

# **Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin  
an der Universität für Bodenkultur

vorgelegt von

**Christa Huemer, Bakk.techn.**

betreut von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Peter Liebhard

(BOKU – Institut für Pflanzenbau)

Dr. Andreas Bohner

(LFZ Raumberg Gumpenstein)

Wien, März 2013



## Danke ...

... Herrn Dr. Andreas Bohner (LFZ Raumberg-Gumpenstein) für die Bereitstellung des Themas, die gute Zusammenarbeit, die stetige Unterstützung bei der Datenerfassung sowie bei der Erstellung der Arbeit.

... meinem Betreuer Ao. Univ.Prof. Dr. Peter Liebhard für die kompetente Führung während meiner Masterarbeit.

... an Herrn DI Schaumberger für die Bereitstellung der geostatistischen Interpolationen sowie allen Mitarbeiter/Innen von der LFZ Raumberg-Gumpenstein bei der Projektbetreuung.

... an alle Projektpartner des INTERREG IV A-Projektes, besonders an Christoph Schneiderbauer für die Hilfestellung bei der Datenerhebung.

... meiner Cousine Sigrid für das Korrekturlesen.

... meinem Freund Sebastian, der mich in meinen Vorhaben immer stärkte.

... meiner Zimmerkollegin Susanne, die mich mit ihrer Energie immer wieder inspiriert hat. Ich bin froh, dass es sie gibt und ich hoffe, dass ich sie auch in Zukunft noch oft sehe.

... an die Heimrettung und all meinen Freunden, die mein Studium so wertvoll gemacht haben.

... meinem Bruder Markus für den ständigen Rat und die Taten an meiner Seite.

... meinen Eltern, Monika und Karl Huemer, für die Unterstützung während meiner Studienzeit. Ich fühle mich meinen Eltern sehr verbunden, sie haben mich stets unterstützt und zeigten immer größtes Interesse an meinem beruflichen Werdegang.

**Was wir wissen, ist ein Tropfen;  
was wir nicht wissen, ein Ozean.**

Isaac Newton

## Kurzfassung

Im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000 / 60 EG) des Europäischen Parlamentes und des Rates müssen die österreichischen Gewässer ab 2015 einen „guten Zustand“ bzw. ein „gutes ökologisches Potenzial“ aufweisen. Das Ziel des INTERREG IV A-Projektes „Gewässer-Zukunft“ ist daher eine Verbesserung der Wasserqualität der fließenden Antiesen im oberösterreichischen Innviertel. Dazu müssen die Phosphoreinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberflächengewässer, welche die ökologische Qualität beeinträchtigen, verringert werden. Im Herbst 2010 sowie im Frühjahr 2011 wurden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen 590 Bodenproben für routinemäßige Bodenanalysen zur Bewertung der Nährstoffsituation (0–15 cm Bodentiefe) in Form einer Mischprobe gezogen. Für den Nachweis einer erosionsbedingten Nährstoffverlagerung ist auf jedem Schlag Ober-, Mittel- und Unterhang beprobt worden. Die unterschiedlichen Phosphor-Gehaltsmengen im Boden sind mit verschiedenen Methoden ermittelt worden. Die Ergebnisse der Bodenanalysen zeigen, dass im Grünland der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt sehr häufig in der sehr niedrigen Gehaltsstufe (A) zu finden ist. Die Ackerböden sind in den obersten 15 cm höher mit CAL-löslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte sind im Oberboden zum Teil sehr hoch. Solche Acker- und Grünlandböden besitzen in Hanglage ein größeres Phosphor-Abschwemmungspotenzial. Die Böden des Untersuchungsgebietes besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad (DPS). Somit ist die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser gering. Eine erosionsbedingte Phosphor-Anreicherung am Unterhang konnte überraschenderweise nicht festgestellt werden. Die „Richtlinie für Sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) darf für das Grünland nur als ein Hilfsmittel für Düngeempfehlungen gesehen werden und sollte unmittelbar dringend überprüft werden. Für eine umweltschonende Phosphor-Düngerausbringung sind sowohl Landwirte als auch Politik, Düngerindustrie, Landtechnik und Forschung gefordert. Die Untersuchungsergebnisse werden in Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen weiter diskutiert.

**Schlagwörter:** Phosphoreintrag, Eutrophierung, Erosion, Phosphor-Speicherkapazität, Phosphor-Sättigungsgrad

## Abstract

In the context of the EU Water Framework Directive (WFD, 2000 / 60 EC) of the European parliament and of the council, the Austrian waters should exhibit from 2015 a “good condition” and a “good ecological potential”. Therefore, the aim of the INTERREG IV A project “Gewässer-Zukunft” is an improvement of the water quality of the river Antiesen in Upper Austria. The phosphorus inputs from agricultural cultivated areas have to be reduced. In autumn 2010 and in spring 2011, in a sub catchment of river Antiesen, 590 soil samples were collected for routine soil analyses to assess the nutrient status. Mixed soil samples were taken from the topsoil (0 – 15 cm soil depth). To assess the risk of phosphorus losses from agricultural cultivated soils by soil erosion and surface runoff, in each sloping field soil samples were taken at least from the upper, middle and lower part of the slope. The pools of various forms of phosphorus were determined by different methods. The analyses of the soil samples show, that most of the grassland soils have a very low level of CAL-soluble phosphorus. Arable land has an average of a higher proportion of CAL-soluble phosphorus in the topsoil than grassland. The levels of water-soluble phosphorus in the uppermost 15 cm are in some cases very high. Consequently, the risk of higher phosphorus losses in surface runoff in dissolved form on slopes is on arable land and grassland high. The soils of the study area indicate high phosphorus sorption capacities and a low degree of phosphorus saturation. Therefore, also the risk of increased phosphorus losses by leaching seems to be low. Surprisingly, there was no phosphorus enrichment on the lower part of the slope due to soil erosion. Concerning grassland, the “Richtlinie für Sachgerechte Düngung” (BMLFUW, 2006) is only a rough tool for fertilizer recommendations and should be urgently reviewed. For environmentally friendly phosphorus fertilizer application, the farmers, the policy, the fertilizer industry, the agricultural technology and research are challenged. The results will be further discussed with regard to the eutrophication of river Antiesen.

**Keywords:** phosphorus loading, eutrophication, erosion, phosphorus sorption capacity, degree of phosphorus saturation

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. AUSGEWÄHLTE LITERATUR</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Phosphor als Pflanzennährstoff</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. Phosphor im Boden</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3. Phosphor in der Pflanze</b> .....	<b>5</b>
<b>2.4. Bodenerosion</b> .....	<b>6</b>
2.4.1. Wassererosion.....	6
2.4.2. Winderosion .....	7
2.4.3. Bearbeitungserosion (Tillage Erosion) .....	8
2.4.4. Schäden durch Erosion.....	8
2.4.5. Erosionsschutz.....	9
<b>3. MATERIAL</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1. Untersuchungsgebiet</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. Geologie</b> .....	<b>11</b>
<b>3.3. Klima</b> .....	<b>12</b>
<b>3.4. Bodentypen</b> .....	<b>14</b>
3.4.1. Terrestrische Böden im Projektgebiet .....	16
3.4.2. Hydromorphe Böden im Projektgebiet.....	16
<b>3.5. Fruchtarten 2010</b> .....	<b>18</b>
3.5.1. Getreide.....	18
3.5.1.1. Gerste ( <i>Hordeum vulgare</i> L.).....	18
3.5.1.2. Weizen ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	19
3.5.1.3. Triticale (Triticale).....	20
3.5.1.4. Hafer ( <i>Avena sativa</i> L.) .....	20
3.5.2. Mais ( <i>Zea mays</i> L.).....	21
3.5.3. Ölpflanzen .....	22
3.5.3.1. Körnerraps ( <i>Brassica napus</i> L.) .....	22
3.5.3.2. Lein ( <i>Linum usitatissimum</i> L.) .....	23

3.5.4. Grünland / Dauergrünland .....	24
3.5.5. Futterpflanzen / Wechselgrünland .....	25
3.5.5.1. Blühfläche .....	25
3.5.5.2. Glöz A .....	25
3.5.5.3. Feldfutter .....	25
<b>3.6. Fruchtfolgen im Projektgebiet .....</b>	<b>26</b>
<b>4. METHODEN UND DATENERFASSUNG .....</b>	<b>28</b>
<b>5. ERGEBNISSE.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Geostatistische Interpolationen.....</b>	<b>31</b>
<b>5.2. Einstufung der Gehaltswerte an Phosphor und Kalium nach CAL.....</b>	<b>36</b>
<b>5.3. pH-Pufferbereiche.....</b>	<b>37</b>
<b>5.4. Ausgewählte Bodenkennwerte.....</b>	<b>38</b>
<b>5.5. Spearmansche Rangkorrelationen .....</b>	<b>43</b>
5.5.1. Rangkorrelationen (Gesamtdaten) .....	46
5.5.1. Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten).....	47
<b>6. DISKUSSION.....</b>	<b>56</b>
<b>7. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>63</b>
<b>LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>65</b>
<b>QUELLENVERZEICHNIS (ABBILDUNGEN, TABELLEN) .....</b>	<b>73</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>75</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abkürzungsverzeichnis Klimadaten (ZAMG, 2012) .....	14
Tab. 2: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart und der Reliefposition .....	38
Tab. 3: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart und der Reliefposition .....	39
Tab. 4: Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0-15 cm Bodentiefe) .....	40
Tab. 5: Oxalateextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan (0-15 cm Bodentiefe) .....	40
Tab. 6: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Reliefposition .....	41
Tab. 7: Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe, n = 392) im Verhältnis Oberhang : Unterhang .....	42
Tab. 8: Rangkorrelationen (Gesamtdaten, n = 590).....	46
Tab. 9: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten, n = 93) .....	47
Tab. 10: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten, n = 93) .....	48
Tab. 11: Rangkorrelationen (Gesamtdaten Ackerböden, n = 385) .....	49
Tab. 12: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Ackerböden, n = 49).....	50
Tab. 13: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Ackerböden, n = 49).....	51
Tab. 14: Rangkorrelationen (Gesamtdaten Grünlandböden, n = 138) .....	52
Tab. 15: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Grünlandböden, n = 31).....	53
Tab. 16: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Grünlandböden, n = 31).....	54
Tab. 17: Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0–15 cm Bodentiefe) in den Ackerböden .....	77
Tab. 18: Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0–15 cm Bodentiefe) in den Grünlandböden .....	77

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einfluss des pH-Wertes in der Bodenlösung auf die Ionenformen der gelösten Phosphate (BARBER, 1995) .....	4
Abb. 2: Phosphatdynamik im Boden (KALI, 2012) .....	5
Abb. 3: Der Bodenerosionsprozess – Einflussgrößen und Teilprozesse (aus Duttmann 2001) (BLUME et al., 2010).....	7
Abb. 4: Digitale Bodenkarte vom Projektgebiet I (BFW, 2011).....	10
Abb. 5: Digitale Bodenkarte vom Projektgebiet II (BFW, 2011).....	10
Abb. 6: Geologische Übersichtskarte Österreich (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2011).....	11
Abb. 7: Schlierhügelland in der Molassezone bei Strengberg, N.Ö. (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2011).....	12
Abb. 8: Übersichtskarte der Klimastationen mit der Station Reichersberg (ZAMG, 2012).....	13
Abb. 9: Lufttemperatur (ZAMG, 2012).....	13
Abb. 10: Niederschlag (ZAMG, 2012).....	13
Abb. 11: Schnee (ZAMG, 2012).....	13
Abb. 12: Hagel, Gewitter (ZAMG, 2012).....	13
Abb. 13: Bodentypen im Projektgebiet: Braunerde (B), Pseudogley (P) und Gley (G) (EBOD, 2011) .....	15
Abb. 14: Bodenarten im Projektgebiet: Schluff (Z), sandiger Schluff (sZ), lehmiger Schluff (LZ) und schluffiger Lehm (zL) (EBOD, 2013).....	15
Abb. 15: Boden mit Rostflecken im Projektgebiet (HUEMER, 2011) .....	17
Abb. 16: Wintergerste im Frühjahr (HUEMER, 2012).....	18
Abb. 17: Wintergerste im Sommer (HUEMER, 2012).....	18
Abb. 18: Winterweizen 1 (BMLFUW, 2002) .....	19
Abb. 19: Winterweizen 2 (BMLFUW, 2004) .....	19
Abb. 20: Ähren Triticale (LKÖ/FRÜHWIRTH, 2012) .....	20
Abb. 21: Haferrispen (BMLFUW, 1998).....	20
Abb. 22: Mais 1 (HUEMER, 2012).....	21
Abb. 23: Mais 2 (HUEMER, 2012).....	21
Abb. 24: Winterraps 1 (HUEMER, 2011).....	22
Abb. 25: Winterraps 2 (HUEMER, 2011).....	22
Abb. 26: Öllein (SALLABERGER, 2011).....	23
Abb. 27: Grünland (HUEMER, 2011).....	24

Abb. 28: Vorfrucht zu Mais 2011 in % im Untersuchungsgebiet (SCHNEIDERBAUER, 2011) .....	27
Abb. 29: Geostatistische Interpolation der Humusgehalte (SCHAUMBERGER, 2012) .....	31
Abb. 30: Geostatistische Interpolation der N-Gehalte (SCHAUMBERGER, 2012) .....	32
Abb. 31: Geostatistische Interpolation der pH-Werte (SCHAUMBERGER, 2012).....	32
Abb. 32: Geostatistische Interpolation der elektrischen Leitfähigkeit (SCHAUMBERGER, 2012) .....	33
Abb. 33: Geostatistische Interpolation der CAL-löslichen Phosphor-Gehalte – Einteilung für Ackerböden (SCHAUMBERGER, 2012) .....	34
Abb. 34: Geostatistische Interpolation der CAL-löslichen Kalium-Gehalte – Einteilung für Grünlandböden (SCHAUMBERGER, 2012).....	34
Abb. 35: Geostatistische Interpolation der wasserlöslichen Phosphor-Gehalte (SCHAUMBERGER, 2012) .....	35
Abb. 36: Geostatistische Interpolation der Aggregatstabilität (SCHAUMBERGER, 2012) .....	36
Abb. 37: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden .....	37
Abb. 38: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden.....	37
Abb. 39: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden .....	37
Abb. 40: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden.....	37
Abb. 41: pH-Pufferbereiche von Ackerböden .....	37
Abb. 42: pH-Pufferbereiche von Grünlandböden .....	38
Abb. 43: Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und wasserlöslichem Phosphor- Gehalt in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm .....	55
Abb. 44: Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und Kalium-Gehalt in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm .....	55
Abb. 45: Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und dem Phosphor-Sättigungsgrad in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm.....	55
Abb. 46: Beziehung zwischen der Phosphor-Speicherspeicherkapazität und oxalat-extrahierbarem Aluminium in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm .....	55
Abb. 47: Phosphat-Gehalte nach CAL Methode (HÖSL, 2011).....	75
Abb. 48: Mindestgehalte an wasserlöslichem Phosphat (HÖSL, 2011) .....	75
Abb. 49: Probeentnahme durch Dr. Andreas Bohner (HUEMER, 2011) .....	76
Abb. 50: Datenpunkteverwaltung (mittels GPS) durch Christoph Schneiderbauer (HUEMER, 2011) .....	76
Abb. 51: Messstelle im Untersuchungsgebiet (HUEMER, 2011) .....	76
Abb. 52: Geländeaufnahme (HUEMER, 2011).....	76
Abb. 53: Erosionsrinne Bild 1 (HUEMER, 2011) .....	76

Abb. 54: Erosionsrille Bild 2 (HUEMER, 2011) ..... 76

## 1. Einleitung

Die Wasserrahmenrichtlinie trat im Jahr 2000 in Kraft und legt die Umweltziele für alle europäischen Oberflächengewässer und das Grundwasser fest. Ziel der Richtlinie sind der Schutz der Gewässer, die Vermeidung einer Verschlechterung sowie der Schutz und die Verbesserung des Zustandes der direkt von den Gewässern abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete in Hinblick auf deren Wasserhaushalt (UMWELTBUNDESAMT, 2013). Entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) müssen die österreichischen Gewässer ab 2015 einen „guten Zustand“ bzw. ein „gutes ökologisches Potenzial“ aufweisen. Das Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe von Bodenproben den Phosphor-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Böden in Hinblick auf die Eutrophierung des Flusses Antiesen zu beurteilen bzw. zu bewerten. Die Wasserqualität der Antiesen kann möglicherweise dieses Ziel nicht erreichen. Dabei soll gezeigt werden, wie sich das Relief und die unterschiedlichen Fruchtarten auf die Bewirtschaftung auswirken. Es soll der Einfluss der Fruchtarten und der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Phosphor-Gehalt im Boden aufgezeigt werden. Das Phosphor-Eintragungspotenzial soll aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Antiesen infolge Erosion, Abschwemmung und Auswaschung beurteilt werden. Die Hot Spots sollen zeigen, welche wirksamen Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlichen Flächen in die Gewässer sowie Maßnahmen, welche ein Ansteigen dieser Phosphor-Einträge verhindern, notwendig sind. Der Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit erstreckte sich von März 2011 bis März 2013.

Der Phosphor ist vorrangig verantwortlich für die Eutrophierung von Gewässern (SHARPLEY et al., 1994; KUMMERT und STUMM, 1992), gilt auch als limitierend bzw. wird als knappste Ressource in unseren Gewässern gesehen. Die Maßnahmen zur Verringerung der Eutrophierung von Oberflächengewässern sind daher auf diesen Nährstoff zu konzentrieren. Die Phosphor-Einträge werden sowohl vom Wasserhaushalt (insbesondere Niederschlagsmenge und -intensität), von der Parzellentopographie (insbesondere Hangneigung und Hanglänge) und von den Bodeneigenschaften (insbesondere Phosphor-

Gehalt, pH-Wert, Redoxpotenzial, Gründigkeit, Textur, Struktur) als auch von der Intensität der Bewirtschaftung (insbesondere Kulturart) sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Menge, Häufigkeit, Art und Zeitpunkt der Düngung) im Einzugsgebiet der Gewässer bestimmt (BOHNER et al., 2007; FROSSARD et al., 2004; SHARPLEY et al., 1996).

Der Phosphor-Eintrag in die Oberflächengewässer erfolgt vorwiegend durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung (FROSSARD et al., 2004; SCHMID und PRASUHN, 2000; GÄCHTER et al., 1996; BRAUN et al., 1993). Dabei handelt es sich um diffuse Quellen (SCHMID und PRASUHN, 2000). Auch Drainagen und direkte Stoffeinträge aus der Atmosphäre können als Eintragungspfade für Phosphor in die Oberflächengewässer dienen (SEIFFERT, 1990). Die Bodenerosion weist im Dauergrünland für die Gewässer-Eutrophierung nur eine geringe Bedeutung auf (BOHNER und SCHINK, 2007; VON ALBERTINI et al., 1993; WERNER et al., 1991). Eine Erosionsgefahr besteht am ehesten im Falle einer Neuansaat. Auch auf Wechselwiesen ist zeitweise eine nennenswerte Bodenerosion möglich, insbesondere wenn in der Fruchtfolge regelmäßig Mais angebaut wird. Vom Grünland können allerdings erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden, insbesondere wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis oder im Winter über schneebedecktem und/oder gefrorenem Boden ausgebracht wird (POMMER et al., 2001; BRAUN und PRASUHN, 1997; VON ALBERTINI et al., 1993; BRAUN und LEUENBERGER, 1991). Im Ackerland hingegen ist die Bodenerosion der wichtigste diffuse Eintragungspfad für Phosphor in die Gewässer (PRASUHN, 2001; KLAGHOFER, 1997). Die Phosphor-Auswaschung kann sowohl im Ackerland als auch im Grünland unter bestimmten Boden-, Vegetations- und Witterungsverhältnissen für die Gewässer-Eutrophierung von Bedeutung sein (BOHNER et al., 2007; DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2007; OTTO, 1980; SCHEFFER, 1977). Die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Böden nehmen generell mit steigenden Phosphorgehalten im Boden zu (RÖMER, 1997; MEISSNER et al., 1992; OTTO, 1980; SCHEFFER, 1977). Es ist jedoch auch die Menge des in ein Gewässer transportierten Bodenmaterials entscheidend, um von einer Phosphorbelastung sprechen zu können (PRASUHN und GRÜNIG, 2001). Um die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung qualitativ beurteilen zu können, sind zunächst einmal

Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt der landwirtschaftlich genutzten Böden im Einzugsgebiet von Gewässern erforderlich. Von der Oberösterreichischen Landesregierung wurde das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ initiiert, um das Problem besser analysieren zu können.

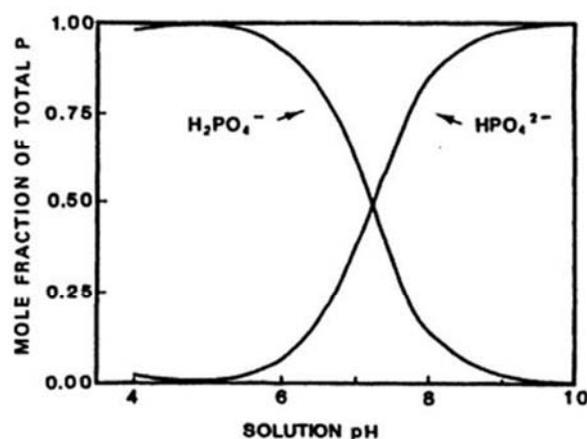
## 2. Ausgewählte Literatur

### 2.1. Phosphor als Pflanzennährstoff

Phosphor wird überwiegend aus phosphathaltigen Gesteinen (Rohphosphaten) gewonnen. Jährlich werden weltweit circa 132 Millionen Tonnen abgebaut. Bleibt der Abbau dieser 132 Millionen Tonnen Phosphor konstant, würde er noch für knapp 100 Jahre reichen. Phosphor ist eine knappe fossile Ressource, mit der sparsam umgegangen werden muss. 90 % vom Weltverbrauch an Rohphosphaten gehen in die Landwirtschaft. Dort wird Phosphor hauptsächlich als anorganischer Phosphatdünger und Futterphosphat eingesetzt (PRASUHN und FLISCH, 2005). Global gesehen steigt der Phosphorverbrauch, in Österreich jedoch ist er rückläufig (STRAUSS, 2012).

