

**Abschlussbericht
zum Interreg IIIa-Projekt
Seenlandwirtschaft**

Teil: Dr. Andreas BOHNER und Martina SCHINK

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

Abschlussbericht zum Interreg IIIa-Projekt Seenlandwirtschaft

Teil

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

Bearbeiter: Dr. Andreas Bohner, Martina Schink
Anschrift: HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38
A-8952 Irdning
Tel.: 03682/22451-330
<http://www.raumberg-gumpenstein.at>

SeenLandWirtschaft ist ein Gemeinschaftsprojekt folgender Partner: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Projekträger in Österreich) ■ Regierung von Oberbayern SG. Wasserwirtschaft (Projekträger in Bayern) ■ Amt für Landwirtschaft und Forsten Traunstein ■ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft ■ Institut für Gewässerbiologie, Fischereibiologie und Seenkunde des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Kammer für Land- und Forstwirtschaft Salzburg ■ Land Oberösterreich ■ Land Salzburg ■ Landwirtschaftskammer für Oberösterreich ■ Limnologische Station der Technischen Universität München ■ Oberösterreichische Wasserschutzberatung ■ Reinhaltungsverband Mondsee – Irrsee ■ Wasserwirtschaftsamt Traunstein ■ Zentrum für GeoInformatik, Universität Salzburg ■ in Zusammenarbeit mit der EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein und dem Verein zur Regionalentwicklung Mondseeland



gefördert von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung EFRE(INTERREG IIIA).

1. Einleitung

Diese Studie wurde durchgeführt, weil sich der Mondsee und Irrsee noch immer in einem oligo-mesotrophen Zustand befinden und der gewünschte oligotrophe Gewässerzustand bisher noch nicht erreicht wurde (GASSNER et al., 2002). Für die Eutrophierung der Gewässer ist in erster Linie der Phosphor verantwortlich (KUMMERT und 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 (BOHNER et al., 2007a). Über die Phosphordynamik in einem Grünland-Ökosystem wird in einer eigenen Studie berichtet (BOHNER et al., 2007b).

Mit der vorliegenden Untersuchung werden primär folgende Ziele verfolgt:

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

Diese Untersuchungsergebnisse sollen auch eine Entscheidungshilfe für die Politik, Verwaltung, Interessensvertreter, Berater, Landnutzer und Wasserversorger bei der sachgerechten Umsetzung von regionalen Maßnahmen zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Wasserqualität des Mondsees und Irrsees sein.

2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees. Dem Untersuchungsgebiet gehören 17 Gemeinden aus den Bundesländern Oberösterreich und Salzburg an. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von 246 km² (STAUDINGER, 2007). 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 et al., 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. Das Untersuchungsgebiet weist im Durchschnitt (1981-1990) eine Juli-Temperatur von 16 bis 18 °C, eine Jänner-Temperatur von -3 bis 0 °C und eine Jahresmittel-Temperatur von 7 bis 9 °C auf (HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH, 1994). Der Jahres-Niederschlag variiert zwischen 1500 und 1700 mm. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 54 bis 58 % des Jahres-Niederschlages. Die Monate Juni, Juli und August sind im langjährigen Mittel am niederschlagreichsten; in den Monaten April, Oktober und November fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Im Zeitraum 1981-1990 wurden 61 bis 116 Tage mit Schneebedeckung pro Jahr gezählt. Das Untersuchungsgebiet weist somit ein relativ kühles, niederschlagreiches, ozeanisch beeinflusstes Klima auf. 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. Das Untersuchungsgebiet hat einen Waldflächenanteil von rund 40 % (STAUDINGER, 2007). In der submontanen und tiefmontanen Stufe ist der Buchenwald die Klimaxwaldgesellschaft (KILIAN et al., 1994).

3. Material und Methoden

In den Jahren 2004, 2005 und 2006 wurden im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees insgesamt 726 Bodenproben für bodenchemische Analysen aus dem Hauptwurzelraum (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 CaCl₂-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 und in Bayern übliche Routineuntersuchungsmethode für Phosphor ist die Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode). Im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung zur Beurteilung der Nährstoffsituation wird in Österreich und in Bayern 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 und Bayern möglich. Aufgrund dieser einfachen Routineuntersuchungen können Phosphor-Austräge mit dem Sickerwasser aus landwirtschaftlich genutzten Böden allerdings nicht quantifiziert werden. Dazu wären umfangreiche Lysimeterversuche notwendig (BOHNER et al., 2007). Unter der Annahme, dass Böden mit einem hohen Gehalt an lactat- und wasserlöslichem Phosphor im Oberboden in der Regel auch ein größeres Phosphor-Verlustrisiko aufweisen, ist eine qualitative Beurteilung der möglichen Eutrophierungsgefährdung von aquatischen Ökosystemen durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung aber möglich.

Die im Boden unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile 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 lactatlösliche 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 CaCO₃-Gehalt erheblich unterschätzt (ZORN & KRAUSE, 1999). Mit der Messung des Phosphor-Gehaltes im Wasserextrakt 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. Keine Aussagen sind im Rahmen dieser Routinebodenuntersuchungen hinsichtlich des „Kinetikfaktors“ sowie des „Massenfluss- und Diffusionsfaktors“ möglich.

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 (pH CaCl₂: 6.2 – 5.0); ein nennenswerter Anteil gehört auch dem Karbonat-Pufferbereich (pH CaCl₂: > 6.2) und dem Austauscher-Pufferbereich (pH CaCl₂: 5.0-4.2) an (Abbildung 1). In carbonathaltigen Böden im Karbonat-Pufferbereich wird mittels CAL-Extraktion nicht nur der Gehalt an „pflanzenverfügbarem“ Phosphor unterschätzt (ZORN & KRAUSE, 1999), sondern Rohphosphate (Hyperphosphat) verzeichnen wegen des hohen pH-Wertes, der großen Säureneutralisationskapazität und der hohen Calcium-Aktivität in der Bodenlösung auch eine sehr niedrige Auflösungs geschwindigkeit. Hyperphosphat löst sich im Boden um so besser, je niedriger der pH-Wert, je kalkärmer der Boden und je feuchter der Standort ist. Eine mineralische Phosphor-Ergänzungsdüngung in Form von Hyperphosphat ist daher vor allem auf kalkreichen, trockenen Böden mit pH-Werten über 6.2 wegen der geringen Düngereffizienz nicht zu empfehlen. Die Grünlandböden im Austauscher-Pufferbereich haben bereits einen Kalkbedarf; eine Aufkalkung (pH-Ziel im Grünland: 5.0 - 6.2) ist sinnvoll.

