

**Phosphataustrag
aus landwirtschaftlich genutzten Flächen
in Oberösterreich**

Endbericht

Auftraggeber: BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft -
GZ: 71.040/04-VII1/03
Stubenring 1, A-1012 Wien

Land Oberösterreich, Abteilung Wasserwirtschaft, Grund und
Trinkwasserwirtschaft – W-GTW-930163/1-2003-Se/Ms
Kärntnerstraße 12, A-4021 Linz
Auftrag vom 11/12 2003

Berichtsdatum: 07.07.2005 // GZ-wpa: 403.009

Version: 1.0

Inhalt: Endbericht

- Anlage 1: Kartenbeilage A (Ackeranteil)
- Anlage 2: Kartenbeilage B (Viehbesatz)
- Anlage 3: Kartenbeilage C (pH-Wert)
- Anlage 4: Kartenbeilage D (Landschaftsraum)
- Anlage 5: Kartenbeilage E (Gründigkeit, pH-Wert)
- Anlage 6: Tabellenanhang

Ausführung: _pdf_ / ___

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	6
3	DATENQUELLEN UND METHODEN	9
3.1	Empirische Untersuchungen	9
3.1.1	Datengrundlagen	9
3.1.2	Auswertungsmethoden	9
3.2	Detailstudie	10
3.2.1	Untersuchung auf Landwirtschaftlichen Betrieben (P-Bilanzen, P-Gehalte der Böden)	10
3.2.2	Auswahl der Standorte für die Untersuchung von Bodenprofile	10
3.2.3	Probennahme von den Bodenprofilen	11
3.2.4	Analysen	13
4	ERGEBNISSE	14
4.1	Empirische Untersuchungen	14
4.2	Detailstudie	18
4.2.1	Untersuchungen auf den landwirtschaftlichen Betriebe	18
4.2.1.1	Betriebsbilanzen	18
4.2.1.2	Schlagbilanzen	19
4.2.1.3	CAL-lösliches (pflanzenverfügbares) Phosphat im Boden	19
4.2.2	Untersuchungen an den Bodenprofilen	21
4.2.2.1	Repräsentativität der Versuchsstandorte	21
4.2.2.2	Beziehung zwischen Phosphorgehalt im Bodenwasser und einzelnen Bodeneigenschaften	22
4.2.2.3	Beziehung zwischen Phosphorgehalt im Bodenwasser und Indikatoren zur Phosphormobilität	27
4.2.2.4	Zusammenfassende Bewertung der Prognosemöglichkeiten für die potentielle Phosphormobilität im Boden	29
4.2.3	Potentielle Phosphormobilität versus Phosphorkonzentration im Grundwasser	30
4.2.3.1	Präferentielle Fließwege	30
4.2.3.2	Vergleich Phosphor Lysimeter - Bodenwasser	30
4.2.3.3	Zusammenfassende Bewertung des Austragsrisikos	33
5	INTERPRETATION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	34
6	EMPFEHLUNGEN	35
7	LITERATUR	36

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1: Versorgungsstufen Phosphat.....	10
Tab. 3-2: Untersuchte Standorte, ihre Charakteristika und eventuell bereits vorhandene Literatur zum Standort.....	11
Tab. 4-1: Korrelationskoeffizienten des Phosphatgehalts (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen) mit Agrarstrukturdaten (N = 282), Bodenkennwerten (N = 70) und dem Grundwasserflurabstand (N = 282). ** Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%; * Irrtumswahrscheinlichkeit 1% bis 5%.....	14
Tab. 4-2: Partielle Korrelationskoeffizienten (Kontrollvariable Ackeranteil) des Phosphatgehalts (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen) mit Agrarstrukturdaten (N = 282), Bodenkennwerten (N = 70) und dem Grundwasserflurabstand (N = 282). ** Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%; * Irrtumswahrscheinlichkeit 1% bis 5%.....	15
Tab. 4-3: Einstufung der P-Gehalte gem. Richtlinien f. sachgerechte Düngung	20
Tab. 4-4: Anzahl (n), Mittelwert (Mw), Standardabweichung (Stabw), Minimum (Min) und Maximum (Max) der untersuchten Proben	22
Tab. 4-5: Pearson (P) und Spearman (S) Korrelationskoeffizienten (r) zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und einzelnen Bodenparametern (n=25).....	22
Tab. 4-6: Pearson und Spearman Korrelationskoeffizienten (r) zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und den Phosphorindices PSI und P _{SAT} (n=25).....	27
Tab. 4-7: Vergleich der Phosphorkonzentrationen in Lysimetern (Durchschnitt aller gemessenen Werte) mit den direkt aus der Bodenmatrix gewonnenen Ergebnissen	30

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Orthophosphatgehalte im Grundwasser der Welser Heide (Auswertung der WGEV Messstellen)	6
Abb. 2-2: Orthophosphatgehalte im Grundwasser des Südlichen Eferdinger Becken (Auswertung der WGEV Messstellen)	6
Abb. 2-3: Orthophosphatgehalte im Grundwasser der Traun-Enns-Platte (Auswertung der WGEV Messstellen)	6
Abb. 2-4: Orthophosphatgehalte Grundwasser des Unteren Ennstales (Auswertung der WGEV Messstellen)	7
Abb. 2-5: Orthophosphatgehalte im Grundwasser des Machlandes (Auswertung der WGEV Messstellen)	7
Abb. 2-6: Phosphorhaushalt Österreichs (Brunner, 2002)	7
Abb. 2-7: Phosphatformen und ihre Verknüpfung mit der Bodenlösung (aus Blume et al, 2002).	7
Abb. 3-1: Nach der Festlegung der Untersuchungsstandorte wurde an jedem Standort eine Profilgrube angelegt. Der Oberboden wurde getrennt von den unteren Bodenschichten gelagert, um eine Durchmischung bei der Schließung der Grube zu vermeiden	11
Abb. 3-2: Um den Einbau der Saugkerzen zu ermöglichen wurde in der jeweiligen Bodenschicht horizontal zur Grubenwand mit einem Edelstahlbohrer vorgebohrt. Dieser Bohrer weist den gleichen Durchmesser der Saugkerzen auf, um einen direkten Kontakt zwischen Boden und Kerze zu gewährleisten und die Gewinnung von Bodenlösung zu sichern	12
Abb. 3-3: Schematische Darstellung einer Sauganlage, mit drei Saugkerzen(1), Wasserleitungen(2), Vakuumentleitungen(3), Auffangbehälter(4), einem Vakuum-vorratsbehälter(5), Manometer zur Kontrolle des Saugdruckes(6).....	12
Abb. 4-1: Ackeranteil an der LN und Phosphatgehalte im Grundwasser (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen).	14
Abb. 4-2: Kalkgehalt der Böden an den Messstellen und Phosphatgehalte im Grundwasser (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen).	16
Abb. 4-3: Lösliche anorganische P - Formen im Gleichgewicht mit Octacalciumphosphat in Abhängigkeit vom pH (Ca-Aktivität 2,5 mmol l ⁻¹). Aus: Blume et al, 2002.....	16
Abb. 4-4: Phosphatgehalte im Grundwasser; Darstellung der 75% Quantilen von den Zeitreihen an den einzelnen Messstellen (▬ 50% der Werte mit Median, ⊕ 25% höchste Werte, ⊖ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert).....	17
Abb. 4-5: Ackeranteil in den Gemeinden, wo sich die Messstellen befinden (▬ 50% der Werte mit Median, ⊕ 25% höchste Werte, ⊖ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert).....	17

Abb. 4-6: pH Werte der Böden an den Messstellen (☐ 50% der Werte mit Median, ⊕ 25% höchste Werte, ⊖ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert)	17
Abb. 4-7: Häufigkeitsverteilung der P-Einzelbetriebsbilanzen (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹ ; Durchschnitt der Jahre 2001 und 2002)	18
Abb. 4-8: Höhe der P-Betriebsbilanzen in Abhängigkeit der ÖPUL Maßnahmenteilnahme (☐ 50% der Werte mit Median, ⊕ 25% höchste Werte, ⊖ 25% niedrigste Werte, o Ausreisser)	18
Abb. 4-9: Häufigkeitsverteilung der P-Schlagbilanzen (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹ ; Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2003)	19
Abb. 4-10: Höhe der P-Betriebsbilanzen in Abhängigkeit der ÖPUL Maßnahmenteilnahme (☐ 50% der Werte mit Median, ⊕ 25% höchste Werte, ⊖ 25% niedrigste Werte, o Ausreisser, * Extremwerte)	19
Abb. 4-11: P-Versorgung der untersuchten Böden	20
Abb. 4-12: Betriebsbilanzen (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹ Jahresdurchschnitt 2001,2002) bei unterschiedlichen P-Versorgungsstufen der Böden	20
Abb. 4-13: Abbildung der untersuchten Standorte im Texturdreieck der österreichischen Finanzbodenschätzung	21
Abb. 4-14: Beziehung zwischen Gesamtgehalten an Al bzw. Fe und Tongehalt der Proben	21
Abb. 4-15: Exemplarische Darstellung individueller standörtlicher Beziehungen zwischen P _{Lösung} und P _{tot}	24
Abb. 4-16: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem Gesamtphosphorgehalt im Boden für die untersuchten Standorte	24
Abb. 4-17: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt im Sickerwassers und dem oxalatlöslichen Phosphor des Boden für die untersuchten Standorte	25
Abb. 4-18: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem wasserextrahierbaren Phosphor im Boden für die untersuchten Standorte	25
Abb. 4-19: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem CAL extrahierbaren Phosphor im Boden für die untersuchten Standorte	26
Abb. 4-20: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem Humusgehalt des Boden für die untersuchten Standorte	26
Abb. 4-21: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und P _{SAT} des Boden für die untersuchten Standorte	28
Abb. 4-22: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und PSI des Boden für die untersuchten Standorte	28
Abb. 4-23: Phosphatgehalte (CAL) im Oberboden – Oberösterreichische Bodenzustandsinventur (Amt der OÖ Landesregierung, 1993)	29
Abb. 4-24: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters 1 Pettenbach	32
Abb. 4-25: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters 3 Pettenbach	32
Abb. 4-26: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters Pucking	33
Abb. 4-27: Beziehung zwischen Phosphorkonzentration und Sickerwassermenge für das Lysimeter Pettenbach 1	33

Anlagenverzeichnis

- Kartenbeilage A: Ackeranteil und 75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser
- Kartenbeilage B: Viehbesatz und 75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser
- Kartenbeilage C: pH Wert des Bodens (gewichtet über die Horizonttiefe) und 75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser
- Kartenbeilage D: Landschaftsraum und 75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser
- Kartenbeilage E: Phosphatgehalt im Oberboden aus der Bodenzustandsinventur, Gründigkeit des Bodens und 75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser

Tabellenanhang

1 Zusammenfassung

In einigen Grundwassergebieten Oberösterreichs waren in der Vergangenheit hohe Phosphatgehalte im Grundwasser feststellbar. Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und das Amt der Oberösterreichischen Landesregierung beauftragten daher wpa Beratende Ingenieure GmbH und das Insitut für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Petzenkirchen, mit einem Forschungsprojekt zur Untersuchung des Phosphataustrags aus landwirtschaftlichen Flächen. Ziel des Projekts war es, kritische Faktorenkombinationen im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu ermitteln, die zu einem Phosphataustrag ins Grundwasser führen können.

Für die Untersuchungen wurden

- ↗ bestehende Agrarstruktur-, Boden und Grundwasserdaten räumlich verschnitten und gemeinsam ausgewertet,
- ↗ von 36 landwirtschaftlichen Betrieben Phosphatbilanzen berechnet
- ↗ auf 80 Feldstücken dieser Betriebe das CAL extrahierbare Phosphat analysiert
- ↗ an 9 Standorten Bodenwasserproben sowie Bodenproben aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen und der Zusammenhang zwischen Bodeneigenschaften und dem Phosphat im Sickerwasser untersucht
- ↗ an 3 dieser Standorte zusätzlich mehrjährige Lysimetermessungen zum Phosphataustrag ausgewertet.

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

Hohe Phosphatgehalte im Grundwasser sind vor allem in Gebieten mit hohem Ackeranteil mit sauren oder seichtgründigen Böden anzutreffen. Auslöser sind hohe Gehalte leicht verfügbaren Phosphats im Oberboden.

Die Extraktion dieses Phosphats mittels CAL (Calcium Acetat Lactat) lässt gute Rückschlüsse darauf zu ob hohe oder niedrige Phosphatgehalte im Sickerwasser erwartet werden können. Andere Extraktionsmethoden oder Phosphatmobilitätsindices ergeben ebenfalls Korrelationen mit dem Phosphatgehalt im Sickerwasser, die

CAL Extraktion hat jedoch den Vorteil, dass sie eine in Österreich für Zwecke der Düngeberatung weit verbreitete Methode ist.

Für den Gehalt CAL extrahierbaren Phosphats lässt sich die Abhängigkeit von den Phosphatbilanzen der landwirtschaftlichen Betriebe wie folgt zeigen: hohe oder sehr hohe Gehalte im Boden hängen mit hohen Bilanzen zusammen, sehr niedrigen bis mittlere Gehalte sind bei niedrigen Bilanzen feststellbar.

Zur Berechnung der P-Bilanz sind Betriebsbilanzen, wie sie bei Teilnahme an der ÖPUL Maßnahme zum vorbeugenden Gewässerschutz durchzuführen sind (Feld – Stallbilanzen) aussagekräftiger als Schlagbilanzen. Das Ergebnis der Schlagbilanzen hängt zu stark von Düngemaßnahmen im einzelnen Jahr ab, Phosphat wird aber nicht notwendigerweise jedes Jahr gedüngt. Der Betriebsdurchschnitt, wie er in der Betriebsbilanz berechnet wird, entspricht eher einer mehrjährigen Situation und hängt daher auch enger mit dem P_{CAL} Gehalt im Boden zusammen, der nur mittelfristig auf die P-Bilanz reagiert.

Eine Vorhersage der P-Bilanz von Betrieben (anhand von Strukturdaten oder der Teilnahme an ÖPUL-Maßnahmen) ist nur sehr eingeschränkt möglich und kann aus den Untersuchungen nicht im ausreichenden Umfang abgeleitet werden. Generell überwiegen positive Bilanzen. Tendenziell steigen die Bilanzen etwas mit dem Viehbesatz. Viehstarke Betriebe verwenden aber im Durchschnitt weniger mineralischen P-Dünger, so dass der Effekt des Viehbesatzes nur schwach ausgeprägt ist. Die Unterschiede in den P-Bilanzen je nach Teilnahmeintensität an ÖPUL Maßnahmen (keine Teilnahme > Grundförderung > Gewässerschutzmaßnahmen > Bio) ist gering und lässt sich statistisch nicht absichern.

Folgendes wird empfohlen:

- ↗ Düngung unter Berücksichtigung des P_{CAL} . Die Interpretation des Bodenwerts entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung entspricht auch den Anforderungen des Grundwasserschutzes, d.h. eingeschränkte Düngung für Gehaltsklasse D – hoch

und keine Düngung bei Gehaltsklasse
E – sehr hoch

- ↗ Phosphor Betriebsbilanzen auch im kommenden Umweltprogramm als Maßnahme anbieten
- ↗ Saure Böden kalken
- ↗ Extensivierungsmaßnahmen auf seichtgründigen Böden (z.B. im kommenden ÖPUL) fördern.

2 Einleitung und Problemstellung

Im einigen Grundwassergebieten Oberösterreichs waren in den vergangenen Jahren steigende Phosphatgehalte feststellbar. Deutlich steigende Tendenzen waren vor allem im Südlichen Eferdinger Becken und in der Welser Heide zu verzeichnen. Im Südlichen Eferdinger Becken wurde außerdem seit 1994 wiederholt, seit 2000 durchgehend der Grundwasserschwellenwert von 0,3 mg/l (Orthophosphat) an zumindest einem Viertel der Messstellen überschritten (Verlauf der 75% Quantile in Abb. 2-2).

In der Welser Heide wurde im Zeitraum 1996 bis 2001 der Grundwasserschwellenwert für Orthophosphat wiederholt an zumindest einem Viertel der Messstellen überschritten, seit 1993 lag zumindest bei 10% der Messstellen der Wert über dem Schwellenwert (90% Quantile in Abb. 2-1).

Eine Überschreitung des Schwellenwerts an mehr als 10% der Messstellen war ansonsten noch im Grundwassergebiet Traun-Enns-Platte bei einzelnen Messdurchgängen zu verzeichnen (Abb. 2-3), bei den Gebieten Unteres Ennstal und Machland Ost + Westliches Machland lagen zumindest 90% der Messstellen stets unter dem Schwellenwert (Abb. 2-4 und Abb. 2-5).

Bei den letzten drei Gebieten fällt weiters auf, dass die Unterschiede zwischen dem Median und der 90% Quantile in den letzten Jahren stark abgenommen hat, während in der Welser Heide, insbesondere aber im Eferdinger Becken zwischen dem Median und der 90% Quantile großer Unterschiede bestehen¹.

¹ Eine in allen Gebieten mehr oder weniger deutlicher Abfall der Werte im 2. Quartal von 1998 dürfte laut Auskunft vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung auf einen messtechnisch bedingten Ausreißer zurückzuführen sein.

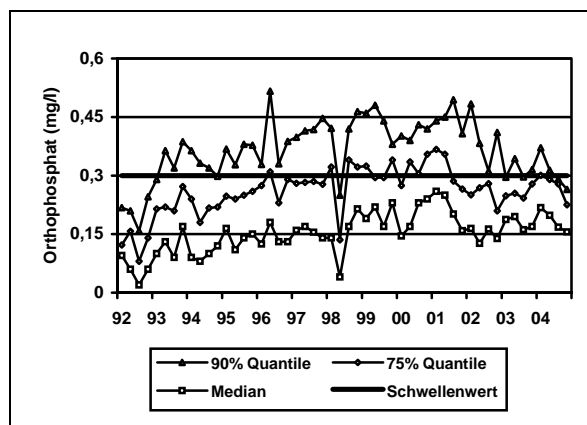


Abb. 2-1: Orthophosphatgehalte im Grundwasser der Welser Heide (Auswertung der WGEV Messstellen)

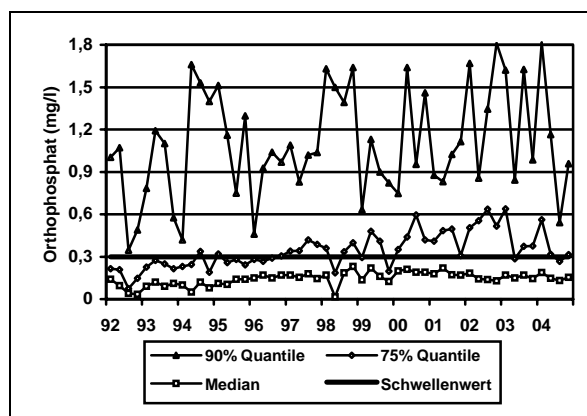


Abb. 2-2: Orthophosphatgehalte im Grundwasser des Südlichen Eferdinger Becken (Auswertung der WGEV Messstellen)

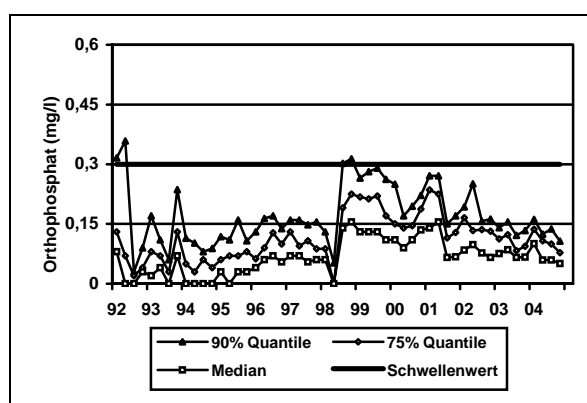


Abb. 2-3: Orthophosphatgehalte im Grundwasser der Traun-Enns-Platte (Auswertung der WGEV Messstellen)

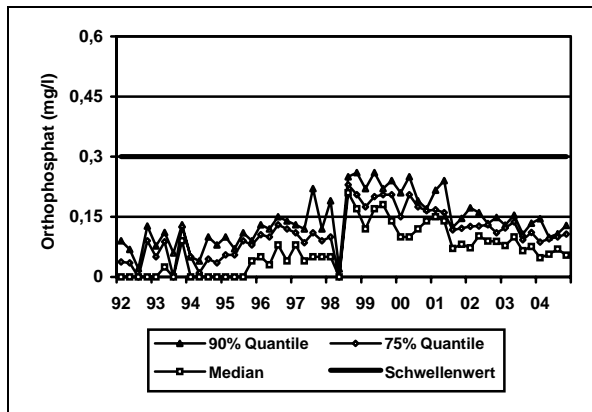


Abb. 2-4: Orthophosphatgehalte Grundwasser des Unteren Ennstales (Auswertung der WGEV Messstellen)

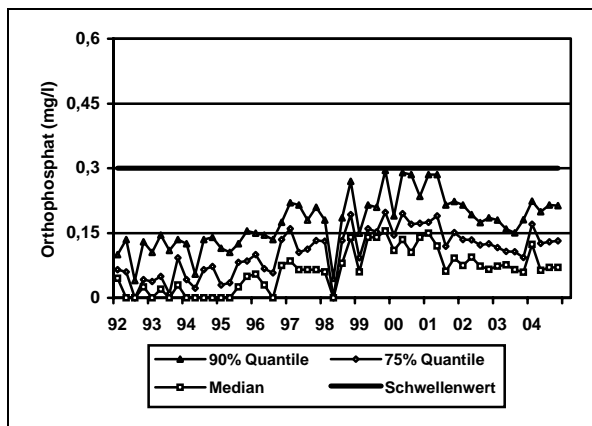


Abb. 2-5: Orthophosphatgehalte im Grundwasser des Machlandes (Auswertung der WGEV Messstellen)

Da der Großteil der Phosphorströme in Österreich der landwirtschaftlichen Düngung zuzuordnen ist (Brunner, 2002; siehe Abb. 2-6), kann davon ausgegangen werden, dass in landwirtschaftliche intensiv genutzten Grundwassergebieten ein Großteil des Eintrags in das Grundwasser, so wie bei Nitrat, flächenhaft diffus über die landwirtschaftliche Fläche erfolgt.

Phosphat wird jedoch, im Gegensatz zu Nitrat, im Boden relativ stark gebunden, z.B. an der Oberfläche der Tonfraktion oder in Huminstoffen. Weiters nimmt die Löslichkeit anorganischer P-Formen mit steigendem pH Wert ab. Für die Tiefenverlagerung spielen daher nicht nur die Wasserbewegung sondern auch die Bindungsmechanismen im Boden eine große Rolle (Abb. 2-7).