### 2.2. Phosphor im Boden

Phosphor kommt im Boden in organischer und anorganischer Form vor und zählt zu den lebensnotwendigen Makroelementen bei den Nährstoffen. Organisches Phosphat ist für die Pflanzen nicht direkt verfügbar und kann erst nach mikrobiellem Abbau von den Wurzeln aufgenommen werden. Der pH-Wert ist entscheidend, für die Ionenform, in der das anorganische Phosphat überwiegend in der Bodenlösung auftritt (Abb. 1). Phosphor liegt im Boden meist in der Form  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  vor. Aus Apatiten werden durch Verwitterung Phosphat-Ionen frei (BARBER, 1995).



**Abb. 1:** Einfluss des pH-Wertes in der Bodenlösung auf die Ionenformen der gelösten Phosphate (BARBER, 1995)

Man unterscheidet drei Phosphatfraktionen im Boden:

- ✓ gelöstes Phosphat (direkt verfügbar)
- ✓ labiles Phosphat (nach Lösung pflanzenverfügbar)
- ✓ stabiles Phosphat (schwer und meist nicht pflanzenverfügbar)

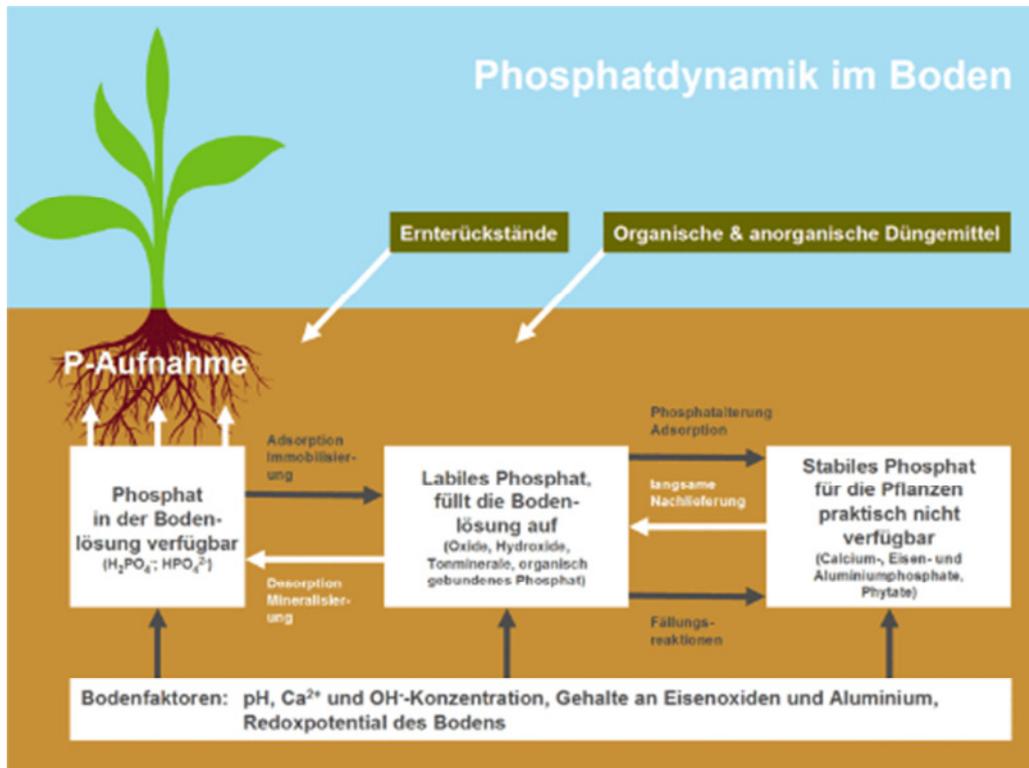


Abb. 2: Phosphatdynamik im Boden (KALI, 2012)

Phosphor wird meistens nur geringfügig in tiefere Schichten verlagert, da er von der Bodenmatrix in der Regel gut gebunden wird. Durch die Düngung mit Phosphor wird der Oberboden mit Phosphor angereichert und wenn nun diese Böden erodieren, gelangt phosphorreiches Material in die Gewässer (PRASUHN und GRÜNIG, 2001).

### 2.3. Phosphor in der Pflanze

Phosphor ist ein Makronährstoff und für die Wurzelbildung, die Blüten und Fruchtbildung sowie für den Stoffwechsel verantwortlich. Es handelt sich um ein essentielles Element für alle Organismen. In Pflanzen kommt Phosphor nur als Phosphat vor, und zwar überwiegend gebunden an organische Moleküle. Die Hauptaufgaben von Phosphor sind der Energie-Transfer und die Synthese organischer Substanzen. Durch Phosphordüngung wird garantiert, dass die Böden gut versorgt sind (FINCK, 2007; HEINZLMAIER, 2007).

## 2.4. Bodenerosion

Unter Erosion versteht man die Ablösung und den Transport von Bodenteilchen entlang der Bodenoberfläche. Die Vegetation schützt die Erdoberfläche vor diesem Prozess. Je nach Transportmedium unterscheidet man zwischen Wassererosion, Winderosion und Bearbeitungserosion. Alle Abtragungsprozesse sind natürliche Vorgänge. Kenntnisse über die Bodenerosion und über die Vorgänge, sind wichtig, weil hierbei meist Langzeitschäden entstehen und dabei die Gründigkeit des Bodens sowie die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität sinken (BLUME et al., 2010). Besonders durch Ackerbau wird die Erosion gefördert (BLUME et al., 2010; KLAGHOFER, 1997).

### 2.4.1. Wassererosion

Eine der wohl bekanntesten Methoden zur Abschätzung des Bodenabtrags durch Wasser ist die Universal Soil Loss Equation (USLE, WISCHMEIER und SMITH, 1978) bzw. die ABAG (Allgemeine Bodenabtragungsgleichung, SCHWERTMANN et al., 1990).

Mit 6 Faktoren kann der gemessene Abtrag erklärt werden. Diese Eigenschaften, welche den Bodenabtrag beeinflussen, sind (HÖLZL, 2012; LOISKANDL et al., 2011):

- ✓ Charakteristik des Regengeschehens (R) – bedingt veränderbar
- ✓ Eigenschaften des Bodens (K) – nicht veränderbar
- ✓ Länge des Hanges (L) – bedingt veränderbar
- ✓ Neigung des Hanges (S) – nicht veränderbar
- ✓ Bedeckung und Bearbeitung des Bodens (C) – veränderbar und
- ✓ Art der Erosionsschutzmaßnahmen (P) – veränderbar.

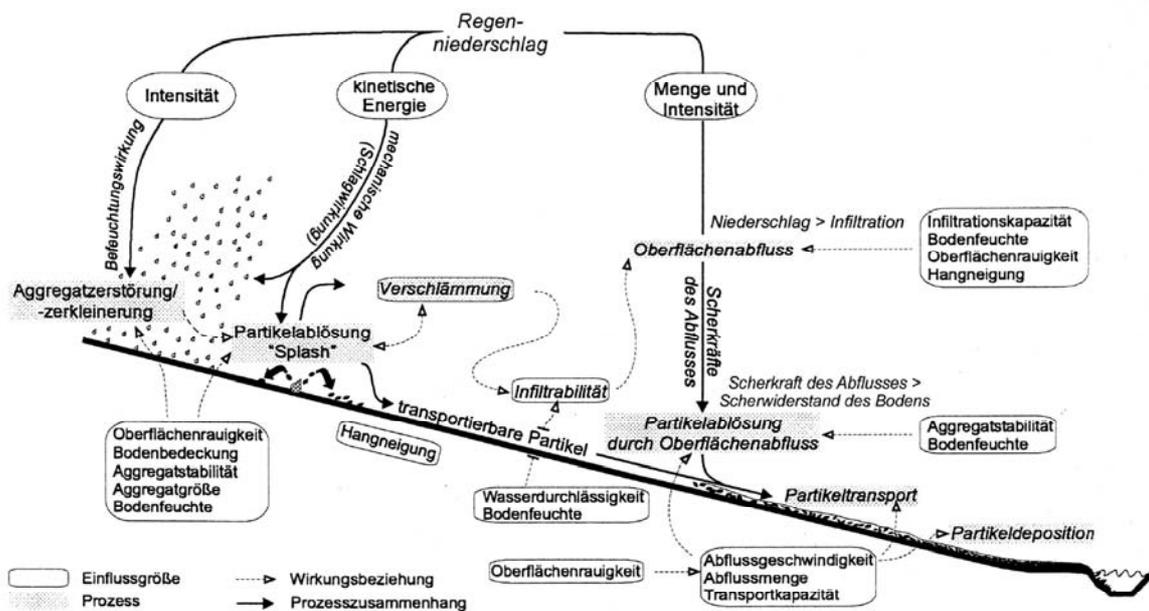
Formen der Wassererosion (BLUME et al., 2010):

- ✓ Flächen- oder Schichterosion  
Auf eine ungeschützte Oberfläche wirken rasches Befeuchten, Dispergierung der Aggregate und Regentropfenschlag gleichmäßig ein. Wo diese Prozesse vorherrschen, finden Ablösung und Transport flächenhaft statt.
- ✓ Rillen- und Rinnenerosion  
Wirken die Kräfte des Oberflächenabflusses kleinräumig, entsteht eine lineare Erosion. Wenn dies an vielen Stellen gleichzeitig geschieht, entstehen nur flache

Rillen (10 cm tief), auf die der Abfluss sich verteilt. Die Zerrillung hängt von vorgeprägten Rillen (z.B.: Fahrspuren, Saatzeilen) und der Neigung zum Boden ab. Wenn die Rillen breiter werden, spricht man von Rinnenerosion (< 30 cm tief).

✓ Grabenerosion (Gully)

Wenn die Rinnen tiefer werden, spricht man von Gullyerosion. Diese Gräben können auch durch Bodenbearbeitung nicht mehr entfernt werden.



Aus: Scheffer/Schachtschabel: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 16. Aufl. © Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2010

**Abb. 3:** Der Bodenerosionsprozess – Einflussgrößen und Teilprozesse (aus Duttmann 2001)

(BLUME et al., 2010)

In Abb. 3 ist der Bodenabtrag durch Wasser in verschiedenen Teilprozessen grafisch dargestellt. Das Abtragegeschehen ist vor allem durch zwei Teilprozesse geprägt. Der erste Prozess ist das Loslösen von Bodenteilchen und Zerkleinern durch den Aufprall der Regentropfen. Der zweite Prozess ist durch den Sedimenttransport mit dem abfließenden Wasser geprägt (BLUME et al., 2010).

**2.4.2. Winderosion**

Bei der Winderosion werden Bodenteilchen durch die Einwirkung von Wind in Bewegung gesetzt. Im Unterschied zur Wassererosion ist die Einwirkung des Windes nur Auslöser der Erosion (LOISKANDL et al., 2011). Die Geschwindigkeit von Wind nimmt zu, wenn er über eine Oberfläche streicht. Je nach Rauigkeit der Bodenoberfläche wird die

Bodenoberfläche um Millimeter verschoben. Je schneller die Geschwindigkeit, je steiler der Geschwindigkeitsgradient ist, umso höher ist die Scherkraft, die Teilchen in Bewegung versetzt (BLUME et al., 2010).

### **2.4.3. Bearbeitungserosion (Tillage Erosion)**

Der Oberboden wird durch jede lockernde Bodenbearbeitung etwas angehoben. Auf geneigten Flächen geschieht dies senkrecht zur Bodenoberfläche und anschließend fällt er senkrecht zur Horizontalen in Richtung der Schwerkraft wieder zurück. Aufgrund der beiden Horizontalen ergibt sich daraus ein Nettotransport. Eine Umlagerung findet bei jeder Bearbeitungsrichtung statt. Der Bodentransport steigt mit der Zahl der Bearbeitungsgänge, der Bearbeitungstiefe, der geräte- und geschwindigkeitsabhängigen Anhebung und mit zunehmender Hangneigung (BLUME et al., 2010).

### **2.4.4. Schäden durch Erosion**

#### **On-Site-Schäden**

Darunter versteht man all jene Schäden, die Kosten durch den Bodenabtrag oder durch die Bodenanreicherung am Hangfuß auf den von der Erosion betroffenen Ackerflächen verursachen (KLAGHOFER, 1997). Bei der Winderosion schädigen die saltierenden Sandkörner die Pflanzen durch Freilegen, durch Überdecken oder durch Verletzen der Blattoberfläche. Es kommt zu deutlichen Nährstoff- und Humusverlusten. Bei der Wassererosion fließt der Niederschlag unproduktiv ab und die Bewirtschaftung wird durch ungleichmäßige Bestandesentwicklung, durch Rinnen und Gräben erschwert. In beiden Formen fehlen Nährstoffe und Pestizide an den erodierten Stellen, dafür sind sie an den Akkumulationsstellen überdosiert (BLUME et al., 2010).

#### **Off-Site-Schäden**

Off-Site-Schäden entstehen auf Flächen, an die Sediment und Abfluss gelangen. Beispiele hierfür sind die Verschmutzung von Wegen und Häusern, die Verlandung von Gewässern, der Eintrag von Nährstoffen, Pestiziden und Schwermetallen in Gewässer und in andere Nachbarökosysteme (BLUME et al., 2010). Bei der Eutrophierung handelt es sich demnach

um Off-Site-Schäden. Durch den Eintrag von Nährstoffen (hauptsächlich Phosphor) in Oberflächengewässer werden das Algenwachstum und die Sauerstoffreduzierung gefördert.

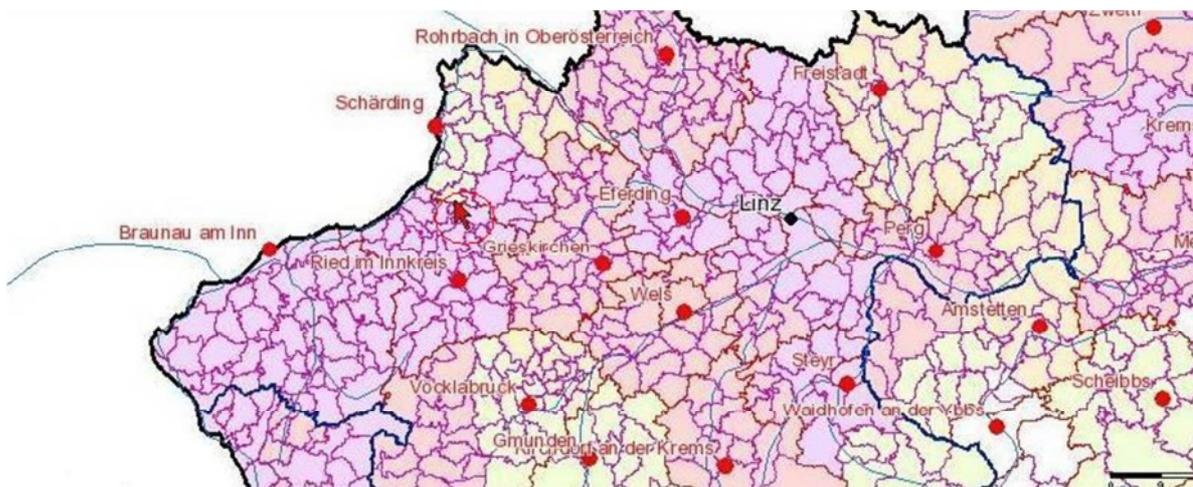
#### **2.4.5. Erosionsschutz**

Eine ständige Vegetationsbedeckung bietet den besten Schutz vor Erosion. Dabei ist wichtig, dass der Bedeckungsgrad bei Mulchbedeckung 30 bis 50% beträgt. Die Bedeckung schützt vor dem Tropfenaufrall, vermindert Wind- und Abflussgeschwindigkeit, erhöht die Bodenfeuchte an der Oberfläche und fördert die Porenbildung durch Regenwürmer. Im konventionellen Ackerbau ist der Boden meist unmittelbar nach der Saat am wenigsten bedeckt. Durch Minimal- oder konservierende Bodenbearbeitung lässt sich auch bei der Saat ausreichend Bedeckung erzielen (BLUME et al., 2010). Im Projektgebiet werden Zwischenfrüchte angebaut, um vor Erosion zu schützen. Es werden vor allem Kleegrasmischungen verwendet.

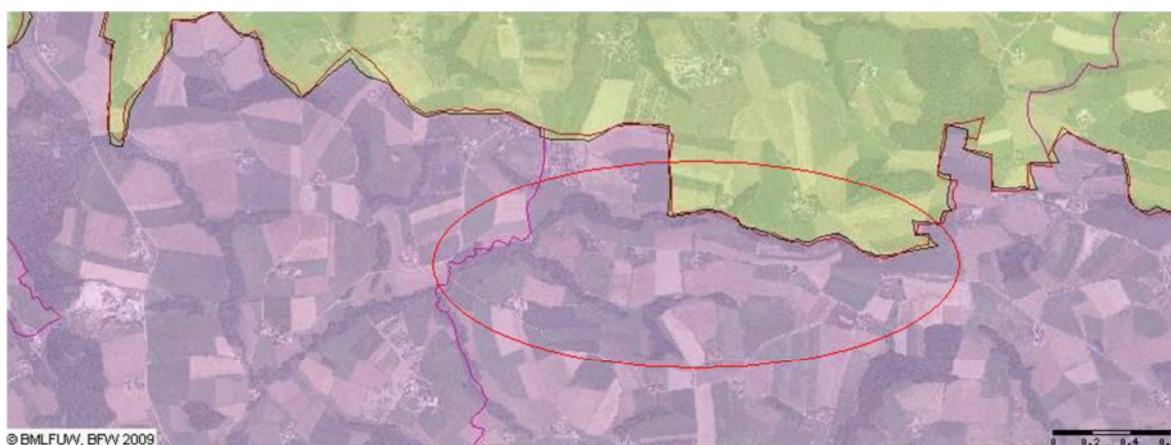
### 3. Material

#### 3.1. Untersuchungsgebiet

Im Rahmen des Projektes wird ein Teileinzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel untersucht. Es befindet sich in den Gemeinden Eggerding, Lambrechten und Ort im Innkreis bzw. in den Bezirken Ried im Innkreis und Schärding.



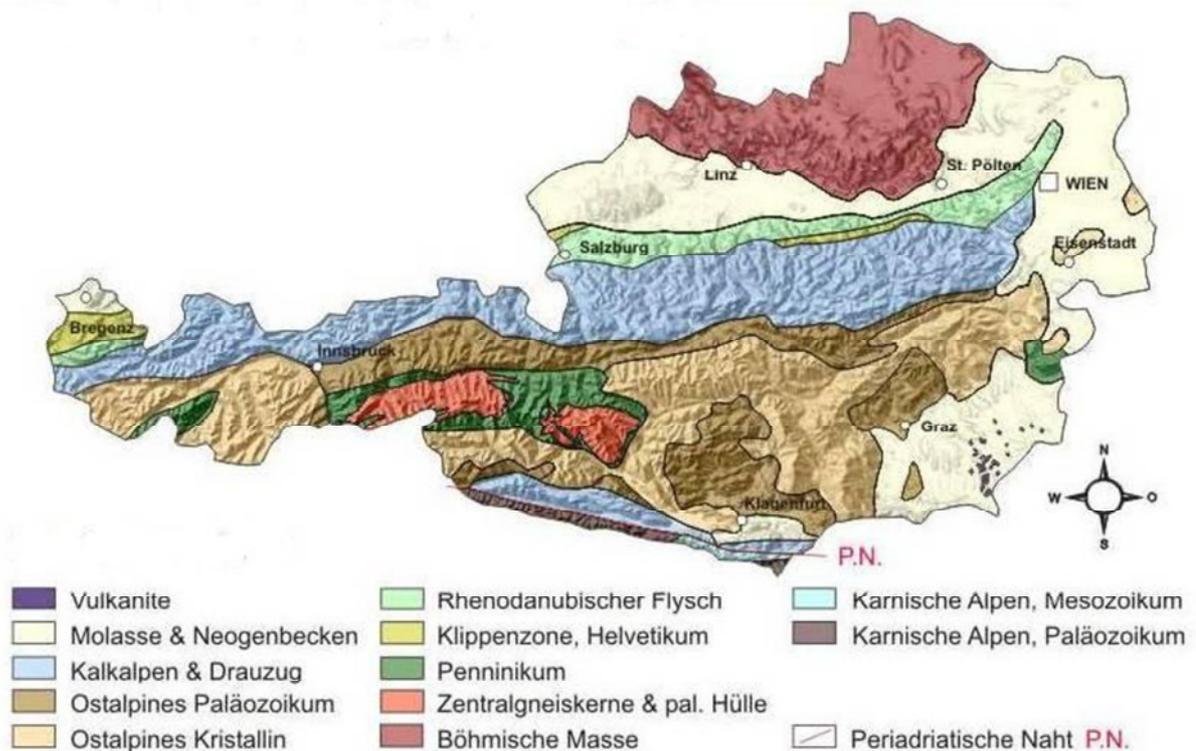
**Abb. 4:** Digitale Bodenkarte vom Projektgebiet I (BFW, 2011)



**Abb. 5:** Digitale Bodenkarte vom Projektgebiet II (BFW, 2011)

### 3.2. Geologie

Das Projektgebiet liegt zwischen der Böhmisches Masse im Norden und der Flyschzone (im Süden) in der Molassezone (Abb. 6).



**Abb. 6:** Geologische Übersichtskarte Österreich (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2011)

Die Molassezone (Zermahlene Alpen), die geographisch gesehen dem Alpenvorland entspricht, enthält vorwiegend marine, z.T. auch brackische oder im Süßwasser entstandene Ablagerungen des Obereozäns bis zum jüngsten Miozän. Überwiegend bestehen diese aus den Abtragungsprodukten älterer Gebirge. Schotter, Sande und Tone wurden in unterschiedlichen Sedimentationsräumen wie Deltas, Küsten und Schelfgebieten abgelagert. Der für die Molassezone so typische Schlier, ein mergeliger, meist feinsandiger Schluff, wurde auf den Schelf-, z.T. auch in den Beckenbereichen gebildet. Die Landschaft dieser jungen (tertiären) Sedimentbecken hebt sich durch sanfte, hügelige Geländeformen, bedingt durch die relative Weichheit der noch unvollständig verfestigten Gesteine, von ihrer Umgebung ab. Weite Flächen sind durch eiszeitliche Lockersedimente (Moränen, Flussterassen, Löß) überdeckt, so vor allem im Umfeld der Donau und ihrer Zubringerflüsse aus den Alpen. Ihnen kommt große praktische

Bedeutung für die Gewinnung von Baurohstoffen und als Grundwasserträger zu (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2002).