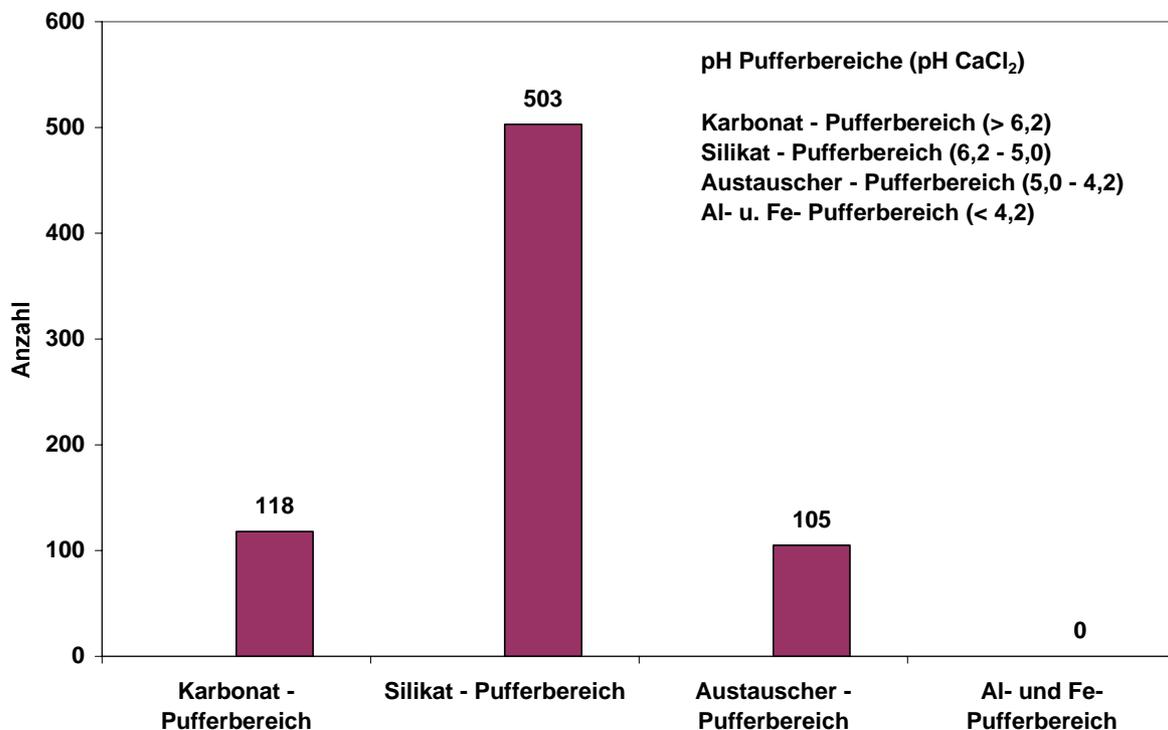


Abbildung 1: pH-Werte (pH CaCl₂) der untersuchten Böden (n = 726) in der Bodentiefe 0-10 cm

Der Großteil der untersuchten Böden fällt hinsichtlich des Gehaltes an lactatlöslichem Phosphor in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte) (Abbildung 2). Vor allem die Grünlandböden sind im Oberboden – beurteilt nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) – meist sehr schlecht mit lactatlöslichem Phosphor versorgt (Abbildung 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 scheinbar ungenügend mit lactatlöslichem Phosphor versorgten Grünlandböden dürfte somit kein Unikum des Untersuchungsgebietes sein. Deutlich günstiger ist die Versorgung der Böden mit lactatlöslichem Kalium; die Mehrheit der untersuchten Böden befindet sich in der Gehaltsstufe C (ausreichende Kalium-Gehalte) (Abbildung 3).

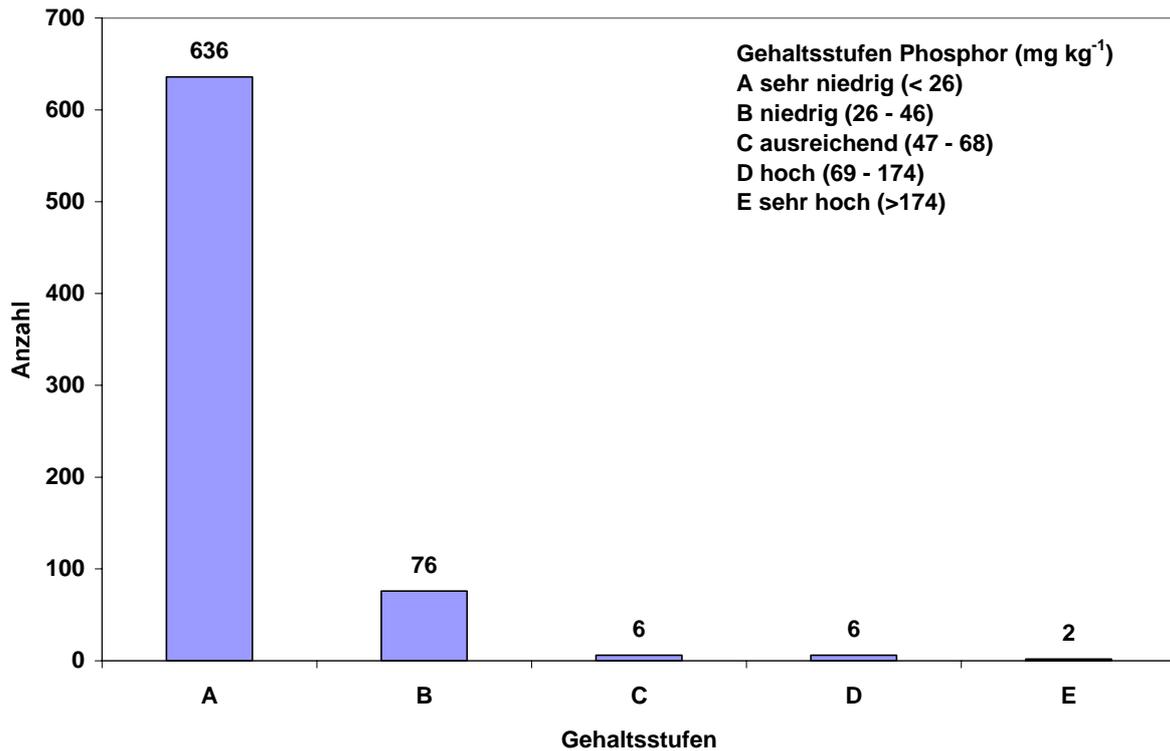


Abbildung 2: Phosphor-Gehaltsstufen (CAL-Methode) der untersuchten Böden (n = 726) in der Bodentiefe 0-10 cm