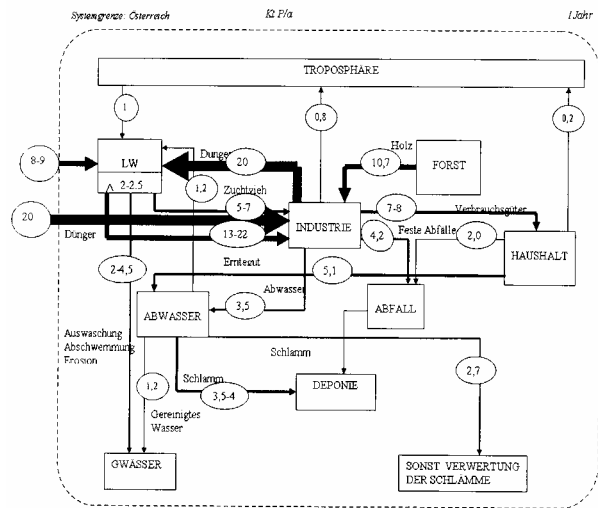


Abb. 2-6: Phosphorhaushalt Österreichs (Brunner, 2002)

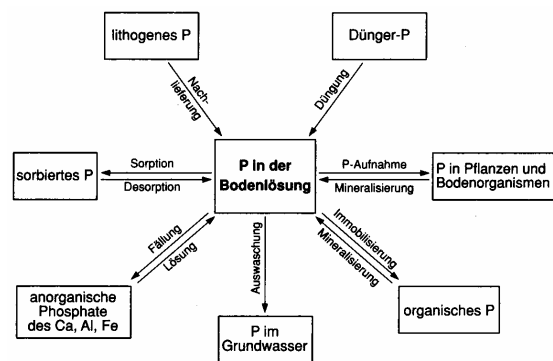


Abb. 2-7: Phosphatformen und ihre Verknüpfung mit der Bodenlösung (aus Blume et al, 2002).

Im Forschungsprojekt **Phosphataustrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberösterreich**, das vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung finanziert wird, wird daher untersucht

- welche Faktorenkombination im Hinblick auf eine Phosphatbefrachtung des Grundwassers als kritisch zu betrachten ist.
- wo mit einer erhöhten Phosphatbefrachtung des Grundwassers zu rechnen ist, da kritische Faktoren gemeinsam auftreten und

↗ welche Maßnahme am effizientesten zu einer Entlastung führen könnten.

Zur Bearbeitung dieser Fragen wurden zwei verschiedene Herangehensweisen gewählt

1. Eine empirische Untersuchung, die aus einer Auswertung vorhandener Daten in den beiden Grundwassergebieten Welser Heider und Südliches Eferdinger Becken besteht. Durch die Räumliche Verschneidung von Agrarstruktur- und Bodendaten wurde versucht, einen Zusammenhang mit den Phosphatgehalten im Grundwasser herzustellen.
2. Eine Detailstudie in zwei Untersuchungsgebieten, in der der Welser Heide und auf der Traun-Enns-Platte, wo Ursache- Wirkungsbeziehungen im Detail studiert wurden und Datenerhebungen und Messungen durchgeführt wurden. Dazu wurde eine Kausalkette Bewirtschaftung – Phosphatgehalt im Boden – Phosphatauswaschung aufgestellt.

3 Datenquellen und Methoden

Feldfutter, Gemüse, Kartoffel, Körnerleguminosen, Mais, Obst, Raps, Rübe, Sommergetreide, Sonnenblume, Wintergetreide und sonstige)

3.1 Empirische Untersuchungen

↗ der Viehbesatz, sowohl insgesamt als nach Tierart (Rinder, Schweine, Hühner, sonstige)

3.1.1 Datengrundlagen

Für Teil 1 der Studie wurden bestehende Bewirtschaftungsdaten, Bodendaten und Grundwasserdaten verwendet.

Um für jede Bodenform einen Einzelwert für die in 3.1.1 aufgelisteten Parameter zu erhalten, wurden die Werte mit der Horizontmächtigkeit gewichtet gemittelt.

Die Informationen zur Bewirtschaftung wurden den INVEKOS Daten des Jahres 2003 entnommen, die vom BMLFUW zur Verfügung gestellt wurden. Verwendet wurden Angaben zum Viehbestand, zur Nutzungsart und zu den angebauten Kulturen. Zur Überprüfung, ob die Angaben auch für die Jahre davor aussagekräftig sind, wurde die Agrarstrukturerhebung 1999 herangezogen.

Aus dem Orthophosphatgehalt sowie dem Grundwasserflurabstand wurden Mediane und Quantilen für einzelne Messstellen über die Zeitreihen gebildet.

Die Bodendaten wurden den Profilbeschreibungen der Bodenkarte 1:25.000 entnommen. Verwendet wurden die Parameter

Die räumliche Zuordnung der Agrarstrukturdaten zu den Grundwasserdaten erfolgte über die Angaben zur Lage der Messstelle, aus denen die Gemeinde ersichtlich ist. Jeder Messstelle wurde der Gemeindedurchschnitt der einzelnen Agrarstrukturparameter zugeordnet.

↗ Bodenart (Sand, Schluff, Ton)

↗ Grobanteil

↗ Humusgehalt

↗ pH Wert

↗ Kalkgehalt

Weiters wurde die Zuordnung der Bodenformen zu den Landschaftsräumen in der Auswertung verwendet.

Die räumliche Zuordnung der Bodendaten zu den Messstellen der WGEV erfolgte anhand eines GIS über die Lage. Einzelnen Messstellen, die in Bereichen liegen, wo keine Bodeneigenschaften in der Bodenkarte ausgewiesen werden, da sich zum Zeitpunkt der Kartierung dort keine landwirtschaftlich genutzte Fläche befand, wurden händisch der nächstgelegenen Bodenform zugeordnet.

Daten zur Grundwasserqualität stammen aus der Wassergüteerhebungsverordnung. Außer dem Orthophosphatgehalt wurde auch Grundwasserflurabstand ausgewertet.

Korrelationsrechnungen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 11) durchgeführt. Verwendet wurden die Verfahren Korrelation und partielle Korrelation. Als signifikant wurden Korrelationskoeffizienten mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5% bezeichnet, bei unter 1% als hoch signifikant.

3.1.2 Auswertungsmethoden

Die Bewirtschaftungsdaten wurden über die Lage der Feldstücke gemeindeweise aggregiert. Folgende Maßzahlen wurden gemeindeweise berechnet:

↗ der Anteil der Nutzungsarten (Acker, Grünland) an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche

↗ der Anteil der Feldkulturen an der Ackerfläche (zusammengefasst in

3.2 Detailstudie

3.2.1 Unteruchung auf Landwirtschaftlichen Betrieben (P-Bilanzen, P-Gehalte der Böden)

Auf 36 landwirtschaftlichen Betrieben im Gebiet von Pucking/Weisskirchen und der Oberen Pettenbachrinne wurden Erhebungen für die Berechnung von Phosphorbilanzen durchgeführt:

- ↗ Für die Berechnung der Feld - Stallbilanz wurde nach der Methode entsprechend der ÖPUL² Maßnahme 2.31, Teil „Betriebsbezogene Nährstoffbilanzierung“ vorgegangen. Nach dieser Methode wird eine durchschnittliche Flächenbilanz berechnet, wobei P-Zugänge aus dem Düngemittelzukauf und dem Viehbestand berechnet werden und P-Abgänge aus der Abfuhr der Ernteprodukte. Diese Bilanzen wurden für die Jahre 2001 und 2002 berechnet.
- ↗ Für die Berechnung der Schlagbilanz wurde entsprechend der ÖPUL Maßnahme 2.31, freiwillige Untermaßnahme „Schlagbezogene Stickstoffbilanzierung“ vorgegangen, wo Düngung und P - Entzüge über die Ernte schlagbezogen erhoben wurden. Diese Bilanzen wurden für die Jahre 2001 bis 2003 berechnet für jene 80 Schläge berechnet, auf denen Bodenproben genommen wurden.

Als Grundlage für die Berechnung der Bilanzen dienten in beiden Fällen die von den Landwirten geführten Aufzeichnungen, soweit diese (z.B. durch Teilnahme an einer entsprechenden ÖPUL Maßnahme vorhanden waren) bzw. wurden diese durch Erhebungen vor Ort ergänzt. Die P-Gehalte der Ernteprodukte wurden der Tabelle 1a aus Anhang 15 zu ÖPUL 2000 entnommen. Der P-Gehalt im Wirtschaftsdünger wurde durch Berechnung des jährlichen Gesamtanfalls aus dem Viehbestand und Division durch die gesamte

während eines Jahres ausgebrachte Wirtschaftsdüngermenge ermittelt. In Fällen, wo verschiedene Wirtschaftsdüngerarten am Betrieb anfielen, wurden zur Aufteilung des Phosphats auf diese Wirtschaftsdünger Annahmen getroffen. Zahlengrundlage waren auch hier die für ÖPUL zu verwendenden Tabellenwerke (Anhang 15 zu ÖPUL, Tabelle 5).

Auf 80 Schlägen dieser Betriebe wurden Bodenproben (Flächenmischproben aus 0 - 20 cm Tiefe) genommen und nach ÖNORM L 1087 auf CAL lösliches (pflanzenverfügbares) Phosphat analysiert. Die Phosphatgehalte wurden entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 5. Auflage (BMLFUW, 2000) in 5 Versorgungsstufen eingeteilt (Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Versorgungsstufen Phosphat

Versorgungsstufe	mg P ₂ O ₅ / 100 g Boden
A	< 6
B	6 – 10
C	11 – 25
D	25 – 40
E	> 40

3.2.2 Auswahl der Standorte für die Untersuchung von Bodenprofile

Die Auswahl der Standorte erfolgte unter drei Gesichtspunkten. Einerseits wurden Standorte im Hinblick auf bereits vorhandene Daten gewählt. Dazu zählen die zwei Lysimeterstandorte in der Oberen Pettenbachrinne und der Lysimeterstandort Pucking. Andererseits wurden Standorte gewählt, wo unter sonst gleichen Ausgangsbedingungen (klimatisch, Bodennutzung, Bodentyp) unterschiedliche Phosphorkonzentrationen im Boden zu erwarten waren. Hier boten sich langjährige Phosphorsteigerungsversuche bzw. ein Kompostversuch an, die in Ritzlhof und Warth zu Verfügung standen. Nachdem die bisher genannten Standorte eher lehmige Böden aufweisen wurde zusätzlich ein sandiger Standort in die Probenahme miteinbezogen (Austandort). Da sich der Standort Warth nachträglich als nicht geeignet erwies wurde noch ein zusätzlicher Standort in Pettenbach in das Probekollektiv einbe-

² ÖPUL 2000, Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft

zogen. Letztendlich wurden die in Tab. 3-2 angegebenen Standorte untersucht.

Tab. 3-2: Untersuchte Standorte, ihre Charakteristika und eventuell bereits vorhandene Literatur zum Standort

Standort	Charakteristik	weiterführende Literatur zum Standort
Pucking Lysimeter	Lysimeter	Murer (2001); Murer und Aigner (2004); wpa (2004)
Pucking Au	Austandort	-
Pettenbach Lysimeter 1	Lysimeter	Murer (2001); Murer und Aigner (2004); wpa (2004)
Pettenbach Lysimeter 3	Lysimeter	Murer (2001); Murer und Aigner (2004); wpa (2004)
Pettenbach Purrer	-	-
Ritzlhof Phosphorsteigerungsversuch	P0 keine Phosphordüngung P3 - jährliche Düngung mit 200 kg/ha P ₂ O ₅	Mayr (1995)
Ritzlhof Kompostanwendungsversuch	„konventionell“ nur Mineraldünger „Kompost“ Mineraldünger plus Kompost	Weissteiner und Fenzl (2001)

3.2.3 Probennahme von den Bodenprofilen

An jedem der 9 Standort wurde zur Entnahme von Bodenproben eine Profilgrube eröffnet (Abb. 3-1). Generell wurde angestrebt, in jeweils drei Tiefenstufen eine repräsentative Bodenschicht zu ermitteln und daraus die anstehende Bodenlösung zu gewinnen. Unmittelbar daneben wurden weitere Bodenproben gezogen.

Zur Entnahme der Bodenlösung wurden, wo der Bodenaufbau dies zuließ, drei Saugkerzenebenen mit jeweils zwei Saugkerzen errichtet. Die Glassintersaugkerzen (Fa. ROBU) wurden vor dem Einbau in eine Bodenschicht phosphatfrei gespült, mittels verdünnter Essigsäure nachgewaschen und anschließend mit deionisiertem

Wasser säurefrei gespült. Trockengefallene Saugkerzen wurden mit Mineralwasser aus den noch originalverschlossenen Industrieglasflaschen (Frankenmarkter Tafelwasser) wenig angenässt und der restliche Inhalt verworfen.



Abb. 3-1: Nach der Festlegung der Untersuchungsstandorte wurde an jedem Standort eine Profilgrube angelegt. Der Oberboden wurde getrennt von den unteren Bodenschichten gelagert, um eine Durchmischung bei der Schließung der Grube zu vermeiden

Der Einbau erfolgte mittels Vorbohrers mit einem Edelstahlbohrer (Abb. 3-2) gleicher Dimension wie die Glassinterkerze horizontal in die Grubenwand. Die Einbautiefe betrug etwa 25 cm. Die Fehlerde hinter der eingebauten Glassinterkerze wurde mit dem Bodenmaterial aus der Bohrung verschlossen um ein Austrocknen von der Einbauseite her zu vermeiden und um den hydraulischen Fluss des Bodenwassers nicht zu beeinträchtigen.

Die Verbindungsleitungen zwischen Glassinterkerze und Probensammelflasche bestanden aus Teflon, die Verbindungsleitungen von der Probensammelflasche zum Absaugsystem waren aus Polyamid. Diese wurden an eine Absaugvorrichtung angeschlossen. Der Saugdruck von anfänglich etwa 300 hPa verringerte sich aufgrund der gegebenen Saugspannung im Boden und aufgrund der herrschenden Bodenlösungsverfügbarkeit über die Zeiteinheiten kontinuierlich.



Abb. 3-2: Um den Einbau der Saugkerzen zu ermöglichen wurde in der jeweiligen Bodenschicht horizontal zur Grubenwand mit einem Edelstahlbohrer vorgebohrt. Dieser Bohrer weist den gleichen Durchmesser der Saugkerzen auf, um einen direkten Kontakt zwischen Boden und Kerze zu gewährleisten und die Gewinnung von Bodenlösung zu sichern

Die Lagerung der Beprobungsflaschen sowie des Absaugsystems erfolgte in der eröffneten Grube, welche gegen Frost und Niederschlag abgedeckt wurde. Grubensicherung analog zur „Baustellensicherung“ wurde angewendet. Die Entleerung des angefallenen Eluats wurde an die angefallenen Mengen angepasst und die so erhaltenen Proben der Analyse zugeführt.

Der Probentransport erfolgte in PE - Flaschen, gekühlt und prompt. Die Probenlagerung erfolgte tiefgefroren. Die Untersuchungen an den verschiedenen Standorten erfolgten aufgrund der beschränkten Anzahl von anfangs drei, später wegen eines Defektes nur zwei Saugsystemen nicht zeitgleich sondern aufgeteilt auf mehrere Wochen. Abb. 3-3 zeigt den schematischen Aufbau des Messsystems wie oben beschrieben.

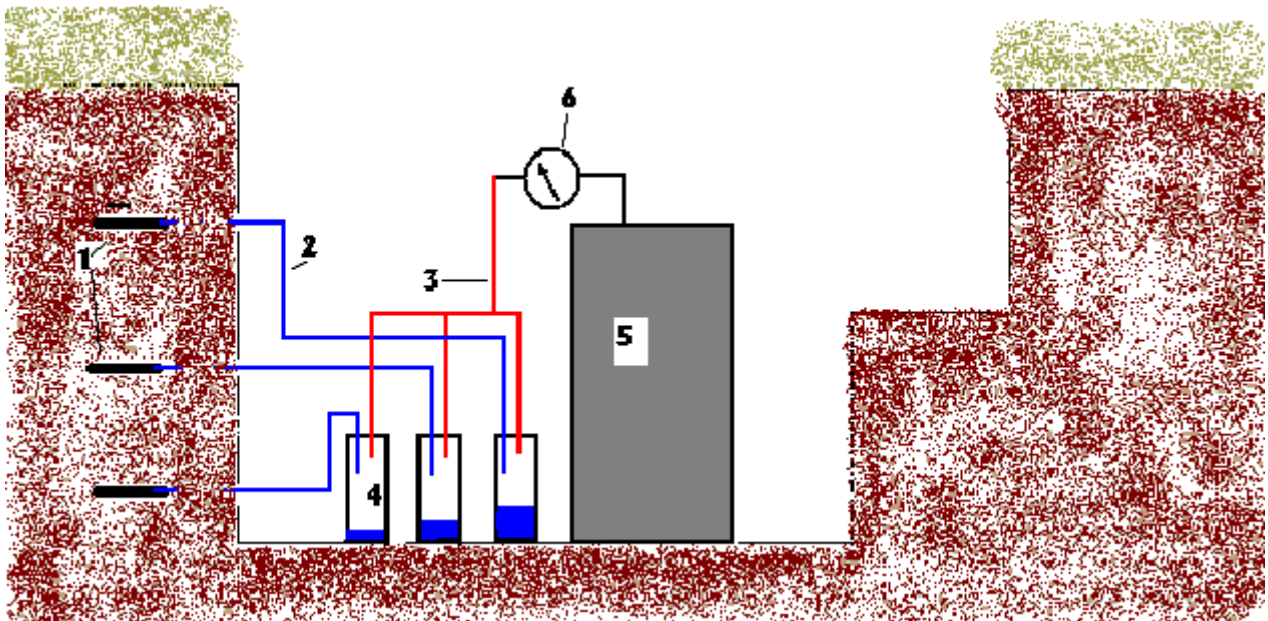


Abb. 3-3: Schematische Darstellung einer Sauganlage, mit drei Saugkerzen(1), Wasserleitungen(2), Vakuumleitungen(3), Auffangbehälter(4), einem Vakuum-vorratsbehälter(5), Manometer zur Kontrolle des Saugdruckes(6)

3.2.4 Analysen

Die über die Saugkerzen erhaltenen Bodenlösungen wurden mittels Peroxidisulfat aufgeschlossen und im Aufschluss Gesamtphosphor photometrisch bestimmt (Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde, Scharfling).

Die erhaltenen Bodenproben wurden auf eine Reihe von bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften untersucht:

Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden

Sämtliche bodenphysikalische Untersuchungen wurden nach Standardverfahren des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt durchgeführt. Im Einzelnen wurden die erhaltenen Proben auf die Parameter Korngrößenverteilung (SAA-IKT-21-04, SAA-IKT-22-03), Feststoffdichte (SAA-IKT-24-02), Rohdichte (SAA-IKT-33-03), Porenanteil (SAA-IKT-33-03), Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung (SAA-IKT-31-04) und Wassergehalt bei Probenahme (SAA-IKT-23-03) untersucht.

Bodenchemische Untersuchungsmethoden

Untersucht wurden die Parameter organische Substanz (Nassoxidation – SAA-IKT-12-01), oxalatlösliches Aluminium, Eisen, Phosphor (Extraktion mit Ammoniumoxalat, Bestimmung im ICP – Schwertmann, 1964), Dithionitlösliches Aluminium, Eisen (Extraktion mit Natriumdithionit, Bestimmung im ICP – ISRIC, 1995), pH-Wert in CaCl_2 , pH und Phosphor im CAL-Extrakt, Phosphor im Wasserextrakt, sowie Gesamtgehalte an Aluminium, Eisen, Phosphor (Aufschluss mit Königswasser, Bestimmung im ICP)

4 Ergebnisse

4.1 Empirische Untersuchungen

Eine Multiple Korrelationsrechnung ergab, dass der Acker- bzw. Grünlandanteil hoch signifikant mit den Phosphatgehalten im Grundwasser zusammenhängt (Tab. 4-1), wobei es keinen nennenswerten Unterschied machte, ob als Maß für den Phosphatgehalt an einer Messstelle der Median, die 75% oder die 90% Quantile der jeweiligen Messreihe herangezogen wurde. Je höher der Ackeranteil bzw. je niedriger der Grünlandanteil um so höher der Phosphatgehalt im Grundwasser. Allerdings muss einschränkend darauf hingewiesen werden, dass der Koeffizient von 0,283 nicht sehr hoch ist und dies einen Hinweis darauf darstellt, dass eine Reihe weiterer Einflussfaktoren eine Rolle spielt bzw. der Einfluss auf die Grundwasserqualität an einer Messstelle zum Teil auch aus einem anderen Bereich stammen kann. Die Karte in Kartenbeilage A zeigt dazu den Ackeranteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Gemeinden Oberösterreichs sowie die 75% Quantile der Phosphatmessreihen an den einzelnen Messstellen.

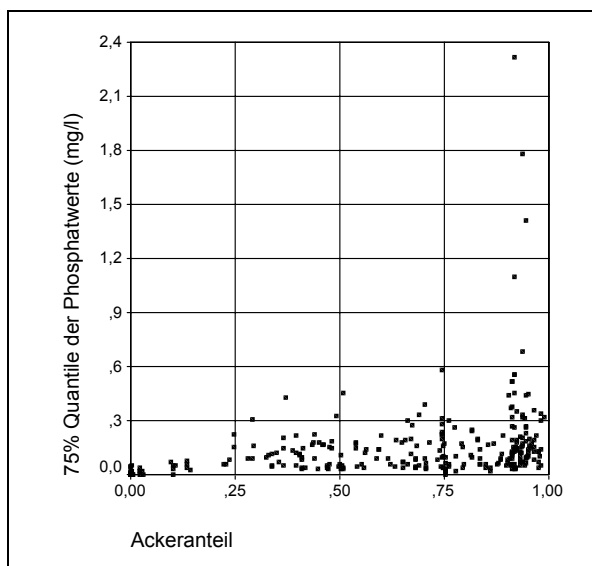


Abb. 4-1: Ackeranteil an der LN und Phosphatgehalte im Grundwasser (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen).

Wie Abb. 4-1 zeigt, gilt der Zusammenhang zwischen Phosphatgehalten und Ackeranteil vor allem für hohe, nicht jedoch für niedrige Phosphatgehalte. Hohe Phosphatgehalte (75% Quantile > 0,6) traten zwar nur bei einem Ackeranteil in der Gemeinde von mehr als 75% auf, in Gemeinden mit hohem Ackeranteil sind jedoch auch niedrige Phosphatwerte anzutreffen.