**Abb. 7:** Schlierhügelland in der Molassezone bei Strengberg, N.Ö. (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2011)

### 3.3. Klima

Die nächstgelegene Wetterstation befindet sich in Reichersberg (Bezirk Ried im Innkreis) in 350 m Seehöhe. Die geografischen Daten lauten 13°22'12" geografische Länge und 48°20'10" geografische Breite. Die Hauptwind- und Wetterrichtung liegt überwiegend im Westen, und die Niederschläge sind in vergleichbarer Seehöhe höher als im Osten Österreichs. In Österreich gibt es in den Ackerbaugebieten günstigere Temperaturen als in typischen Grünlandgebieten; die Niederschläge reichen von 600 – 1200 l/m<sup>2</sup>. Die geschlossene Schneedeckendauer ist in den Bergregionen meist länger anhaltend als in den bevorzugten Ackerbaugebieten der Bundesländer Oberösterreich, Niederösterreich und der Steiermark. Das Projektgebiet ist aufgrund vieler klimatischer Bedingungen eher dem Ackerbaugebiet zuzuordnen (AUER et al., 2001).

Das Tagesmittel im Juli beträgt 17,5°C, die Jänner-Temperatur -2,0°C und die Jahresmitteltemperatur liegt bei 7,9°C (1997-2000). Die durchschnittlichen Jahresniederschläge erreichen eine Höhe von 840,0 l/m<sup>2</sup> und sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In den Sommermonaten steigen die Niederschläge etwas an. Im langjährigen Mittel beträgt die Schneedeckenperiode ( $\geq 1$  cm) 41 Tage und es treten im Durchschnitt 22 Tage mit Gewitter auf (ZAMG, 2012).



Abb. 8: Übersichtskarte der Klimastationen mit der Station Reichersberg (ZAMG, 2012)

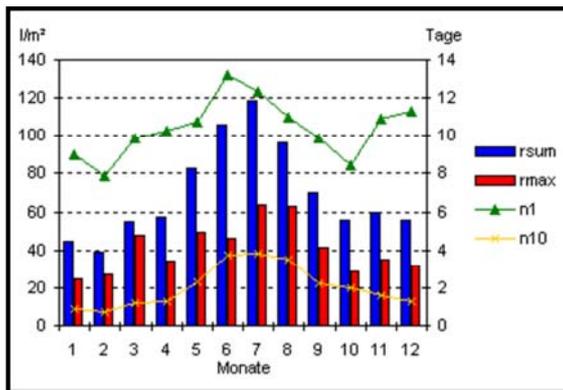


Abb. 9: Lufttemperatur (ZAMG, 2012)

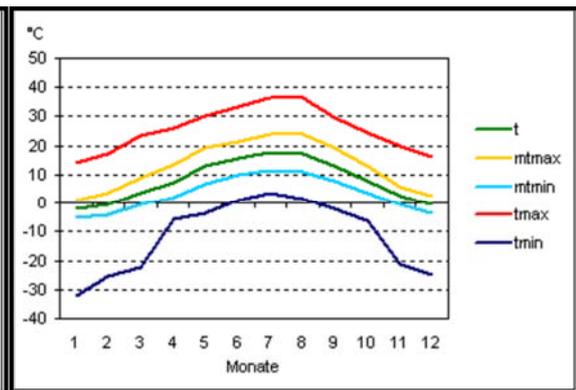


Abb. 10: Niederschlag (ZAMG, 2012)

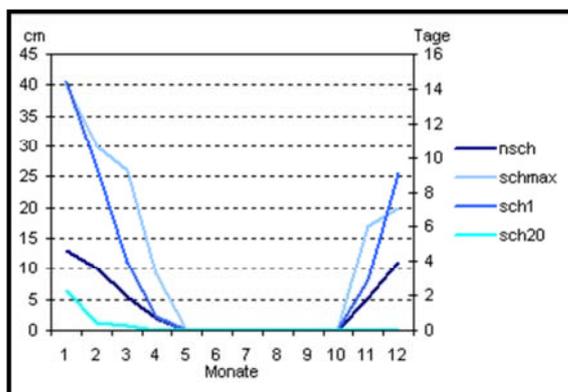


Abb. 11: Schnee (ZAMG, 2012)

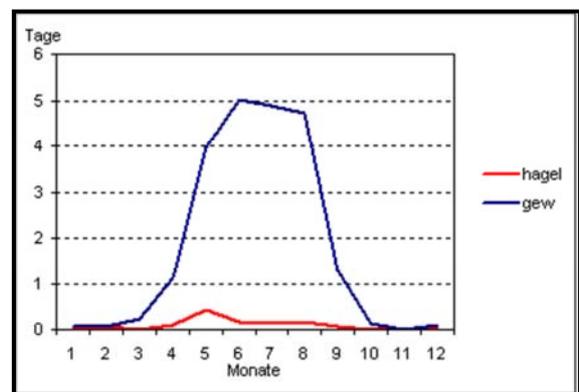


Abb. 12: Hagel, Gewitter (ZAMG, 2012)

**Tab. 1:** Abkürzungsverzeichnis Klimadaten (ZAMG, 2012)

Kürzel	Einheit	Element	Definiton
t	°C	Tagesmittel	(7 Uhr Mittel + 19 Uhr Mittel + mittl. Maximum + mittl. Minimum) / 4
mtmax	°C	Mittel aller tägl. Maxima	Summe tägl. Maxima / Anzahl der Tage
mtmin	°C	Mittel aller tägl. Minima	Summe tägl. Minima / Anzahl der Tage
tmax	°C	absolutes Maximum	größtes Tagesmaximum
tmin	°C	absolutes Minimum	kleinstes Tagesminimum
rsum	l/m <sup>2</sup>	Niederschlagssumme	Mittlere Monatssumme des Niederschlags
rmax	l/m <sup>2</sup>	Größter Tagesniederschlag	Größte Niederschlagssumme in 24 Stunden
n1	Tag	Niederschlag ≥ 1 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 1 mm
n10	Tag	Niederschlag ≥ 10 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 10 mm
nsch	cm	Neuschneemenge	Summe der Neuschneemenge
schmax	cm	Schneedecke	Maximale Schneedecke in cm
sch1	Tag	Schnee ≥ 1 cm	Zahl der Tage mit Schneedecke ≥ 1 cm
schn20	Tag	Schnee ≥ 20 cm	Zahl der Tage mit Schneedecke ≥ 20 cm
hagel	Tag	Hagel oder Graupel	Zahl der Tage mit Hagel oder Graupel
gew	Tag	Gewitter	Zahl der Tage mit Gewitter

### 3.4. Bodentypen

Jeder Boden durchläuft unter dem Einfluss bodenbildender Kräfte eine Entwicklung. Böden gleicher Entwicklungsstufe und Profildifferenzierung, die charakteristische Merkmale gemeinsam haben, werden als Bodentyp zusammengefasst (HELL, 2000).

Durch Neubildung verschiedener Stoffe entstehen unterschiedliche, meist waagrecht verlaufende Horizonte, deren Aufeinanderfolge im senkrechten Schnitt durch den Boden, im Bodenprofil, zu erkennen ist. Diese Horizonte werden mit den Großbuchstaben A, B, C usw. bezeichnet. Mit A bezeichnet man im Allgemeinen die obersten, humosen Horizonte, mit C das unveränderte Ausgangsgestein (Untergrund). Nach dem Einfluss der Wasserverhältnisse ordnet man die Böden in drei große Gruppen, die terrestrischen Böden, die hydromorphen Böden und die Unterwasserböden, die nach dem Entwicklungszustand des Bodens und nach dem chemisch-physikalischen Charakter in weitere Bodentypen unterteilt werden können (HELL, 2000).

Im Projektgebiet findet man sowohl terrestrische, als auch hydromorphe Böden:

- ✓ Terrestrische Böden: Braunerde (B)
- ✓ Hydromorphe Böden: Pseudogley (P), Gley (G)

Sie weisen lithologisch bedingt sehr häufig einen hohen Schluffgehalt auf. Ein hoher Schluffgehalt in Böden begünstigt die Bodenverdichtung, Wasser- und Winderosion.

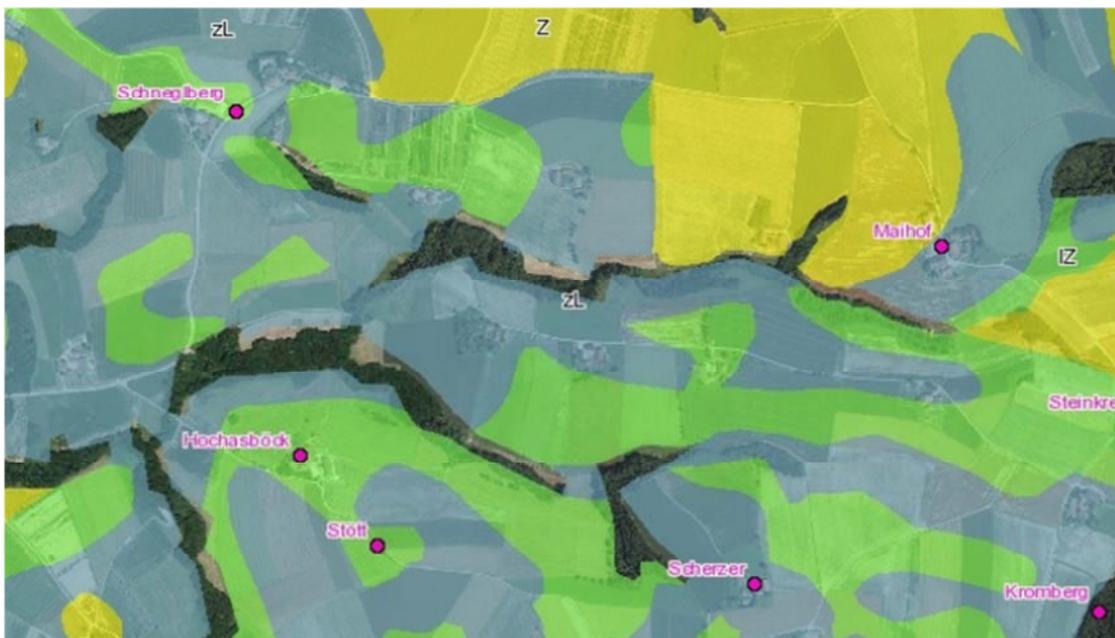
Im Projektgebiet findet man:

- ✓ Schluff (Z)
- ✓ sandiger Schluff (sZ)
- ✓ lehmiger Schluff (IZ)
- ✓ schluffiger Lehm (zL)



Maßstab 1 : 28.675

**Abb. 13:** Bodentypen im Projektgebiet: Braunerde (B), Pseudogley (P) und Gley (G) (EBOD, 2011)



**Abb. 14:** Bodenarten im Projektgebiet: Schluff (Z), sandiger Schluff (sZ), lehmiger Schluff (IZ) und schluffiger Lehm (zL) (EBOD, 2013)

### 3.4.1. Terrestrische Böden im Projektgebiet

Man bezeichnet alle Böden außerhalb des Wirkungsbereichs eines Grundwassers, d.h. Grundwasserhöchststand tiefer als 1 m, als terrestrische Böden (BLUME et al., 2010).

✓ **Klasse: BRAUNERDEN**

**Bodentyp: Braunerde**

Braunerden sind Böden, die einen mehr oder weniger braun gefärbten B-Horizont besitzen. Sie sind A-B-C-Böden und entstehen durch eine fortschreitende Verwitterung des Muttergesteins. Braunerden sind die am weitest verbreiteten Böden des gemäßigten Klimaraumes, so auch in Österreich. Es handelt sich um gute Böden, die in jeder Lage möglich sind und sowohl als Acker-, Grünland- bzw. Waldstandort genutzt werden können (NESTROY et al., 2011).

### 3.4.2. Hydromorphe Böden im Projektgebiet

Hydromorphe Böden bilden sich bevorzugt in Talböden und Senken bei oberflächennahem, langsam fließendem oder stehendem Grundwasser (HELL, 2000). Sie entstehen auch durch Stauwasser. Die hydromorphen Böden werden zum Großteil drainiert; die drainierte Fläche ist im Projektgebiet allerdings nicht bekannt.

✓ **Klasse: PSEUDOGLEYE**

**Ordnung: Typischer Pseudogley**

Der Pseudogley gehört zur Ordnung der hydromorphen Böden, welcher durch eine Stauzone mit Konkretionen und Rostflecken sowie einen Staukörper mit Marmorierung charakterisiert ist. Rostflecken sind meist in den tieferen Schichten sichtbar. Typische Pseudogleye weisen die Horizontfolge A-P-S auf. Als Ausgangsmaterial dienen in der Regel feine Sedimente mit hohem Schluff- oder Tonanteil bzw. glimmerreiche Gesteine. Der Staukörper kann ein ursprünglich vorhandener ton- und/oder schluffreicher Horizont sein oder er ist durch Toneinschlämmung aus darüberliegenden Horizonten entstanden. Die Wasserhaushaltsstufe ist wechselfeucht. Typische Gleye sind meist „kalte“ Böden, der Vegetationsbeginn tritt später ein. Pseudogleye sind überwiegend sowie überwiegend mittelwertige Acker- und Grünlandböden.

Auf Grund der wechselfeuchten Wasserverhältnisse ergeben sich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung (NESTROY et al., 2011).

✓ **Klasse: GLEYE**

**Ordnung: Gley**

Die Horizontfolge A-Go-Gr ist charakteristisch für den Typischen Gley. Auf den vom Grundwasser unbeeinflussten A-Horizont folgt der Go-Horizont (Oxidationshorizont) und darunter der stets nasse, fahlgraue bis graugrüne oder auch blauschwarze Gr-Horizont (Reduktionshorizont). Gleye sind Böden mit hohem Grundwasserstand und intensivem Grundwasserfluss. Als Ausgangsmaterial dient dem Gley jedes Grundgestein, jedoch sind es in der Regel Lockermaterialien, die unter ständigem Grundwassereinfluss stehen. Bei Gleyen wird der Abbau der organischen Substanz durch die vorherrschenden reduzierenden Verhältnisse gehemmt. Ein hoher Humusgehalt im A-Horizont ist die Folge. Man findet Gleye meist in Mulden, Talbodenrandzonen bzw. Talböden und es handelt sich um typische Grünlandstandorte. Für den Ackerbau sind Gleye nicht geeignet (NESTROY et al., 2011).



**Abb. 15:** Boden mit Rostflecken im Projektgebiet (HUEMER, 2011)

### 3.5. Fruchtarten 2010

#### 3.5.1. Getreide

##### 3.5.1.1. Gerste (*Hordeum vulgare* L.)

Im Projektgebiet wird sowohl Winter- als auch Sommergerste angebaut.



**Abb. 16:** Wintergerste im Frühjahr (HUEMER, 2012)



**Abb. 17:** Wintergerste im Sommer (HUEMER, 2012)

Die Gerste liegt bei den Getreidearten im Weltanbau an zweiter Stelle. Gerste wird auf vielfältige Art verarbeitet. Man findet sie sowohl als Futtergerste, als auch in der technischen Verarbeitung (Braugerste, Rollgerste). Prinzipiell wird Gerste in den Trockengebieten für die Biererzeugung und in den Feuchtgebieten für die Verfütterung verwendet. Vor ca. 6000 Jahren wurde Gerste bereits angebaut und ist deshalb vermutlich die älteste Getreideart (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Im Projektgebiet wird die Gerste hauptsächlich für Fütterungszwecke verwendet. Je nachdem, ob es sich um Sommer- oder Wintergerste bzw. zwei- oder mehrzeilige Formen handelt, kann man Unterschiede bei den Ansprüchen feststellen. Die Wintergerste weist geringere Bodenansprüche auf als die Sommergerste. Generell ist die Gerste empfindlich gegenüber niedrigen pH-Werten und gegenüber Sauerstoffmangel im Boden. Bei der Gerste machen sich Verdichtungen unmittelbar bemerkbar (HANUS et al., 2008). Winter- und Sommergerste haben unterschiedliche Ansprüche an die Temperatur. Wintergerste ist im Anbau begrenzt, wenn die Temperaturen im Winter zu stark sinken, während Sommergerste auch noch in den rauesten Klimatalagen angebaut werden kann, in denen Ackerbau überhaupt noch möglich ist. Hinsichtlich Wasserhaushalt und Niederschlagsversorgung ist Gerste weniger anspruchsvoll (HANUS et al., 2008).

### 3.5.1.2. Weizen (*Triticum aestivum* L.)

Im Untersuchungsgebiet findet man einige Flächen mit Winterweichweizen.



**Abb. 18:** Winterweizen 1 (BMLFUW, 2002)



**Abb. 19:** Winterweizen 2 (BMLFUW, 2004)

Weizen ist weltweit die Hauptbrotfrucht und seine Urheimat befindet sich in Ostasien. Am Weltmarkt steht Weizen an erster Stelle aller landwirtschaftlichen Produkte. Man findet zwei Formen: Brotweizen und Hartweizen. Weiters kann man derzeit vier Sorten für den Anbau unterscheiden. Es werden Premiumweizen und Qualitätsweizen, Mahlweizen, Futterweizen und Durum-Weizen angebaut (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Im Projektgebiet kann man aufgrund der Viehstärke davon ausgehen, dass hauptsächlich Futterweizen angebaut wird.

Weizen hat die längste Vegetationszeit und beansprucht somit den Boden am meisten von allen Getreidearten (HANUS et al., 2008). Die Böden für Weizenanbau sollen neutral bis alkalisch sein (pH 6,5 bis 7,5). Humusarme, leichte Sandböden und saure Böden sind für den Weizenanbau weniger geeignet (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Die klassischen Weizenstandorte sind Schwarz-, Braun- und Parabraunerdeböden sowie Marschen und Auenböden (HANUS et al., 2008). Der Weizen ist in Berglagen aufgrund der Winterhärte oft begrenzt anbaufähig und wird dann durch Sommerweizen oder auch Winterroggen ersetzt. Für ein hohes Ertragspotenzial sind neben der Temperatur vor allem die Wasserversorgung sowie die Transpirationsbedingungen entscheidend und man sollte besonders während des Schossens darauf achten, dass die Pflanze nicht in Wasserstress gerät (HANUS et al., 2008). Eine Wärmesumme von 2000 bis 2200°C ist für Winterweizen bis zur Reife notwendig (AIGNER und ALTENBURGER, 2010).

### 3.5.1.3. Triticale (Triticale)



**Abb. 20:** Ähren Triticale (LKÖ/FRÜHWIRTH, 2012)

Triticale ist das Kreuzungsprodukt von Roggen und Weizen und nimmt daher eine Zwischenstellung der beiden ein. Auf nicht weizenfähigen Böden stellt Triticale oft eine interessante Alternative zum Weizenanbau dar. Triticale kann in der Tierhaltung und zur Brotherstellung verwendet werden (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Im Projektgebiet gibt es einige Flächen, welche mit Triticale angebaut wurden.

Der Anbau von Triticale ist auf schlechten Böden nicht mehr möglich und auf guten Böden gerät Triticale in Konkurrenz zu Weizen (HANUS ET AL., 2008). Die Ansprüche an Klima und Witterung ergeben sich aus den Ansprüchen der beiden Ausgangsformen. Die Temperaturansprüche sind ähnlich wie beim Weizen, bezüglich des Wasserhaushaltes ähnelt Triticale mehr dem Roggen (HANUS et al., 2008).

### 3.5.1.4. Hafer (*Avena sativa* L.)



**Abb. 21:** Haferrispen (BMLFUW, 1998)

Die Bedeutung des Hafers liegt in der Fütterung von Zuchttieren. Der Industriehafer wird in geschältem und gequetschtem Zustand zu Haferflocken und Hafermark verarbeitet. Sein Hauptanbaugebiet liegt heute in Nordeuropa (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Seit Beginn der Mechanisierung und dem Fortfall der Pferdehaltung hat Hafer an Bedeutung verloren (HANUS et al., 2008). Auch im Projektgebiet wird nicht viel Hafer angebaut. Hafer stellt an die Böden nur geringe Ansprüche, jedoch muss die Wasserspeicherung gut sein. Auch auf Böden mit einer sauren Bodenreaktion gedeiht Hafer (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Hafer hat einen hohen Wasserbedarf. Heftige Regenfälle führen zu Lagerung, Ertragsminderungen und Qualitätseinbußen sowie Auswuchs (HANUS et al., 2008).

### 3.5.2. Mais (*Zea mays* L.)

Im Projektgebiet werden sowohl Körner- als auch Silomais angebaut. Beim Körnermais werden die ausgereiften Körner bzw. der gesamte Kolben geerntet und die Verwertung erfolgt in der Verfütterung, in der Industrie und als Saatgut. Silomais ist der Körnermais in der Teigreife. Es erfolgt eine frühere Ernte als beim Körnermais mit anschließender Konservierung durch Silierung. Silomaisanbau ist auch in ungünstigeren Anbaulagen möglich (AIGNER und ALTENBURGER, 2010).



**Abb. 22:** Mais 1 (HUEMER, 2012)



**Abb. 23:** Mais 2 (HUEMER, 2012)

Mais wird in vielen Ländern als Hauptfrucht angebaut, im nordamerikanischen Maisgürtel ist Mais vorherrschend. Nach der Entdeckung Amerikas kam der Mais nach Europa – über die Türkei (Kukuruz) nach Italien (Welschkorn) auch nach Österreich (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Die Verwendung von Mais als Nahrungsmittel ist vom jeweiligen

Lebensstandard, Entwicklungszustand bzw. Industrialisierungsgrad eines jeden Landes abhängig (HANUS et al., 2008).