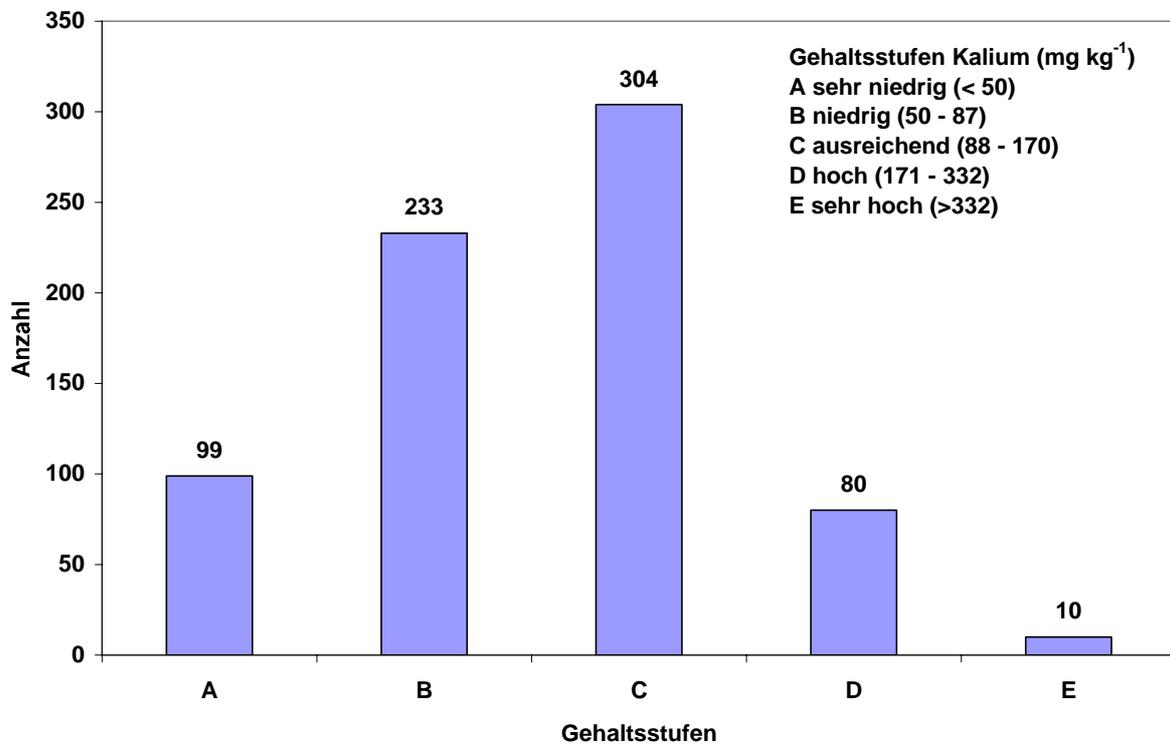


Abbildung 3: Kalium-Gehaltsstufen (CAL-Methode) der untersuchten Böden (n = 726) in der Bodentiefe 0-10 cm

Der Phosphor-Gehalt im Oberboden ist stark von der Art der Bewirtschaftung abhängig. Die Acker- und Gartenböden sind im Durchschnitt deutlich besser mit lactat- und wasserlöslichem

Phosphor versorgt als die Grünlandböden (Abbildung 4, 5). Vor allem Gartenböden sind in den obersten 10 cm häufig mit Phosphor stark überdüngt; lactatlösliche Phosphor-Gehalte bis 389 mg pro kg Feinboden wurden gemessen. Beim lactatlöslichen Kalium-Gehalt sind diese bewirtschaftungsbedingten Unterschiede deutlich schwächer ausgeprägt (Abbildung 6).

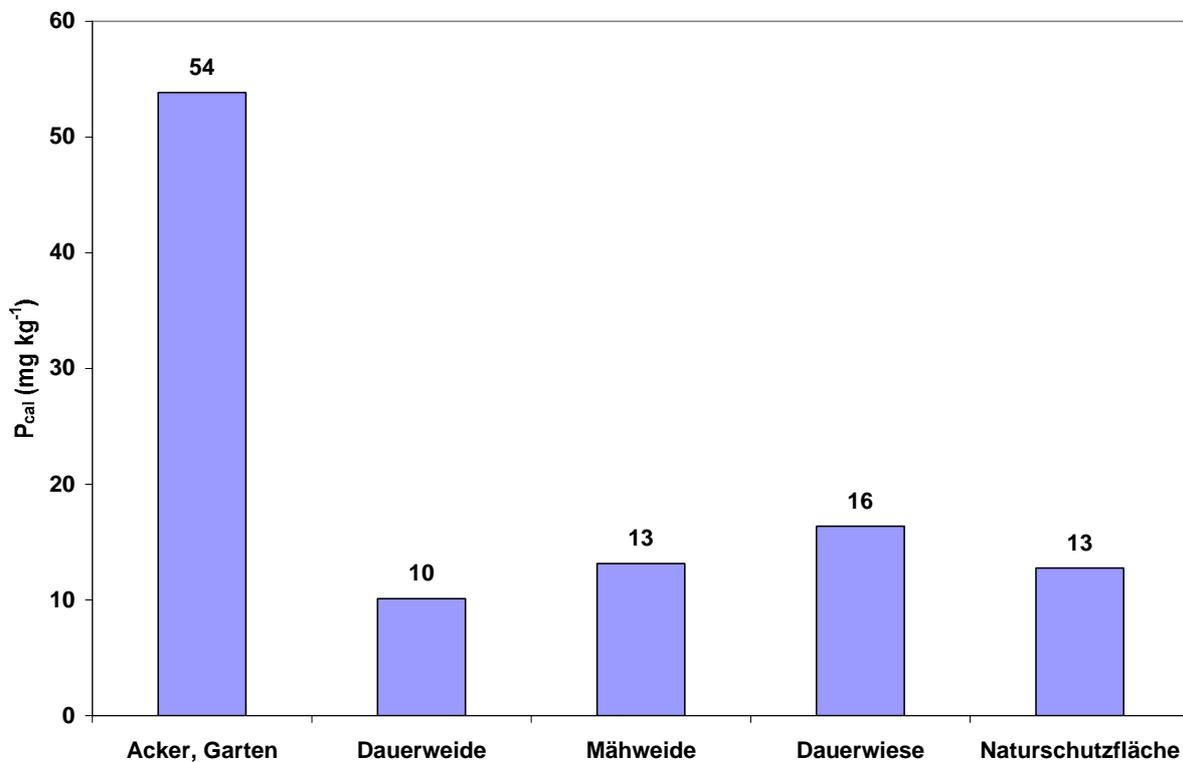


Abbildung 4: Lactatlöslicher Phosphor-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 209; Dauerweide n = 10, V% = 36; Mähweide n = 169, V% = 52; Dauerwiese n = 510, V% = 63; Naturschutzfläche n = 5, V% = 75)