Tab. 4-1: Korrelationskoeffizienten des Phosphatgehalts (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen) mit Agrarstrukturdaten (N = 282), Bodenkennwerten (N = 70) und dem Grundwasserflurabstand (N = 282). ** Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%; * Irrtumswahrscheinlichkeit 1% bis 5%

Ackeranteil (% von LN)	0,28	**
Grünlandanteil (% von LN)	-0,28	**
Feldfutter (% von Acker)	-0,27	**
Wintergetreide (% von Acker)	0,26	**
Rinder (GVE/ha)	-0,25	**
Rübe (% von Acker)	0,24	**
Ton (% von Feinboden)	0,22	*
Obst (% von Acker)	0,22	**
Gemüse (% von Acker)	0,19	**
Kalk (% von Feinboden)	-0,19	
Grobanteil (%)	-0,18	
pH Wert	-0,17	
Körnerleguminosen (% von Acker)	0,17	**
Mais (% von Acker)	0,15	*
Kartoffel (% von Acker)	0,14	*
Sand (% von Feinboden)	-0,13	
Humus (% von Feinboden)	-0,10	
Sommergetreide (% von Acker)	-0,10	
Schweine (GVE/ha)	-0,08	
Raps (% von Acker)	0,06	
Hühner (GVE/ha)	-0,05	
Grundwasserflurabstand (Median)	-0,05	
Sonnenblume (% von Acker)	0,01	
Schluff (% von Feinboden)	0,01	

Die in Tab. 4-1 ausgewiesenen hoch signifikanten Korrelationen des Feldfutter- und Wintergetreideanteils an der Ackerfläche mit dem Phosphatgehalt hängen mit dem Acker- bzw. Grünlandanteil zusammen. Wo der Grünlandanteil hoch ist, ist auch der Feldfutteranteil an der Ackerfläche

hoch ($r = 0,98$), wo der Ackeranteil hoch ist, ist auch der Wintergetreideanteil an der Ackerfläche hoch ($r = 0,92$).

Das selbe gilt für den Rinderbesatz, der mit dem Phosphatgehalt im Grundwasser negativ korrelierte: auch dieser Faktor hängt mit dem Grünlandanteil zusammen ($r = 0,74$). Bei Schweinen und Hühnern ergab die Korrelationsrechnung keinen signifikanten Zusammenhang mit den Phosphatgehalten im Grundwasser. Insgesamt korrelierte daher der Viehbesatz negativ mit den Phosphatgehalten im Grundwasser (vgl. Kartenbeilage B).

Ebenso wie Winterweizen korrelierten der Anteil von Rüben, Obst, Gemüse, Körnerleguminosen, Mais oder Kartoffel an der Ackerfläche mit dem Ackeranteil an der LN, so dass der Einfluss dieser Kulturen auf den Phosphatgehalt des Grundwassers in einer einfachen Korrelationsrechnung nicht gesondert vom Ackeranteil bewertet werden konnte.

Von den Bodendaten korrelierte lediglich der Tonanteil signifikant mit dem Phosphatgehalt des Grundwassers, wobei der Koeffizient ein positives Vorzeichen hat. Dies überrascht insofern, als Phosphat an der Oberfläche von Tonmineralen adsorbiert werden kann (Blume et al, 2002). Eine mögliche Erklärung wäre, dass bei sehr hohen Tongehalten Makroporenfluss (bypass flow) eine größere Rolle spielt (siehe Kap. 4.2.3). Kein Zusammenhang ist zwischen dem Grundwasserflurabstand und den Phosphatgehalten im Grundwasser erkennbar ($r = -0,049$, n.s.; siehe Tab. 4-1).

Da der Ackeranteil mit einer Reihe weiterer Faktoren stark korrelierte, wurden partielle Korrelationskoeffizienten mit dem Ackeranteil als Kontrollvariable berechnet (Tab. 4-2). In diesem Fall korrelierte der pH Wert des Bodens am stärksten mit dem Phosphatgehalt im Grundwasser, wobei der Koeffizient ein negatives Vorzeichen trägt.

Tab. 4-2: Partielle Korrelationskoeffizienten (Kontrollvariable Ackeranteil) des Phosphatgehalts (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen) mit Agrarstrukturdaten (N = 282), Bodenkennwerten (N = 70) und dem Grundwasserflurabstand (N = 282). ** Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%; * Irrtumswahrscheinlichkeit 1% bis 5%

pH Wert	-0,29	*
Schweine (GVE/ha)	-0,24	**
Kalk (% von Feinboden)	-0,23	
Ton (% von Feinboden)	0,23	
Grobanteil (%)	-0,21	
Raps (% von Acker)	-0,16	**
Humus (% von Feinboden)	-0,15	
Sand (% von Feinboden)	-0,15	
Gemüse (% von Acker)	0,14	*
Obst (% von Acker)	0,13	*
Sommergetreide (% von Acker)	-0,12	
Hühner (GVE/ha)	-0,11	
Mais (% von Acker)	-0,10	
Grundwasserflurabstand (Median)	-0,10	
Rübe (% von Acker)	0,10	
Körnerleguminosen (% von Acker)	-0,09	
Kartoffel (% von Acker)	0,09	
Rinder (GVE/ha)	-0,06	
Schluff (% von Feinboden)	0,03	
Sonnenblume (% von Acker)	-0,03	
Wintergetreide (% von Acker)	-0,01	
Feldfutter (% von Acker)	0,00	

Die höchsten Phosphatgehalte traten bei Messstellen auf, die sich im Bereich von kalkfreien Böden mit pH Werten zwischen 4,9 und 6,3 befanden. Allerdings gibt es auch Messstellen mit niedrigen Werten im Bereich von Böden mit diesem pH Wert bzw. kalkfreien Böden (vgl. Abb. 4-2). Auch für den pH Wert gilt, dass zwar ein Zusammenhang mit den Phosphatgehalten des Grundwassers gezeigt werden kann, dieser jedoch im Rahmen der empirischen Auswertung mit einem Koeffizienten von 0,29 nicht sehr hoch ist (siehe dazu auch Kartenbeilage C). Dies stellt einen Hinweis darauf dar, dass auch andere Einflussfaktoren als Streuungsursache eine Rolle spielen, die jedoch im Rahmen der empirischen Auswertung vorhandener Daten nicht identifiziert werden können.

Der empirisch festgestellte Zusammenhang zwischen pH-Wert bzw. Kalkgehalt und den Phosphatgehalten im Grundwasser ist ein durchaus plausibles Ergebnis, da sich die Löslichkeit von anorganischem Phosphat im Boden mit dem pH Wert und Ca-Konzentration ändert (siehe Abb. 4-3).

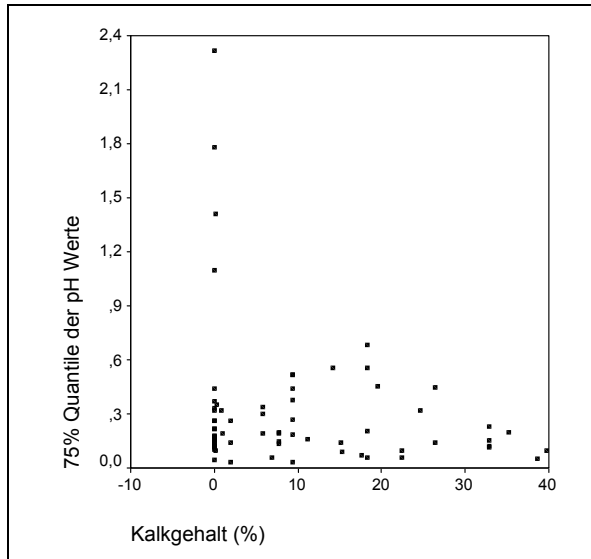


Abb. 4-2: Kalkgehalt der Böden an den Messstellen und Phosphatgehalte im Grundwasser (75% Quantile der Messreihen an den einzelnen Messstellen).

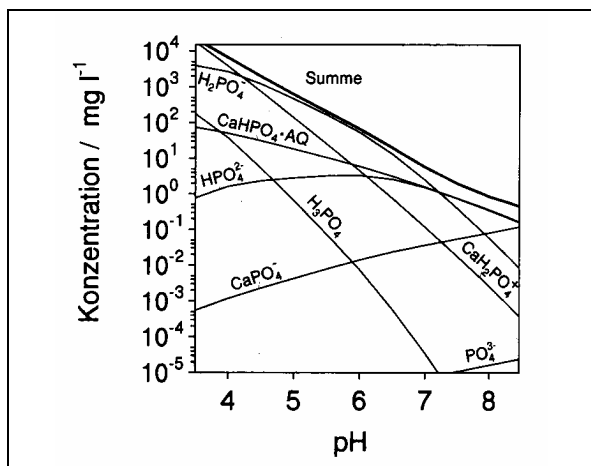


Abb. 4-3: Lösliche anorganische P - Formen im Gleichgewicht mit Octacalciumphosphat in Abhängigkeit vom pH (Ca-Aktivität $2,5 \text{ mmol l}^{-1}$). Aus: Blume et al, 2002.

Von den Agrarstrukturdaten korrelierten der Schweinebesatz und der Rapsanteil an der Ackerfläche negativ, der Gemüse- und Obstanteil positiv mit dem Phosphatgehalt im Grundwasser (Tab. 4-2), weitere Koeffizienten waren nicht signifikant. Da Feldobst und Gemüse in der Regel eher intensiv mit Phosphor gedüngt werden, kann für diese Korrelationen ein plausibler Grund genannt werden. Für die negativen Korrelationen lassen sich keine einleuchtenden Ursachen anführen. Allerdings war der Zusammenhang zwischen Rapsanbau bzw. Schweinehaltung und Gemüse- bzw. Obstbau hoch signifikant. Gemeinden mit hohem Obst- und Gemüseanteil an der Ackerfläche hatten einen niedrigen Schweinebesatz und einen geringen Rapsanteil.

Ein Vergleich der Phosphatgehalte im Grundwasser zwischen den geologischen Einheiten zeigt tendenziell niedrigere Werte im Aubereich und höhere im Bereich der Niederterrasse (vgl. Kartenbeilage D und Abb. 4-3). Hügelland und Hochterrasse liegen dazwischen. Im Hügelland ist zwar der Ackeranteil geringer, gleichzeitig aber auch der pH Wert niedriger (Abb. 4-4 und Abb. 4-6), sodass sich hier zwei gegenläufige Einflussfaktoren gegenseitig zum Teil aufheben, im Bereich der Hochterrasse ist der pH Wert ebenfalls niedriger, allerdings gibt es keinen Unterschied beim Ackeranteil. Die etwas höheren Phosphatgehalte in diesem Bereich dürften daher eine Folge der niedrigeren pH Werte der Böden sein.

Unterschiede zwischen dem Aubereich und der Niederterrasse könnten zum Teil ebenfalls mit dem etwas höheren Ackeranteil und dem etwas niedrigeren pH Wert auf der Niederterrasse zusammenhängen. Eventuell spielen aber auch weitere Einflussfaktoren eine Rolle, wie etwa Verdünnungseffekte durch Grundwasserbegleitströme im Aubereich.

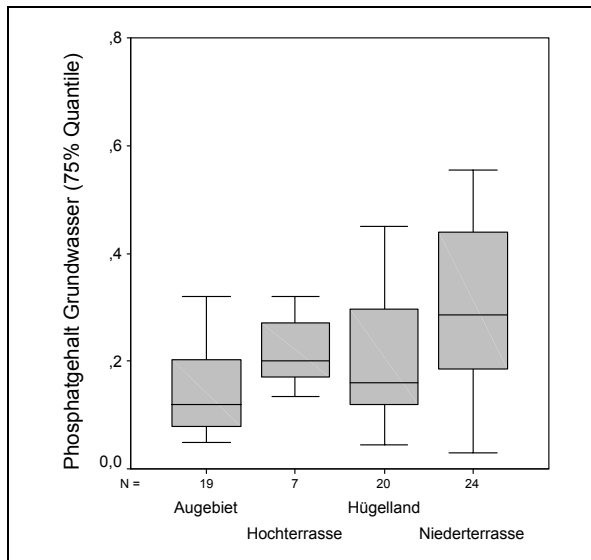


Abb. 4-4: Phosphatgehalte im Grundwasser; Darstellung der 75% Quantilen von den Zeitreihen an den einzelnen Messstellen (☐ 50% der Werte mit Median, ⊤ 25% höchste Werte, ⊥ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert).

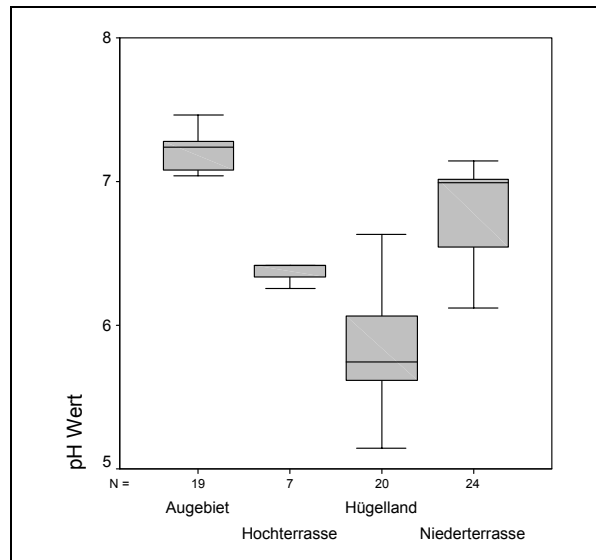


Abb. 4-6: pH Werte der Böden an den Messstellen (☐ 50% der Werte mit Median, ⊤ 25% höchste Werte, ⊥ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert).

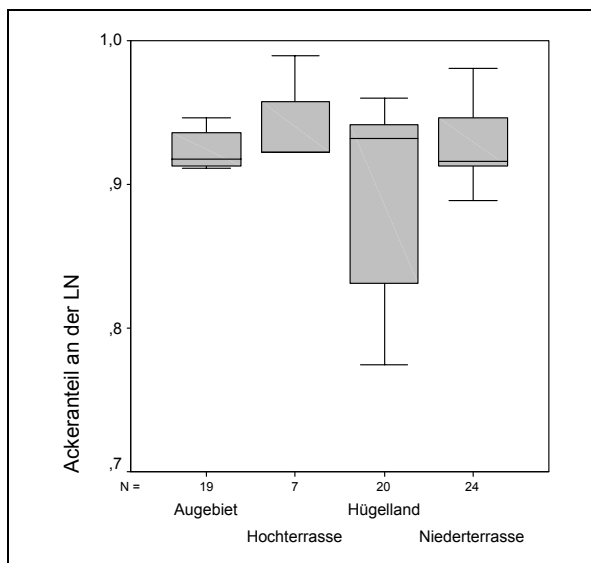


Abb. 4-5: Ackeranteil in den Gemeinden, wo sich die Messstellen befinden (☐ 50% der Werte mit Median, ⊤ 25% höchste Werte, ⊥ 25% niedrigste Werte, Ausreisser und Extremwerte eliminiert).

4.2 Detailstudie

4.2.1 Untersuchungen auf den landwirtschaftlichen Betrieben

4.2.1.1 Betriebsbilanzen

Die Phosphatbetriebsbilanzen betragen im Durchschnitt der Jahre 2001 und 2002 $59 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Eine Häufigkeitsverteilung (Abb. 4-7) zeigt, dass die meisten Betriebe in die Klassen mit dem Mittel 0 oder $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ fallen. Mit steigender Bilanz nimmt die Häufigkeit dann stark ab. 5 Betriebe hatten eine durchschnittliche Phosphorbilanz größer $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$, lediglich 2 Betriebe hatten im Durchschnitt negative Bilanzen. Positive P-Bilanzen überwiegen somit bei weitem.

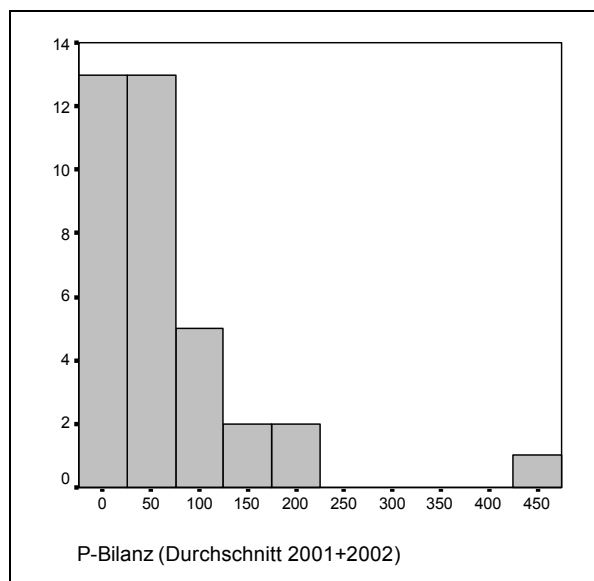


Abb. 4-7: Häufigkeitsverteilung der P-Einzelbetriebsbilanzen ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$; Durchschnitt der Jahre 2001 und 2002)

Tendenziell sind die Phosphatbetriebsbilanzen bei Betrieben mit biologischer Wirtschaftsweise am niedrigsten, gefolgt von solchen Betrieben die an Maßnahmen zum vorbeugenden Gewässerschutz teilnehmen (Abb. 4-8). Betriebe, die lediglich an der ÖPUL Grundförderung teilnahmen hatten die höchsten Bilanzen, überwiegend sogar höhere als Betriebe, die an

keiner der genannten Maßnahmen teilnahmen.

Während Biobetriebe nur eingeschränkt Möglichkeiten haben, zugekauften Phosphatdünger einzusetzen dürfte bei den Teilnehmern an Maßnahmen zum vorbeugenden Gewässerschutz eine Rolle spielen, dass diese Betriebe verpflichtend P-Betriebsbilanzen berechnen müssen. Dadurch wird eine Voraussetzung geschaffen, ausgeglichene Bilanzen anzustreben.

Betriebe, die an der Grundförderung teilnehmen, müssen bei der P-Düngung jene Werte verpflichtend einhalten, die in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung empfohlen werden. Eine Kontrolle der P-Düngung für Teilnehmer an der ÖPUL Grundförderung ist jedoch derzeit nicht üblich. Da die Düngeempfehlungen in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung auf eine ökonomische Maximierung ausgerichtet sind, bestehen für Teilnehmer und Nichtteilnehmer an der Grundförderung de facto die gleichen Voraussetzungen für die Bemessung der P-Düngung.

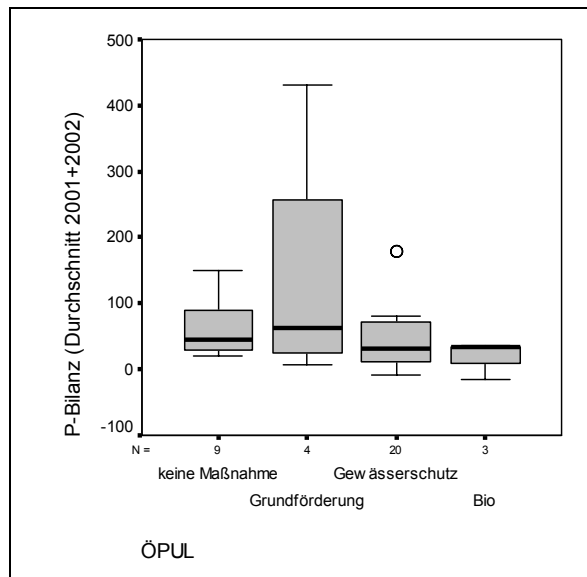


Abb. 4-8: Höhe der P-Betriebsbilanzen in Abhängigkeit der ÖPUL Maßnahmen
 (■ 50% der Werte mit Median, ⊥ 25% höchste Werte, ⊥ 25% niedrigste Werte, o Ausreisser).

Die P-Betriebsbilanz korreliert schwach ($r = 0,29$) aber signifikant mit dem Viehbesatz, wenn mit den Zahlen der Einzeljahre gerechnet wird. Gleichzeitig gibt es jedoch

auch eine negative signifikante Korrelation ($r = -0,24$) des mit dem Wirtschaftsdünger zugeführten P mit jenem P, der als Mineraldünger ausgebracht wird. Betriebe mit hohem Wirtschaftsdüngeranfall berücksichtigen diesen also zum Teil bei der Mineraldüngerabfuhr.

4.2.1.2 Schlagbilanzen

Die Schlagbilanzen zeigen ein ähnliches Bild wie die Betriebsbilanzen: am häufigsten sind Bilanzen in den Klassen mit dem Mittel 0 oder 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ Jahr⁻¹ festzustellen (Abb. 4-9). Ein Bilanzdurchschnitt höher als 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ Jahr⁻¹ nach drei Jahren trat auf 11 von 80 Schlägen auf, ebenso häufig eine negative Durchschnittsbilanz. Der dreijährige Durchschnitt der bilanzierten Schläge ist mit 59 kg P₂O₅ ha⁻¹ deutlich positiv.

Die Höhe der Schlagbilanzen je nach ÖPUL Maßnahmenteilnahme folgt der selben Tendenz wie bei den Betriebsbilanzen, mit Mittelwerten in steigender Reihenfolge von Bio < Gewässerschutz < keine Maßnahme < Grundförderung. Allerdings haben Schläge ohne Maßnahme einen höheren Median als Schläge mit Grundförderung (Abb. 4-10).

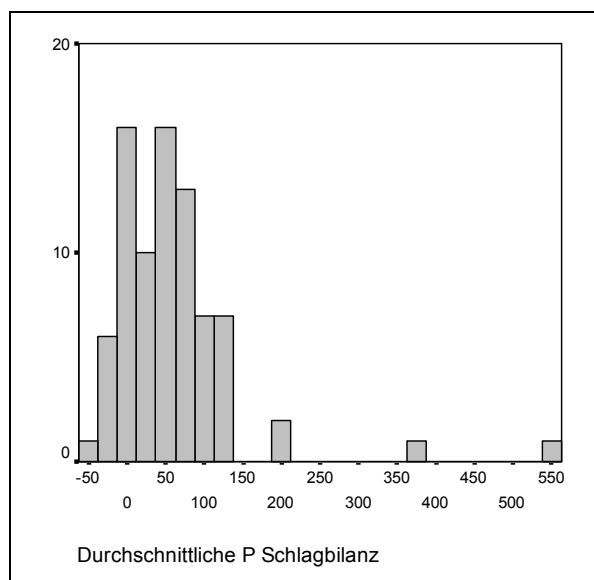


Abb. 4-9: Häufigkeitsverteilung der P-Schlagbilanzen (kg P₂O₅ ha⁻¹ Jahr⁻¹; Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2003)

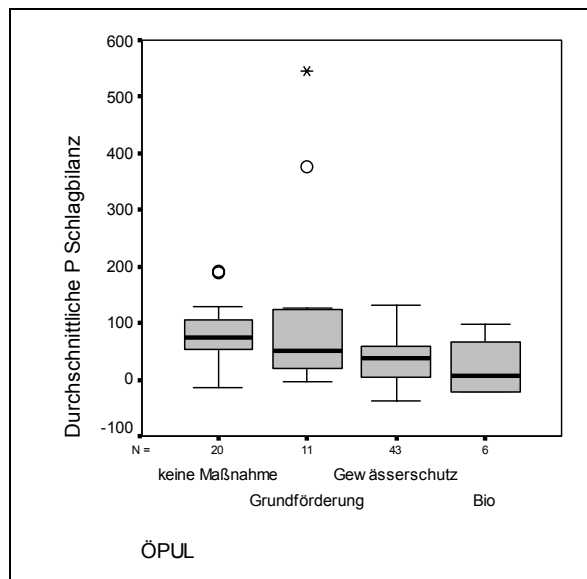


Abb. 4-10: Höhe der P-Betriebsbilanzen in Abhängigkeit der ÖPUL Maßnahmenteilnahme (☐ 50% der Werte mit Median, ▮ 25% höchste Werte, ▮ 25% niedrigste Werte, o Ausreißer, * Extremwerte).