Mais stellt keine besonderen Ansprüche an den Boden und er erreicht seinen höchsten Wasserbedarf erst relativ spät. Auf leichteren Böden kann deswegen Wasserstress eintreten. Mais ist eine C4-Pflanze, die unter Wasserstress jedoch weniger leidet als C3-Pflanzen. Bei der Saatzeit ist auf die Erwärmbarkeit des Bodens zu achten. Mais hat sehr hohe Ansprüche an die Keimtemperaturen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass Mais auf Hanglagen aufgrund der weiten Reihenabstände stark erosionsgefährdet ist und man deshalb auf erosionsmindernde Maßnahmen beim Anbau (hangparallele Drillrichtung, Mulchsaat, Untersaat) zurückgreifen sollte. Erosion kann man jedoch nicht immer durch solche Maßnahmen verhindern. Die Maispflanze ist auch stark frostempfindlich. Je ungünstiger die Klimalage ist, umso stärker verkürzt sich die Vegetationszeit (HANUS et al., 2008).

### 3.5.3. Ölpflanzen

#### 3.5.3.1. Körnerraps (*Brassica napus* L.)



**Abb. 24:** Winterraps 1 (HUEMER, 2011)



**Abb. 25:** Winterraps 2 (HUEMER, 2011)

Der Anbau der relativ jungen Kulturpflanze begann in Europa erst im späten Mittelalter. Das aus Raps und Rübsen gewonnene „Rüböl“ wurde als Brennstoff in den Öllampen im größten Teil Europas verbreitet. Wegen der frühen Aussaat konnte Raps nur nach Brache im Winterfeld angebaut werden und konkurrierte mit Brotgetreide. Seit Beginn der 70er Jahre erlebt der Rapsanbau einen nachhaltigen Aufschwung (HEYLAND et al., 2006). Auf

Bodenverdichtungen reagiert Raps auf Grund der Ausbildung einer langen und kräftigen Pfahlwurzel sehr empfindlich. Es ist für Raps wichtig, dass die Böden gut strukturiert und tiefgründig sind um hohe und stabile Erträge im Rapsanbau zu erzielen. Als ungünstig sind flachgründige Böden sowie Tonböden und Standorte mit hohem Grundwasserstand zu nennen. Am besten eignen sich lehmige Sandböden, sandige Lehmböden und Lehmböden. Die Böden brauchen einen guten Humus- und Nährstoffgehalt, sowie eine ausreichende Kalkversorgung ( $\text{pH} > 6,5$ ) (HEYLAND et al., 2006). Auch eine gleichmäßige Wasserversorgung ist wichtig. Raps ist bis auf extreme Klimaverhältnisse gut anpassungsfähig. Winterfrost ist kein Problem für Raps (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Die Temperaturansprüche der Rapspflanzen sind relativ gering. Raps ist jedoch relativ empfindlich gegenüber Spätfrösten, die im Stadium des Schossens und der Knospenbildung auftreten (HEYLAND et al., 2006).

### 3.5.3.2. Lein (*Linum usitatissimum* L.)



**Abb. 26:** Öllein (SALLABERGER, 2011)

Im Projektgebiet gibt es ein oder zwei Landwirte, die auch Öllein anbauen. Lein ist eine sehr alte Kulturpflanze und besitzt vielseitige Verwendungsmöglichkeiten. Es können die Fasern und die Samen von Lein verwendet werden. Das aus Samen gewonnene Leinöl stellt ein wertvolles Speiseöl da, das jedoch aufgrund des spezifischen Geschmacks nur in traditionellen Regionen nachgefragt wird (HEYLAND et al., 2006). Warme Standorte sind für Öllein geeigneter als Standorte der humiden Lagen. Günstig sind tiefgründige Böden der

Bodenart lehmiger Sand oder sandiger Lehm. Ungünstig sind sowohl Tonböden als auch Sandböden, letztere wegen des ungenügenden Wassernachlieferungsvermögens. Der Boden sollte leicht sauer bis neutral sein (HEYLAND et al., 2006). Lein braucht bis zur Blüte eine gut dosierte Feuchtigkeit und nach der Blüte (ab Juli) sollte eher trockenes Wetter vorherrschen (AIGNER und ALTENBURGER, 2010).

#### 3.5.4. Grünland / Dauergrünland

Grünland ist hauptsächlich dort verbreitet, wo Ackerbau nicht oder nur mit Vorbehalt möglich ist. Ungünstige Standortverhältnisse für den Ackerbau sind zu hohe Niederschläge, zu hoher Grundwasserstand, zu steile Hanglage oder zu kurze Vegetationszeit.



**Abb. 27:** Grünland (HUEMER, 2011)

Für die Nutzung des Grünlandes gibt es drei Möglichkeiten:

- ✓ Wiese – Mähnutzung zur Gewinnung von Heu oder Silage bzw. Grünfutter für die Sommerstallfütterung,
- ✓ Weide – den Tieren wird eine bestimmte Grünlandfläche zur Futteraufnahme zugeteilt sowie
- ✓ Mähweide – abwechselnde Nutzung durch Mähen und Beweiden

Die Qualität bzw. Quantität des Futters einer Wiese wird durch die Vegetation und den Zeitpunkt der ersten Schnittnutzung bestimmt. Bei der Bewirtschaftung des Grünlandes muss man generell Bodenverhältnisse, Vegetationsdauer, Nutzungsart und die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes beachten. Die Nutzung der Weide dient dem Zweck, dass ein bestimmter Viehbestand Futter in ausreichender Menge und bester Qualität bekommt. Die Weidenutzung fördert die Tiergesundheit und bringt bei richtiger Weideführung höhere Erträge als die Wiese (Aigner und Altenburger, 2010). Im Projektgebiet findet man Wiesen mit zwei-, drei- und vierfacher Nutzung sowie auch Weiden.

### **3.5.5. Futterpflanzen / Wechselgrünland**

#### 3.5.5.1. Blühfläche

Im ÖPUL 2007 wurden Biodiversitätsvorgaben festgelegt. Mindestens 2% der Ackerfläche müssen als Blühfläche genutzt werden. Diese Flächen dürfen nicht genutzt werden und dürfen frühestens im August gehäckselt werden. Die Mindestbreite von einer Blühfläche beträgt 2,5 m (SCHÜBL, 2011).

#### 3.5.5.2. Glöz A

Bei Glöz A handelt es sich um Ackerflächen, auf denen nur die jährliche Mindestpflfegemaßnahme zur Hintanhaltung einer Verwaldung, Verbuschung oder Verödung, zum Beispiel durch Häckseln, durchgeführt wird und auf denen keine jährliche Nutzung des Aufwuchses durch Ernten oder Beweiden erfolgt. Für solche Flächen kann entsprechend dem Prämienstatus bzw. dem ÖPUL-Code die Betriebsprämie und/oder die ÖPUL-Prämie beantragt werden (AMA, 2012).

#### 3.5.5.3. Feldfutter

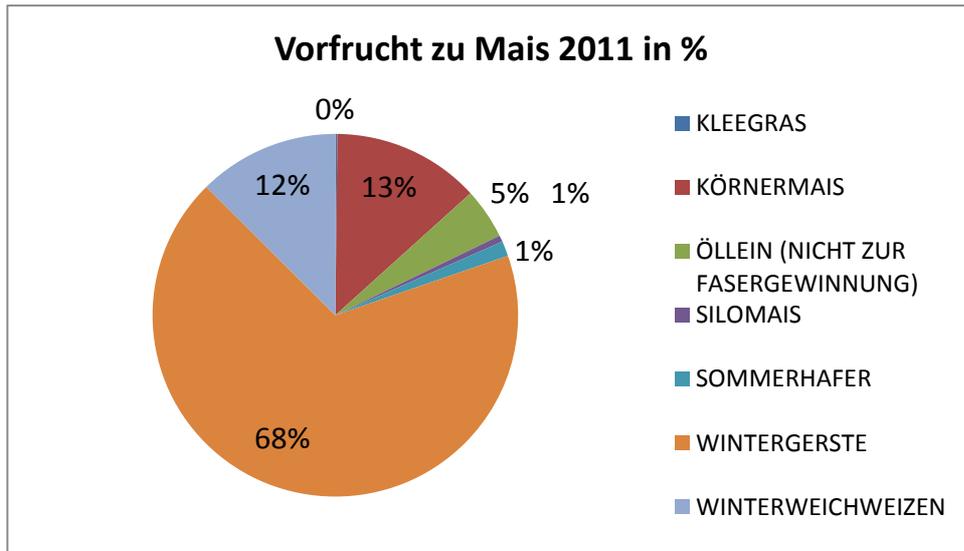
Unter Feldfutter wird die ganzjährige oder zeitweilige Nutzung von Ackerflächen mit Futterpflanzen, die im eigenen Betrieb verwertet werden, verstanden (AIGNER und ALTENBURGER, 2010). Wie lange Feldfutter genutzt werden kann, ist vom Klima und der Lebensdauer der verwendeten Futterpflanzen, insbesondere jedoch von der

Winterfestigkeit der verwendeten Mischungspartner abhängig (BUCHGRABER und GINDL, 2009).

### 3.6. Fruchtfolgen im Projektgebiet

Unter Fruchtfolge versteht man den geordneten, sinnvollen zeitlichen Wechsel von Pflanzenbeständen auf dem Ackerland (DIEPENBROCK et al., 2009). Man versucht durch die effektive Nutzung des Bodens während der gesamten Vegetationszeit die Vorfrucht- und Fruchtfolgewirkungen zu nützen und die Pflanzenbestände gesund zu erhalten. Im Projektgebiet wird zwischen Blattfrüchten (Nichtgetreidearten, einschließlich Körner- und Silomais) und Halmfrüchten gewechselt. Man findet die Vierfelderwirtschaft, die Rheinische Fruchtfolge und auch die Fruchtwechselwirtschaft. Die Hauptkulturen 2011 sind Körnermais 30,3%, Wintergerste 17,3%, Winterweichweizen 15,3% und Winterraps 10,6%. Angebaut werden auch Sommerhafer, Triticale und Sonderkulturen wie beispielsweise Öllein. Alle Kulturen verteilen sich sehr gut, und es kommt somit kaum zu Monokulturen. In einzelnen Schlägen passt die Fruchtfolge nicht, jedoch ist dies prozentuell zu vernachlässigen. Im Jahr 2011 kommt es bei 12,12 ha zu einer Mais- auf Maisaussaat. Alle Landwirte führen die Mulchsaat durch und ein Betrieb arbeitet pfluglos. Die Felder sind somit bestellt, was positiv für die Bodenfruchtbarkeit ist und nebenbei das typische Landschaftsbild des Innviertels zeigt. Die Ackerflächen werden regelmäßig mit Mineral- und Wirtschaftsdünger gedüngt. Das Grünland wird in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand (Dauergrünland oder Wechselgrünland) und von der Jahreswitterung meist drei- bis fünfmal pro Jahr gemäht und regelmäßig mit Wirtschaftsdünger gedüngt (SCHNEIDERBAUER, 2011). Der Viehbesatz beträgt in den Gemeinden Ort im Innkreis, Lambrechten und Eggerding 0,6; 1,0 und 1,2 GVE pro Hektar und ist somit – nach europäischen Maßstäben gemessen – nicht sehr hoch.

Im Vergleich über 5 Jahre sind die Fruchtarten Körnermais, Wintergerste, Winterweichweizen und Winterraps federführend bei den Anbauflächen. Es ist jedoch zu bemerken, dass die ha-Zahl der Mais- auf Maisaussaat gestiegen ist (SCHNEIDERBAUER, 2011).



**Abb. 28:** Vorfrucht zu Mais 2011 in % im Untersuchungsgebiet (SCHNEIDERBAUER, 2011)

## 4. Methoden und Datenerfassung

Im Projektgebiet wurden insgesamt 590 Bodenproben für routinemäßige Bodenanalysen zur Bewertung der Nährstoffsituation (0-15 cm Bodentiefe) in Form einer Mischprobe gezogen. Die Bodenproben wurden im Herbst 2010, sowie im Frühjahr 2011 aus dem A-Horizont entnommen. In Österreich werden Proben für Bodenuntersuchungen laut ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) sowie ÖNORM L 1055 (Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden) genommen. Im Grünland wurden die Bodenproben aus der Tiefenstufe 0-10 cm und bei Ackerflächen aus 0-20 cm gezogen. Um die Proben von Grünland und Ackerflächen hinsichtlich des Nährstoffgehaltes im Oberboden vergleichen zu können, wurde die Tiefe einheitlich auf 0-15 cm festgelegt. Für den Nachweis einer erosionsbedingten Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag Ober-, Mittel- und Unterhang beprobt. Zum Oberhang zählen Rücken und Kuppe. Der Unterhang inkludiert Mulde, Hangfuß, Senke und Wanne. Anzumerken ist noch, dass auf gefährdeten Flächen die Probenanzahl erhöht wurde bzw. gefährdete Flächen im Frühjahr 2011 nochmals beprobt wurden.

Vor der Analyse der Bodenproben wurden sie luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Laboranalysemethoden richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ -Lösung gemäß ÖNORM 1083, elektrische Leitfähigkeit gemäß ÖNORM L 1092, Phosphor und Kalium mit der CAL-Methode gemäß ÖNORM L 1087, wasserlöslicher Phosphor-Gehalt gemäß ÖNORM L 1092). Die Bodenanalysen stellten den Phosphor aufgrund der speziellen Problemstellung (Eutrophierung von Gewässern) in den Mittelpunkt. Die unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile im Boden wurden mit vier verschiedenen Phosphor-Bestimmungsmethoden analysiert. Im Labor in Raumberg-Gumpenstein wurden „pflanzenverfügbarer“ Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode, wasserlöslicher Phosphor, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Aggregatstabilität und die Trockensubstanz ermittelt. In Österreich gilt die CAL-Methode als übliche Routineuntersuchungsmethode für Phosphor. Es kann mit dieser Methode der CAL-lösliche Phosphor im Boden erfasst und somit der „Kapazitätsfaktor“ annähernd festgestellt werden. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt dient in der Praxis auch als

Grundlage für die Erstellung von Phosphor-Düngerempfehlungen. Im Gegensatz zum CAL-löslichen Kalium-Gehalt reichert sich der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden bei entsprechender Düngermenge leichter an. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden ist daher ein guter Indikator für die Bewirtschaftungsintensität und die Bodenfruchtbarkeit (BOHNER, 2005; RUTHSATZ, 2001). Der „Intensitätsfaktor“ kann mit der Messung des wasserlöslichen Phosphors festgestellt werden. Die Extraktion mit Wasser liefert Daten über die Menge an wasserlöslichem und somit leicht mobilisierbarem Phosphor im Boden. Der wasserlösliche Phosphor im Oberboden ist eine Kennzahl für die Kapazität des Oberbodens Phosphor an den Oberflächenabfluss abzugeben (SHARPLEY et al., 1986). Die Aggregatstabilität ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die verschlammende Wirkung des Wassers (SCHACHTSCHABEL und HARTGE, 1959). Laut FRANKEN und LOH, 1987 führt eine niedrige Aggregatstabilität häufig zu Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche sowie zu Bodenabtrag bei Hanglage.

Von den 590 Bodenproben wurden 98 umfassenderen Analysen unterzogen, um auch die Phosphor-Speicherkapazität und den Phosphor-Sättigungsgrad beurteilen zu können. Hauptaugenmerk wurde bei diesen Analysen auf pedogene Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide sowie auf verschiedene Phosphorfraktionen gelegt (LEINWEBER et al., 1997; PIHL und WERNER, 1993). Der Gesamtgehalt an Phosphor repräsentiert den „Quantitätsfaktor“. Um die potenzielle Gefahr von Phosphorverlusten durch Auswaschung beurteilen bzw. die Phosphor-Speicherkapazität der Acker- und Grünlandböden abschätzen zu können, wurden die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und der Phosphorsättigungsgrad (DPS) aus den Gehalten an oxalatlöslichem Aluminium, Eisen, Mangan und Phosphor berechnet (ECKHARD und LEINWEBER, 1997):

$$\text{PSC (in mmol kg}^{-1}\text{)} = 0,5 \times (\text{Al}_{\text{Ox}} + \text{Fe}_{\text{Ox}} + \text{Mn}_{\text{Ox}})$$

$$\text{DPS (in \%)} = 100 \times \text{P}_{\text{Ox}} / \text{PSC}$$

Die Gehalte an Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxiden (inklusive Hydroxide und Oxihydroxide) sind hauptverantwortlich für die Phosphor-Speicherkapazität des Bodens. Eine übermäßige Düngung (nicht an die Pflanze angepasst) führt bei einer geringen Phosphor-Speicherkapazität rasch zu einem hohen Phosphor-Sättigungsgrad, somit steigt

die Gefahr der Eutrophierung von Grundwasser und Oberflächengewässer (LOOKMAN et al., 1996). Dies ist auch der Grund, dass die Phosphor-Speicherkapazität und der Phosphor-Sättigungsgrad geeignete Indikatoren für die Abschätzung von Phosphor-Auswaschungsverlusten aus landwirtschaftlich genutzten Böden sind (LEINWEBER et al., 1999). Im Rahmen der umfassenderen Bodenanalysen wurde oxalateextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan sowie Phosphor nach SCHWERTMANN, 1964, analysiert. Nach Mikrowellenaufschluss mit Königswasser wurden die Gesamtgehalte an Aluminium, Eisen und Mangan bestimmt. Der Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor wurde nach der Extraktion mit 0,1 M Schwefelsäure ermittelt. Der Gesamtgehalt an organischem Phosphor wurde als Differenz aus Phosphor-Gesamtgehalt und anorganischem Phosphor errechnet. Weiters wurden noch der Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel mittels Elementaranalyse bestimmt.

Das Phosphor-Austragungspotenzial kann innerhalb eines Einzugsgebietes aus lithologischen, bodenkundlichen und topografischen Gründen sowie düngungs- und nutzungsbedingt räumlich stark variieren. Die Bodendaten müssen in Beziehung gesetzt werden zur Entfernung zu Oberflächengewässer. Im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Gewässer ist eine räumlich differenzierte Beurteilung notwendig. Hierfür wurden die punktförmig ermittelten Analyseergebnisse in den landwirtschaftlich genutzten Böden auf das Teileinzugsgebiet der Antiesen interpoliert. Die Karten wurden mit dem geostatistischen Interpolationsverfahren Kriging (KRIGE, 1951) erstellt. Als GIS-Software wurde Geostatistical Analyste (ArcGIS der Firma ESRI) verwendet. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistik-Programm SPSS. Dazu wurden einerseits mithilfe der deskriptiven Statistik Tabellen erstellt, in denen das arithmetische Mittel (Mittelwert) dargestellt ist. Weiters wurden Korrelationen zwischen allen Parametern berechnet. Die grafische Aufbereitung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel 2007.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Geostatistische Interpolationen

In der Arbeit werden Ergebnisse angeführt.

#### Humus-Gehalte

Die Probenahmepunkte von den untersuchten Acker- und Grünlandböden sind in der Abb. 29 kartographisch dargestellt. Die Humusgehaltswerte in den untersuchten Acker- und Grünlandböden ( $n = 590$ ) beziehen sich auf die Bodentiefe 0–15 cm. Anhand des Humusgehaltes kann die Bodenqualität der Ackerböden beurteilt werden. Der Großteil der Humusgehalte liegt in dem Bereich von 2 % – 4 %. Diese entsprechen Ackerböden. Auffällig ist, dass im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes höhere Humusgehalte als im Osten vorliegen.



**Abb. 29:** Geostatistische Interpolation der Humusgehalte (SCHAUMBERGER, 2012)

#### N-Gehalte

Aus den N-Gehaltswerten ist ersichtlich, dass ein ähnliches Bild wie bei den Humusgehalten vorliegt. Ein Großteil der Werte liegt zwischen 0,2 % – 0,3 % und im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes liegen die Werte höher, als im östlichen Teilgebiet (Abb. 30). Stickstoff ist überwiegend in Humus gebunden, daher die Übereinstimmung.