Während der lactat- 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 lactatlösliche 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 lactatlösliche Kalium-Gehalt in den Oberböden der untersuchten Dauerweiden (Abbildung 6). Intensiv genutzte Kulturweiden weisen im Oberboden in der Regel hohe lactatlösliche Kalium-Gehalte auf (BOHNER & EDER, 2006; BOHNER & TOMANOVA, 2006). Die ungewöhnlich niedrigen lactatlöslichen 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 wissenschaftlich 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 lactatlöslichen 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 Phosphor-arme Wirtschaftsdünger.

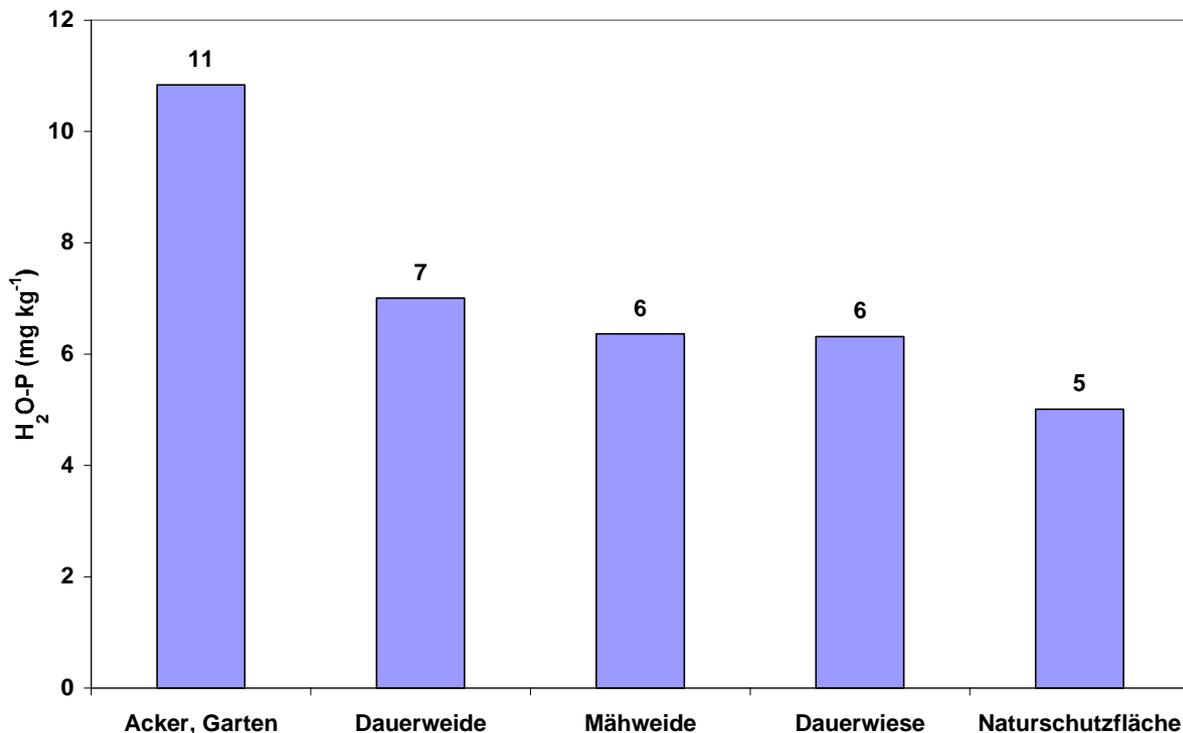


Abbildung 5: Wasserlöslicher Phosphor-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 137; Dauerweide n = 10, V% = 30; Mähweide n = 163, V% = 39; Dauerwiese n = 500, V% = 44; Naturschutzfläche n = 4, V% = 42)

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 lactatlöslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden zu beobachten (Abbildung 7). Sowohl bei den untersuchten Dauerwiesen als auch bei den untersuchten Mähweiden ist mit steigender Nutzungsintensität ein höherer lactatlöslicher Kalium-Gehalt im Oberboden festzustellen (Abbildung 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 lactatlöslichen Phosphor- und Kalium-Gehalten im Oberboden (Abbildung 9, 10).

Wie die polynomische Regressionsfunktion in Abbildung 11 zeigt, nimmt der wasserlösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden mit steigendem lactatlöslichen Phosphor-Gehalt im Schwankungsbereich der gemessenen Phosphor-Werte nicht überproportional zu. Das Verhältnis von lactatlöslichem Phosphor-Gehalt zu wasserlöslichem Phosphor-Gehalt beträgt im Mittel etwa 2.5:1; ungefähr 40 % des lactatlöslichen Phosphors im Oberboden liegen somit in wasserlöslicher und damit leicht mobilisierbarer und sofort auswaschbarer Form vor. In den Böden im Karbonat-Pufferbereich (pH CaCl₂: >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-, Austauscher- oder Aluminium- und Eisen-Pufferbereich besitzen.