Die Schlagbilanzen korrelieren hoch signifikant mit den Betriebsbilanzen ($r = 0,74$). Wie bei den Betriebsbilanzen ist ein signifikanter, wenngleich schwacher Zusammenhang mit dem Viehbesatz feststellbar ($r = 0,30$), sowie eine signifikante aber schwache negative Korrelation zwischen dem mit Wirtschaftsdünger und dem mit Mineraldünger ausgebrachten P ($r = -0,26$). Schläge mit entsprechenden Wirtschaftsdüngergaben werden somit tendenziell weniger mit mineralischem P gedüngt.

4.2.1.3 CAL-lösliches (pflanzenverfügbares) Phosphat im Boden

Die Phosphatgehalte im Boden entsprechen überwiegend der Versorgungsstufe B, gefolgt von A und C (Einstufung gem. Richtlinien für die sachgerechte Düngung 5. Auflage, BMLFUW 2000; siehe Tab. 4-3). Versorgungsstufe D oder E kam nur selten vor. Entsprechend den Richtlinien für die Sachgerechte Düngung, sind die Böden somit tendenziell mit P unterversorgt, allerdings ist derzeit für eine Neuauflage der Richtlinien eine Neubewertung der Grenze zwischen B und C in Diskussion.

Tab. 4-3: Einstufung der P-Gehalte gem. Richtlinien f. sachgerechte Düngung

	Gehaltsstufe	mg P/1000g Feinboden
A	sehr niedrig	unter 26
B	niedrig	26 – 47
C	ausreichend	47 - 111
D	hoch	112 - 174
E	sehr hoch	über 174

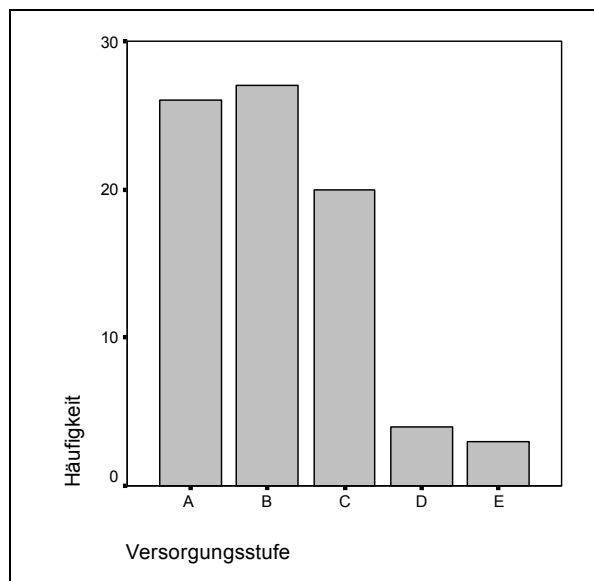


Abb. 4-11: P-Versorgung der untersuchten Böden

Der P_{205} - Gehalt der Böden korreliert deutlich und hoch signifikant mit der Betriebsbilanz ($r = 0,62$). Der Zusammenhang mit der Schlagbilanz ist zwar ebenfalls hoch signifikant aber mit $r = 0,37$ weniger stark. Ein direkter Zusammenhang mit dem Viehbesatz ist nicht feststellbar.

Der Grund für den schwächeren Zusammenhang der P-Gehalte im Boden mit den Schlagbilanzen als mit den Betriebsbilanzen dürfte folgende Gründe haben:

↪ Zwischen den P-Bilanzen und dem P-Gehalt des Bodens sind nur in mittel- bis langfristigen Zeiträumen (nach geschätzten 10 oder 20 Jahren) Zusammenhänge zu erwarten (Dersch und Hösch, 2003). Die Zeiträume, die bilanziert wurden (2 bzw. 3 Jahre) sind deutlich kürzer. Es kann jedoch unterstellt werden, dass die Bilanzen, auch wenn sie nur für einen kürzeren Zeitraum berechnet wurden, auch die Situation für länger zurückliegende Jahre

widerspiegeln. Als Indikator für längere Zeiträume ist der Betriebsdurchschnitt, wie er in der Betriebsbilanz berechnet wird, offensichtlich besser geeignet als die Bilanzierung von Einzelschlägen, selbst wenn am Einzelschlag drei Jahre durchgerechnet werden und am Betrieb nur zwei.

↪ Da Phosphatdünger längerfristig wirken ist nicht in jedem Jahr eine Ausbringung erforderlich. Die Höhe der Schlagbilanzen hängt also davon ab, ob und wie viele Ausbringungen am Schlag in den drei untersuchten Jahren zufällig erfasst wurden. Bei der Berechnung des Betriebsdurchschnitt spielt dies keine große Rolle mehr, da sich die Unterschiede zwischen den Schlägen wieder ausgleichen.

Abb. 4-12 zeigt, dass sich die Betriebsbilanzen bei einer P-Versorgungsstufe von A bis C des Bodens kaum unterscheiden. Bei Versorgungsstufe D sind die Betriebsbilanzen bereits deutlich höher, die Bilanzen bei Versorgungsstufe E liegen generell über den Bilanzen bei allen anderen Versorgungsstufen. Hohe durchschnittliche P-Bilanzen am Betrieb führten somit zu einer P-Übersorgung der Böden. Offensichtlich wurde die P-Düngung auf diesen Betrieben zum Zeitpunkt der Untersuchung auch nicht dem hohen Versorgungsgrad der Böden angepasst.

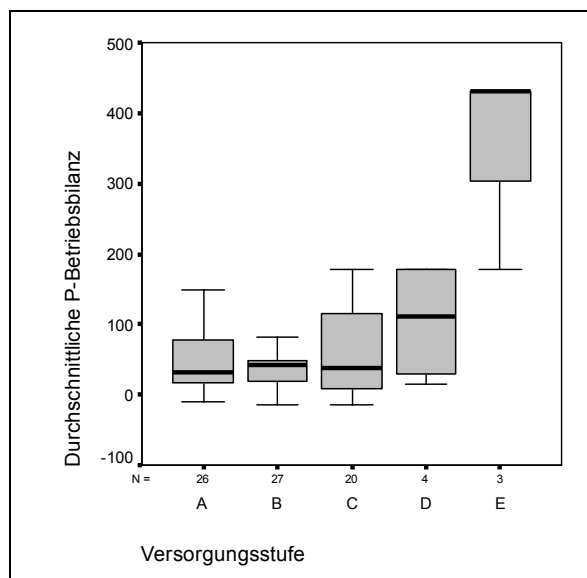


Abb. 4-12: Betriebsbilanzen ($kg P_{205} ha^{-1} Jahr^{-1}$ Jahresdurchschnitt 2001,2002) bei unterschiedlichen P-Versorgungsstufen der Böden

4.2.2 Untersuchungen an den Bodenprofilen

4.2.2.1 Repräsentativität der Versuchstandorte

Um die Bandbreite der Standortscharakteristika darzustellen, sind in Tab. 4-4 und Abb. 4-13 die statistischen Kennwerte einiger Parameter dargestellt. Wie aus Tab. 4-4 und Abb. 4-14 erkennbar ist, werden in der Untersuchung vor allem Standorte mit mittlerer Bodentextur und demzufolge auch mittleren Gehalten an pedogenen Oxiden erfasst, da ja der Gehalt an pedogenen Oxiden im Wesentlichen von der Bodentextur abhängig ist.

Die Gehalte der verschiedenen Phosphatfraktionen weisen eine breite Streuung auf. Dies konnte einerseits durch Einbeziehung der verschiedenen Düngungsversuche in das Probekollektiv erreicht werden, andererseits wirkt sich hier auch die Analyse unterschiedlicher Tiefenstufen auf einem Standort aus. Neben dem Humusgehalt und der Bodentextur stellt der Kalkgehalt den dritten wesentlichen Steuerungsfaktor der Phosphatchemie eines Standortes dar (Schachtschabel et al., 1984). Die Streuung der pH-Werte der Proben war eng und der mittlere pH-Wert der Proben lag bei 6,9.

Zusätzliche Analysen auf sauren Standorten und/oder Standorten mit leichteren Böden wären also eine sinnvolle Ergänzung der vorhandenen Ergebnisse.

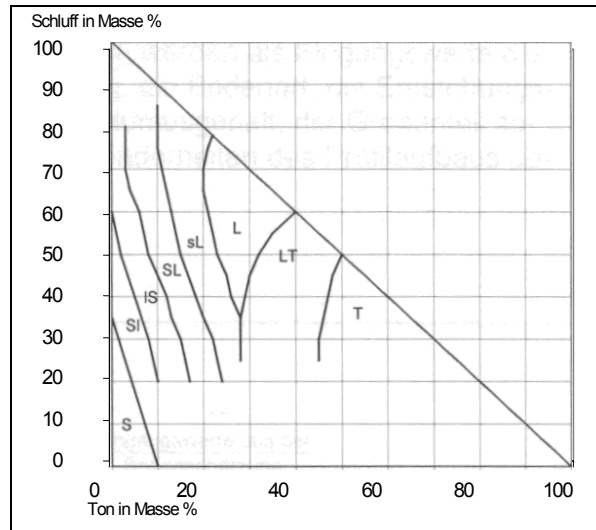


Abb. 4-13: Abbildung der untersuchten Standorte im Texturdreieck der österreichischen Finanzbodenschätzung

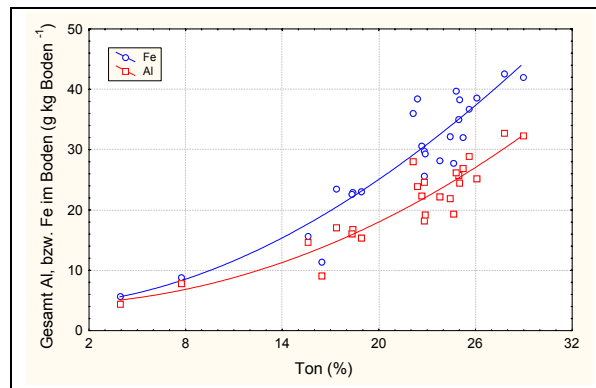


Abb. 4-14: Beziehung zwischen Gesamtgehalten an Al bzw. Fe und Tongehalt der Proben

Tab. 4-4: Anzahl (n), Mittelwert (Mw), Standardabweichung (Stabw), Minimum (Min) und Maximum (Max) der untersuchten Proben

Parameter	n	Mw	Stabw	Min	Max
Aluminium oxalatlöslich (mg Al kg Boden ⁻¹)	49	1157	399	185	1765
Eisen oxalatlöslich (mg Al kg Boden ⁻¹)	49	3972	1114	923	5689
Phosphor oxalatlöslich (mg P kg Boden ⁻¹)	49	162	94	23	365
Aluminium gesamt (g Al kg Boden ⁻¹)	49	20,5	6,9	4,5	32,7
Eisen gesamt (g Fe kg Boden ⁻¹)	49	28	10	6	43
Phosphor gesamt (g P kg Boden ⁻¹)	49	0,66	0,31	0,11	1,32
Phosphor CAL-Extrakt (mg P kg Boden ⁻¹)	49	44	66	2	278
Phosphor H ₂ O-Extrakt (mg P kg Boden ⁻¹)	49	5,3	6,8	0,5	30,1
Phosphor Bodenlösung (mg P l ⁻¹)	49	0,20	0,30	0,01	1,38
Humusgehalt (%)	49	1,40	0,84	0,34	3,69
PH-Wert (CaCl ₂)	49	6,9	0,3	6,5	7,6

4.2.2.2 Beziehung zwischen Phosphorgehalt im Bodenwasser und einzelnen Bodeneigenschaften

Zur Ermittlung vorhandener Beziehungen zwischen einzelnen Bodenparametern und dem Phosphorgehalt des Sickerwassers wurde als erster Auswertungsschritt eine Korrelationsmatrix aufgestellt. Dabei wurde der Grad der linearen Beziehung zwischen P-Bodenlösung und anderen Parametern über den Korrelationskoeffizienten nach Pearson ausgedrückt. Nachdem bei einigen Parametern keine normalverteilten Proben vorlagen, bzw. nichtlineare Beziehungen auftreten, wurde zusätzlich der für diese Bedingungen besser geeignete Korrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. Obwohl die Höhe der Korrelation für die beiden verwendeten Korrelationskoeffizienten teilweise sehr unterschiedlich war, wurden die jeweils engsten Beziehungen zu den gleichen Parametern festgestellt (Tab. 4-5), nämlich P_{ox}, P_{CAL}, P_{H₂O}, P_{tot}, und Humus, wobei der Humusgehalt der Proben als einziger Parameter keinen direkten Bezug zu einem Extraktionsverfahren für Phosphor herstellt. Für die Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher pH Werte war der Wertebereich dieses Parameters an den untersuchten Standorten zu eng.

Tab. 4-5: Pearson (P) und Spearman (S) Korrelationskoeffizienten (r) zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und einzelnen Bodenparametern (n=25)

Parameter	r (P)	r (S)
Aluminium oxalatlöslich (Al _{ox})	-,15	-0,07
Eisen oxalatlöslich (Fe _{ox})	-,03	-0,09
Phosphor oxalatlöslich (P _{ox})	,69	,47
Aluminium dithionitlöslich (Al _{dith})	-,16	-,15
Eisen dithionitlöslich (Fe _{dith})	-,11	-,21
pH in CaCl ₂ (pH _{CaCl2})	-,10	-,17
pH im CAL-Extrakt (pH _{CAL})	-,19	-,04
Phosphor im CAL-Extrakt (P _{CAL})	,88	,44
Phosphor im H ₂ O-Extrakt (P _{H2O})	,88	,43
Eisen gesamt Fe _{tot})	-,16	-,22
Phosphor gesamt (P _{tot})	,69	,51
Aluminium gesamt (Al _{tot})	-,16	-,16
Humusgehalt (Humus)	,45	,42
Tongehalt (Ton)	-,07	-,12

Abb. 4-16 bis Abb. 4-20 stellen den korrelativen Zusammenhang für diese Parameter graphisch dar. Die Beziehungen zwischen P_{tot} bzw. P_{ox} und dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung weisen einen eindeutigen Knickpunkt auf. Dieser Effekt wird im Zusammenhang mit diversen Extraktionsverfahren (vor allem dem im angelsächsischen Raum gebräuchlichen Extraktionsverfahren nach Olsen) zur Bestimmung des Nährstoffbedarfs, bzw. Indices zur Ermittlung des Auswaschungsrisikos immer wieder beobachtet (Hesketh and Brookes, 2000; Hooda et al., 2000). Der Knickpunkt, ab dem ein erhöhtes Risiko einer Mobilisierung von Phosphor besteht, lässt sich über eine stückweise lineare Regression, wie sie in Abb. 4-17 angedeutet ist ($n = 25$, $r^2 = 80.7$) mit einem Wert von $163 \text{ mg kg Boden}^{-1} P_{\text{ox}}$ für den Parameter oxalatlöslicher Phosphor berechnen. Hierbei ist allerdings zu bemerken, dass der hier bestimmte Phosphor in der Bodenlösung einem Gesamtgehalt an gelöstem molybdatreaktivem Phosphor entspricht, der im Vergleich zu HPLC Methoden in der Regel höher liegt. Für die Beziehung zwischen Gesamtphosphor und Phosphor in der Bodenlösung ergibt sich ein Knickpunkt bei $0.66 \text{ g } P_{\text{tot}} \text{ kg Boden}^{-1}$ ($n = 25$, $r^2 = 0.80$). Etwas im Gegensatz dazu steht das Verhalten des über die Wasserextraktion und des CAL extrahierbaren Phosphors, die beide eine lineare Beziehung zum Phosphor in der Bodenlösung aufweisen.

Die Beziehung zwischen P_{CAL} und Phosphor in der Bodenlösung kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$P_{\text{Lösung}} = 0,0303 (\pm 0,0374) + 0,00399 (\pm 0,00046) * P_{\text{CAL}}$$

$n = 25$; $r^2 = 0,77$

wobei

$P_{\text{Lösung}}$ = Phosphor in der Bodenlösung (mg P l^{-1})

P_{CAL} = CAL extrahierbarer Phosphor ($\text{mg P kg Boden}^{-1}$)

(\pm) = Standardabweichung

Die Beziehung zwischen $P_{\text{H}_2\text{O}}$ und Phosphor in der Bodenlösung kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$P_{\text{Lösung}} = 0,0057 (\pm 0,0389) + 0,03857 (\pm 0,00442) * P_{\text{H}_2\text{O}}$$

$n = 25$; $r^2 = 0,77$

wobei

$P_{\text{Lösung}}$ = Phosphor in der Bodenlösung (mg P l^{-1})

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ = H_2O extrahierbarer Phosphor ($\text{mg P kg Boden}^{-1}$)

(\pm) = Standardabweichung

Die Möglichkeiten die sich aus diesen Beziehungen ergeben, sind also praktisch ident, wobei das Bestimmtheitsmaß für $P_{\text{H}_2\text{O}}$ durch Entfernen eines Ausreissers (Ritzlhof P3) auf 0,91 angehoben werden könnte.

Dass einzelne Standorte ein im Detail abweichendes Verhalten zeigen können wird klar, wenn man die Dynamik der Beziehung zwischen den einzelnen Parametern am jeweiligen Standort betrachtet, wie in Abb. 4-15 für die Beziehung zwischen P_{tot} und $P_{\text{Lösung}}$ und einigen Standorten exemplarisch dargestellt. Für eine Gesamtbeurteilung des Mobilitätsrisikos von Phosphor ist allerdings eine gemeinsame Auswertung des Datenpools vonnöten.

Der Versuch einer multiplen Regression für einzelne Parameter ergab keine Verbesserung der Prognosegüte.

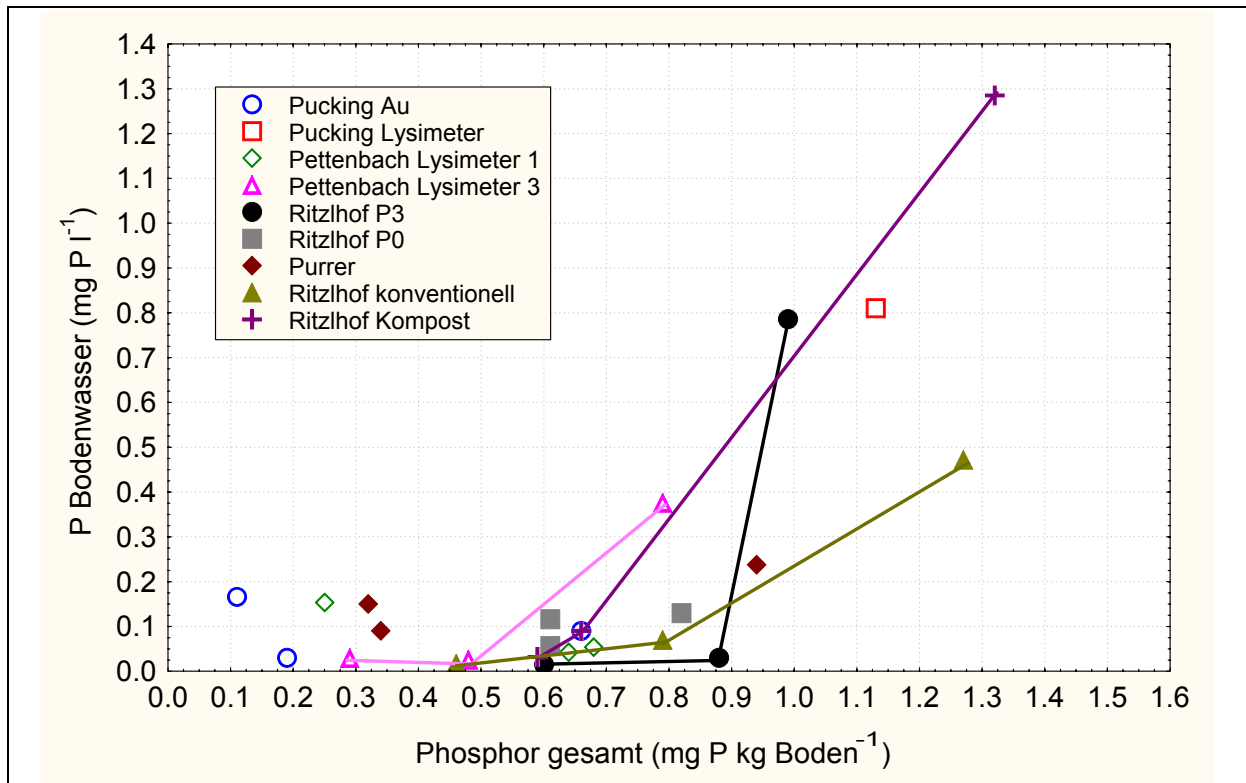


Abb. 4-15: Exemplarische Darstellung individueller standörtlicher Beziehungen zwischen $P_{\text{Lösung}}$ und P_{tot}

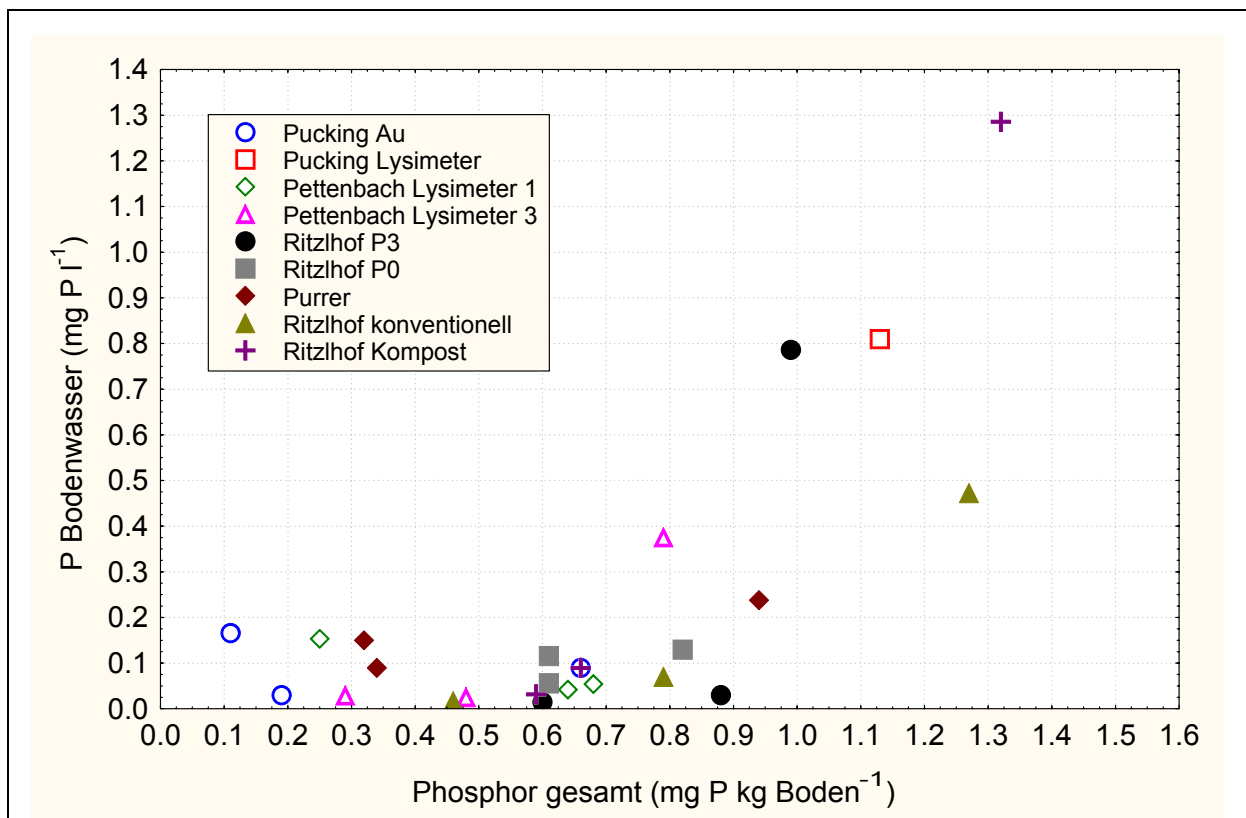


Abb. 4-16: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem Gesamtphosphorgehalt im Boden für die untersuchten Standorte