### Geostatistische Interpolation der N-Gehalte

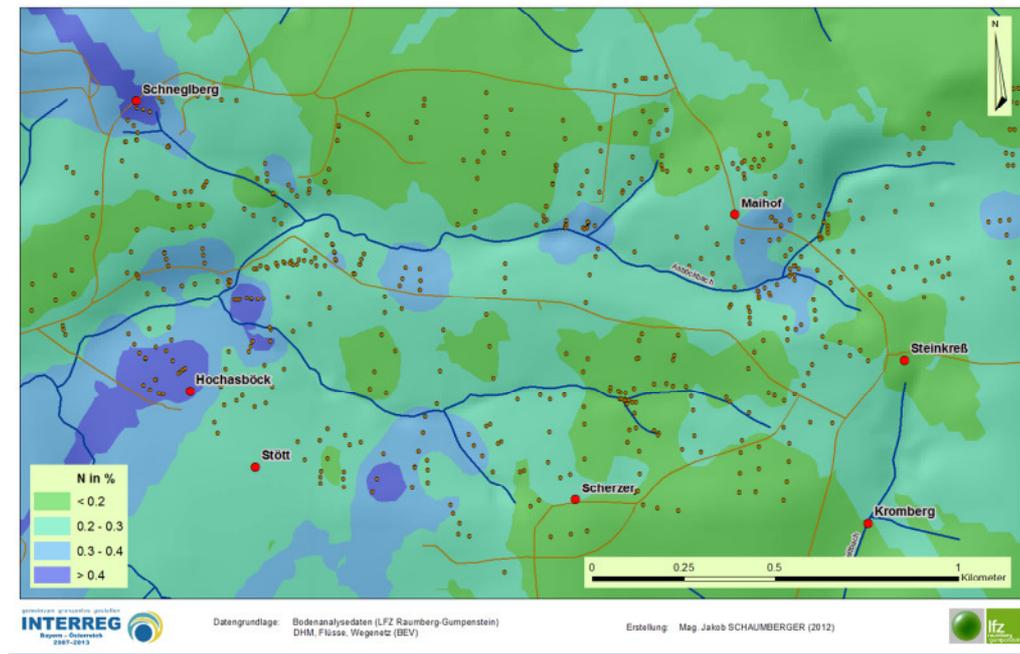


Abb. 30: Geostatistische Interpolation der N-Gehalte (SCHAUMBERGER, 2012)

### pH-Werte

### Geostatistische Interpolation der pH-Werte

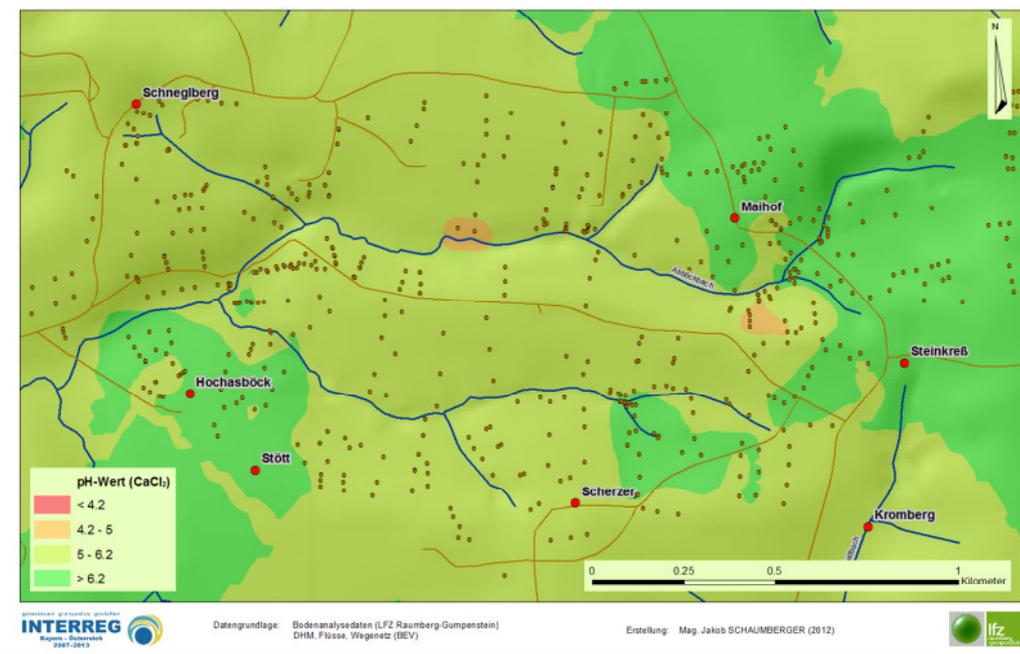
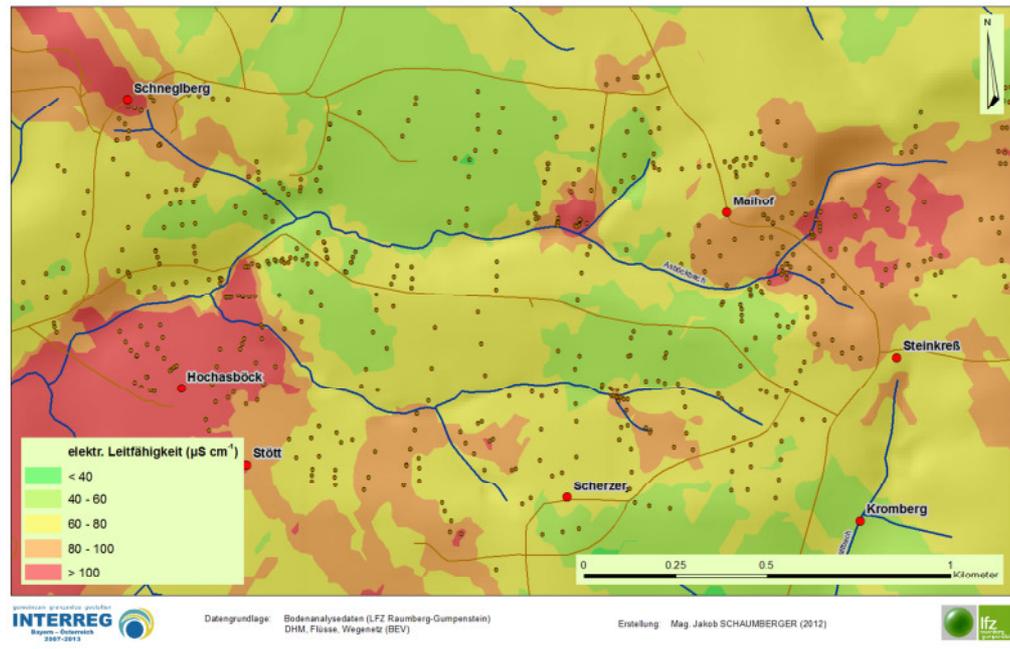


Abb. 31: Geostatistische Interpolation der pH-Werte (SCHAUMBERGER, 2012)

In Abb. 31 sind die pH-Werte nach dem Säurepufferungssystem dargestellt. Die meisten Bodenproben weisen einen pH-Wert von 5,0 – 6,2 auf. Auffällig sind zwei kleine Bereiche, wo der pH-Wert bei 4,2 – 5 liegt.

### Elektrische Leitfähigkeit

#### Geostatistische Interpolation der elektrischen Leitfähigkeit



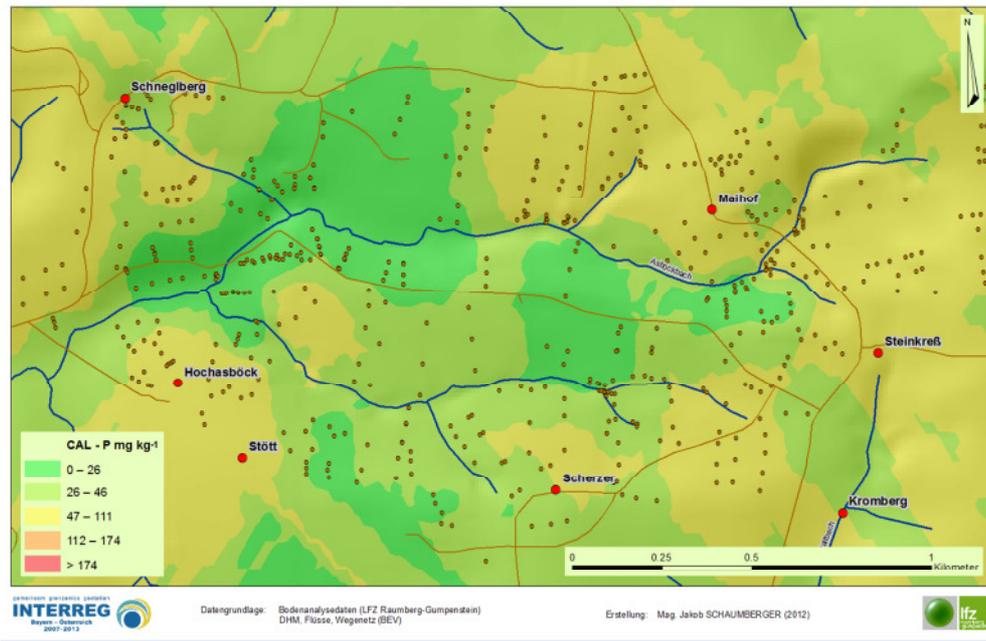
**Abb. 32:** Geostatistische Interpolation der elektrischen Leitfähigkeit (SCHAUMBERGER, 2012)

Die elektrische Leitfähigkeit einer Bodenlösung ist vom Gehaltswert an Ionen abhängig. In den untersuchten Acker- und Grünlandböden ist auffällig, dass ein Großteil der Werte zwischen 40 - 80  $\mu\text{S cm}^{-1}$  aufweisen und höhere Werte eher im östlichen bzw. westlichen Teil liegen (Abb. 32).

### CAL-lösliche Phosphor-Gehalte

Die Phosphor-Gehaltswerte sind innerhalb des Untersuchungsgebietes räumlich ungleichmäßig verteilt. Man findet lokal erhöhte und sehr niedrige Werte. In den Ackerböden liegen die Werte großteils zwischen 26 – 111  $\text{mg kg}^{-1}$  und bei den Grünlandböden liegen sehr viele Bodenproben unter 26  $\text{mg kg}^{-1}$ .

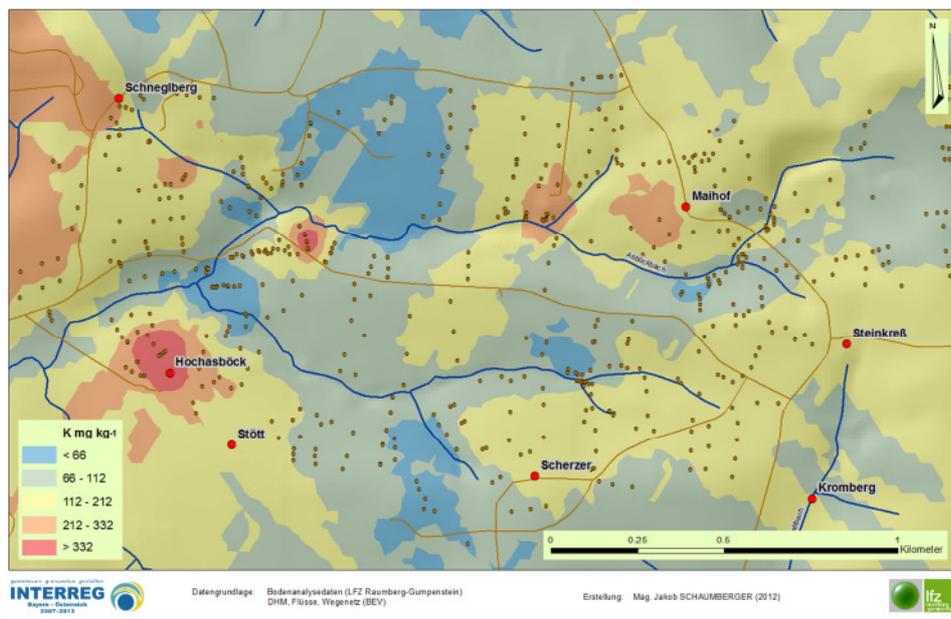
### Geostatistische Interpolation der Phosphor-Gehalte



**Abb. 33:** Geostatistische Interpolation der CAL-löslichen Phosphor-Gehalte – Einteilung für Ackerböden (SCHAUMBERGER, 2012)

### CAL-lösliche Kalium-Gehalte in den Acker- und Grünlandböden

### Geostatistische Interpolation der K-Gehalte



**Abb. 34:** Geostatistische Interpolation der CAL-löslichen Kalium-Gehalte – Einteilung für Grünlandböden (SCHAUMBERGER, 2012)

Ein Großteil der Ackerböden (Abb. 34) im Untersuchungsgebiet weist Kaliumgehaltswerte von  $66 - 212 \text{ mg kg}^{-1}$  auf. Auffällig ist, dass im Westen rund um den Punkt Hochasböck höhere Werte vorliegen.

### Wasserlösliche Phosphor-Gehalte

Wie beim CAL-löslichen Phosphor-Gehaltswert in Abb. 35 liegt auch beim wasserlöslichen Phosphor-Gehaltswert eine ungleichmäßige räumliche Verteilung, mit lokal erhöhten und sehr niedrigen Werten vor.

### Geostatistische Interpolation der Phosphor-Gehalte

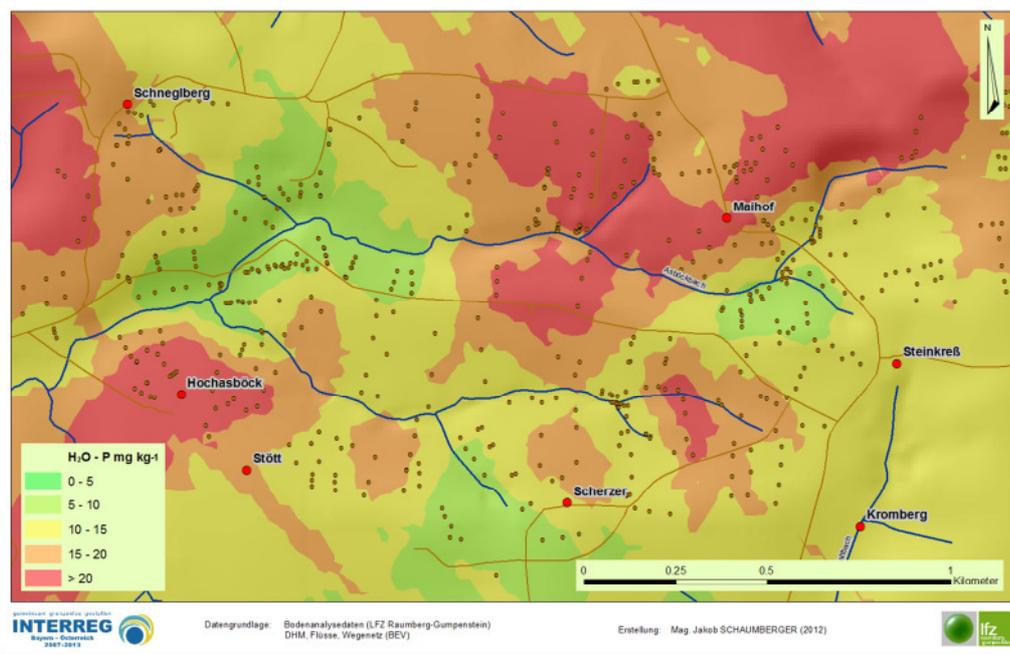


Abb. 35: Geostatistische Interpolation der wasserlöslichen Phosphor-Gehalte (SCHAUMBERGER, 2012)

### Aggregatstabilität

Im Untersuchungsgebiet variiert, wie aus Abb. 36 ersichtlich, die Aggregatstabilität von 40 % – 80 %. Die hoch unterschiedlichen Werte sind räumlich ungleichmäßig verteilt. Ersichtlich ist, dass im westlichen Untersuchungsgebiet vermehrt stabilere Aggregate vorliegen. Die Wasserstabilität der Aggregate ist im Grünland generell höher als im Ackerland.

### Geostatistische Interpolation der Aggregatstabilität

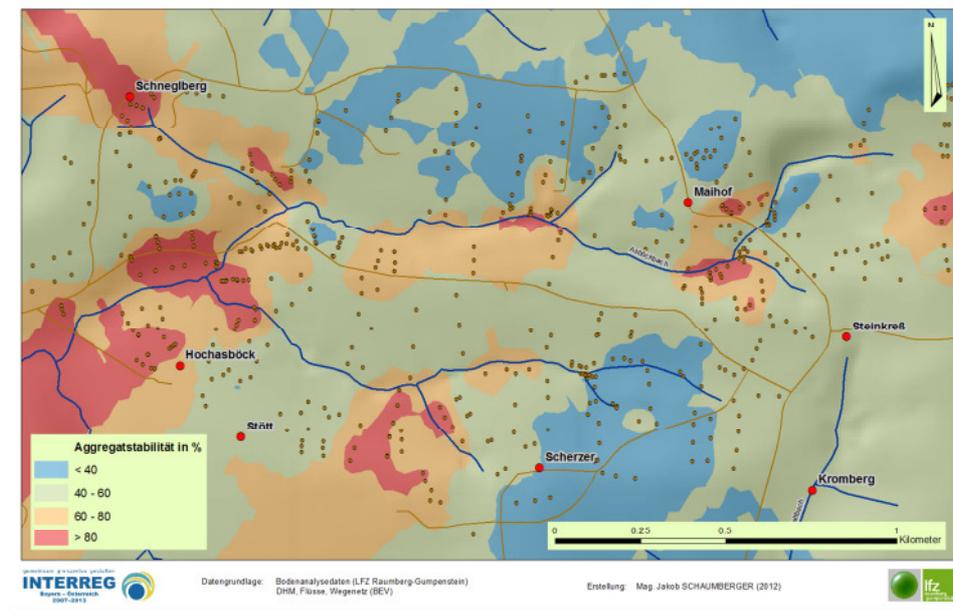


Abb. 36: Geostatistische Interpolation der Aggregatstabilität (SCHAUMBERGER, 2012)

## 5.2. Einstufung der Gehaltswerte an Phosphor und Kalium nach CAL

Die Gehalte an Phosphor und Kalium nach CAL (ÖNORM L 1087) können den entsprechenden Gehaltsklassen und Versorgungsstufen nach der Richtlinie für die Sachgerechte Düngung zugeordnet werden (A bis E). Um die Ackerböden mit den Grünlandböden hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes im Oberboden vergleichbar zu machen, erfolgte die Probenahme auf allen Flächen einheitlich aus der Tiefenstufe 0-15 cm. Der Großteil der Ackerböden fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor und Kalium in die Gehaltsstufe C (ausreichend) (Abb. 37 und Abb. 38). Nur wenige Bodenproben befinden sich in der Gehaltsstufe D (hoch) bei den Phosphorgehalten und in der Gehaltsstufe D und E (hoch und sehr hoch) bei den Kalium-Gehalten. In Abb. 39 ist ersichtlich, dass sich im Grünland ein Großteil der Bodenproben bei den Phosphor-Gehalten in der Gehaltsstufe A (sehr niedrig) befinden. Nur wenige Grünlandböden gehören der Gehaltsstufe D und E (hoch und sehr hoch) an. Bei den Kalium-Gehalten im Grünland (Abb. 40) hingegen befinden sich die meisten Bodenproben in der Gehaltstufe B und C (niedrig und ausreichend). Wenige Grünlandböden weisen auch Bodenproben in der Gehaltstufe D und E (hoch und sehr hoch) auf.

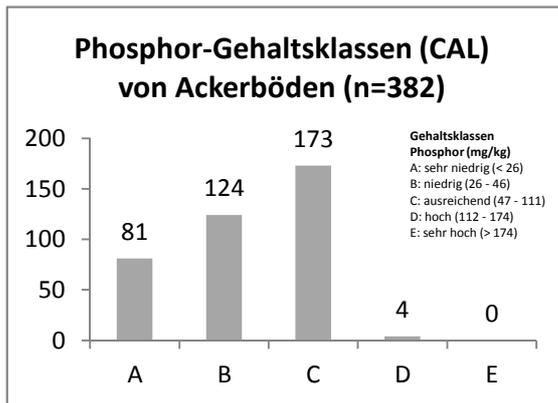


Abb. 37: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden

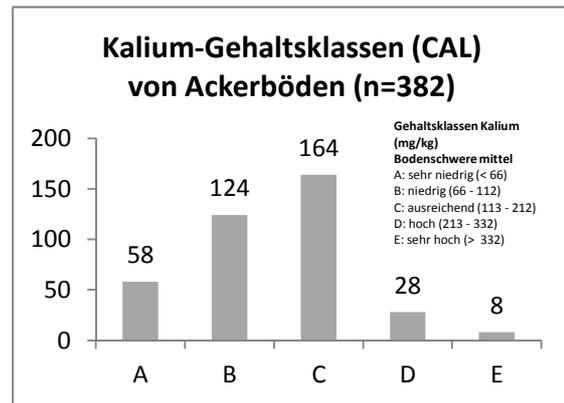


Abb. 38: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Ackerböden

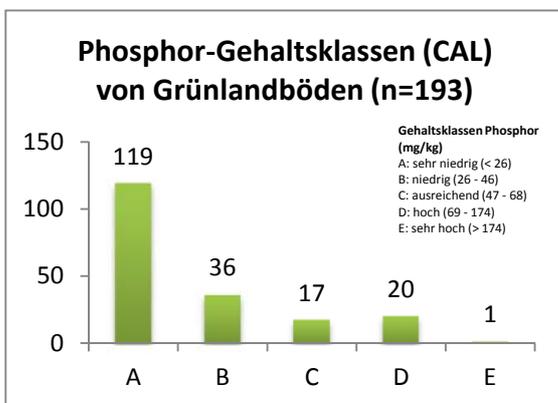


Abb. 39: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden

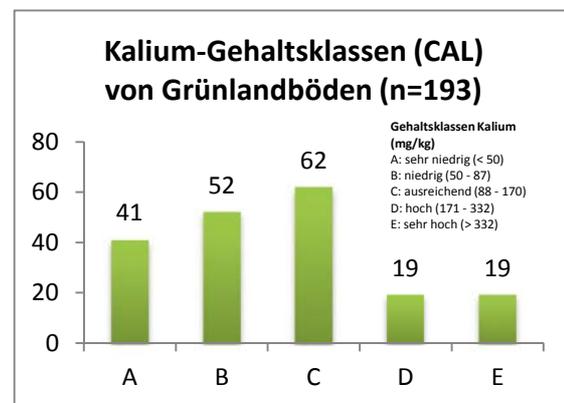


Abb. 40: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) der untersuchten Grünlandböden

### 5.3. pH-Pufferbereiche

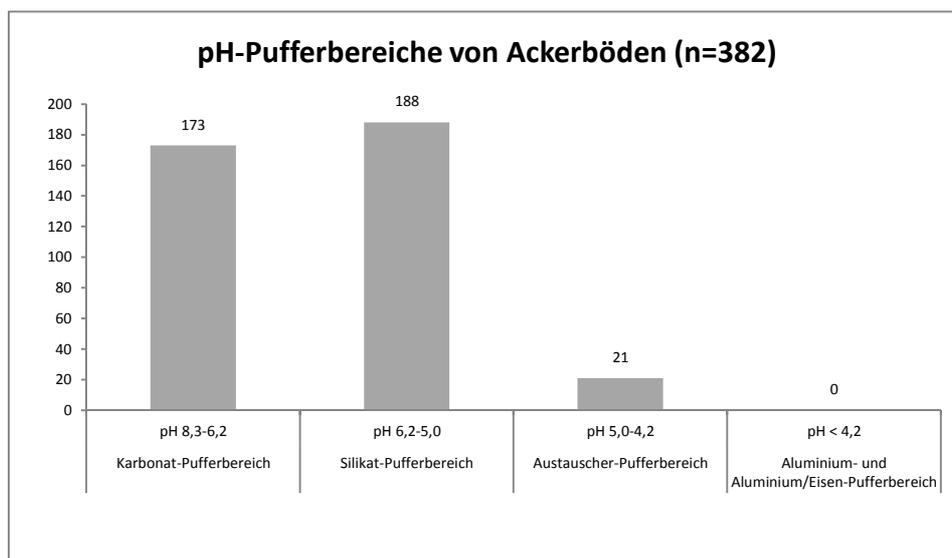
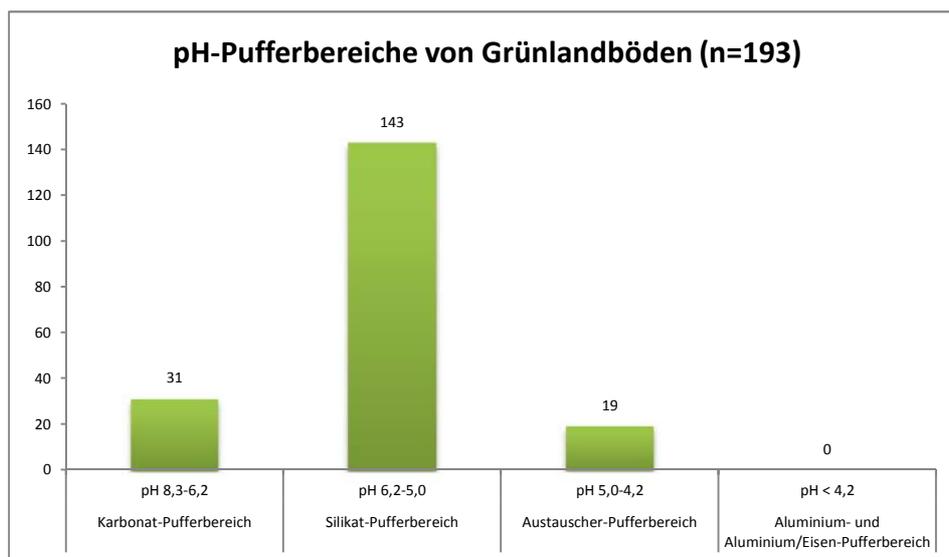


Abb. 41: pH-Pufferbereiche von Ackerböden



**Abb. 42:** pH-Pufferbereiche von Grünlandböden

Die pH-Pufferbereiche sind nach Ulrich (1981) eingeteilt. Bei den Ackerböden befinden sich die meisten Bodenproben im Karbonat- bzw. Silikat-Pufferbereich (pH 6,2 – 8,3 bzw. pH 6,2 - 5,0). Im Grünland findet man fast alle Proben im Silikat-Pufferbereich (pH 6,2 - 5,0). Dieser Pufferbereich ist günstig für das Grünland.