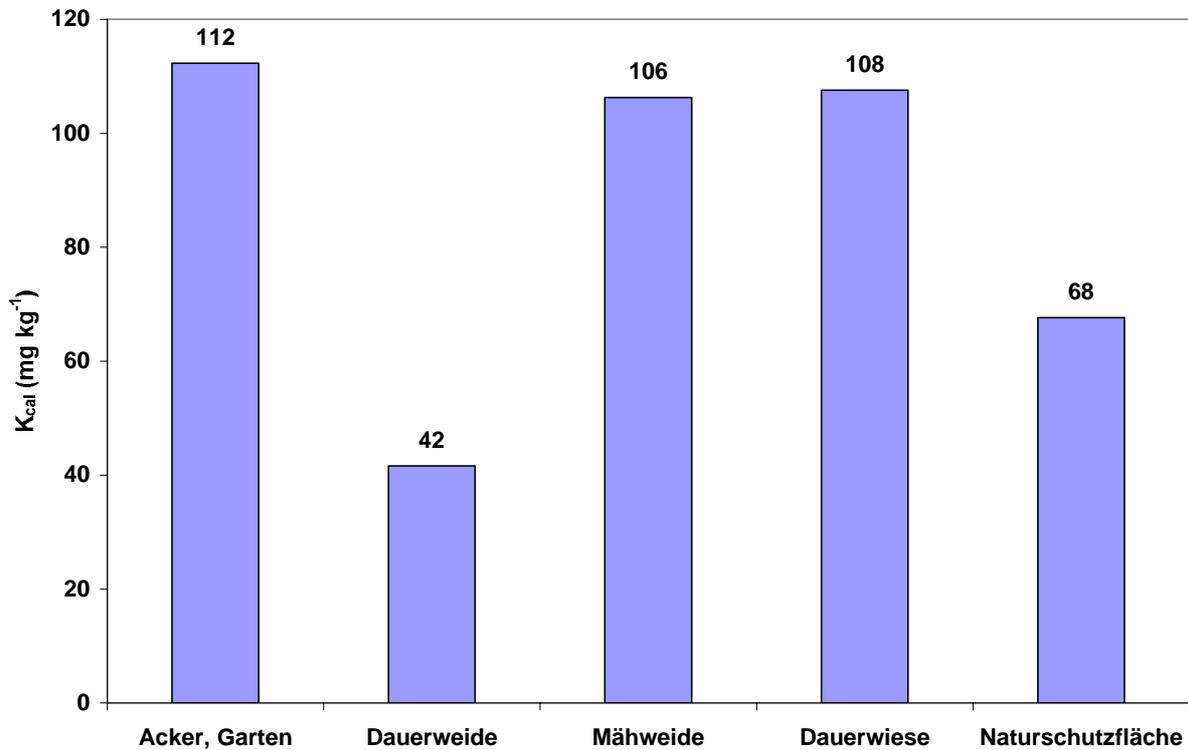


Abbildung 6: Lactatlöslicher Kalium-Gehalt (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (Acker, Garten n = 15, V% = 113; Dauerweide n = 10, V% = 22; Mähweide n = 169, V% = 58; Dauerwiese n = 510, V% = 56; Naturschutzfläche n = 5, V% = 39)

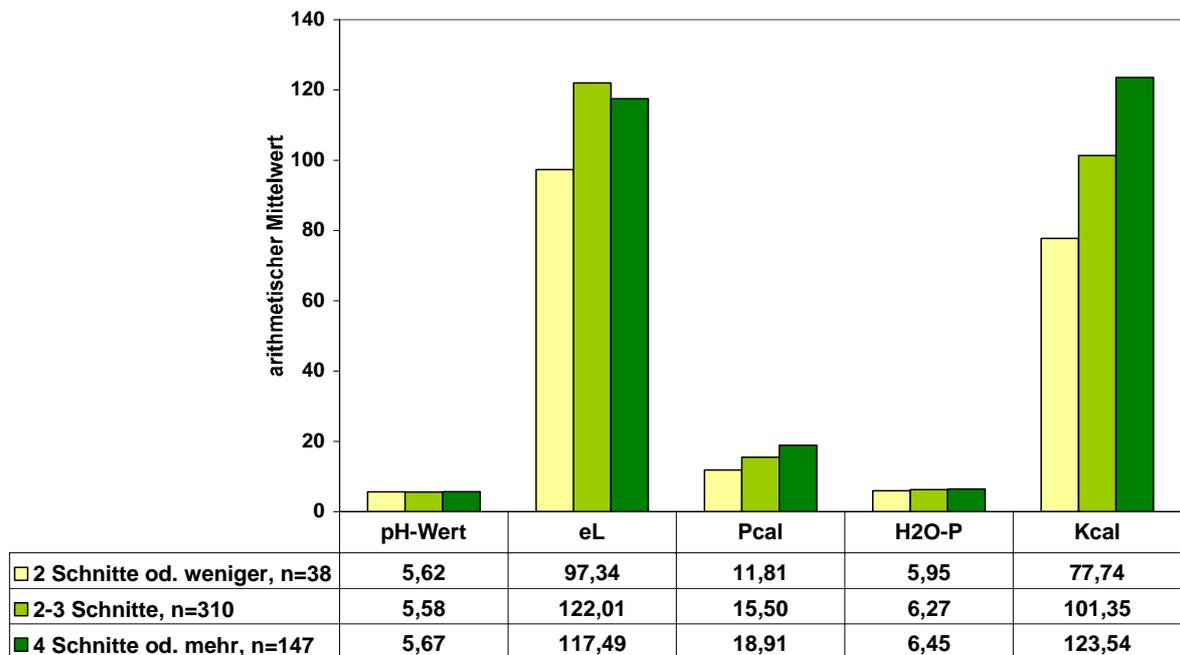


Abbildung 7: Bodenkennwerte von Dauerwiesen (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit (eL = elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S cm}^{-1}$; P_{cal}, K_{cal} = lactatlöslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt in mg kg⁻¹; H₂O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt in mg kg⁻¹)