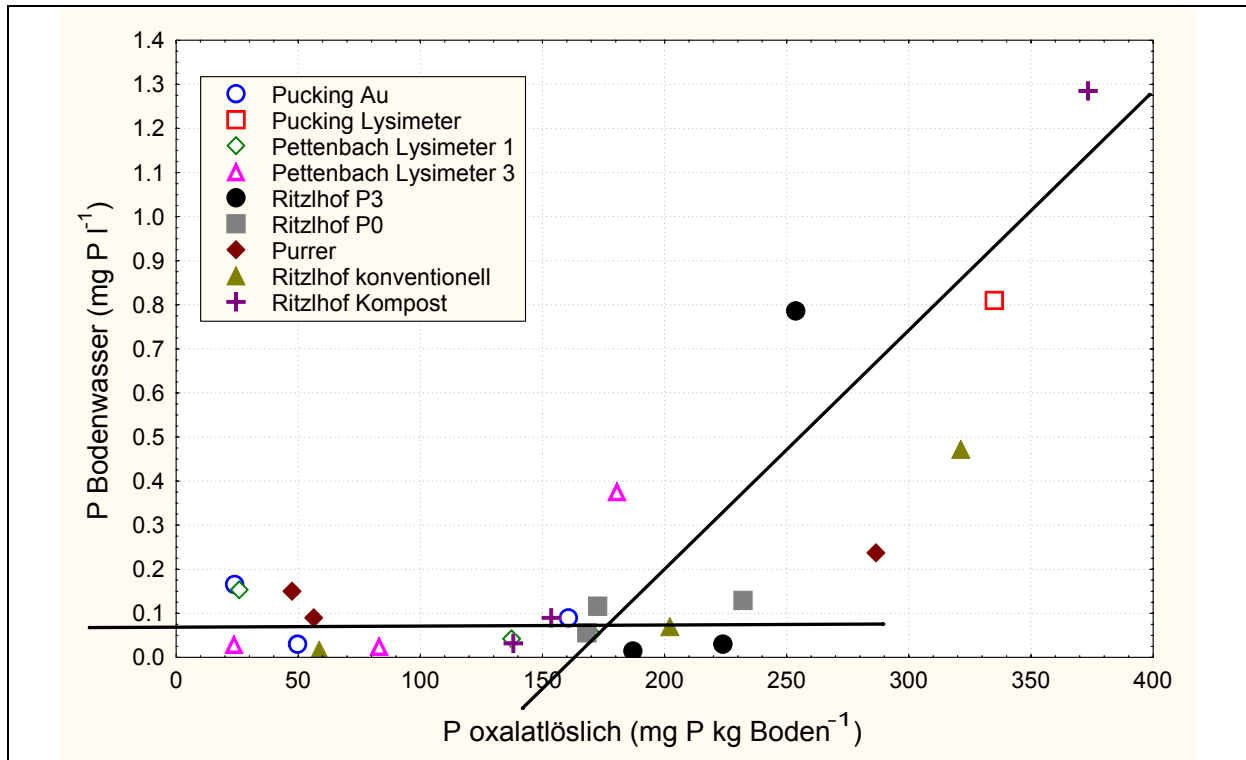


Abb. 4-17: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt im Sickerwassers und dem oxalatlöslichen Phosphor des Boden für die untersuchten Standorte

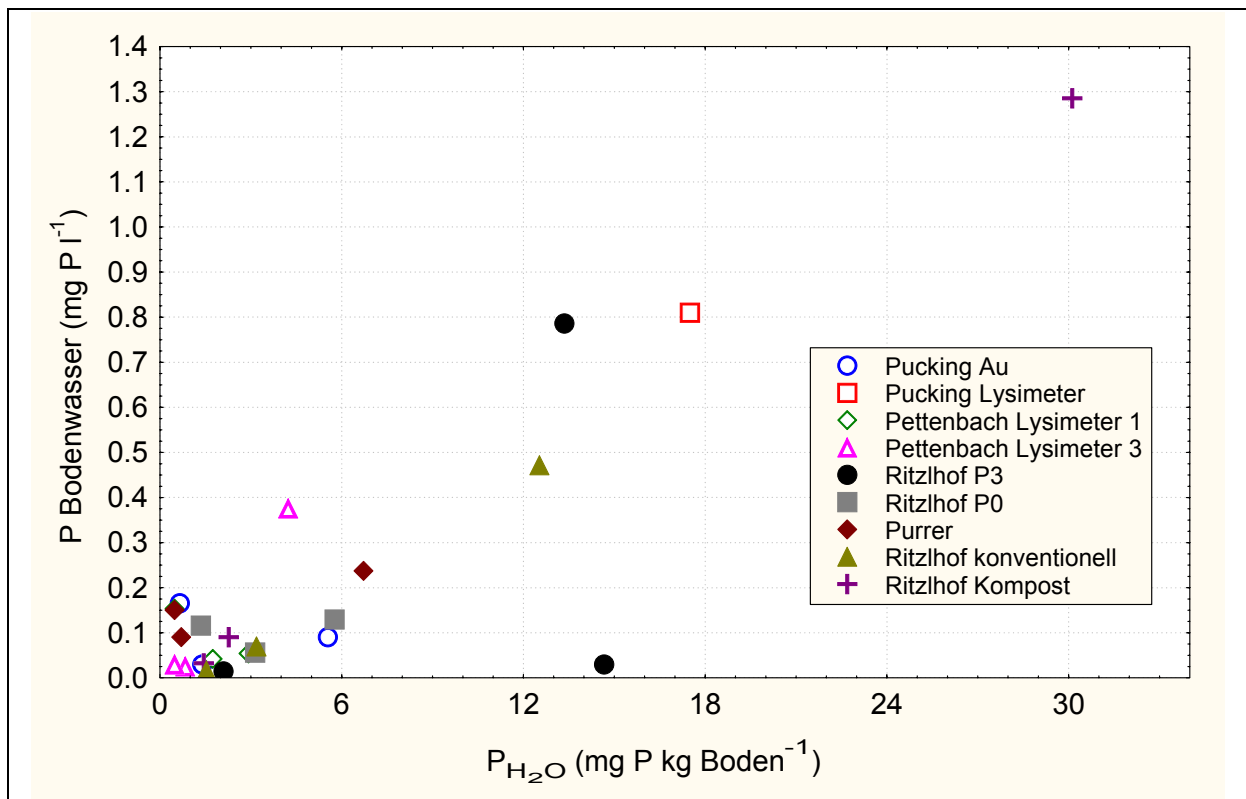


Abb. 4-18: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem wasserextrahierbaren Phosphor im Boden für die untersuchten Standorte

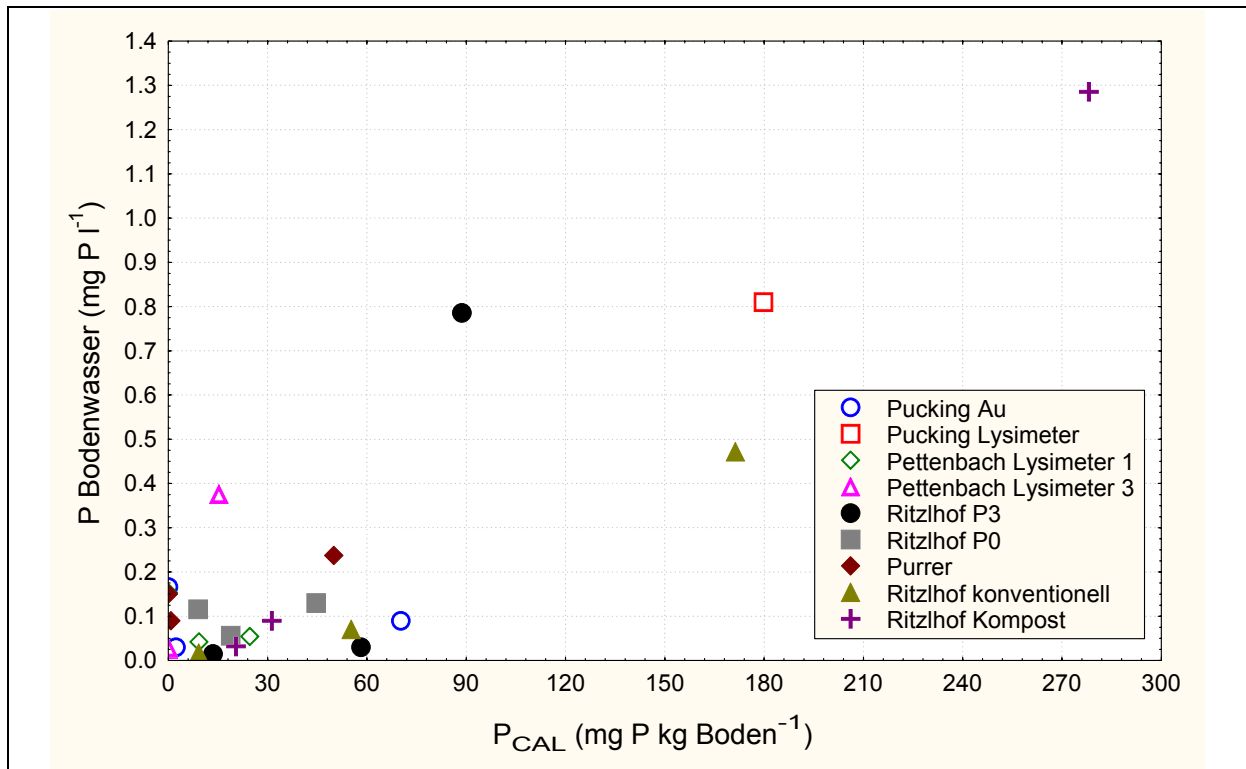


Abb. 4-19: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem CAL extrahierbaren Phosphor im Boden für die untersuchten Standorte

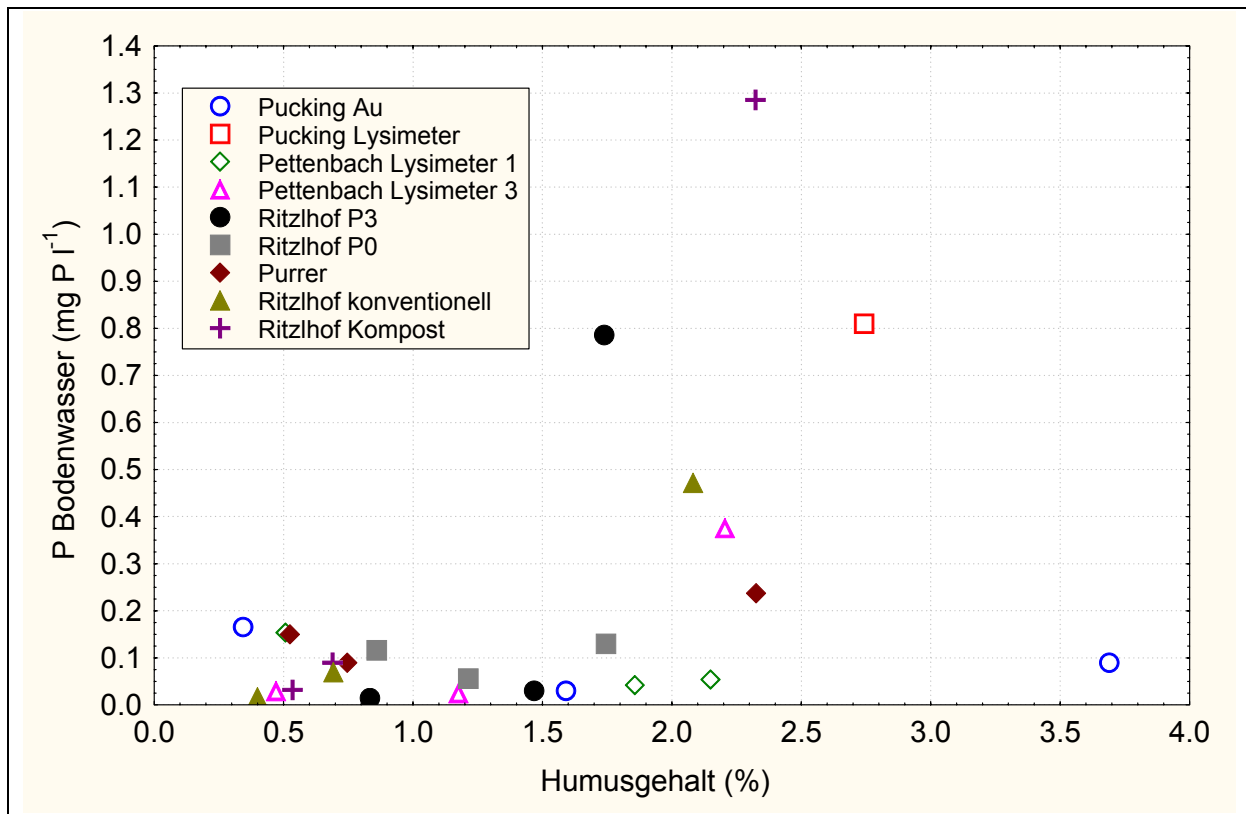


Abb. 4-20: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und dem Humusgehalt des Boden für die untersuchten Standorte

4.2.2.3 Beziehung zwischen Phosphorgehalt im Bodenwasser und Indikatoren zur Phosphormobilität

Nachdem einzelne Bodenparameter im Hinblick auf ihre Eignung zur Beschreibung des Mobilitätsrisikos von Phosphor getestet worden waren, wurde auch versucht, zwei in der Literatur beschriebene Indices zu testen, mit denen verschiedene Autoren Erfolg in der Prognose des Mobilitätsrisikos von Phosphor hatten (Kleinmann et al., 1999; Hughes et al., 2000; Hooda et al., 2000; Maguire and Sims, 2002).

Phosphor Sättigungs Index (P_{SAT})

Der Sorptionsindex für Phosphor (van der Zee and van Riemsdijk, 1988) basiert auf der Annahme, dass Oxalat den im Boden sorbierten Phosphor extrahiert und dass der Gehalt an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium ein Maß für die Fähigkeit des Bodens ist, Phosphor zu binden, weil der Gehalt an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium ein Maß für jene Bodenbestandteile ist, die den größten Anteil an der Sorption von Phosphor im Boden haben, nämlich amorphe Eisen- und Aluminiumoxide, organisch gebundenes Eisen und Aluminium und Randbereiche silikatischer Tone. Es gibt allerdings Bedenken, dass in Böden mit Kalziumphosphaten (kalkhaltig), dieser Index weniger geeignet ist (Torrent and Delgado, 2001).

$$P_{SAT} = \frac{P_{ox}}{0,5 * (Fe_{ox} + Al_{ox})}$$

wobei

P_{SAT} = Phosphor Sättigungsindex

P_{ox} = Gehalt an oxalatlöslichem Phosphor (mg P kg Boden⁻¹)

Fe_{ox} = Gehalt an oxalatlöslichem Eisen (mg Fe kg Boden⁻¹)

Al_{ox} = Gehalt an oxalatlöslichem Aluminium (mg Al kg Boden⁻¹)

Phosphor Sorptions Index (PSI)

Der Phosphor Sorptions Index (Bache and Williams, 1971) beruht auf der Erkenntnis, dass bestimmte Bereiche von Isothermen zur Phosphatsorption besonders geeignet sind, das gesamte Sorptionsverhalten eines Bodens zu beschreiben. Der Phosphat Sorptions Index stellt also einen Punkt einer Adsorptionsisotherme dar. Dabei wird Boden mit einer definierten Menge Phosphor versetzt (150 mg P g Boden⁻¹) in Form von KH₂ PO₄ In KCl gelöst, 24 Stunden geschüttelt und dann der PSI als

$$PSI = x/\log c$$

wobei

x = mg P adsorbiert 100 g Boden⁻¹

c = P Konzentration in der Lösung μmol l⁻¹ bestimmt. Details der Prozedur finden sich bei Bache and Williams (1971).

Für beide Indices wurde wieder die Beziehung zum Phosphorgehalt in der Bodenlösung überprüft (Tab. 4-6). Beide Indices zeigen einen signifikanten Zusammenhang zum Phosphorgehalt in der Bodenlösung, wobei dieser für P_{SAT} etwas stärker ausgeprägt ist.

Tab. 4-6: Pearson und Spearman Korrelationskoeffizienten (r) zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und den Phosphorindices PSI und P_{SAT} (n=25)

Parameter	r (Pearson)	r (Spearman)
PhosphorSorptionsIndex (PSI)	-,37	-,47
PhosphorSättigungsIndex (P _{SAT})	,69	,52

Abb. 4-21 und Abb. 4-22 stellen den Zusammenhang zwischen den beiden Mobilitätsindices für Phosphor und dem Gehalt an Phosphor in der Bodenlösung graphisch dar. Vor allem bei P_{SAT} aber auch bei PSI zeigt sich das bereits erhaltene Bild eines Bereiches, bis zu dem kein oder nur ein geringer Zusammenhang zum Phosphorgehalt in der Bodenlösung besteht. Ab einem bestimmten Schwellenwert steigt der Zusammenhang dann deutlich an.

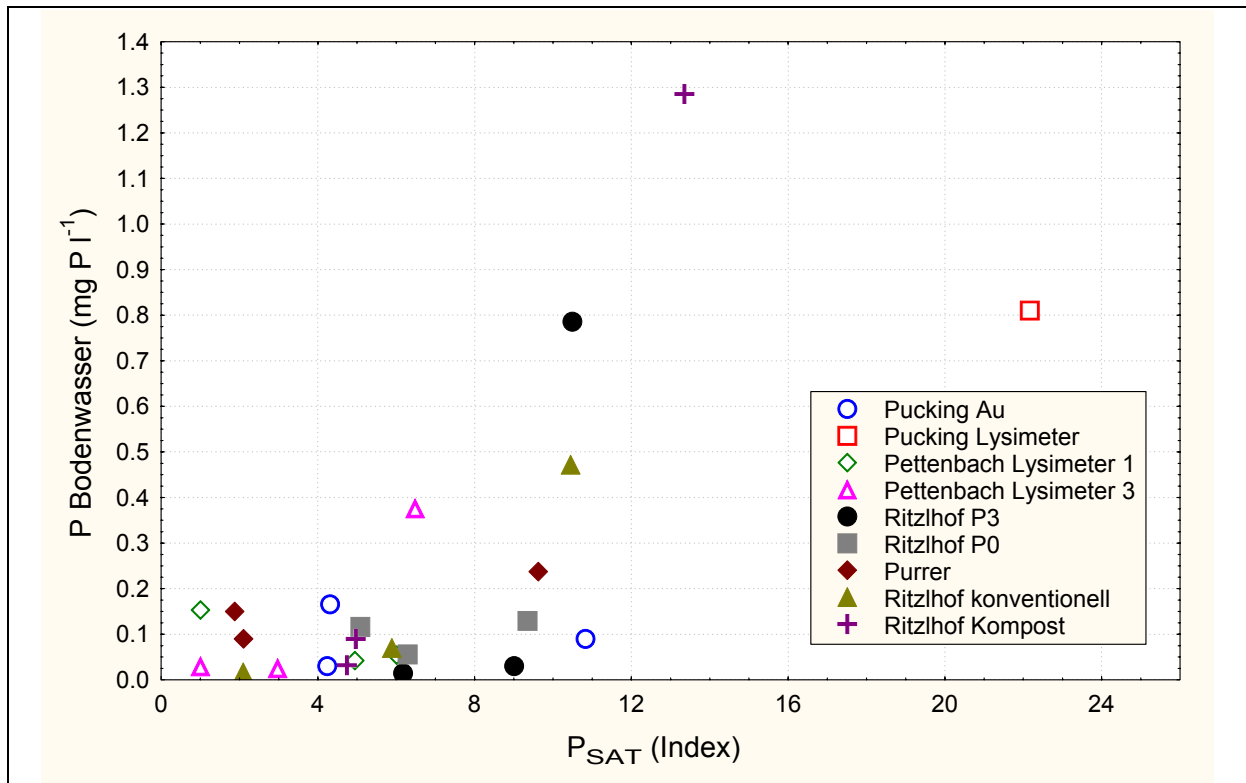


Abb. 4-21: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und P_{SAT} des Boden für die untersuchten Standorte

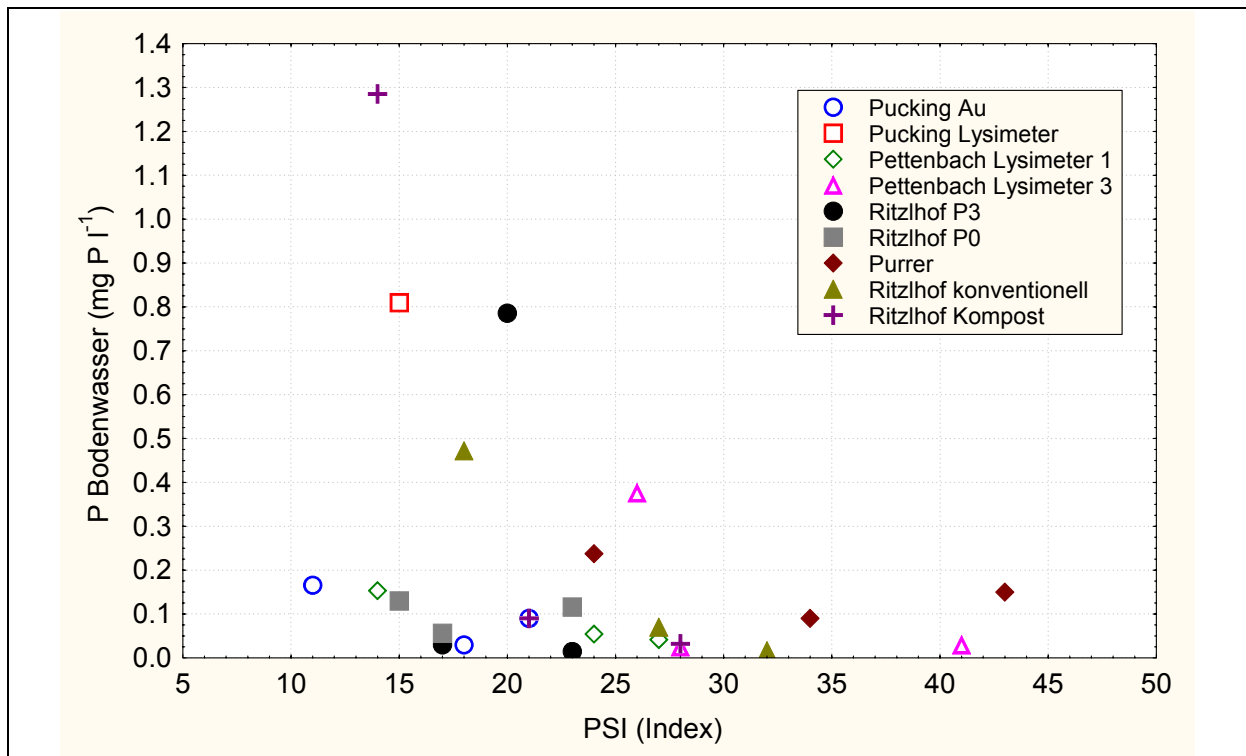


Abb. 4-22: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt in der Bodenlösung und PSI des Boden für die untersuchten Standorte

4.2.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Prognosemöglichkeiten für die potentielle Phosphormobilität im Boden

Wie sich aus den vorgestellten Ergebnissen zeigt, gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die Phosphorkonzentration in der Bodenlösung, und damit die potentielle Mobilität des Phosphors abzuschätzen. Die am besten geeigneten Parameter waren dabei P_{SAT} , P_{tot} , P_{ox} , P_{CAL} und P_{H2O} . An einzelnen Standorten treten dabei natürlich Ungenauigkeiten auf, die bei dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse in Kauf genommen werden müssen. Obwohl der Sorptionsindex P_{SAT} als nicht geeignet für kalkhaltige Böden bezeichnet wurde (Torrent and Delgado, 2001), erwies er sich als gute Möglichkeit, das Mobilitätsrisiko eines Standortes zu bewerten.