#### 5.4. Ausgewählte Bodenkennwerte

**Tab. 2:** Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart und der Reliefposition

Kulturart	n	CaCl <sub>2</sub> μS cm <sup>-1</sup>		%			C:N	C:S	N:S
		pH	eL	C <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	S <sub>t</sub>			
Getreide Oberhang	54	5,9	60	1,59	0,20	0,02	7,8	96	12
Getreide Mittelhang	65	6,1	69	1,63	0,20	0,02	8,0	94	12
Getreide Unterhang	53	6,0	66	1,67	0,20	0,02	8,1	102	13
Mais Oberhang	41	5,9	68	1,88	0,22	0,02	7,8	104	14
Mais Mittelhang	47	5,9	68	1,65	0,22	0,02	7,7	112	15
Mais Unterhang	43	6,1	72	1,69	0,22	0,02	7,8	107	14
Ölpflanzen Oberhang	24	6,6	96	2,06	0,24	0,02	8,7	143	16
Ölpflanzen Mittelhang	20	6,4	83	1,76	0,22	0,02	7,9	120	15
Ölpflanzen Unterhang	35	6,7	96	2,03	0,22	0,14	9,2	170	18
Wechselgrünland Oberhang	14	5,8	69	1,95	0,23	0,02	8,4	99	12
Wechselgrünland Mittelhang	11	6,0	103	3,25	0,34	0,02	8,9	170	19
Wechselgrünland Unterhang	37	5,9	94	3,07	0,32	0,02	9,5	153	16
Dauergrünland Oberhang	38	5,7	103	3,01	0,36	0,04	8,3	99	12
Dauergrünland Mittelhang	40	5,5	82	3,14	0,37	0,04	8,4	107	13
Dauergrünland Unterhang	53	5,6	101	3,30	0,39	0,38	8,5	102	12

n = Anzahl der Bodenanalysen; eL = elektrische Leitfähigkeit; C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub>, S<sub>t</sub> = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel

**Tab. 3:** Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Kulturart und der Reliefposition

Kulturart und Reliefposition	n	mg kg <sup>-1</sup>			%
		CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	
Getreide Oberhang	54	44	130	16	44
Getreide Mittelhang	65	53	141	16	45
Getreide Unterhang	53	46	112	16	46
Mais Oberhang	41	45	153	15	43
Mais Mittelhang	47	41	159	13	43
Mais Unterhang	43	42	118	13	44
Ölpflanzen Oberhang	24	57	148	18	50
Ölpflanzen Mittelhang	20	48	113	16	45
Ölpflanzen Unterhang	35	55	103	13	47
Wechselgrünland Oberhang	14	28	109	10	62
Wechselgrünland Mittelhang	11	21	88	9	74
Wechselgrünland Unterhang	37	27	82	12	77
Dauergrünland Oberhang	38	42	206	18	82
Dauergrünland Mittelhang	40	26	115	14	85
Dauergrünland Unterhang	53	29	178	12	86

n = Anzahl der Bodenanalysen; CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H<sub>2</sub>O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; AS = Aggregatstabilität

Generell sind der Humusgehalt, die Humusqualität und die Nährstoffgehaltswerte überragend von der Fruchtart abhängig. Der Humusgehalt und somit auch der Gesamtgehalt an Stickstoff und Schwefel sind in den Böden des Dauergrünlandes deutlich höher als in den Ackerböden. Das Wechselgrünland nimmt eine Zwischenstellung ein. Deutlich erkennbar ist auch, dass die Humusgehalte bei den Kulturen Mais und Ölpflanzen am Oberhang höher sind, als am Mittel- bzw. Unterhang. Dies ist ein Ergebnis entgegen der Erwartungen. Im Grünland zeigt sich das Gegenteil. Die Ackerböden mit den Fruchtarten Mais und Getreide weisen im Durchschnitt die niedrigsten C : N-Verhältnisse auf. Die C : N- und C : S-Verhältnisse weisen am Unterhang bei den Acker- und Grünlandflächen ein vergleichsweise weiteres Verhältnis auf. Dies sind Hinweise für eine Anreicherung von stickstoff- und schwefelärmeren Humus am Unterhang. Hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor sind die Ackerböden mit den Fruchtarten Getreide, Mais und Ölpflanzen im Durchschnitt besser versorgt als die Grünlandböden. Bei den Fruchtarten Mais, Ölpflanzen, Wechselgrünland und Dauergrünland sind die CAL-löslichen Phosphor-Gehalte am Oberhang höher als am Mittel- bzw. Unterhang. Die Böden des Dauergrünlandes hingegen sind im Mittel hoch mit CAL-löslichem Kalium versorgt. Die

Aggregatstabilität in den Grünlandböden ist deutlich höher als in den Ackerböden. Die Ackerböden mit der Fruchtarten Mais weisen im Durchschnitt die niedrigste Aggregatstabilität auf. Am Unterhang liegen meist höhere Werte der Aggregatstabilität vor als am Oberhang. Nur bei den Ölpflanzen ist dies entgegengesetzt (Tab. 2 und Tab. 3).

**Tab. 4:** Phosphor-Fractionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0-15 cm Bodentiefe)

	Ackerböden (n = 48)							Grünlandböden (n = 45)						
	mg kg <sup>-1</sup>					mmol kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>					mmol kg <sup>-1</sup>	
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
<b>Min</b>	552	223	242	316	29	62	10	427	68	194	175	29	62	4
<b>Max</b>	1269	842	453	911	66	132	36	1370	992	772	930	86	133	30
<b>Median</b>	708	366	350	461	47	85	17	689	266	435	374	62	82	14
<b>MW</b>	<b>769</b>	<b>419</b>	<b>350</b>	<b>505</b>	<b>47</b>	<b>90</b>	<b>19</b>	<b>778</b>	<b>321</b>	<b>457</b>	<b>418</b>	<b>62</b>	<b>88</b>	<b>16</b>

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor; P<sub>i</sub> = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor; P<sub>o</sub> = Gesamtgehalt an organischem Phosphor; P<sub>ox</sub> = Gesamtgehalt an oxalateextrahierbarem Phosphor; P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad

**Tab. 5:** Oxalateextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan (0-15 cm Bodentiefe)

	Ackerböden (n = 48)			Grünlandböden (n = 45)		
	mg kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>
<b>Min</b>	780	3889	561	848	2772	155
<b>Max</b>	2813	8480	1389	2895	8601	1245
<b>Median</b>	1423	5607	852	1361	5542	694
<b>MW</b>	<b>1614</b>	<b>5810</b>	<b>865</b>	<b>1652</b>	<b>5729</b>	<b>698</b>

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub> = oxalateextrahierbares Aluminium, Eisen, Mangan

Der Phosphor-Vorrat liegt im Oberboden in unterschiedlicher Bindungsform vor. Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen Acker- und Grünlandböden (Tab. 4). Die Ackerböden weisen im Durchschnitt einen niedrigeren Gesamtelementgehalt an Phosphor und einen geringeren Gesamtgehalt an organischem Phosphor als die Grünlandböden auf. Im Gegensatz dazu sind die Gehaltswerte an anorganischem Phosphor und oxalateextrahierbarem Phosphor vergleichsweise höher. Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt beträgt in den Ackerböden im Durchschnitt 47 % und in den Grünlandböden 62 %. In den Ackerböden ist der

oxalateextrahierbare Phosphor und in den Grünlandböden der organisch gebundene Phosphor die dominierende Phosphor-Fraktion und somit der größte Phosphor-Pool im Oberboden. In den Ackerböden sind die  $C_t : P_t$ - und  $C_t : P_o$ -Verhältnisse mit durchschnittlich 22 : 1 und 48 : 1 enger als in den Grünlandböden; hier betragen die entsprechenden Quotienten im Durchschnitt 42 : 1 und 72 : 1. In den Acker- und Grünlandböden haben vor allem die amorphen Eisen-Oxide eine große Bedeutung für die Adsorption und Festlegung von Phosphor (Tab. 5). Die Böden besitzen in den obersten 15 cm auf Grund der hohen Gehalte an amorphen Eisen-Oxiden eine große Phosphor-Speicherkapazität (PSC). Sie ist in den Grünlandböden im Durchschnitt etwas geringer als in den Ackerböden (Tab. 4). Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) ist sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandböden mit durchschnittlich 19 % bzw. 16 % sehr niedrig (Tab. 4). Das Risiko für erhöhte Phosphor-Verluste durch Auswaschung ist daher gering.

**Tab. 6:** Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von der Reliefposition

Reliefposition	n	CaCl <sub>2</sub> μS cm <sup>-1</sup>			%						mg kg <sup>-1</sup>			%	
		pH	eL		C <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	S <sub>t</sub>	C:N	C:S	N:S	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	P <sub>t</sub>	P <sub>org</sub>
Acker Oberhang	119	6,1	64	1,61	0,20	0,02	7,9	109	14	43	123	15	756	42	44
Acker Mittelhang	132	6,1	63	1,60	0,20	0,02	7,9	104	13	46	124	15	674	50	44
Acker Unterhang	131	6,2	70	1,69	0,21	0,02	8,1	122	15	45	98	15	756	47	44
Grünland Oberhang	52	5,7	81	2,84	0,34	0,03	8,4	99	12	26	103	10	665	55	84
Grünland Mittelhang	51	5,6	80	3,01	0,36	0,03	8,6	120	14	18	92	10	684	63	90
Grünland Unterhang	90	5,6	81	2,92	0,33	0,03	8,7	123	14	16	76	9	742	64	86

n = Anzahl der Bodenanalysen; eL = elektrische Leitfähigkeit; C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub>, S<sub>t</sub> = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel; CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H<sub>2</sub>O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor (48 Bodenanalysen Acker, 45 Bodenanalysen Grünland); P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt (48 Bodenanalysen Acker, 45 Bodenanalysen Grünland); AS = Aggregatstabilität

In Tab. 6 sind die Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Reliefposition dargestellt. In der vorliegenden dieser Arbeit wurden die Felder von Getreide, Mais und Ölfrüchte zu den Ackerböden und Wechselgrünland, Dauergrünland zum Grünland gezählt. Der Humusgehaltswert ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden am Unterhang höher und die C : N- bzw. C : S-Verhältnisse sind im Durchschnitt am Unterhang weiter als am Oberhang. Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden am Mittel- und Unterhang höher als am Oberhang. Dies ist ein Hinweis für eine stärkere

Anreicherung von organisch gebundenem Phosphor am Mittel- bzw. Unterhang der landwirtschaftlich genutzten Flächen. In den Ackerböden ist kein Unterschied bezüglich Aggregatstabilität und Reliefposition erkennbar und im Grünland liegen am Unterhang höhere Werte vor. Die CAL-löslichen Phosphor-Gehaltswerte sind bei den Ackerböden im Unterhang etwas höher. Der Unterschied ist aber sehr gering. Im Grünland sind die Phosphor-Gehalte der einzelnen Phosphor-Fractionen im Unterhang deutlich niedriger als im Oberhang.

**Tab. 7:** Allgemeine Bodenkennwerte (arithmetischer Mittelwert, 0-15 cm Bodentiefe, n = 392) im Verhältnis Oberhang : Unterhang

	Acker	Grünland
pH CaCl <sub>2</sub>	0,98	1,01
eL	0,91	1,00
C <sub>t</sub>	0,95	0,97
N <sub>t</sub>	0,95	1,02
S <sub>t</sub>	1,00	1,00
P <sub>t</sub>	1,00	0,90
C:N	0,97	0,96
C:S	0,89	0,80
N:S	0,93	0,88
CAL-P	0,96	1,59
CAL-K	1,25	1,35
H <sub>2</sub> O-P	1,01	1,14
P <sub>org</sub>	0,88	0,86
AS	1,00	0,97

eL = elektrische Leitfähigkeit; C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub>, S<sub>t</sub> = Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel; P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor (48 Bodenanalysen Acker, 45 Bodenanalysen Grünland); CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; H<sub>2</sub>O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt (48 Bodenanalysen Acker, 45 Bodenanalysen Grünland); AS = Aggregatstabilität

In Tab. 7 ist das Verhältnis der einzelnen Bodenkennwerte zwischen Ober- und Unterhang angeführt. Die Quotienten sind mit sieben Ausnahmen (S<sub>t</sub>, P<sub>t</sub>, C : N, C : S, N : S, P<sub>org</sub>, AS) bei den Ackerböden immer enger als bei den Grünlandböden. Ein enges Verhältnis bedeutet relative Anreicherung am Unterhang.

## 5.5. Spearmansche Rangkorrelationen

In den Tab. 8 bis 16 sind Rangkorrelationen nach Spearman (TOUTENBURG et al., 2009) dargestellt. In den Tab. 8, 9 und 10 sind die Gesamtdaten korreliert. In den Tab. 11, 12 und 13 sind die Ackerflächendaten (Getreide, Mais, Ölf Früchte) korreliert und in den Tab. 14, 15 und 16 die Grünlandflächendaten (Dauergrünland, Wechselgrünland). Generell gilt, je stärker die Abhängigkeit, desto näher liegt  $|p_s|$  bei 1. Bei negativen Werten spricht man von gegensinnigen Zusammenhängen und bei positiven von gleichsinnigen Zusammenhängen. Ein Wert von 0 zeigt keinen Zusammenhang.

Bei den Gesamtdaten ( $n = 590$ ) in Tab. 8 ist ersichtlich, dass der Kohlenstoffgehaltswert sehr gut mit der Aggregatstabilität und Stickstoff korreliert. Es besteht auch ein mittlerer Zusammenhang zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt einerseits und CAL-löslichem Kalium-Gehalt, wasserlöslichem Phosphor-Gehalt und pH-Wert andererseits. Bei den Rangkorrelationen in den Ackerböden ( $n = 385$ ) ist auch ein mittlerer Zusammenhang zwischen dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt und CAL-löslichen Kalium-Gehalt erkennbar. Auffällig ist eine stärkere Abhängigkeit zwischen dem pH-Wert und der elektrischen Leitfähigkeit. In den Ackerböden gibt es auch einen starken Zusammenhang zwischen Kohlenstoff und Stickstoff, jedoch nur einen schwachen Zusammenhang zwischen Kohlenstoff und der Aggregatstabilität (Tab. 11). In Tab. 14 (Grünland;  $n = 138$ ) sind ähnliche Zusammenhänge ersichtlich. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt korreliert stark mit dem pH-Wert und dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt. Kohlenstoff korreliert sehr stark mit Stickstoff und mit der elektrischen Leitfähigkeit, jedoch schwach mit der Aggregatstabilität. Auffällig ist, dass der Schwefel stark mit dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, der elektrischen Leitfähigkeit und dem Kohlenstoff korreliert.

In Tab. 9 und Tab. 10 sind die Gesamtdaten ( $n = 93$ ) korreliert. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt korreliert stark mit dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem CAL-löslichen Kalium und dem pH-Wert. Eine starke Abhängigkeit besteht auch zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt einerseits und dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt, dem anorganischem Phosphor-Gehalt und dem Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) andererseits. Mit dem Anteil des organisch gebundenen

Phosphor-Gesamtgehaltes besteht hingegen ein gegensinniger starker Zusammenhang. Der Gesamtelementgehalt an Phosphor korreliert mit dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt, dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt, dem anorganischen Phosphor-Gehalt und dem Phosphor-Sättigungsgrad. Der oxalateextrahierbare Phosphorgehalt korreliert stark mit dem Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) und das oxalateextrahierbare Aluminium und Eisen korrelieren stark mit der Phosphor-Speicherkapazität (PSC). Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) korreliert stark mit dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt, dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt und dem anorganischen Phosphor-Gehalt.

In Tab. 12 und Tab. 13 sind die Rangkorrelationen der Ackerböden ( $n = 49$ ) dargestellt. Es zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie bei den Gesamtdaten. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt korreliert stark mit dem CAL-löslichen Kalium-Gehalt, dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt, dem anorganischen Phosphor-Gehalt und dem Phosphor-Sättigungsgrad. Die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) korreliert wieder stark mit dem oxalateextrahierbaren Aluminium- und Eisen-Gehalt. Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) korreliert stark mit dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt, dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt, dem anorganischen Phosphor-Gehalt und dem Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt.

Die Spearmanschen Rangkorrelationen vom Grünland ( $n = 31$ ) befinden sich in der Tab. 15 und Tab. 16. Wie in den Tab. 8 bis 14 zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt korreliert stark mit dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem pH-Wert, der elektrischen Leitfähigkeit, dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor, dem anorganischem Phosphor-Gehalt, dem Anteil an organisch gebunden Phosphor und dem Phosphor-Sättigungsgrad (DPS). Die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) zeigt einen starken Zusammenhang mit dem oxalateextrahierbaren Aluminium- und Eisen-Gehalt. Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) korreliert stark mit dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt, dem wasserlöslichen Phosphor-Gehalt, dem pH-

---

Wert, der elektrischen Leitfähigkeit, dem Gesamtelementgehalt an Phosphor, dem oxalateextrahierbaren Phosphor-Gehalt und dem anorganischen Phosphor-Gehalt.