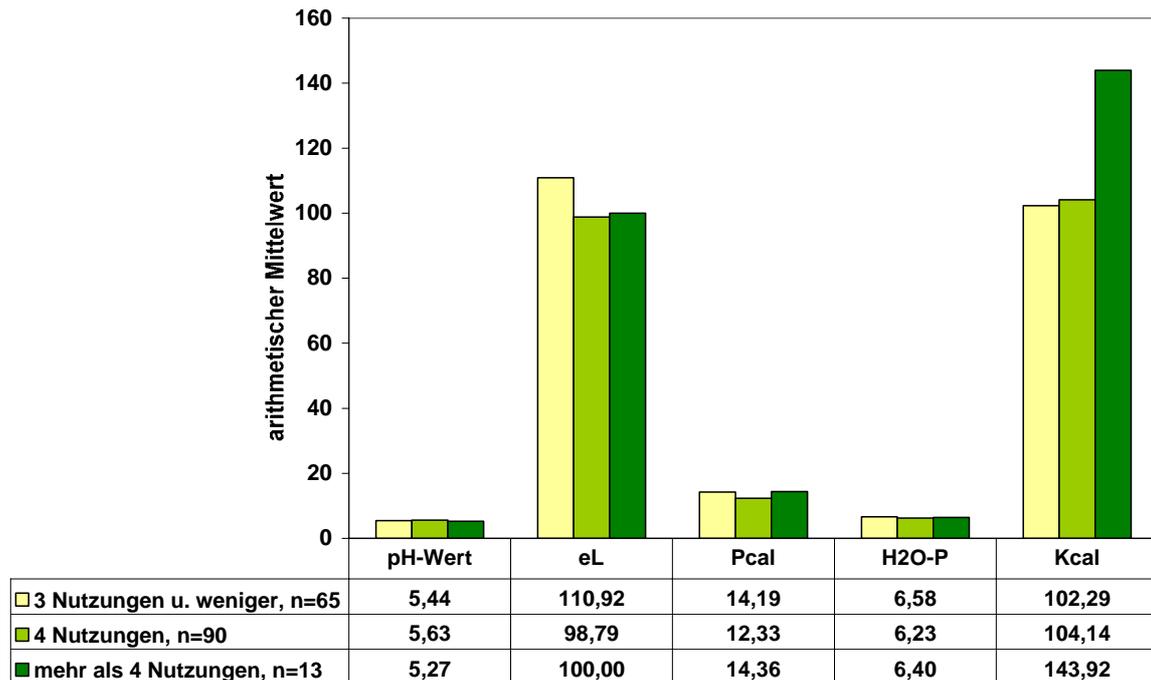


Abbildung 8: Bodenkennwerte von Mähweiden (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität (eL = elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S cm}^{-1}$; P_{cal} , K_{cal} = lactatlöslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt in mg kg^{-1} ; $\text{H}_2\text{O-P}$ = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt in mg kg^{-1})

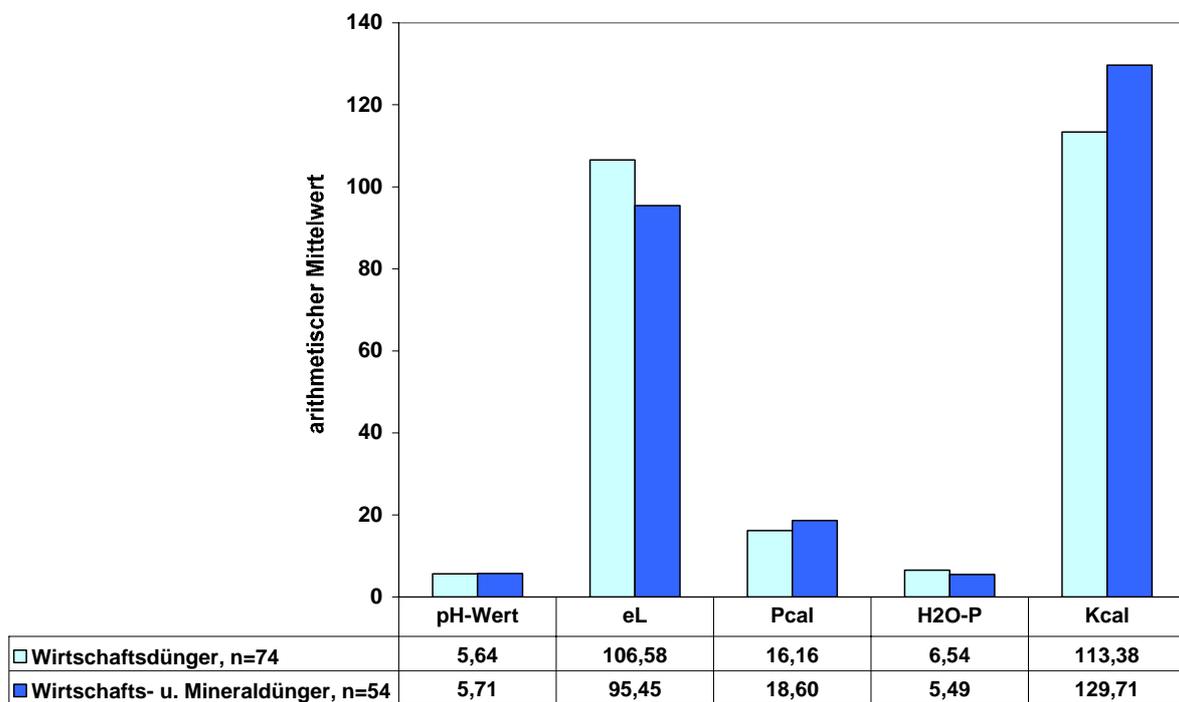


Abbildung 9: Bodenkennwerte von Dauerwiesen mit vier Schnitten pro Jahr oder mehr (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Düngung (eL = elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S cm}^{-1}$; P_{cal} , K_{cal} = lactatlöslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt in mg kg^{-1} ; $\text{H}_2\text{O-P}$ = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt in mg kg^{-1})