Mit Ausnahme der Parameter P_{CAL} und P_{H2O} werden allerdings die untersuchten Parameter nicht standardmäßig in Österreich erfasst. Um eine regionale Bewertung des Mobilitätsrisikos von Phosphor durchführen zu können, bieten sich daher P_{CAL} oder P_{H2O} an. Die prinzipielle Eignung von Tests zur Ermittlung des Düngungsbedarfs für die Bewertung des Mobilitätsrisikos von Phosphor wurde ja in verschiedenen Untersuchungen belegt (Kleinmann et al., 2000; Maguire and Sims, 2002).

Eine systematische Untersuchung der P_{CAL} Gehalte in Oberösterreich wurde im Rahmen der Oberösterreichischen Bodenzustandsinventur durchgeführt (Abb. 4-23). Hohe Werte kommen vor allem in Gebieten mit überwiegender Ackernutzung vor und überschneiden sich teilweise mit Gebieten mit hohen Phosphatgehalten im Grundwasser (siehe Planbeilage A).

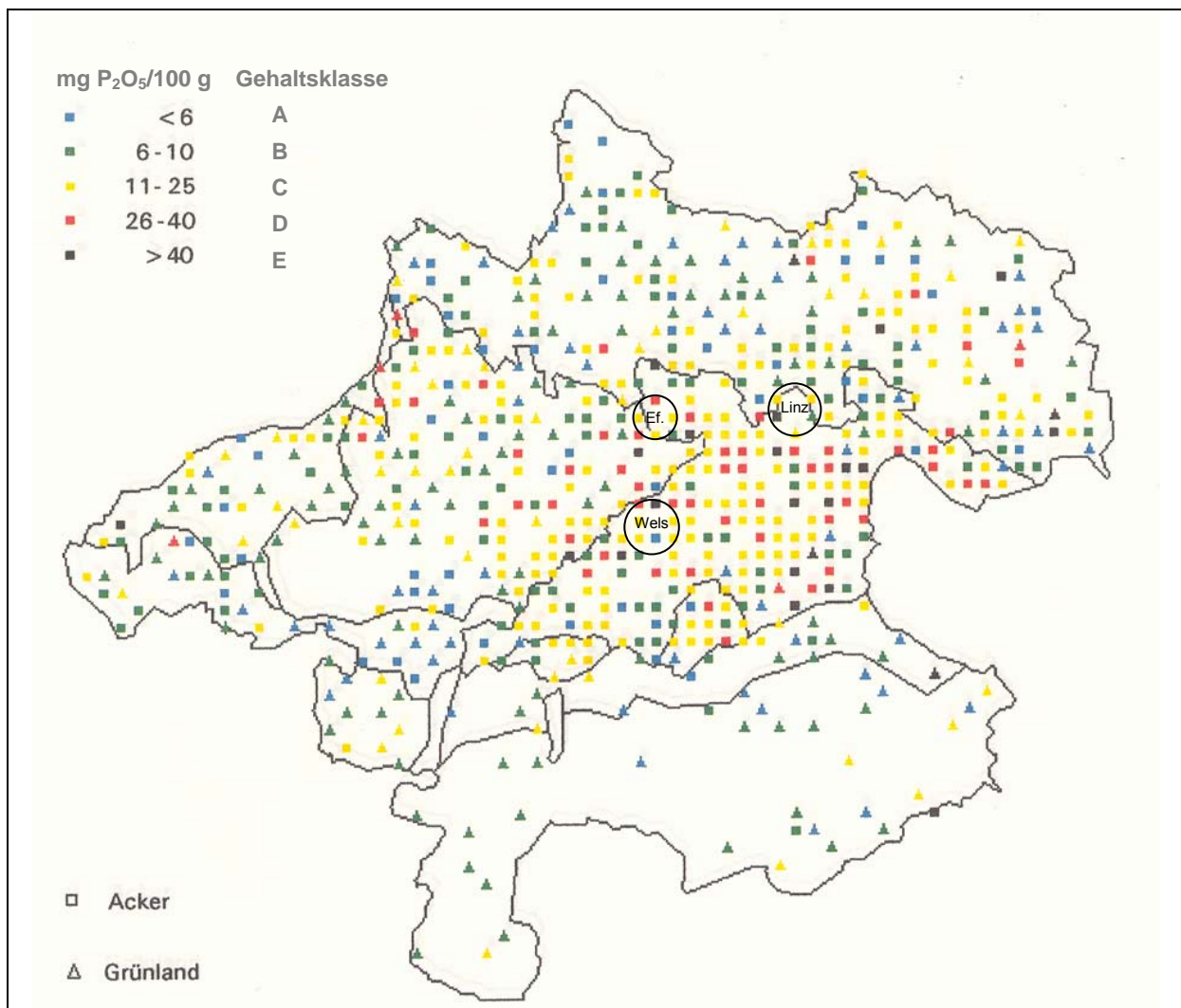


Abb. 4-23: Phosphatgehalte (CAL) im Oberboden – Oberösterreichische Bodenzustandsinventur (Amt der OÖ Landesregierung, 1993)

4.2.3 Potentielle Phosphormobilität versus Phosphorkonzentration im Grundwasser

4.2.3.1 Präferentielle Fließwege

Die in den vorangegangenen Abschnitten entwickelte Methodik bezieht sich auf die potentielle Mobilität des Phosphors in der Bodenlösung. Die Transportwege von Phosphor von der Bodenlösung zum Wasserkörper wurden hierbei allerdings noch nicht berücksichtigt. Man geht allgemein ja seit langer Zeit davon aus, dass Phosphor im Boden so stark gebunden wird, dass keine oder eine nur unwesentliche Verlagerung in den Unterboden stattfindet (Schachtschabel et al., 1984). Diese Argumentation wird jedoch seit zwei Jahrzehnten insofern relativiert, als man erkennt, dass in vielen Böden präferentielle Fließwege existieren, die einen „Bypass“ zwischen dem Oberboden und dem Wasserkörper herstellen können (z.B. Thomas and Phillips, 1979; Ritsema et al., 1993). Auf diese Weise gelangt das Wasser der ungesättigten Zone als Transportmedium verschiedenster gelöster Stoffe (wie z.B. Phosphor) sehr schnell in den Wasserkörper, wobei die bekannten Adsorptionsmechanismen des Bodens effektiv ausgeschaltet werden können. Flury and Flüeler (1994) stellen sogar fest, dass präferentielle Fließwege eher die Regel als die Ausnahme der Wasserbewegung im ungesättigten Bereich darstellen. Generell kann die Ausbildung präferentieller Fließwege in allen Böden beobachtet werden. In gut strukturierten Böden kommt es zur Ausbildung von Makroporen (z.B. durch Schrumpfungsrisse oder auch erhöhte biologische Aktivität), in unstrukturierten Böden (Sandböden) werden fingerartige präferentielle Fließwege ausgebildet. Eine weitere Möglichkeit von präferentiellem Fluss besteht bei Vorhandensein kompakterer Unterbodenschichten in Hanglagen (z.B. auch Pflugsohlen), die solange als Fließweg dienen, bis an dieser Grenzfläche gesammelte Wasser auf durchlässigeres Material trifft.

4.2.3.2 Vergleich Phosphor Lysimeter - Bodenwasser

Durchschnittliche Phosphorkonzentrationen

Um die Möglichkeit des Auftretens von präferentiellen Fließwegen zu überprüfen, wurden die Ergebnisse der Standorte Pettenbach Lysimeter 1 und 3, sowie Pucking Lysimeter mit den Austrägen verglichen, die sich aus den Lysimeterauswertungen an diesen Standorten ergeben hatten. Ein absoluter Vergleich der Phosphorkonzentrationen in den Lysimetern mit den Werten aus den Bodenanalysen zeigt generell, dass die mittleren Phosphorgehalte des Sickerwassers in den Lysimetern um ungefähr eine Zehnerpotenz unter den direkt im Bodensickerwasser gemessenen Werten liegen (vergl. Tab. 4-7).

Tab. 4-7: Vergleich der Phosphorkonzentrationen in Lysimetern (Durchschnitt aller gemessenen Werte) mit den direkt aus der Bodenmatrix gewonnenen Ergebnissen

Standort	Lysimeter [mg P/l]	P-Sickerwasser ¹ [mg P/l]	Entnahmetiefe [cm]
Pucking Lysimeter 1	0,03	0,81	9-20
Pettenbach Lysimeter 1	0,01	0,24; 0,07	48-53
Pettenbach Lysimeter 3	0,008	0,05; 0,01	48-53

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Als Erklärung dafür sind mehrere Möglichkeiten vorhanden:

A) Analytische Unterschiede: Generell ist zu bemerken, dass die in den Lysimetern gemessenen Werte den gelösten Phosphor messen, während die aus der Bodenmatrix gewonnenen Proben Gesamtphosphorgehalte darstellen. Zusätzlich wurden bei den verschiedenen Untersuchungen unterschiedliche Analysemethoden verwendet (Lysimeter: Hochdruckflüssigkeitschromatographie, P-Sickerwasser: photometrische Analyse). Aus diesen beiden Faktoren ergeben sich analytische Unterschiede, die jedenfalls zu

einer Reduktion der Phosphorkonzentrationen im Lysimeter gegenüber den P-Sickerwasserproben führt. Eine Quantifizierung dieses Effekts ist allerdings an dieser Stelle nicht möglich, könnte aber durch zusätzliche Analysen der Lysimeterproben erhalten werden.

B) Methodische Unterschiede: Eine weitere Ursache der Messwertunterschiede dürfte in den unterschiedlichen Entnahmetiefen der Proben von Lysimetern und der vorliegenden Arbeit zu suchen sein. Während die Sammelvorrichtungen der Lysimeter in jeweils 1.5 m Tiefe angelegt sind, wurden die Sickerwasserproben aus der Bodenmatrix aus maximal 50 cm Tiefe entnommen. Nachdem Phosphor eine hohe Bindungsfähigkeit im Boden aufweist ist anzunehmen, dass mit zunehmender Tiefenstufe eine verstärkte Adsorption im Boden stattfindet. Bei Durchsicht der Analyseergebnisse der P-Sickerwasserproben in Abhängigkeit der Tiefenstufen bestätigt sich diese Annahme allerdings nur teilweise (siehe Tabellenanhang). Ein weiterer methodischer Unterschied besteht in der unterschiedlichen Saugspannung, mit der die Bodenwasserlösung gewonnen wurde. Während die Sickerwassergewinnung der Lysimeter ohne das Anlegen eines zusätzlichen Unterdrucks erfolgte, wurde zur Gewinnung der Lösung aus der Bodenmatrix ein Unterdruck angelegt, der den Druckverhältnissen bei Feldkapazität entspricht.

Eine quantitative Bewertung der angeführten methodischen Unterschiede ist ebenfalls derzeit nicht möglich, sodass also insgesamt ein absoluter Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit Unsicherheiten behaftet ist, deren Größenordnung derzeit nicht bestimmbar ist

Bewertet man allerdings die Ergebnisse der Phosphormessungen in den Lysimetern nicht absolut sondern in ihrer relativen Wichtung zueinander, stellt sich heraus, dass sie mit der Reihung der Phosphorkonzentrationen aus der Bodenlösung übereinstimmen. Je größer also die Phosphorkonzentration der Bodenlösung (im Oberboden), umso höher ist die mittlere Phosphorkonzentration im Sickerwasser der Lysimeter und zwar in der Reihenfolge Pucking Lysimeter 1 > Pettenbach Lysimeter 1 > Pettenbach Lysimeter 3.

Erhöhte Phosphorkonzentrationen

Abb. 4-24, Abb. 4-25, und Abb. 4-26 zeigen den zeitlichen Verlauf der Phosphorkonzentrationen in den Lysimetern aus Pettenbach und Pucking. An allen 3 Standorten kommt es nur vereinzelt zu Überschreitungen des Richtwertes für die zulässige Phosphorkonzentration von 0,3 mg PO₄/l. Allerdings wirken sich diese Einzelereignisse stark auf die Gesamtfracht des Phosphoraustrags aus. Für das Lysimeter Pucking liegen die 13 größten gemessenen Phosphorkonzentrationen alle in einem Konzentrationsbereich > 0,18 mg PO₄/l (alter Richtwert) und bewirken zusammen 88% des Phosphoraustrags. Die sieben größten Einzelkonzentrationen wurden dabei bis Ende April jeden Jahres gemessen. Für das Lysimeter Pettenbach 3 wurden in der Messperiode 7 Werte mit einer Konzentration > 0,18 mg PO₄/l gemessen, die zusammen 77% der Gesamtfracht ergaben, wobei 5 der 7 Werte wurden in einem Zeitraum zwischen Ende Dezember und Anfang Mai gemessen. Im Gegensatz dazu wurde die Gesamtphosphorfracht im Lysimeter Pettenbach 1 nur zu 33% von den 9 Werten mit einer Konzentration > 0,18 mg PO₄/l bestimmt und auch die jahreszeitliche Verteilung der höheren Phosphorkonzentrationen war etwas gleichmäßiger (4 der 9 Werte im Zeitraum Dezember - Mai).

Diese Ergebnisse zeigen, dass Phosphor zu einem zumindest beträchtlichen Teil durch einzelne Ereignisse transportiert wird. Ein direkter Rückschluss auf die Art des Transportes bzw. die Existenz von Makroporen kann daraus aber nicht gezogen werden, dazu wären zusätzliche Untersuchungen notwendig. Die bei allen Lysimetern tendenziell steigenden Phosphorkonzentrationen bei steigendem Sickerwasseranfall (Abb. 4-27 als Beispiel) deuten allerdings auf Makroporenfluss hin (siehe auch Van Es et al., 2004). Auch könnte die Kombination von hohem Verfügbarkeitspotential und kurzem Transportweg (Schotteroberkante nach 30 cm) des Standortes Lysimeter Pucking im Vergleich zu den Standorten Lysimeter Pettenbach 1 und 3 als Faktorenkombination eines erhöhten Austragsrisikos interpretiert werden.

Ein kurzer Transportweg wird auch durch die Existenz von Drainagen ermöglicht. Die auf diese Weise ausgetragenen Phosphorfrachten können beachtlich sein. So wurden von Stamm et al. (1998) z.B. eine Fracht von ca. 230 g/ha gelöstem P (ohne Berücksichtigung eines Extremereignisses) während einer 2,5 monatigen Beprobung eines intensiv genutzten Grünlandstandortes gemessen. Ein verallgemeinernder Rückschluss (was bei der vorliegenden Datenlage mit einiger Unsicherheit

verbunden ist), aus den dargestellten Erkenntnissen zum Problembereich Transportweg wäre, dass bei gegebenem Auswaschungspotential eines Standortes die tatsächliche Auswaschungsgefährdung von der Länge des Transportweges abhängig ist. Eine Kombination von Mobilitätspotential und Profilmächtigkeit bzw. Vorliegen einer Drainagefläche sollte daher eine erste vorsichtige Annäherung an die Ausweisung kritischer Flächen sein.

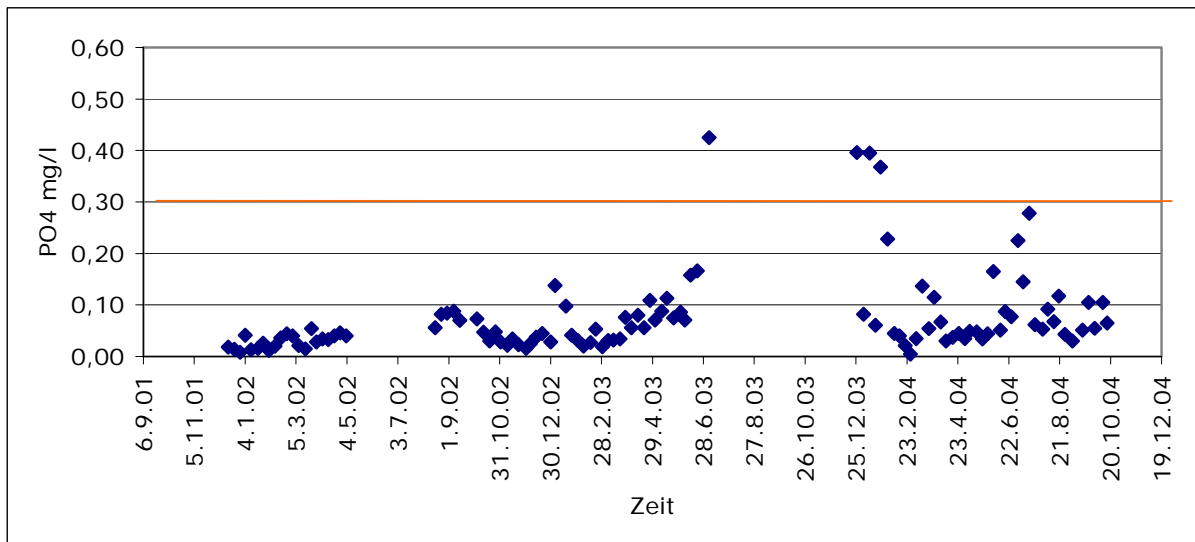


Abb. 4-24: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters 1 Pettenbach

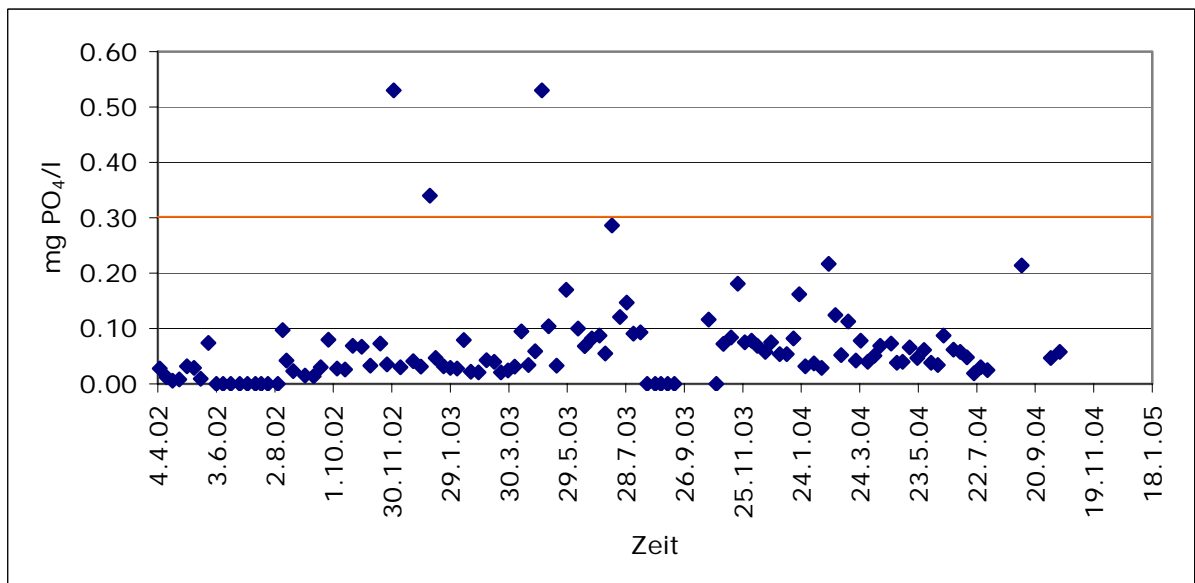


Abb. 4-25: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters 3 Pettenbach

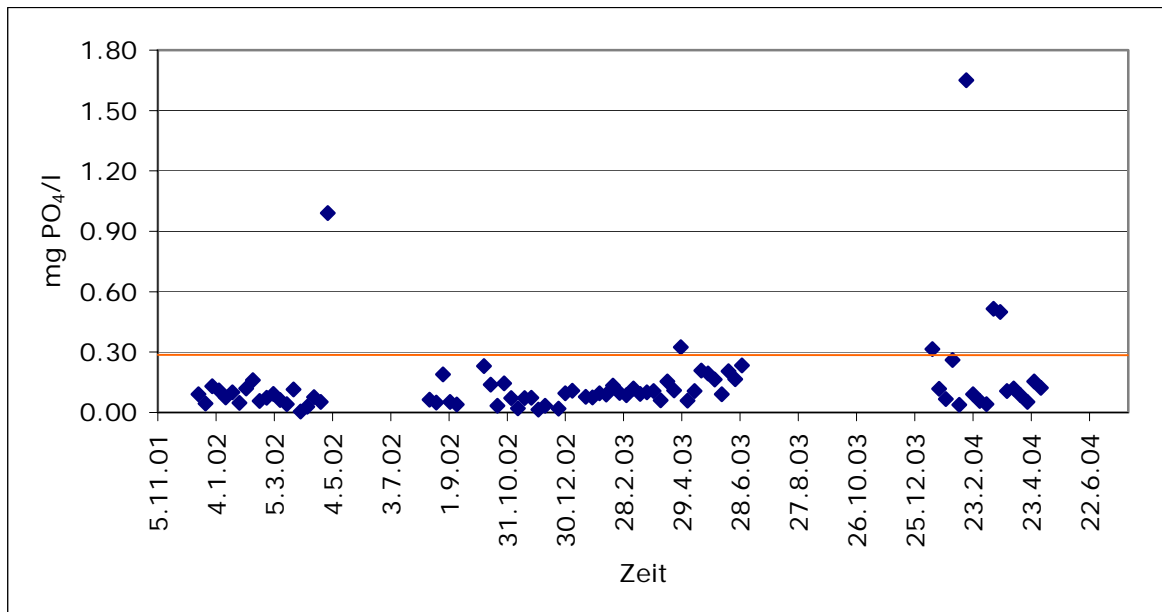


Abb. 4-26: Verlauf der Phosphorkonzentrationen im Sickerwasser des Lysimeters Pucking

