt Sempachersee. *Agrarforschung* 3, 329-332.
- GASSNER, H., A. JAGSCH, D. ZIEK, G. BRUSCHEK und I. FREY, 2002: Die Wassergüte ausgewählter Seen des oberösterreichischen und steirischen Salzkammergutes. *Schriftenreihe BAW*, Band 15, 125 S.
- HEINZLMAIER, F., M.H. GERZABEK, M. TULIPAN und A. BAUMGARTEN, 2005: Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden: Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodeneigenschaften. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 17, 96-97.
- KLAGHOFER, E., 1997: Bodenerosion. In: *Bodenschutz in Österreich*. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 37-45.
- KUMMERT, R. und W. STUMM, 1989: *Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes*. Teubner Verlag, 331 S.
- MEISSNER, R., H. KLAPPER und J. SEEGER, 1992: Wirkungen einer erhöhten Phosphatdüngung auf Boden und Gewässer. *Wasser und Boden* 4, 217-220.
- OBERHAUSER, R., 1980: *Der geologische Aufbau Österreichs*. Geologische Bundesanstalt, Springer Verlag, 695 S.
- OTTO, A., 1980: Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. *Wasser und Boden* 1/1980, 26-30.
- PRASUHN, V., 2001: Abschätzung der P- und N-Einträge in die Gewässer des Kantons Zürich mittels GIS. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, Band 96, Heft 2, 645-646.
- RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG, 2006: *Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft*. 6. Aufl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 80 S.



- RÖMER, W., 1997: Phosphorausstrag aus der Landwirtschaft in Gewässer. Wasser & Boden, 49. Jahrgang, 51-54.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.H. HARTGE und U. SCHWERTMANN, 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 494 S.
- SCHEFFER, B., 1977: Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden und Gewässerbelastung. Geol. Jb. F4, 203-221.
- STRAUSS P. und B. STAUDINGER, 2007: Berechnung der Phosphor und Schwebstofffrachten zweier Hauptzubringer (Zellerache, Fuschlerache) des Mondsees. Schriftenreihe BAW, 26, 18-33.
- VON ALBERTINI, N., M. BRAUN und P. HURNI, 1993: Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Landwirtschaft Schweiz, Band 6, 575-582.
- WERNER, W., H.-W. OLFS, K. AUERSWALD und K. ISERMANN, 1991: Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In: A. Hamm (ed.): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Academia Verlag, Sankt Augustin, 665-764.
- ZORN, W. und O. KRAUSE, 1999: Untersuchungen zur Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Thüringer Carbonatböden. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 463-469.

**Autoren:**

Dr. Andreas Bohner und Martina Schink  
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Umweltökologie, 8952 Irdning, Österreich



gefördert von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Europäischen Regionalfonds im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative INTERREG IIIA