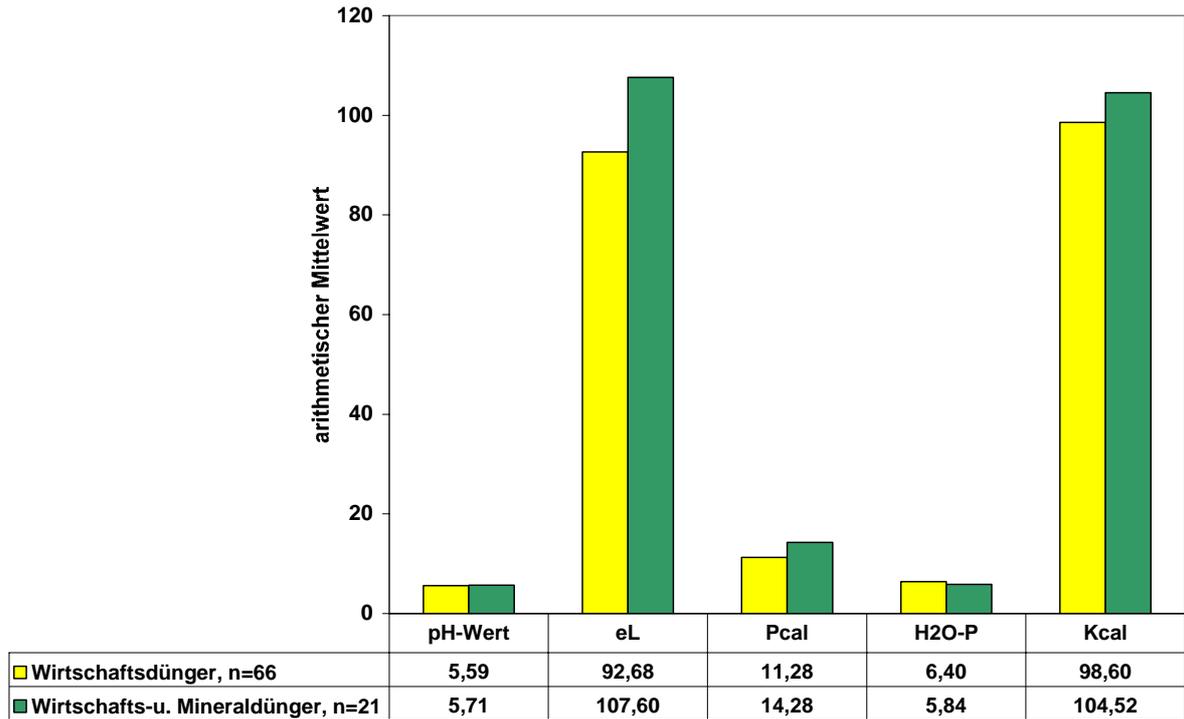


Abbildung 10: Bodenkennwerte von Mähweiden mit vier Nutzungen pro Jahr (arithmetischer Mittelwert) in der Bodentiefe 0-10 cm in Abhängigkeit von der Düngung (eL = elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S cm}^{-1}$; P_{cal} , K_{cal} = lactatlöslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt in mg kg^{-1} ; $\text{H}_2\text{O-P}$ = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt in mg kg^{-1})

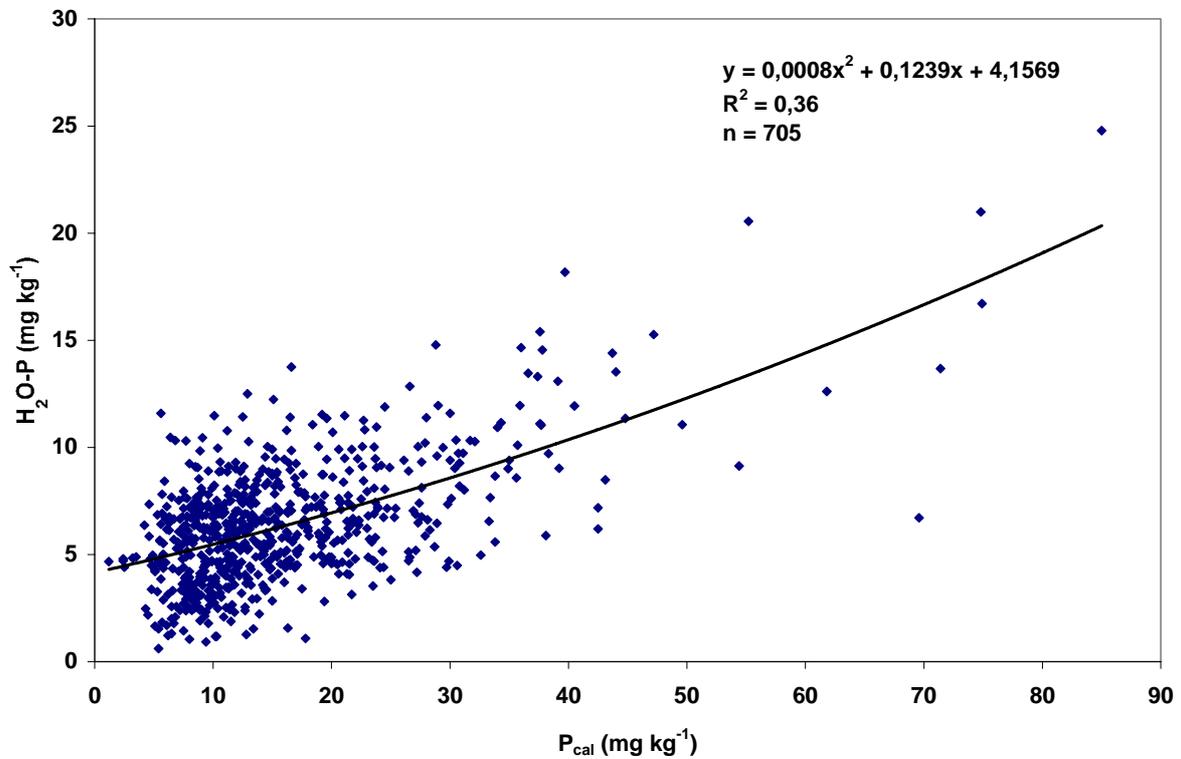


Abbildung 11: Beziehung zwischen lactatlöslichem Phosphor-Gehalt (CAL-Methode) und wasserlöslichem Phosphor-Gehalt in der Bodentiefe 0-10 cm

5. Schlussfolgerungen

Die Daten aus den Bodenanalysen ermöglichen eine Beurteilung des Phosphor- und Kalium-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich 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 lactatlöslichem Phosphor versorgt. Somit 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 im Allgemeinen gering sein dürfte. Nachteilige ökologische Folgen größeren Ausmaßes für aquatische Ökosysteme können bei standortangepasster Grünlandbewirtschaftung, sachgerechter Düngung und durchschnittlichen Niederschlagsereignissen ausgeschlossen werden. 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 & EDER, 2006) oder drainiertes Grünland (DIEPOLDER et al., 2005).

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 lactat- und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Daher geht von ihnen mit Sicherheit eine vergleichsweise größere Gefahr für Phosphor-Verluste insbesondere durch Erosion und Auswaschung aus. Vor allem bei den untersuchten Dauerwiesen ist mit steigender Nutzungsintensität (früherer und häufigerer Schnitt) eine Zunahme des lactatlöslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden zu beobachten. Bei den untersuchten Dauerwiesen mit mindestens vier Schnitten pro Jahr und bei den Mähweiden mit vier Nutzungen pro Jahr führt die zusätzliche Applikation von Mineraldünger auch zu höheren lactatlöslichen 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.

Die Lösung des Zielkonfliktes – Verbesserung der Phosphor-Versorgung der Grünlandböden auf der einen Seite und Verminderung der Phosphor-Einträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer auf der anderen Seite – ist nur durch eine standortangepasste, ökologisch nachhaltige Grünlandbewirtschaftung möglich. Deshalb hat die Schulung und Beratung der Landwirte im Seengebiet oberste Priorität. Neben Bodenanalysedaten sollten in Zukunft vor allem der Pflanzenbestand, der Zeigerwert der Grünlandpflanzen, die Bodeneigenschaften (insbesondere Gründigkeit, Textur, Struktur), die mineralogische Zusammensetzung des bodenbildenden Muttergesteins und die Geländeform, der Wärme- und Wasserhaushalt des Standortes sowie die langjährige Düngungs- und Nutzungsgeschichte bei Düngeempfehlungen stärker berücksichtigt werden (BOHNER & EDER, 2006). Die Gehaltsklassen-Einstufung für den lactatlöslichen Phosphor-Gehalt bei Grünlandböden gemäß den derzeitigen RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) darf hingegen vor allem aus Gründen des Gewässerschutzes nicht überbewertet werden. Bei der regelmäßigen Bodenuntersuchung zur Feststellung des Phosphor-Düngerbedarfs sollte auf eine sorgfältige und repräsentative Bodenprobenahme unbedingt geachtet werden.

Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, dass die Bodenerosion im Dauergrünland für die Eutrophierung der Gewässer zu vernachlässigen ist. Auch der Phosphor-Austrag mit dem Sickerwasser ist bei standortangepasster Grünlandbewirtschaftung im Allgemeinen gering (BOHNER et al., 2007c). Somit verbleibt im Untersuchungsgebiet als Haupteintragspfad von landwirtschaftlich genutzten Flächen nur mehr die Abschwemmung. 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 mit höchster Priorität berücksichtigt werden.

6. Zusammenfassung

Im Zeitraum 2004 bis 2006 wurde im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees der Phosphor- und Kalium-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Böden in den obersten 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 lactatlöslichem Phosphor unter Dauergrünland. Der Großteil der untersuchten Grünlandböden fällt nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte). Deutlich günstiger ist die Versorgung mit lactatlöslichem Kalium; die Mehrheit der untersuchten Grünlandböden befindet sich in der Gehaltsstufe C (ausreichende Kalium-Gehalte). Die pH-Werte liegen im Oberboden zum Großteil im ökologisch günstigen Silikat-Pufferbereich (pH CaCl₂: 6.2-5.0). Das Verhältnis von lactatlöslichem Phosphor zu wasserlöslichem Phosphor beträgt im Mittel etwa 2.5:1; ungefähr 40 % des lactatlöslichen Phosphors im Oberboden liegen somit in wasserlöslicher und damit leicht mobilisierbarer und sofort auswaschbarer Form vor. Die Auswertung der Analyseergebnisse 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 lactat- und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Daher geht von ihnen mit Sicherheit eine vergleichsweise größere Gefahr für Phosphor-Verluste aus. Vor allem bei den untersuchten Dauerwiesen ist mit steigender Nutzungsintensität (früherer und häufigerer Schnitt) eine Zunahme des lactatlöslichen Phosphor-Gehaltes im Oberboden zu beobachten. Bei den untersuchten Dauerwiesen mit mindestens vier Schnitten pro Jahr und bei den Mähweiden mit vier Nutzungen pro Jahr führt die zusätzliche Applikation von Mineraldünger auch zu höheren lactatlöslichen Phosphor-Gehalten im Oberboden. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung steigert das Risiko einer erhöhten Phosphor-Verlagerung 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. Aufgrund der meist sehr niedrigen lactatlöslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden ist der tatsächliche und mögliche Phosphor-Eintrag aus den Grünlandböden in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees 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. 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 mit höchster Priorität berücksichtigt werden.

7. Abstract

Over three years (from 2004 to 2006) the phosphorus and potassium status of the topsoil (0-10 cm of soil depth) in the catchment of Mondsee and 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 informations about the phosphorus status of the topsoils in the catchment of Mondsee and Irrsee 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 and by the water extraction method.

Most of the grassland soils investigated reveal very low contents of lactate-soluble phosphorus in the uppermost 10 cm. According to the Austrian guideline for an appropriate manure application they have to be classified as phosphorus-deficient grassland soils. More favourable are the contents of lactate-soluble potassium and the pH-values in the topsoil; most of the grassland soils investigated reveal a sufficient potassium level, and they belong to the ecologically favourable silicate buffer range (pH CaCl₂: 6.2-5.0). The ratio between lactate-soluble and water-soluble phosphorus content is about 2.5:1. Therefore, approximately 40 % of the lactate-soluble phosphorus content in the topsoil exists in a water-soluble, easily mobilizable form susceptible to leaching. The results of the soil analyses show, that the content of lactate-soluble and water-soluble phosphorus in the topsoil depends on the land-use pattern and the intensity of management practices to a great extent. The arable soils and the soils of garden beds have on average a higher lactate- and water-soluble phosphorus content in the topsoil than the grassland soils. Therefore, the potential risk of phosphorus losses is comparatively higher. Permanent meadows are characterized by a better phosphorus status of the topsoil with increasing frequency of cutting per year, indicating a higher management intensity. An additional application of mineral fertilizer to permanent meadows with at least four cuts per year and to mowing pastures with four utilizations per year also leads to an increased content of lactate-soluble phosphorus in the uppermost 10 cm of the soil. The intensification of grassland management practices increases the potential risk of phosphorus-losses from the grassland soils to the groundwater and to the surface water primarily if the intensification leads to an sward with many gaps and/or if the topsoils especially on slopes will be strongly compacted.

In conclusion, because of the frequently low contents of lactate-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 in the catchment of Mondsee and Irrsee if the grasslands are used in a sustainable, site adapted way and if the

rainfalls are not extraordinary high. Therefore, the measures to reduce phosphorus losses from agricultural used soils should focus on surface runoff.

8. Literatur

- 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. and O. TOMANOVA, 2006: Effects of cattle grazing on selected soil chemical and soil physical properties. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 89-91.
- BOHNER, A., M. DIEPOLDER und M. WENDLAND, 2007a: Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge in Grund- und Oberflächengewässer im Grünland. In diesem Endbericht.
- BOHNER, A., Ch. POPPELBAUM und M. SCHINK, 2007b: Phosphor-Dynamik in einem Grünland-Ökosystem. In diesem Endbericht.
- BOHNER, A., G. EDER und M. SCHINK, 2007c: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 91-99.
- 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 der Wintermonate. *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 Starkregenereignis. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 17, 134-135.
- 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 des 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.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH, 1994: Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981-1990, 529 S.
- KILIAN, W., F. MÜLLER und F. STARLINGER, 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. *FBVA-Berichte* 82, 60 S.
- 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. et al., 1980: Der geologische Aufbau Österreichs. Geologische Bundesanstalt, Springer Verlag, 695 S.
- 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.
- STAUDINGER, B., 2007: Der Wasser- und Nährstoffkreislauf in einem Seen-Einzugsgebiet, Messungen und Ergebnisse zum Phosphoreintrag in den Mondsee/Irrsee. In diesem Endbericht.
- ZORN, W. und O. KRAUSE, 1999: Untersuchungen zur Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Thüringer Carbonatböden. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 463-469.