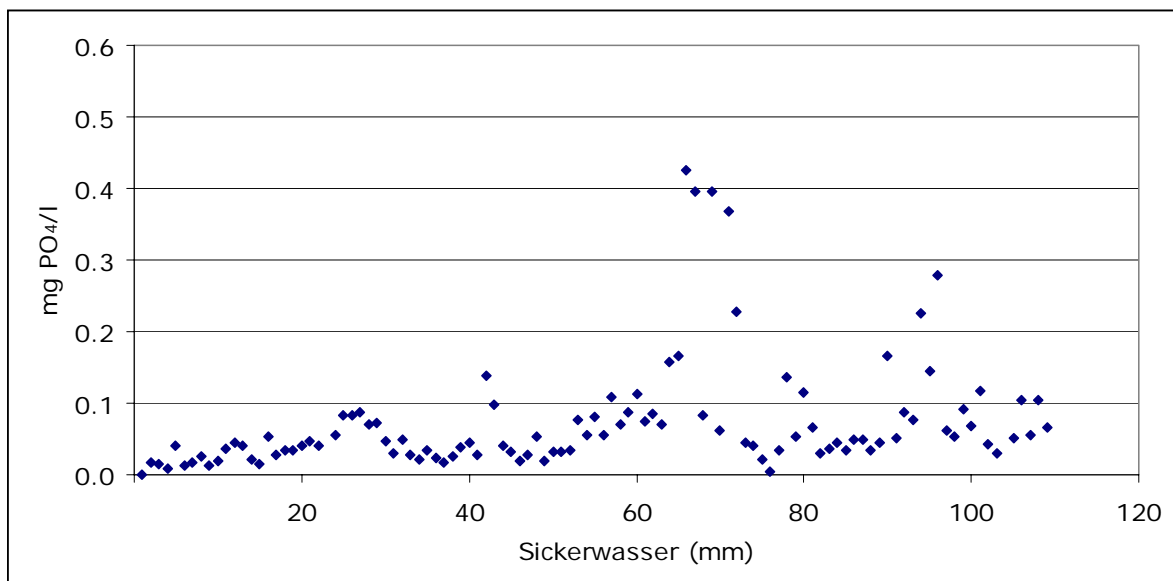


Abb. 4-27: Beziehung zwischen Phosphorkonzentration und Sickerwassermenge für das Lysimeter Pettenbach 1

4.2.3.3 Zusammenfassende Bewertung des Austragsrisikos

Als hauptsächliche Einflussfaktoren für ein erhöhtes Austragsrisiko für Phosphat können die Seichtgründigkeit der Böden (siehe Kap. 4.2.3.1 und 4.2.3.2) und ein niedriger pH Wert (siehe Kap. 4.1) zusammenfassend genannt werden. Kartenbeilage E zeigt, dass Grundwassermessstellen, wo erhöhte Phosphatgehalte festgestellt wurden überwiegend in Gebieten liegen, wo

entweder seichtgründige Böden dominieren (Welser Haide) oder der Boden pH unter 6 beträgt (Eferdinger Becken).

Ob das Risiko eines Phosphataustrags tatsächlich schlagend wird hängt natürlich von den Phosphatgehalten im Boden ab (siehe Kap. 4.2.2.4). Ausreichende (flächenhaft relevante) Informationen dazu lagen für dieses Forschungsprojekt nicht vor. Die BZI Daten liefern jedoch den Hinweis, dass in den genannten Gebieten mit hohen Phosphatgehalten im Boden gerechnet werden muss (siehe Abb. 4-23).

5 Interpretation und Schlussfolgerungen

Anhand der Ergebnisse lässt sich ein Wirkungskette ausgehend von der P – Bilanz auf den CAL extrahierbaren P im Boden und von diesem auf den im Bodenwasser gelösten P herstellen.

Mit dem Betriebsdurchschnitt der P-Bilanz lässt sich der Phosphatgehalt im Boden besser vorhersagen als mit der P-Bilanz am Einzelschlag. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Phosphatgehalt im Boden nur in mittleren bis längeren Zeiträumen auf Düngemaßnahmen reagiert. Diese werden durch den Betriebsdurchschnitt besser charakterisiert.

Die Gehaltsklassen D (hoch) und E (sehr hoch) hängen mit hohen P-Bilanzen zusammen. Betriebe mit hohen Phosphatgehalten in ihren Böden haben also noch nicht oder allenfalls erst vor kürzerer Zeit begonnen, ihre Düngung auf den hohen Phosphatgehalt des Bodens abzustimmen. Bei den Gehaltsklassen A (sehr niedrig), B (niedrig) und C (mittel) sind die P Bilanzen generell niedriger, ein Unterschied je nach Versorgungsstufe ist hier jedoch nicht feststellbar. Auch das stellt einen Hinweis darauf dar, dass der Versorgungsgrad der Böden bei der Düngung allenfalls in einem beschränkten Umfang berücksichtigt wird, der im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen jedenfalls nicht ablesbar war.

Für die Höhe der P-Bilanzen auf den Betrieben konnten keine ausreichend deutlichen Vorhersageparameter ermittelt werden. Zwar gibt es einen Zusammenhang mit dem Viehbesatz, dieser ist aber nicht sehr ausgeprägt, da viehintensivere Betriebe weniger mineralischen P-Dünger einsetzen. Ebenfalls nur schwach wirkt sich die Teilnahme an Umweltmaßnahmen aus: Biobetriebe und Teilnehmern am Vorbeugenden Gewässerschutz haben etwas niedrigere Bilanzen als andere Betriebe. Aus den empirischen Auswertungen für gesamt Oberösterreich lässt sich weiters ableiten, dass höhere P-Gehalte im Grundwasser nur in Gebieten mit einem hohen Ackeranteil auftreten.

Generell überwiegen positive Bilanzen, beim Großteil der untersuchten Böden ist

gemäß den derzeit geltenden Empfehlungen tendenziell eher eine Unterversorgung mit P feststellbar. Mit P überversorgte Böden wurden nur in geringem Umfang angetroffen.

Neben anderen untersuchten Bodenparametern korreliert auch das CAL lösliche Phosphat mit dem Phosphatgehalt im Bodenwasser. Dieses Ergebnis hat den großen praktischen Vorteil, dass die CAL Extraktion die in Österreich mit Abstand am häufigsten eingesetzte Methode zur Bestimmung des Phosphatgehalts im Boden ist und zur Bestimmung der Versorgungsstufe sowie als Grundlage für Düngempfehlungen herangezogen wird. Andere Extrakte oder die Bestimmung von Sättigungs- bzw. Mobilitätsindices ergaben keine signifikant besseren Vorhersagewerte für das Phosphat im Sickerwasser.

Ein weiterer Parameter, der sich auf die Wasserlöslichkeit des Bodenphosphats auswirkt ist der pH Wert bzw. der Kalkgehalt des Bodens: bei sauren Böden steigt das Auswaschungsrisiko. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nur in der empirischen Auswertung von Daten aus Gesamtösterreich gezeigt werden. Eine weiterführende detailliertere Untersuchung unter Einbeziehung saurer Böden wäre daher sinnvoll.

Für die Auswaschung des im Bodenwasser gelösten Phosphats dürfte darüber hinaus vor allem der Makroporenfluss eine wichtige Rolle spielen. Seichtgründige, zu einem gewissen Grad auch mittelgründige Böden, die beide durch einen größeren Anteil an Grobporen im Untergrund charakterisiert sind, stellen ein Risiko für eine Verlagerung des im Bodenwasser gelösten Phosphats ins Grundwasser dar, wenn der Gehalt an CAL löslichem Phosphat im Oberboden hoch ist. Die Lysimeteruntersuchungen belegen, dass Auswaschungsspitzen zeitlich punktuell in Folge von Starkregenereignissen auftreten, also dann, wenn Makroporenfluss zu erwarten ist.

Kritisch für eine Phosphatauswaschung ins Grundwasser ist also zusammenfassend die Faktorenkombination eines hohen P_{CAL} Gehalts auf seichtgründigen oder/und sauren Böden.

6 Empfehlungen

Im Rahmen der Düngeberatung sollten **Bodenuntersuchungen auf CAL lösliches Phosphat** verstärkt empfohlen werden und die Düngung an die Untersuchungsergebnisse angepasst werden. Eine Düngung von Böden mit Versorgungsstufe E und D stellt ein Risiko für das Grundwasser dar und ist gleichzeitig unwirtschaftlich (siehe Dersch und Hösch, 2003). Gleichzeitig können auf diese Weise auch Böden mit einer P-Unterversorgung identifiziert werden und mit entsprechenden Düngemaßnahmen reagiert werden.

P-Bilanzen, die z.B. im Rahmen von ÖPUL von den Landwirten berechnet werden, solle als Beratungsgrundlage herangezogen werden. Bei einem zukünftigen ÖPUL sollte die Möglichkeit P-Bilanzen zu berechnen wieder gefördert werden.

Auf **sauren** tiefgründigen **Böden** kann mit **Kalkungsmaßnahmen** dem P-Austragsrisiko gegengesteuert werden.

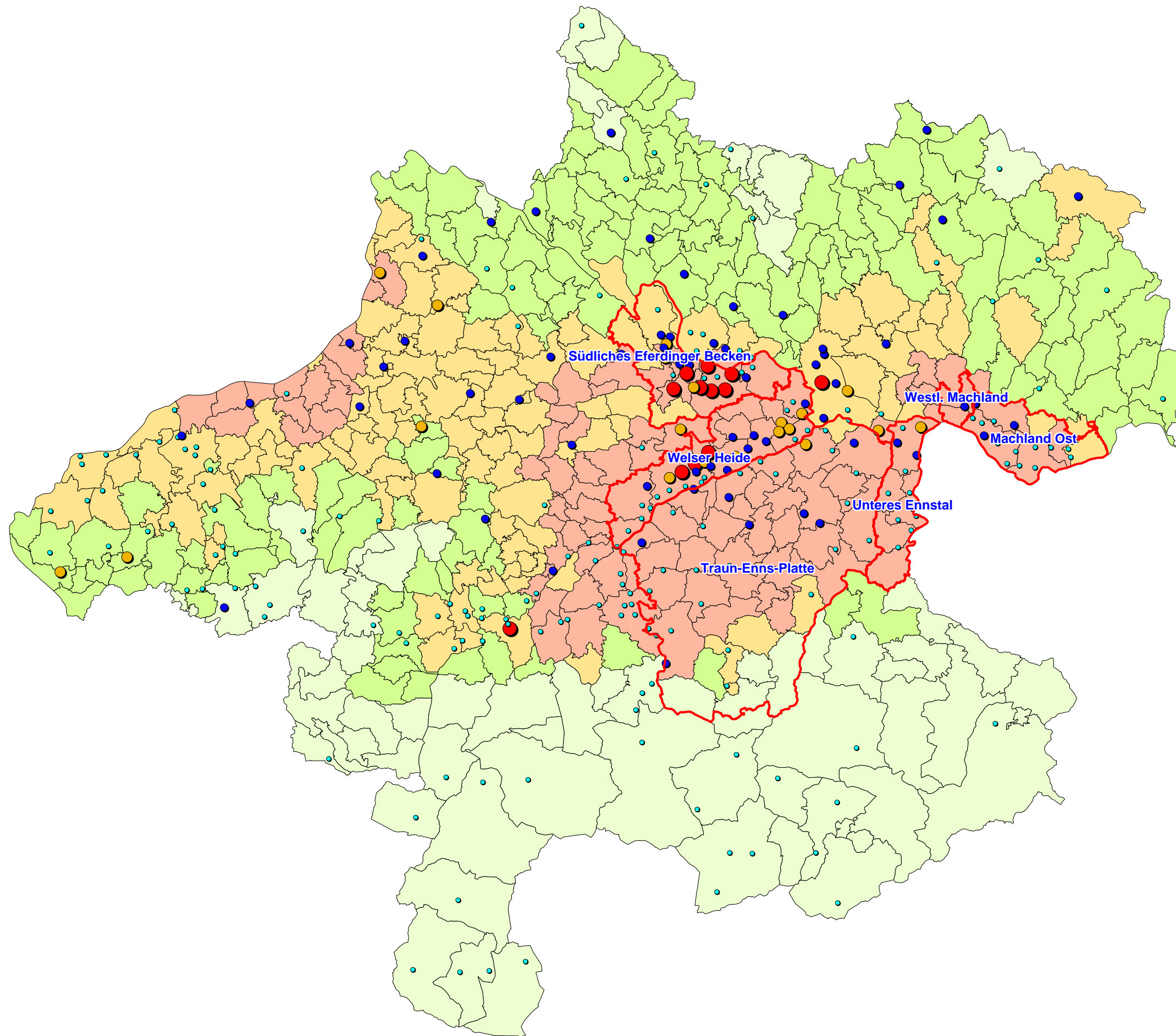
Auf **seichtgründigen Böden** sind **Extensivierungsmaßnahmen** (maßvolle oder eingeschränkte Düngung, eventuell auch Nutzung als Grünland oder Stilllegung) zur Verhinderung einer Phosphatauswaschung sinnvoll.

7 Literatur

- Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (1993). Oberösterreichischer Bodenkataster. Bodenzustandsinventur.
- Bache B.W., E.G. Williams (1971): A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science*, 22, 3, 289-301.
- Blume, H.P., G.W. Brümmer, U. Schwertmann, R. Horn, I. Kögel-Knaber, K. Stahr, K. Auerswald, L. Beyer, A. Hartmann, N. Litz, A. Scheinost, H. Stanjek, G. Welp, B.-M. Wilke (2002). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (2000). Richtlinien für die Sachgerechte Düngung.
- Dersch, G. und J. Hösch. Expertise Belastung des Grundwassers im Marchfeld und Tullner Feld mit Chlorid, Kalium und Phosphat durch vergangene und aktuelle Düngungsmaßnahmen. Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Wasserwirtschaftliche Planung.
- Flury M., H. Flühler, W.A. Jury, J. Leuenberger (1994): Susceptibility of soils to preferential flow of water. A field study. *Water Res. Res.*, 30, 1945-1954.
- Hesketh N., P.C. Brookes (2000): Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *J. Environ. Qual.*, 29, 105-110.
- Hooda P.S., A.R. Rendell, A.C. Edwards, P.J.A. Withers, M.N. Aitken, V.W. Truesdale (2000): Relating soil phosphorus indices to potential phosphorus release to water. *J. Environ.Qual.*, 29, 1166-1171.
- Hughes S., B. Reynolds, S.A. Bell C. Gardner (2000): Simple phosphorus saturation index to estimate risk of dissolved p in runoff from arable soils. *Soil Use and Management*, 16, 206-210.
- ISRIC (1995): Procedures for Soil Analyses. Technical Paper No.9 (ed: L.P.van Reenwijk), Wageningen.
- Kleinman P.J.A., R.B. Bryan, W.S. Reid, A.N. Sharpley, DD. Pimentel (2000): Using soil phosphorus behavior to identify environmental thresholds. *Soil Science*, 165, 12, 943-950.
- Kleinman, P.J.A., R.B. Bryant, W.S. Reid (1999): Development of pedotransfer functions to quantify phosphorus saturation of agricultural soils. *J.Environ.Qual.*, 28, 2026-2030.
- Maguire R. O., J.T. Sims (2002): Soil testing to predict phosphorus leaching. *J.Environ.Qual.*, 31, 1601-1609.
- Mayr R. (1995): Feldversuche zur Eichung der labormäßigen Bodenuntersuchung. Zwischenbericht über das Projekt BAB 3.05c/86, österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH.
- Murer E. (2001): Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und-qualität im Grundwassersanierungs-Pilotprojekt „Obere Pettenbachrinne, Oberösterreich. Endbericht, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen.
- Murer E., F. Aigner (2004): Erfassung und Bewertung der Sickerwasserquantität und-qualität im Grundwassersanierungs-Pilotprojekt „Obere Pettenbachrinne“ und „Weißkirchen-Pucking). Interner Bericht, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen.
- Österreichisches Normungsinstitut (2005): Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode.
- Ritsema C.J., L.W. Dekker, J.M.H. Hendrickx, W. Hamminga (1993): Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil. *Water Res. Res.*, 29, 2183-2193.
- SAA-IKT-12-01: Humusbestimmung durch Naßoxidation. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt

- SAA-IKT-21-01. Korngrößenbestimmung < 2mm - kombiniertes Naßsieb- u. Pipettverfahren. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- SAA-IKT-22-01: Korngrößenbestimmung > 2 mm durch Trockensiebung. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- SAA-IKT-23-01: Bestimmung der Wasserkennwerte. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- SAA-IKT-24-01: Bestimmung der Feststoffdichte. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- SAA-IKT-31-01: Ermittlung der Druckpotential-Wasseranteilbeziehung. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- SAA-IKT-33-01: Bestimmung der Dichteparameter von Böden. Standardarbeitsanweisungen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
- Schachtschabel P., H.P. Blume, K.H. Hartge, U.,. Schwertmann (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, ISBN 3-432-84771-8.
- Schwertmann U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-lösung. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde, 105, 194-202.
- Stamm C., H. Flüher, R. Gächter, J. Leuenberger, H. Wunderli (1998): Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. J. Environ. Qual., 27, 515-522.
- Thomas G.W., R.E. Phillips (1979): Consequences of water movement in macropores. J. Environ. Qual., 8, 149-152.
- Torrent J., A. Delgado (2001): Using phosphorus concentration in the soil solution to predict phosphorus desorption to water. J. Environ. Qual., 30, 1829-1835.
- Van der Zee S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk (1988): Model for long-term phosphate reaction kinetics in soil. J. Environ. Qual., 17, 35-41.
- Van Es H.M., R.R. Schindelbeck, W.E. Jokela (2004): Effect of manure application, timing, crop and soil type on phosphorus leaching. J. Environ. Qual., 33, 1070-1080.
- Weissteiner C.J., A. Fenzl (2000): Kompostanwendungs-Langzeitversuch an der LBFS Ritzlhof, 1993 – 2002. Zwischenbericht 2000 (8 Versuchsjahre), im Auftrag des Amtes der OÖ Landesregierung, Abteilung Umweltschutz.
- wpa Beratende Ingenieure GmbH (2004): Forschungsprojekt Lysimeter. Endbericht 2004. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Linz.

**Kartenbeilage A: Ackeranteil und 75% Quantile der Zeitreihe des
Phosphatgehaltes im Grundwasser**



Phosphatgehalt im Grundwasser
75% Quartile [mg PO₄/l]

- über 0,45 (12)
- 0,30 bis 0,45 (20)
- 0,15 bis 0,30 (64)
- 0 bis 0,15 (186)

Ackeranteil
[% der lw. Nutzfläche]

- 75 bis 100 (109)
- 50 bis 75 (121)
- 25 bis 50 (144)
- 0 bis 25 (71)

Phosphataustrag aus landw. genutzten Flächen in Oberösterreich

Auftraggeber: Amt der OÖ Landesregierung
Abt. Wasserwirtschaft
UAbt. Grund- und Trinkwasserwirtschaft

Übersichtsplan

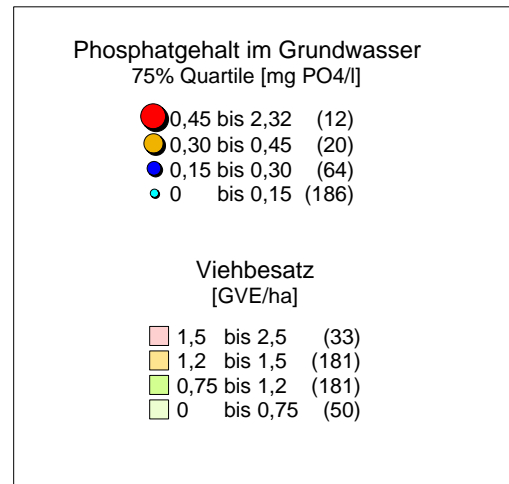
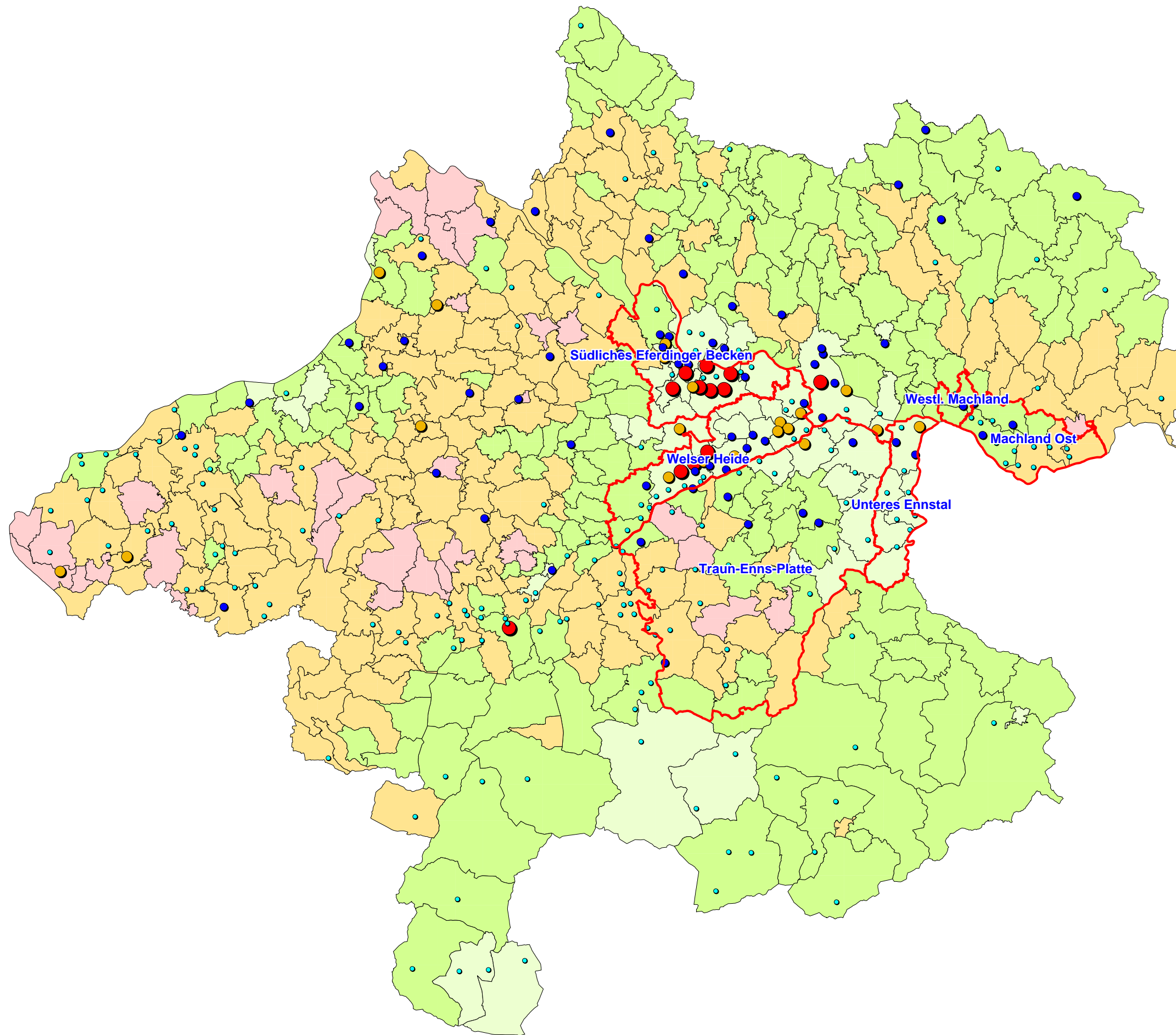
Ackeranteil und Phosphatgehalt im Grundwasser

Kartenbeilage A	26.03.2004
M = 1 : 600.000	Ausführung Nr.: 1

Bearbeitung: Thomas Wiczorek



**Kartenbeilage B: Viehbesatz und 75% Quantile der Zeitreihe des
Phosphatgehaltes im Grundwasser**



Phosphataustrag aus landw. genutzten Flächen in Oberösterreich

Auftraggeber: Amt der OÖ Landesregierung
Abt. Wasserwirtschaft
UAbt. Grund- und Trinkwasserwirtschaft

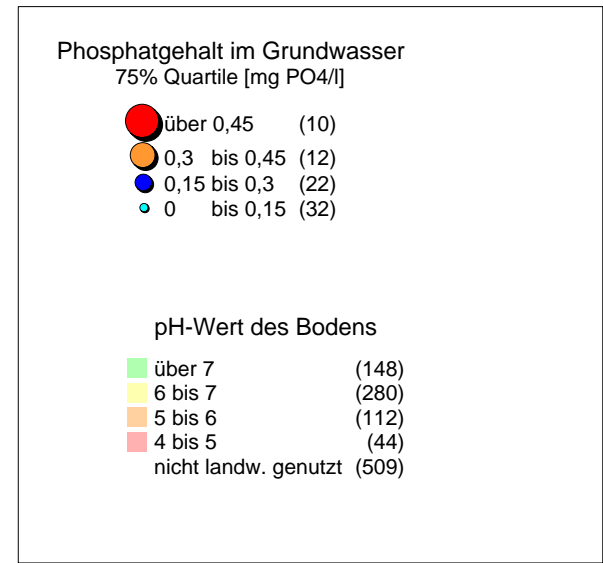
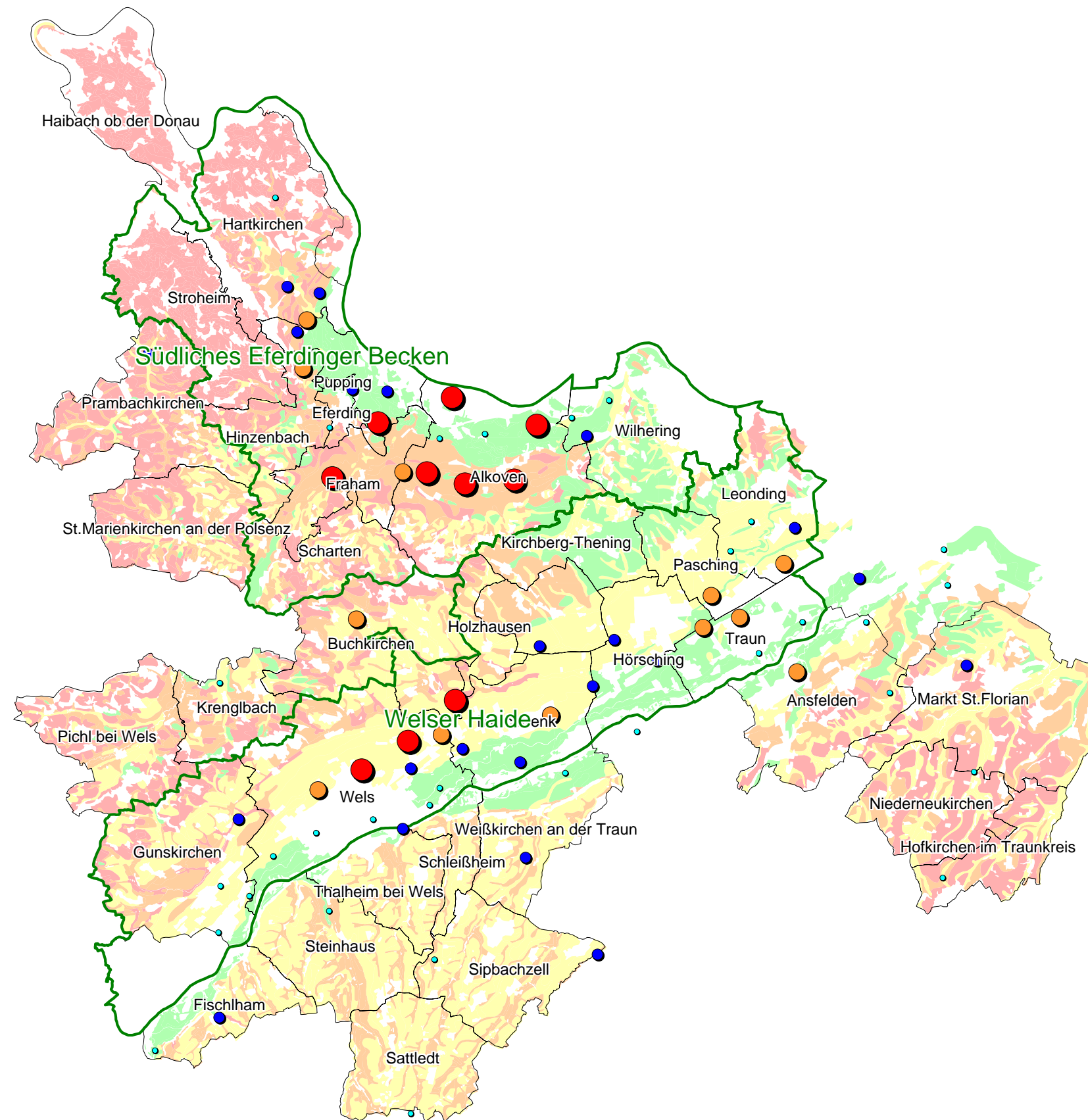
Übersichtsplan

Viehbesatz und Phosphatgehalt im Grundwasser

Kartenbeilage B	26.03.2004
M = 1 : 600.000	Ausführung Nr.: 1

Bearbeitung: Thomas Wiczorek

**Kartenbeilage C: pH Wert des Bodens (gewichtet über die Horizonttiefe) und
75% Quantile der Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser**



Phosphataustrag aus landw. genutzten Flächen in Oberösterreich

**Auftraggeber: Amt der OÖ Landesregierung
Abt. Wasserwirtschaft
UAbt. Grund- und Trinkwasserwirtschaft**

Übersichtsplan

**pH-Wert und
Phosphatgehalt im Grundwasser**

Kartenbeilage C	26.03.2004
-----------------	------------

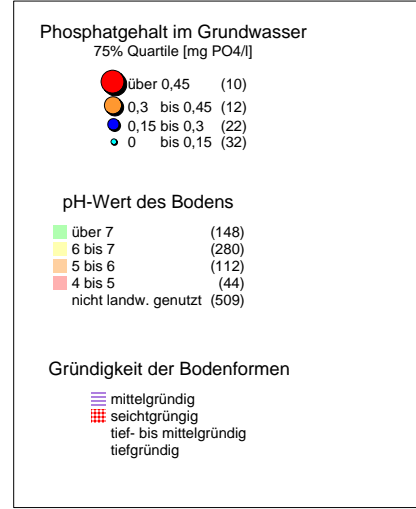
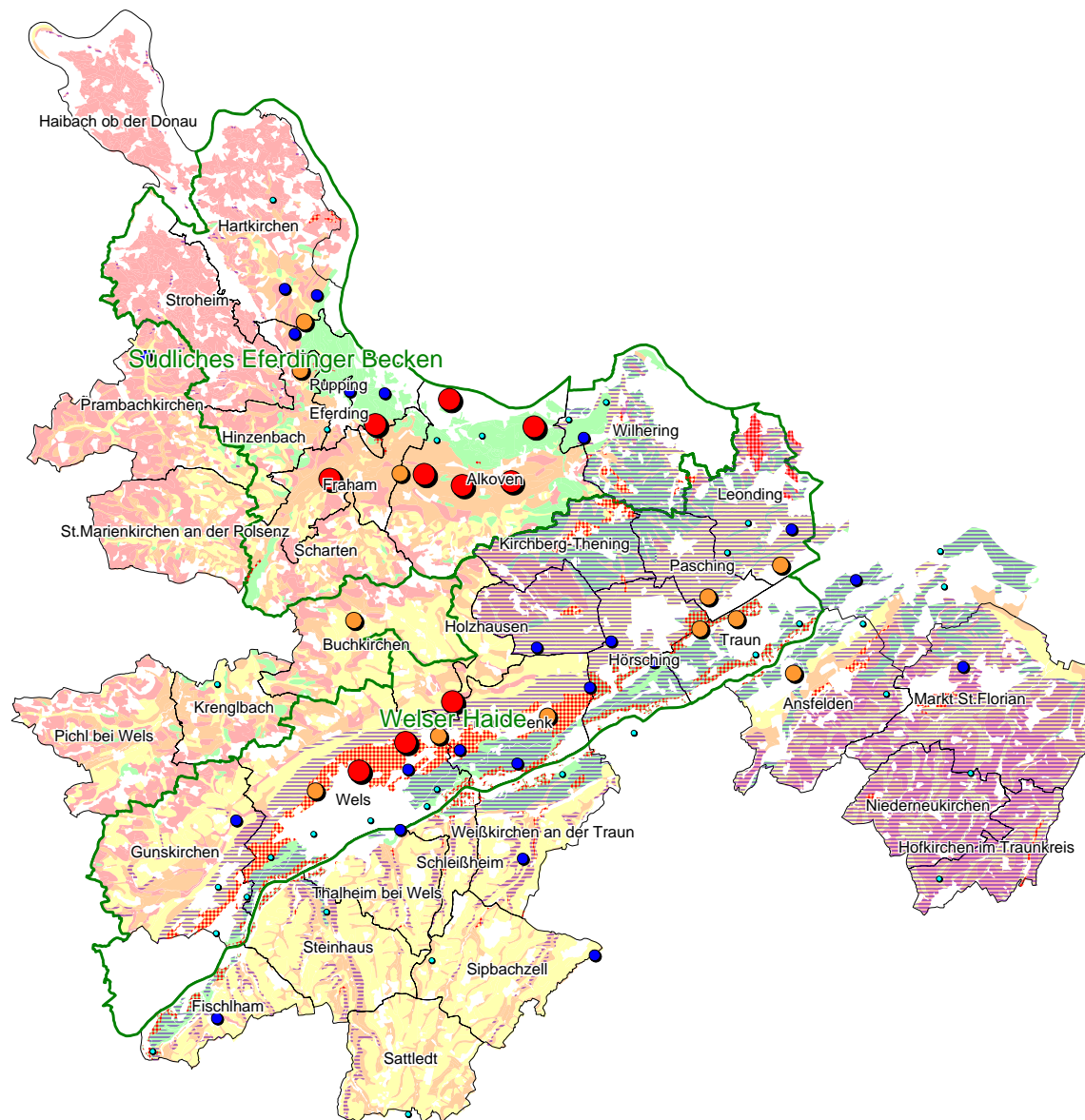
M = 1 : 200.000	Ausführung Nr.: 1
-----------------	-------------------

Bearbeitung: Thomas Wiczorek



**Kartenbeilage D: Landschaftsraum und 75% Quantile der Zeitreihe des
Phosphatgehaltes im Grundwasser**

**Kartenbeilage E: pH Wert des Bodens, Gründigkeit des Bodens und 75% Quantile der
Zeitreihe des Phosphatgehaltes im Grundwasser**



Phosphataustrag aus landw. genutzten Flächen in Oberösterreich

**Auftraggeber: Amt der OÖ Landesregierung
Abt. Wasserwirtschaft
UAbt. Grund- und Trinkwasserwirtschaft**

Übersichtsplan

pH-Wert und Gründigkeit der Böden und Phosphatgehalt im Grundwasser

Kartenbeilage E	22.06.2005
M = 1 : 200.000	Ausführung Nr.:1

Bearbeitung: Hans Siffert

Tabellenanhang

Pucking Auboden

Tabelle 1: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Pucking Auboden

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	28	11-17	3,7		33,0	44,6	16,5	5,9	sL
B1	28	40	29-35	1,6	2,68	38,6	53,7	7,7	0,0	IS
B2	40	73	54-59	0,3	2,71	69,2	26,9	3,9	0,0	S

Tabelle 2: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Pucking Auboden in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
11-17	169	228	674	2292	347	4327	11420	9080
29-35	109	117	468	1875	231	3053	8860	7850
54-59	27	65	185	923	146	2097	5760	4470

Tabelle 3: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Pucking Auboden

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
11-17	7,3	4,6	70,2	5,5	482	660	0,10; 0,08 ¹
29-35	7,5	4,8	2,3	1,4	149	190	0,03; 0,03
54-59	7,6	4,7	-	0,7	72	110	0,10; 0,23

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Pucking Lysimeter

Tabelle 4: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Pucking Lysimeter 1

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	20	9	2,7	2,67	26,8	30,1	15,6	27,5	sL
C1	20	35	20	-	-	-	-	-	-	-
C2	35	55	35	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Pucking Lysimeter 1 in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
9 - 20	272	220	1067	1955	507	5189	15660	14670
20 - 35	-	-	-	-	-	-	-	-
35 - 55	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 6: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Pucking Lysimeter 1

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser [mg/l]
9 - 20	7,5	4,2	179,8	17,5	1005	1130	0,81
20 - 35	-	-	-	-	-	-	-
35 - 55	-	-	-	-	-	-	-

Pettenbach Lysimeter 1

Tabelle 7: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Pettenbach Lysimeter 1

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	27	12 -18	2,2	2,65	13,1	62,2	23,7	0,9	IU
A	27	33	28 -33	1,9	2,66	12,7	62,9	22,8	1,5	IU
B	33	75	48 -53	0,5	2,69	11,3	66,5	22,1	0,0	IU

Tabelle 8: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Pettenbach Lysimeter 1 in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
12-18	296	536	1593	4065	1277	10460	28230	22270
28-47	287	512	1583	3975	1424	10431	29750	24600
48-53	175	94	1400	3739	1406	12657	35990	28130

Tabelle 9: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Pettenbach Lysimeter 1

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
12-18	7,0	4,1	24,6	2,9	510	680	0,06; 0,05
28-47	6,9	4,1	9,3	1,7	412	640	0,06; 0,02
48-53	6,9	4,1		0,5	78	250	0,24; 0,07

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Pettenbach Lysimeter 3

Tabelle 10: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Pettenbach Lysimeter 3

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	27	7 -15	2,2	2,65	10,0	65,7	22,6	1,6	IU
A	27	33	28 -33	1,2	2,67	8,9	64,8	25,0	1,3	IU/uL
B	33	53	48 -53	0,5	2,70	8,1	63,7	27,8	0,4	uL

Tabelle 11: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Pettenbach Lysimeter 3 in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatrextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
7 -15	350	502	1638	3929	1754	13109	30640	22380
28 -33	242	289	1665	3932	1943	15049	35060	25850
48 -53	194	76	1564	3159	2122	17467	42630	32740

Tabelle 12: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Pettenbach Lysimeter 3

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
7 -15	6,8	4,1	15,2	4,2	541	790	0,25; 0,11
28 -33	6,8	4,1	-	0,8	249	480	0,4; 0,01
48 -53	6,8	4,1	-	0,5	71	290	0,05; 0,01

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Ritzlhof P3

Tabelle 13: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Ritzlhof P3

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	26	12 -19	1,7	2,67	16,1	65,2	18,4	0,3	IU
A	26	35	30 -38	1,5	2,68	15,2	67,2	17,3	0,3	IU
B	35	60	52 -60	0,7	2,68	12,9	64,3	22,8	0,0	IU

Tabelle 14: Eisen und Aluminiumgehalte des Ritzlhof P3 in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatrextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
12 -19	123	375	861	3974	632	6993	23000	16780
30 -38	136	366	880	4090	623	7250	23560	17120
52 -60	143	295	1061	4999	755	8351	25590	18290

Tabelle 15: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Ritzlhof P3

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
12 -19	6,5	4,1	88,6	13,4	761	990	0,82; 0,76; 2,30
30 -38	6,8	4,2	58,2	14,7	671	880	0,02; 0,04
52 -60	6,9	4,2	13,5	2,1	561	600	0,02; 0,01

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Ritzlhof P0

Tabelle 16: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Ritzlhof P0

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	24	15 -20	1,8	2,66	36,6	44,5	18,3	0,6	sL
A	24	34	28 -35	1,2	2,68	17,9	63,0	18,9	0,3	IU
B	34	55	48 -55	0,9	2,70	12,2	63,0	24,6	0,2	IU/uL

Tabelle 17: Eisen und Aluminiumgehalte des Ritzlhof P0 in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatrextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
15 -20	130	373	865	4102	612	7172	22690	16120
28 -35	139	308	948	4405	665	7639	23120	15380
48 -55	170	350	1212	5581	883	9078	27850	19310

Tabelle 18: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Ritzlhof P0

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
15 -20	6,8	4,2	44,7	5,8	696	820	0,12; 0,12; 0,14
28 -35	6,9	4,3	18,8	3,1	505	610	0,02; 0,02; 0,13
48 -55	6,8	4,3	9,0	1,4	518	610	0,3; 0,20

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Pettenbach Purrer

Tabelle 19: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Pettenbach Purrer

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	20	8 -15	2,3	2,64	15,2	58,5	25,2	1,1	IU/uL
B	20	40	32 -35	0,8	2,69	12,1	61,9	25,6	0,4	uL
Bg	40	60	48 -55	0,5	2,70	12,1	59,0	29,0	0,0	

Tabelle 20: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Pettenbach Purrer in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
8 -15	397	747	1700	4256	1867	13914	32030	26880
32 -35	290	262	1757	3598	1800	13496	36710	28950
48 -55	265	128	1765	3281	1944	14995	42080	32330

Tabelle 21: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Pettenbach Purrer

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
8 -15	6,7	4,2	49,9	6,7	860	940	0,26; 0,21
32 -35	6,7	4,3	0,8	0,7	169	340	0,09
48 -55	7,4	5,0	-2,9	0,5	142	320	0,05

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Ritzlhof konventionell

Tabelle 22: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Ritzlhof konventionell

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	25	11 -18	2,1	2,67	15,8	58,9	24,4	0,9	IU/uL
AB	25	45	28 -35	0,7	2,72	12,5	62,1	25,0	0,4	IU/uL
B	45	60	48 -55	0,4	2,73	10,2	67,5	22,4	0,0	IU

Tabelle 23: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Ritzlhof konventionell in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatrextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
11 -18	102	347	1062	5084	884	11239	32160	21970
28 -35	100	143	1174	5689	1073	12982	38290	24450
48 -55	94	76	1170	4418	1237	14727	38480	23870

Tabelle 24: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Ritzlhof konventionell

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
11 -18	6,8	4,0	171,3	12,5	964	1270	0,47; 0,47
28 -35	6,9	4,0	55,3	3,2	607	790	0,05; 0,09
48 -55	6,9	4,3	9,1	1,5	176	460	0,02; 0,01

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten

Ritzlhof Kompost

Tabelle 25: Bodenphysikalische Kennwerte des Standortes Ritzlhof Kompost

Horizont	Bereich von [cm]	Bereich bis [cm]	Entnahmetiefe [cm]	Humus [%]	Feststoffdichte [g/cm ³]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	Grobstoff [%]	Bodenart
Ap	0	25	15 -20	2,3	2,65	17,8	58,0	22,9	1,4	IU
AB	25	45	30 -35	0,7	2,71	11,5	62,4	26,1	0,0	uL
B	45	60	50 -55	0,5	2,69	9,2	66,0	24,8	0,0	IU/uL

Tabelle 26: Eisen und Aluminiumgehalte des Standortes Ritzlhof Kompost in verschiedenen Extrakten (Pyro = Pyrophosphatextrakt, Oxalat = Oxalatextrakt, Dithionit = Dithionitextrakt, Gesamt = Königswasserextrakt)

Entnahmetiefe [cm]	Al-Pyro mg/kg	Fe-Pyro mg/kg	Al-Oxalat mg/kg	Fe-Oxalat mg/kg	Al-Dithionit mg/kg	Fe-Dithionit mg/kg	Fe-Gesamt mg/kg	Al-Gesamt mg/kg
15 -20	102	361	968	4625	992	11805	29280	19230
30 -35	102	113	1232	4954	972	11772	38620	25250
50 -55	99	98	1236	4591	1210	13917	39750	26160

Tabelle 27: pH-Wert, Kalkaktivität (pH-CAL), sowie Phosphorkonzentrationen in verschiedenen Extrakten und im Sickerwasser des Standortes Ritzlhof Kompost

Entnahmetiefe [cm]	pH CaCl ₂	pH-CAL	P- CAL [mg/1000g]	P- H ₂ O [mg/1000g]	P-Oxalat [mg/1000g]	P- Gesamt [mg/1000g]	P-Sickerwasser ¹ [mg/l]
15 -20	6,7	4,0	278,1	30,1	1120	1320	1,38; 1,20
30 -35	6,8	4,0	31,3	2,3	461	660	0,08; 0,10
50 -55	6,8	4,0	20,5	1,4	414	590	0,03; 0,04

¹ mehrere Werte wurden durch mehrmalige Probenahmen erhalten