5.5.1. Rangkorrelationen (Gesamtdaten)

Tab. 8: Rangkorrelationen (Gesamtdaten, n = 590)

		CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>
<b>CAL-P</b>	Correlation Coefficient		0,62	0,595	0,566	0,311	-0,352	-0,164	-0,117	0,035	0,036
	Sig. (2-tailed)		0	0	0	0	0	0	0,004	0,397	0,389
<b>CAL-K</b>	Correlation Coefficient	0,62		0,502	0,251	0,202	-0,25	-0,019	0,006	0,053	0,06
	Sig. (2-tailed)	0		0	0	0	0	0,651	0,893	0,201	0,149
<b>H<sub>2</sub>O-P</b>	Correlation Coefficient	0,595	0,502		0,26	0,114	-0,239	-0,049	-0,1	-0,154	-0,02
	Sig. (2-tailed)	0	0		0	0,006	0	0,237	0,015	0	0,636
<b>pH CaCl<sub>2</sub></b>	Correlation Coefficient	0,566	0,251	0,26		0,539	-0,306	-0,162	-0,066	0,119	-0,081
	Sig. (2-tailed)	0	0	0		0	0	0	0,111	0,004	0,05
<b>eL</b>	Correlation Coefficient	0,311	0,202	0,114	0,539		0,312	0,491	0,593	0,451	0,378
	Sig. (2-tailed)	0	0	0,006	0		0	0	0	0	0
<b>AS</b>	Correlation Coefficient	-0,352	-0,25	-0,239	-0,306	0,312		0,753	0,768	0,427	0,468
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	0	0		0	0	0	0
<b>N<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	-0,164	-0,019	-0,049	-0,162	0,491	0,753		0,92	0,318	0,479
	Sig. (2-tailed)	0	0,651	0,237	0	0	0		0	0	0
<b>C<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	-0,117	0,006	-0,1	-0,066	0,593	0,768	0,92		0,587	0,52
	Sig. (2-tailed)	0,004	0,893	0,015	0,111	0	0	0		0	0
<b>C/N</b>	Correlation Coefficient	0,035	0,053	-0,154	0,119	0,451	0,427	0,318	0,587		0,519
	Sig. (2-tailed)	0,397	0,201	0	0,004	0	0	0	0		0
<b>S<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	0,036	0,06	-0,02	-0,081	0,378	0,468	0,479	0,52	0,519	
	Sig. (2-tailed)	0,389	0,149	0,636	0,05	0	0	0	0	0	

5.5.1. Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten)

Tab. 9: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten, n = 93)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
<b>CAL-P</b> <sup>1</sup>		0,659	0,862	0,658	0,385	-0,422	-0,209	-0,091	0,202	0,006	0,775	-0,121	0,033	0,007	0,865	-0,105	-0,076	0,061	0,933	-0,08	-0,875	-0,106	0,769
		0	0	0	0	0	0,039	0,374	0,046	0,952	0	0,236	0,748	0,946	0	0,302	0,455	0,55	0	0,435	0	0,298	0
<b>CAL-K</b>	0,659		0,623	0,409	0,259	-0,332	-0,13	-0,025	0,155	-0,04	0,459	-0,15	0,085	0,07	0,586	-0,145	0,032	0,081	0,646	-0,145	-0,634	-0,034	0,511
	0		0	0	0,01	0,001	0,202	0,807	0,128	0,695	0	0,141	0,407	0,494	0	0,155	0,758	0,427	0	0,154	0	0,738	0
<b>H<sub>2</sub>O-P</b>	0,862	0,623		0,475	0,402	-0,236	-0,043	0,071	0,264	0,125	0,793	-0,161	-0,089	0,125	0,778	-0,077	-0,131	0,225	0,787	0,193	-0,635	-0,12	0,713
	0	0		0	0	0,019	0,673	0,485	0,009	0,22	0	0,112	0,385	0,22	0	0,452	0,198	0,026	0	0,058	0	0,238	0
<b>pH CaCl<sub>2</sub></b>	0,658	0,409	0,475		0,53	-0,323	-0,142	-0,034	0,253	-0,054	0,483	-0,187	-0,163	-0,091	0,565	-0,037	-0,192	-0,022	0,649	-0,183	-0,65	-0,154	0,554
	0	0	0		0	0,001	0,162	0,743	0,012	0,599	0	0,066	0,109	0,374	0	0,717	0,058	0,832	0	0,071	0	0,129	0
<b>eL</b>	0,385	0,259	0,402	0,53		0,434	0,622	0,71	0,525	0,607	0,56	-0,219	-0,213	-0,203	0,38	-0,131	-0,114	-0,167	0,367	0,42	-0,147	-0,184	0,42
	0	0,01	0	0		0	0	0	0	0	0	0,03	0,035	0,044	0	0,2	0,264	0,101	0	0	0,149	0,07	0
<b>AS</b>	-0,422	-0,332	-0,236	-0,323	0,434		0,808	0,807	0,313	0,676	-0,009	0	-0,168	-0,209	-0,296	0,022	-0,07	-0,225	-0,368	0,594	0,594	-0,061	-0,203
	0	0,001	0,019	0,001	0		0	0	0,002	0	0,933	0,999	0,099	0,039	0,003	0,829	0,491	0,026	0	0	0	0,553	0,045
<b>N<sub>t</sub></b>	-0,209	-0,13	-0,043	-0,142	0,622	0,808		0,907	0,217	0,753	0,224	0,026	-0,062	-0,138	-0,05	-0,028	0,092	-0,145	-0,164	0,706	0,448	0	-0,033
	0,039	0,202	0,673	0,162	0	0		0	0,032	0	0,027	0,8	0,546	0,176	0,627	0,786	0,366	0,155	0,106	0	0	0,999	0,749
<b>C<sub>t</sub></b>	-0,091	-0,025	0,071	-0,034	0,71	0,807	0,907		0,533	0,77	0,304	-0,061	-0,163	-0,223	0,027	-0,023	0,005	-0,204	-0,067	0,681	0,353	-0,057	0,071
	0,374	0,807	0,485	0,743	0	0	0		0	0	0,002	0,55	0,108	0,027	0,792	0,821	0,958	0,044	0,513	0	0	0,579	0,488
<b>C/N</b>	0,202	0,155	0,264	0,253	0,525	0,313	0,217	0,533		0,457	0,341	-0,325	-0,401	-0,217	0,223	-0,004	-0,145	-0,146	0,195	0,273	-0,018	-0,144	0,29
	0,046	0,128	0,009	0,012	0	0,002	0,032	0		0	0,001	0,001	0	0,032	0,027	0,968	0,154	0,151	0,054	0,007	0,864	0,157	0,004
<b>S<sub>t</sub></b>	0,006	-0,04	0,125	-0,054	0,607	0,676	0,753	0,77	0,457		0,37	-0,103	-0,078	-0,203	0,104	-0,162	-0,138	-0,232	0,036	0,612	0,247	-0,22	0,208
	0,952	0,695	0,22	0,599	0	0	0	0	0		0	0,314	0,444	0,045	0,307	0,111	0,176	0,021	0,726	0	0,014	0,03	0,04
<b>P<sub>t</sub></b>	0,775	0,459	0,793	0,483	0,56	-0,009	0,224	0,304	0,341	0,37		-0,181	-0,039	-0,032	0,891	-0,152	-0,113	0,029	0,835	0,436	-0,567	-0,177	0,833
	0	0	0	0	0	0,933	0,027	0,002	0,001	0		0,074	0,701	0,758	0	0,135	0,27	0,776	0	0	0	0,081	0

<sup>1</sup>Bei jedem Nährstoff wird in der oberen Zeile der „Correlation Coefficient“ angezeigt. In der jeweils zweiten Zeile findet man Sig. (2-tailed).

Tab. 10: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten, n = 93)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
Al <sub>t</sub> <sup>1</sup>	-0,121	-0,15	-0,161	-0,187	-0,219	0	0,026	-0,061	-0,325	-0,103	-0,181		0,724	-0,166	-0,175	0,669	0,518	-0,195	-0,134	-0,096	0,071	0,652	-0,481
	0,236	0,141	0,112	0,066	0,03	0,999	0,8	0,55	0,001	0,314	0,074		0	0,101	0,084	0	0	0,054	0,188	0,347	0,486	0	0
Fe <sub>t</sub>	0,033	0,085	-0,089	-0,163	-0,213	-0,168	-0,062	-0,163	-0,401	-0,078	-0,039	0,724		-0,115	-0,005	0,186	0,49	-0,235	0,028	-0,17	-0,111	0,385	-0,213
	0,748	0,407	0,385	0,109	0,035	0,099	0,546	0,108	0	0,444	0,701	0		0,258	0,962	0,066	0	0,02	0,788	0,095	0,276	0	0,035
Mn <sub>t</sub>	0,007	0,07	0,125	-0,091	-0,203	-0,209	-0,138	-0,223	-0,217	-0,203	-0,032	-0,166	-0,115		0,14	0,025	0,266	0,934	0,006	-0,07	-0,038	0,266	-0,011
	0,946	0,494	0,22	0,374	0,044	0,039	0,176	0,027	0,032	0,045	0,758	0,101	0,258		0,169	0,807	0,008	0	0,951	0,491	0,712	0,008	0,914
P <sub>ox</sub>	0,865	0,586	0,778	0,565	0,38	-0,296	-0,05	0,027	0,223	0,104	0,891	-0,175	-0,005	0,14		-0,122	0,024	0,173	0,939	0,11	-0,779	-0,056	0,858
	0	0	0	0	0	0,003	0,627	0,792	0,027	0,307	0	0,084	0,962	0,169		0,231	0,815	0,088	0	0,282	0	0,581	0
Al <sub>ox</sub>	-0,105	-0,145	-0,077	-0,037	-0,131	0,022	-0,028	-0,023	-0,004	-0,162	-0,152	0,669	0,186	0,025	-0,122		0,529	0,084	-0,117	-0,033	0,097	0,835	-0,502
	0,302	0,155	0,452	0,717	0,2	0,829	0,786	0,821	0,968	0,111	0,135	0	0,066	0,807	0,231		0	0,411	0,249	0,746	0,344	0	0
Fe <sub>ox</sub>	-0,076	0,032	-0,131	-0,192	-0,114	-0,07	0,092	0,005	-0,145	-0,138	-0,113	0,518	0,49	0,266	0,024	0,529		0,21	-0,048	-0,067	0,042	0,881	-0,41
	0,455	0,758	0,198	0,058	0,264	0,491	0,366	0,958	0,154	0,176	0,27	0	0	0,008	0,815	0		0,038	0,642	0,515	0,684	0	0
Mn <sub>ox</sub>	0,061	0,081	0,225	-0,022	-0,167	-0,225	-0,145	-0,204	-0,146	-0,232	0,029	-0,195	-0,235	0,934	0,173	0,084	0,21		0,044	-0,003	-0,055	0,265	0,013
	0,55	0,427	0,026	0,832	0,101	0,026	0,155	0,044	0,151	0,021	0,776	0,054	0,02	0	0,088	0,411	0,038		0,67	0,977	0,594	0,008	0,899
P <sub>i</sub>	0,933	0,646	0,787	0,649	0,367	-0,368	-0,164	-0,067	0,195	0,036	0,835	-0,134	0,028	0,006	0,939	-0,117	-0,048	0,044		-0,063	-0,905	-0,093	0,827
	0	0	0	0	0	0	0,106	0,513	0,054	0,726	0	0,188	0,788	0,951	0	0,249	0,642	0,67		0,54	0	0,36	0
P <sub>o</sub>	-0,08	-0,145	0,193	-0,183	0,42	0,594	0,706	0,681	0,273	0,612	0,436	-0,096	-0,17	-0,07	0,11	-0,033	-0,067	-0,003	-0,063		0,443	-0,097	0,144
	0,435	0,154	0,058	0,071	0	0	0	0	0,007	0	0	0,347	0,095	0,491	0,282	0,746	0,515	0,977	0,54		0	0,341	0,157
P <sub>org</sub>	-0,875	-0,634	-0,635	-0,65	-0,147	0,594	0,448	0,353	-0,018	0,247	-0,567	0,071	-0,111	-0,038	-0,779	0,097	0,042	-0,055	-0,905	0,443		0,059	-0,67
	0	0	0	0	0,149	0	0	0	0,864	0,014	0	0,486	0,276	0,712	0	0,344	0,684	0,594	0	0		0,567	0
PSC	-0,106	-0,034	-0,12	-0,154	-0,184	-0,061	0	-0,057	-0,144	-0,22	-0,177	0,652	0,385	0,266	-0,056	0,835	0,881	0,265	-0,093	-0,097	0,059		-0,529
	0,298	0,738	0,238	0,129	0,07	0,553	0,999	0,579	0,157	0,03	0,081	0	0	0,008	0,581	0	0	0,008	0,36	0,341	0,567		0
DPS	0,769	0,511	0,713	0,554	0,42	-0,203	-0,033	0,071	0,29	0,208	0,833	-0,481	-0,213	-0,011	0,858	-0,502	-0,41	0,013	0,827	0,144	-0,67	-0,529	
	0	0	0	0	0	0,045	0,749	0,488	0,004	0,04	0	0	0,035	0,914	0	0	0	0,899	0	0,157	0	0	

Tab. 11: Rangkorrelationen (Gesamtdaten Ackerböden, n = 385)

		CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>
<b>CAL-P</b>	Correlation Coefficient		,619**	,425**	,486**	,423**	-0,083	,116*	,257**	,266**	,249**
	Sig. (2-tailed)		0	0	0	0	0,104	0,023	0	0	0
<b>CAL-K</b>	Correlation Coefficient	,619**		,444**	,208**	,245**	-,179**	,139**	,199**	,152**	,184**
	Sig. (2-tailed)	0		0	0	0	0	0,006	0	0,003	0
<b>H<sub>2</sub>O-P</b>	Correlation Coefficient	,425**	,444**		0,051	-0,009	-0,084	0,096	0,007	-,192**	-0,054
	Sig. (2-tailed)	0	0		0,317	0,855	0,099	0,061	0,892	0	0,286
<b>pH CaCl<sub>2</sub></b>	Correlation Coefficient	,486**	,208**	0,051		,753**	-0,015	,153**	,307**	,285**	0,033
	Sig. (2-tailed)	0	0	0,317		0	0,776	0,003	0	0	0,52
<b>eL</b>	Correlation Coefficient	,423**	,245**	-0,009	,753**		,211**	,434**	,608**	,372**	,192**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0,855	0		0	0	0	0	0
<b>AS</b>	Correlation Coefficient	-0,083	-,179**	-0,084	-0,015	,211**		,494**	,495**	,137**	,148**
	Sig. (2-tailed)	0,104	0	0,099	0,776	0		0	0	0,007	0,004
<b>N<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	,116*	,139**	0,096	,153**	,434**	,494**		,855**	-0,025	,122*
	Sig. (2-tailed)	0,023	0,006	0,061	0,003	0	0		0	0,619	0,017
<b>C<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	,257**	,199**	0,007	,307**	,608**	,495**	,855**		,392**	,254**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0,892	0	0	0	0		0	0
<b>C/N</b>	Correlation Coefficient	,266**	,152**	-,192**	,285**	,372**	,137**	-0,025	,392**		,443**
	Sig. (2-tailed)	0	0,003	0	0	0	0,007	0,619	0		0
<b>S<sub>t</sub></b>	Correlation Coefficient	,249**	,184**	-0,054	0,033	,192**	,148**	,122*	,254**	,443**	
	Sig. (2-tailed)	0	0	0,286	0,52	0	0,004	0,017	0	0	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tab. 12: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Ackerböden, n = 49)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
CAL-P <sub>1</sub>		,719**	,881**	,556**	,600**	-0,279	0,003	,312*	,488**	0,137	,875**	-0,207	0,018	-,424**	,872**	-0,188	-0,241	-,289*	,958**	0,146	-,911**	-0,27	,792**
	0	0	0	0	0,052	0,983	0,029	0	0,348	0	0,153	0,905	0,002	0	0,196	0,095	0,044	0	0,315	0	0,06	0	
CAL-K	,719**		,643**	,528**	,600**	-,362*	0,143	,323*	0,262	0,126	,627**	-,313*	0,003	-0,158	,687**	-,303*	-0,113	-0,158	,724**	-0,017	-,708**	-0,211	,620**
	0	0	0	0	0,011	0,327	0,024	0,068	0,386	0	0,029	0,986	0,278	0	0,034	0,438	0,278	0	0,906	0	0,145	0	
H <sub>2</sub> O-P	,881**	,643**		,421**	,417**	-,309*	-0,105	0,22	,477**	0,071	,884**	-0,227	-0,056	-,308*	,869**	-0,195	-,357*	-0,127	,881**	0,273	-,803**	-,343*	,834**
	0	0	0,003	0,003	0,031	0,473	0,128	0,001	0,626	0	0,117	0,704	0,031	0	0,178	0,012	0,385	0	0,058	0	0,016	0	
pH CaCl <sub>2</sub>	,556**	,528**	,421**		,875**	-0,194	-0,029	,319*	,486**	-0,146	0,225	-0,198	-0,147	-0,246	,296*	0,008	-0,166	-0,109	,452**	-,350*	-,568**	-0,113	0,259
	0	0	0,003	0	0,183	0,842	0,025	0	0,316	0,12	0,172	0,314	0,089	0,039	0,954	0,254	0,456	0,001	0,014	0	0,44	0,073	
eL	,600**	,600**	,417**	,875**		0,004	,311*	,609**	,422**	0,148	,322*	-0,188	-0,048	-0,136	,388**	-0,085	-0,048	-0,092	,494**	-0,197	-,547**	-0,085	,302*
	0	0	0,003	0	0,979	0,03	0	0,003	0,31	0,024	0,195	0,741	0,351	0,006	0,564	0,743	0,527	0	0,176	0	0,564	0,035	
AS	-0,279	-,362*	-,309*	-0,194	0,004		,457**	,439**	-0,044	,432**	-0,213	0,15	-0,073	,386**	-0,24	0,112	0,088	,340*	-,298*	0,065	,321*	0,129	-0,276
	0,052	0,011	0,031	0,183	0,979	0,001	0,002	0,764	0,002	0,142	0,305	0,618	0,006	0,097	0,444	0,548	0,017	0,038	0,658	0,024	0,376	0,055	
N <sub>t</sub>	0,003	0,143	-0,105	-0,029	,311*	,457**		,769**	-,393**	,421**	0,112	,303*	,446**	,380**	0,156	-0,035	,453**	0,224	0,006	0,28	0,09	0,276	-0,087
	0,983	0,327	0,473	0,842	0,03	0,001	0	0,005	0,003	0,445	0,034	0,001	0,007	0,284	0,811	0,001	0,121	0,968	0,051	0,538	0,055	0,55	
C <sub>t</sub>	,312*	,323*	0,22	,319*	,609**	,439**	,769**		0,21	,505**	,312*	0,112	0,188	0,147	,335*	-0,057	0,194	0,106	0,27	0,186	-0,205	0,087	0,156
	0,029	0,024	0,128	0,025	0	0,002	0	0,148	0	0,029	0,444	0,195	0,315	0,019	0,698	0,182	0,469	0,06	0,2	0,157	0,55	0,283	
C/N	,488**	0,262	,477**	,486**	,422**	-0,044	-,393**	0,21		0,058	,282*	-,305*	-,387**	-,351*	0,28	0,049	-,322*	-0,183	,404**	-0,165	-,470**	-0,192	,321*
	0	0,068	0,001	0	0,003	0,764	0,005	0,148	0,69	0,05	0,033	0,006	0,013	0,052	0,737	0,024	0,208	0,004	0,257	0,001	0,187	0,024	
S <sub>t</sub>	0,137	0,126	0,071	-0,146	0,148	,432**	,421**	,505**	0,058		0,257	-0,066	0,228	0,032	0,185	-,323*	-0,086	-0,095	0,197	0,209	-0,119	-0,211	0,242
	0,348	0,386	0,626	0,316	0,31	0,002	0,003	0	0,69	0,074	0,651	0,116	0,827	0,204	0,024	0,558	0,516	0,175	0,149	0,414	0,146	0,093	
P <sub>t</sub>	,875**	,627**	,884**	0,225	,322*	-0,213	0,112	,312*	,282*	0,257		-0,089	0,162	-,286*	,959**	-0,219	-0,181	-0,164	,909**	,499**	-,758**	-0,236	,830**
	0	0	0	0,12	0,024	0,142	0,445	0,029	0,05	0,074	0,543	0,266	0,046	0	0,13	0,213	0,259	0	0	0	0,103	0	
Al <sub>t</sub>	-0,207	-,313*	-0,227	-0,198	-0,188	0,15	,303*	0,112	-,305*	-0,066	-0,089		,699**	-0,125	-0,085	,731**	,600**	-0,207	-0,137	0,178	0,164	,743**	-,492**
	0,153	0,029	0,117	0,172	0,195	0,305	0,034	0,444	0,033	0,651	0,543	0	0,391	0,563	0	0	0,154	0,347	0,221	0,26	0	0	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tab. 13: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Ackerböden, n = 49)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
Fe <sub>t</sub> <sup>1</sup>	0,018	0,003	-0,056	-0,147	-0,048	-0,073	,446**	0,188	-,387**	0,228	0,162	,699**		-0,152	0,151	0,247	,609**	-,315*	0,095	,338*	0	,485**	-0,187
	0,905	0,986	0,704	0,314	0,741	0,618	0,001	0,195	0,006	0,116	0,266	0		0,298	0,3	0,087	0	0,027	0,516	0,017	0,999	0	0,199
Mn <sub>t</sub>	-,424**	-0,158	-,308*	-0,246	-0,136	,386**	,380**	0,147	-,351*	0,032	-,286*	-0,125	-0,152		-0,222	-0,134	0,148	,886**	-	0,154	,498**	0,06	-0,216
	0,002	0,278	0,031	0,089	0,351	0,006	0,007	0,315	0,013	0,827	0,046	0,391	0,298		0,125	0,36	0,31	0	0,002	0,291	0	0,682	0,135
P <sub>ox</sub>	,872**	,687**	,869**	,296*	,388**	-0,24	0,156	,335*	0,28	0,185	,959**	-0,085	0,151	-0,222		-0,183	-0,073	-0,108	,923**	,412**	-	-0,153	,797**
	0	0	0	0,039	0,006	0,097	0,284	0,019	0,052	0,204	0	0,563	0,3	0,125		0,208	0,617	0,459	0	0,003	0	0,293	0
Al <sub>ox</sub>	-0,188	-,303*	-0,195	0,008	-0,085	0,112	-0,035	-0,057	0,049	-,323*	-0,219	,731**	0,247	-0,134	-0,183		,516**	-0,128	-0,18	-0,049	0,162	,846**	-,617**
	0,196	0,034	0,178	0,954	0,564	0,444	0,811	0,698	0,737	0,024	0,13	0	0,087	0,36	0,208		0	0,38	0,215	0,738	0,265	0	0
Fe <sub>ox</sub>	-0,241	-0,113	-,357*	-0,166	-0,048	0,088	,453**	0,194	-,322*	-0,086	-0,181	,600**	,609**	0,148	-0,073	,516**		-0,01	-0,195	0,144	0,268	,878**	-,594**
	0,095	0,438	0,012	0,254	0,743	0,548	0,001	0,182	0,024	0,558	0,213	0	0,31	0,617	0		0,946	0,18	0,325	0,063	0	0	0
Mn <sub>ox</sub>	-,289*	-0,158	-0,127	-0,109	-0,092	,340*	0,224	0,106	-0,183	-0,095	-0,164	-0,207	-,315*	,886**	-0,108	-0,128	-0,01		-,315*	0,157	,356*	-0,034	-0,082
	0,044	0,278	0,385	0,456	0,527	0,017	0,121	0,469	0,208	0,516	0,259	0,154	0,027	0	0,459	0,38	0,946		0,028	0,282	0,012	0,817	0,578
P <sub>i</sub>	,958**	,724**	,881**	,452**	,494**	-,298*	0,006	0,27	,404**	0,197	,909**	-0,137	0,095	-	,923**	-0,18	-0,195	-,315*		0,161	-,942**	-0,235	,803**
	0	0	0	0,001	0	0,038	0,968	0,06	0,004	0,175	0	0,347	0,516	0,002	0	0,215	0,18	0,028		0,268	0	0,105	0
P <sub>o</sub>	0,146	-0,017	0,273	-,350*	-0,197	0,065	0,28	0,186	-0,165	0,209	,499**	0,178	,338*	0,154	,412**	-0,049	0,144	0,157	0,161		0,124	0,064	0,266
	0,315	0,906	0,058	0,014	0,176	0,658	0,051	0,2	0,257	0,149	0	0,221	0,017	0,291	0,003	0,738	0,325	0,282	0,268		0,396	0,661	0,065
P <sub>org</sub>	-	-	-,803**	-,568**	-,547**	,321*	0,09	-0,205	-,470**	-0,119	-	0,164	0	,498**	-	0,162	0,268	,356*		0,124	-	0,27	-,734**
	,911**	,708**									,758**				,796**				,942**				
	0	0	0	0	0	0,024	0,538	0,157	0,001	0,414	0	0,26	0,999	0	0	0,265	0,063	0,012	0	0,396		0,061	0
PSC	-0,27	-0,211	-,343*	-0,113	-0,085	0,129	0,276	0,087	-0,192	-0,211	-0,236	,743**	,485**	0,06	-0,153	,846**	,878**	-0,034	-0,235	0,064	0,27		-,704**
	0,06	0,145	0,016	0,44	0,564	0,376	0,055	0,55	0,187	0,146	0,103	0	0	0,682	0,293	0	0	0,817	0,105	0,661	0,061		0
DPS	,792**	,620**	,834**	0,259	,302*	-0,276	-0,087	0,156	,321*	0,242	,830**	-	-0,187	-0,216	,797**	-	-	-0,082	,803**	0,266	-	-	-,704**
	0	0	0	0,073	0,035	0,055	0,55	0,283	0,024	0,093	0	0	0,199	0,135	0	0	0	0,578	0	0,065	0	0	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Tab. 14:** Rangkorrelationen (Gesamtdaten Grünlandböden, n = 138)

		CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>
CAL-P	Correlation Coefficient		,588**	,720**	,722**	,693**	-0,081	,260**	,364**	,378**	,552**
	Sig. (2-tailed)		0	0	0	0	0,344	0,002	0	0	0
CAL-K	Correlation Coefficient	,588**		,546**	,364**	,474**	-0,05	,288**	,369**	,232**	,281**
	Sig. (2-tailed)	0		0	0	0	0,564	0,001	0	0,006	0,001
H <sub>2</sub> O-P	Correlation Coefficient	,720**	,546**		,609**	,726**	-0,079	,459**	,505**	,323**	,618**
	Sig. (2-tailed)	0	0		0	0	0,357	0	0	0	0
pH CaCl <sub>2</sub>	Correlation Coefficient	,722**	,364**	,609**		,661**	-0,16	,191*	,298**	,388**	,469**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0		0	0,06	0,025	0	0	0
eL	Correlation Coefficient	,693**	,474**	,726**	,661**		0,047	,622**	,666**	,387**	,688**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	0		0,582	0	0	0	0
AS	Correlation Coefficient	-0,081	-0,05	-0,079	-0,16	0,047		,375**	,357**	0,124	,306**
	Sig. (2-tailed)	0,344	0,564	0,357	0,06	0,582		0	0	0,148	0
N <sub>t</sub>	Correlation Coefficient	,260**	,288**	,459**	,191*	,622**	,375**		,915**	,224**	,601**
	Sig. (2-tailed)	0,002	0,001	0	0,025	0	0		0	0,008	0
C <sub>t</sub>	Correlation Coefficient	,364**	,369**	,505**	,298**	,666**	,357**	,915**		,517**	,697**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	0	0	0	0		0	0
C/N	Correlation Coefficient	,378**	,232**	,323**	,388**	,387**	0,124	,224**	,517**		,560**
	Sig. (2-tailed)	0	0,006	0	0	0	0,148	0,008	0		0
S <sub>t</sub>	Correlation Coefficient	,552**	,281**	,618**	,469**	,688**	,306**	,601**	,697**	,560**	
	Sig. (2-tailed)	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tab. 15: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Grünlandböden, n = 31)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
CAL-P <sub>1</sub>		,596**	,909**	,902**	,818**	-0,113	,370*	,468**	0,355	,518**	,871**	-0,088	-0,071	0,092	,893**	-0,133	0,027	0,08	,955**	0,275	,898**	-0,074	,907**
	0	0	0	0	0	0,545	0,041	0,008	0,05	0,003	0	0,638	0,703	0,624	0	0,477	0,886	0,67	0	0,134	0	0,693	0
CAL-K	,596**		,630**	,619**	,473**	-0,262	0,108	,362*	,497**	0,274	,508**	-0,144	-0,178	-0,122	,504**	-0,089	0,002	-0,056	,601**	0,09	,610**	-0,076	,543**
	0	0	0	0,007	0,154	0,562	0,045	0,004	0,136	0,004	0,44	0,337	0,515	0,004	0,635	0,993	0,764	0	0,629	0	0,683	0,002	
H <sub>2</sub> O-P	,909**	,630**		,765**	,859**	-0,013	,427*	,591**	,566**	,642**	,906**	-0,329	-0,264	0,24	,883**	-0,215	0,084	0,263	,884**	,468**	,756**	-0,067	,899**
	0	0	0	0	0,946	0,016	0	0,001	0	0	0	0,07	0,152	0,194	0	0,247	0,654	0,153	0	0,008	0	0,722	0
pH CaCl <sub>2</sub>	,902**	,619**	,765**		,658**	-0,309	0,165	0,289	0,304	,363*	,731**	0,067	-0,009	0,017	,757**	0,003	-0,087	0,033	,926**	0,076	,936**	-0,044	,775**
	0	0	0	0	0,091	0,374	0,115	0,096	0,045	0	0,719	0,961	0,928	0	0,986	0,643	0,862	0	0,684	0	0,813	0	
eL	,818**	,473**	,859**	,658**		0,215	,649**	,768**	,505**	,753**	,908**	-0,295	-0,27	0,098	,828**	-0,189	0,029	0,134	,790**	,596**	,617**	-0,095	,824**
	0	0,007	0	0	0,245	0	0	0,004	0	0	0,107	0,142	0,599	0	0,308	0,878	0,471	0	0	0	0	0,61	0
AS	-0,113	-0,262	-0,013	-0,309	0,215		,654**	,496**	0,077	,445*	0,156	-0,354	-0,269	-0,048	-0,031	-0,321	-0,346	-0,045	-0,133	,569**	0,336	-0,411*	0,091
	0,545	0,154	0,946	0,091	0,245	0	0	0,005	0,682	0,012	0,403	0,051	0,144	0,796	0,869	0,078	0,057	0,81	0,475	0,001	0,065	0,022	0,627
N <sub>t</sub>	,370*	0,108	,427*	0,165	,649**	,654**		,872**	0,238	,792**	,551**	-0,203	-0,223	-0,024	,404*	-0,193	-0,19	0,022	0,341	,723**	-0,127	-0,244	,441*
	0,041	0,562	0,016	0,374	0	0	0	0,197	0	0,001	0,273	0,228	0,898	0,024	0,299	0,307	0,905	0,06	0	0,497	0,186	0,013	
C <sub>t</sub>	,468**	,362*	,591**	0,289	,768**	,496**	,872**		,633**	,908**	,656**	-,373*	-,394*	0,068	,508**	-0,153	-0,112	0,144	,417*	,838**	-0,18	-0,18	,533**
	0,008	0,045	0	0,115	0	0,005	0	0	0	0	0,039	0,028	0,717	0,004	0,412	0,549	0,438	0,02	0	0,332	0,333	0,002	
C/N	0,355	,497**	,566**	0,304	,505**	0,077	0,238	,633**		,660**	,452*	-,489**	-,540**	0,204	,367*	-0,067	0,044	0,265	0,301	,595**	-0,156	-0,03	,389*
	0,05	0,004	0,001	0,096	0,004	0,682	0,197	0	0	0	0,011	0,005	0,002	0,272	0,042	0,722	0,814	0,149	0,1	0	0,401	0,872	0,03
S <sub>t</sub>	,518**	0,274	,642**	,363*	,753**	,445*	,792**	,908**	,660**		,727**	-0,322	-0,312	0,158	,604**	-0,146	-0,034	0,2	,496**	,892**	-0,266	-0,14	,611**
	0,003	0,136	0	0,045	0	0,012	0	0	0	0	0	0,078	0,088	0,396	0	0,432	0,854	0,281	0,005	0	0,148	0,452	0
P <sub>t</sub>	,871**	,508**	,906**	,731**	,908**	0,156	,551**	,656**	,452*	,727**		-0,213	-0,113	0,204	,938**	-0,215	0,06	0,217	,893**	,594**	,743**	-0,096	,931**
	0	0,004	0	0	0	0,403	0,001	0	0,011	0	0	0,251	0,544	0,27	0	0,247	0,75	0,241	0	0	0	0,606	0

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

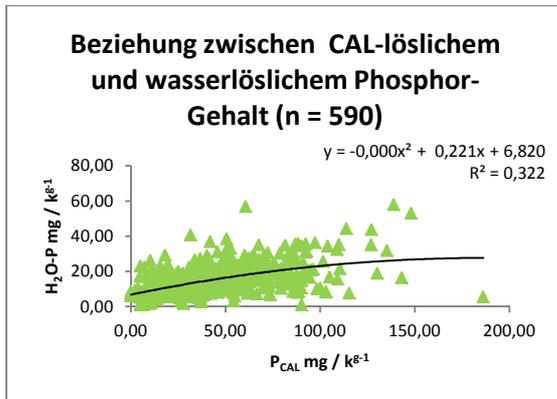
Tab. 16: Rangkorrelationen (LW-Gesamtdaten Grünlandböden, n = 31)

	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P	pH CaCl <sub>2</sub>	eL	AS	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	C/N	S <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	P <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS
Al <sub>t</sub> <sup>1</sup>	-0,088	-0,144	-0,329	0,067	-0,295	-0,354	-0,203	-,373*	-	-0,322	-0,213		,739**	-0,355	-0,17	,585**	0,327	-,380*	-0,054	-,447*	-0,081	,468**	-0,296
	0,638	0,44	0,07	0,719	0,107	0,051	0,273	0,039	0,005	0,078	0,251		0	0,05	0,361	0,001	0,072	0,035	0,774	0,012	0,665	0,008	0,106
Fe <sub>t</sub>	-0,071	-0,178	-0,264	-0,009	-0,27	-0,269	-0,223	-,394*	-	-0,312	-0,113	,739**		-0,276	-0,083	0,051	0,279	-0,333	-0,045	-0,293	-0,048	0,158	-0,156
	0,703	0,337	0,152	0,961	0,142	0,144	0,228	0,028	0,002	0,088	0,544	0		0,133	0,658	0,784	0,129	0,067	0,809	0,109	0,796	0,395	0,401
Mn <sub>t</sub>	0,092	-0,122	0,24	0,017	0,098	-0,048	-0,024	0,068	0,204	0,158	0,204	-0,355	-0,276		0,315	0,104	,390*	,965**	0,092	0,34	-0,03	0,353	0,176
	0,624	0,515	0,194	0,928	0,599	0,796	0,898	0,717	0,272	0,396	0,27	0,05	0,133		0,084	0,578	0,03	0	0,623	0,061	0,872	0,052	0,344
P <sub>ox</sub>	,893**	,504**	,883**	,757**	,828**	-0,031	,404*	,508**	,367*	,604**	,938**	-0,17	-0,083	0,315		-0,137	0,179	0,292	,908**	,459**	-	0,031	,934**
	0	0,004	0	0	0	0,869	0,024	0,004	0,042	0	0	0,361	0,658	0,084		0,462	0,336	0,111	0	0,009	0	0,867	0
Al <sub>ox</sub>	-0,133	-0,089	-0,215	0,003	-0,189	-0,321	-0,193	-0,153	-0,067	-0,146	-0,215	,585**	0,051	0,104	-0,137		,473**	0,118	-0,106	-0,222	0,055	,835**	-0,344
	0,477	0,635	0,247	0,986	0,308	0,078	0,299	0,412	0,722	0,432	0,247	0,001	0,784	0,578	0,462		0,007	0,527	0,569	0,23	0,77	0	0,058
Fe <sub>ox</sub>	0,027	0,002	0,084	-0,087	0,029	-0,346	-0,19	-0,112	0,044	-0,034	0,06	0,327	0,279	,390*	0,179	,473**		0,353	-0,012	0,019	0,003	,847**	-0,104
	0,886	0,993	0,654	0,643	0,878	0,057	0,307	0,549	0,814	0,854	0,75	0,072	0,129	0,03	0,336	0,007		0,051	0,95	0,919	0,988	0	0,579
Mn <sub>ox</sub>	0,08	-0,056	0,263	0,033	0,134	-0,045	0,022	0,144	0,265	0,2	0,217	-,380*	-0,333	,965**	0,292	0,118	0,353		0,099	,393*	-0,009	0,34	0,152
	0,67	0,764	0,153	0,862	0,471	0,81	0,905	0,438	0,149	0,281	0,241	0,035	0,067	0	0,111	0,527	0,051		0,597	0,029	0,961	0,061	0,413
P <sub>i</sub>	,955**	,601**	,884**	,926**	,790**	-0,133	0,341	,417*	0,301	,496**	,893**	-0,054	-0,045	0,092	,908**	-0,106	-0,012	0,099		0,271	-	-0,058	,904**
	0	0	0	0	0	0,475	0,06	0,02	0,1	0,005	0	0,774	0,809	0,623	0	0,569	0,95	0,597		0,141	0	0,756	0
P <sub>o</sub>	0,275	0,09	,468**	0,076	,596**	,569**	,723**	,838**	,595**	,892**	,594**	-,447*	-0,293	0,34	,459**	-0,222	0,019	,393*	0,271		-0,005	-0,126	,437*
	0,134	0,629	0,008	0,684	0	0,001	0	0	0	0	0	0,012	0,109	0,061	0,009	0,23	0,919	0,029	0,141		0,978	0,499	0,014
P <sub>org</sub>	-	-	-	-	-	0,336	-0,127	-0,18	-0,156	-0,266	-	-0,081	-0,048	-0,03	-	0,055	0,003	-0,009	-	-0,005		0,024	-
	,898**	,610**	,756**	,936**	,617**	0,065	0,497	0,332	0,401	0,148	0	0,665	0,796	0,872	0	0,77	0,988	0,961	0	0,978		0,897	0
PSC	-0,074	-0,076	-0,067	-0,044	-0,095	-,411*	-0,244	-0,18	-0,03	-0,14	-0,096	,468**	0,158	0,353	0,031	,835**	,847**	0,34	-0,058	-0,126	0,024		-0,267
	0,693	0,683	0,722	0,813	0,61	0,022	0,186	0,333	0,872	0,452	0,606	0,008	0,395	0,052	0,867	0	0	0,061	0,756	0,499	0,897		0,147
DPS	,907**	,543**	,899**	,775**	,824**	0,091	,441*	,533**	,389*	,611**	,931**	-0,296	-0,156	0,176	,934**	-0,344	-0,104	0,152	,904**	,437*	-	-0,267	-
	0	0,002	0	0	0	0,627	0,013	0,002	0,03	0	0	0,106	0,401	0,344	0	0,058	0,579	0,413	0	0,014	0	0,147	

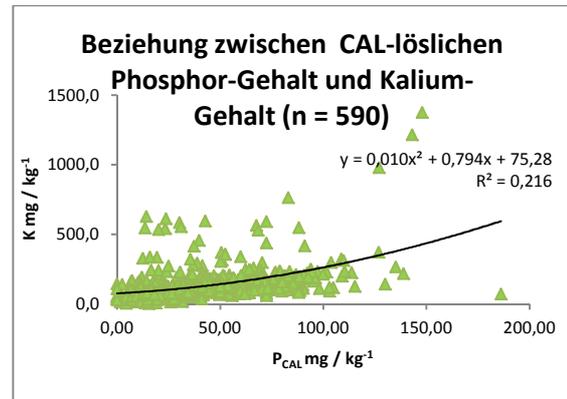
\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

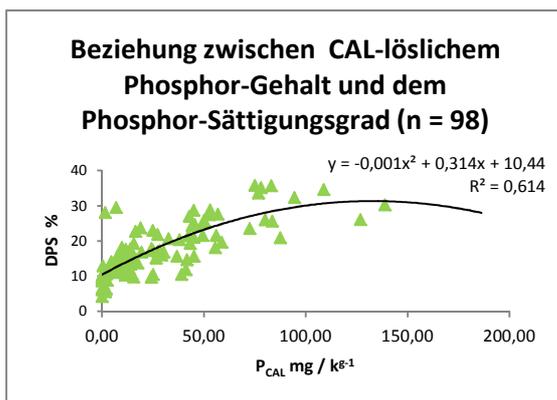
In den Abb. 43 bis Abb. 46 sind verschiedene Beziehungen dargestellt, die gut zusammen korrelieren.



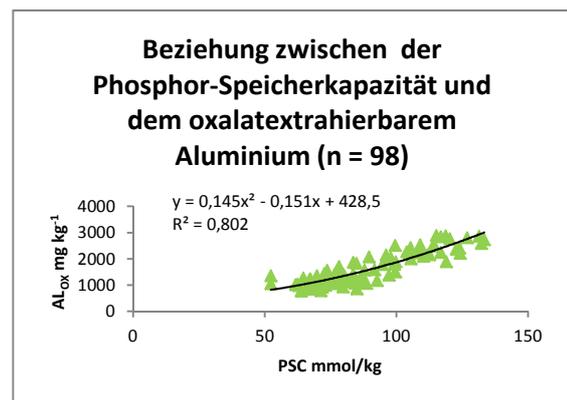
**Abb. 43:** Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und wasserlöslichem Phosphor-Gehalt in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm



**Abb. 44:** Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und Kalium-Gehalt in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm



**Abb. 45:** Beziehung zwischen CAL-löslichem Phosphor-Gehalt und dem Phosphor-Sättigungsgrad in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm



**Abb. 46:** Beziehung zwischen der Phosphor-Speicherspeicherkapazität und oxalatextrahierbarem Aluminium in den Acker- und Grünlandböden in der Bodentiefe 0-15 cm

## 6. Diskussion

Aus den Bodenanalysen (Tab. 2 – 16) lässt sich eine Beurteilung und Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Oberböden bezüglich der Eutrophierung der Antiesen ableiten. Wie mehrfach angeführt, ist überwiegend Phosphor für die Eutrophierung von Gewässern verantwortlich (SHARPLEY et al., 1994; KUMMERT und STUMM, 1992). Die Gefahr der Eutrophierung der Oberflächengewässer besteht nicht nur in Österreich, sondern tritt in vielen europäischen Ländern auf (BEHRENDT und BOEKHOLD, 1993). Auch MEISSNER et al. (1992) erkannten, dass der Phosphor die bedeutendste Steuergröße für die Kontrolle des Eutrophierungsprozesses ist. Eine hohe Phosphor-Versorgung ist für „produktive“ Bodenfruchtbarkeit mit aktivem Bodenleben, für hohe und sichere Erträge, eine gute Produktqualität sowie bessere Resistenz der Pflanzen gegen Stresseinflüsse notwendig (FINCK, 1993).

Die Abschätzung des Phosphor-Düngebedarfs und die Ableitung von Phosphor-Düngungsempfehlungen werden vorrangig anhand von Bodenuntersuchungen vorgenommen. Die Calcium-Acetat-Lactat (CAL-Methode) ist in Österreich für die Bestimmung des „pflanzenverfügbaren Phosphors“ die gängigste Methode. Der CAL-lösliche Phosphor im Oberboden ist ein Indikator für die Nutzungsintensität sowie Bodenfruchtbarkeit. Für den Gewässerschutz sind vor allem die Höhe und der jahreszeitliche Verlauf an wasserlöslichem Phosphor entscheidend (BOHNER, 2008). Auch RUTHSATZ (2001) stellt dar, dass sich der Phosphor-Gehalt der Böden gut als Indikator für das allgemeine Düngungsniveau eignet.

Der Großteil der Ackerböden im Untersuchungsgebiet fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor in die Gehaltsstufe C (ausreichend). Vier Bodenproben gehören der Gehaltsstufe D (hoch) an. Grünlandböden hingegen sind – bewertet nach der „Richtlinie für Sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) – meist sehr gering mit CAL-löslichem Phosphor versorgt; 119 Bodenproben der Grünlandböden fallen in die Gehaltsstufe A (sehr niedrig). Nur 21 Bodenproben gehören der Gehaltsstufe D und E (hoch und sehr hoch) an. Erhöhte CAL-lösliche Phosphor-Gehalte zeigen sich nur lokal

(Abb. 33 und Abb. 35) und treten vor allem in der unmittelbaren Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten auf. Auch HEINZLMAIER et al. (2005), BOHNER und EDER (2006) sowie BOHNER und SCHINK (2007) mussten in anderen österreichischen Landschaftsräumen den Großteil ihrer untersuchten Grünlandböden der Gehaltsstufe A (sehr niedrig) zuordnen. Nach GERZABEK et al. (2004) weisen Grünlandböden tendenziell eine Unterversorgung von CAL-löslichem Phosphor auf. Die Literaturrecherche ergab, dass in Österreich weitere Grünlandböden mit niedrigeren Phosphor-Gehalten vorliegen. Die ermittelten Nährstoffgehalte sind streng genommen nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) nicht einordenbar, da bei der Probeentnahme eine Mischprobe von 15 cm genommen wurde. Laut ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) sowie ÖNORM L 1055 (Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden) werden in Österreich die Bodenproben für Bodenuntersuchungen bei Grünland aus einer Tiefenstufe 0 – 10 cm und bei den Ackerflächen aus 0 – 20 cm gezogen. Eine neuerliche Bearbeitung der zurzeit gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den CAL-löslichen Phosphor-Gehalt von Grünlandböden gemäß der „Richtlinie für sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse erforderlich. Die CAL-löslichen Kalium-Gehalte sind höher versorgt bei den Acker- und Grünlandböden, 226 Bodenproben der untersuchten Böden befinden sich in der Gehaltsstufe C (ausreichend). Auch GERZABEK et al. (2004) stellten fest, dass in den meisten Bundesländern die Versorgung mit Kalium bei mehr als 50 % der Acker- und Grünlandböden zumindest auf einem ausreichendem Niveau liegt.

Der Phosphor-Gehalt im Oberboden ist stark von der Art der Bewirtschaftung abhängig. Auch WERNER et al. (1991) und LEINWEBER et al. (1997) legen dar, dass der Phosphor-Gehalt im Oberboden weniger durch Standorteigenschaften und mehr durch Bewirtschaftung bestimmt wird. Die Ackerböden sind im Durchschnitt höher mit CAL-löslichem und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Die Phosphor-Gehalte weisen innerhalb des Untersuchungsgebietes eine ungleichmäßige räumliche Verteilung mit lokal erhöhten und sehr niedrigen Werten auf (Abb. 33 und Abb.35). Zwischen den beiden Phosphor-Fraktionen (CAL-löslicher und wasserlöslicher Phosphor) besteht eine ähnliche räumliche Übereinstimmung. Die wasserlöslichen Phosphor-Gehalte sind im Oberboden

zum Teil sehr hoch. Auf diesen Flächen kann Phosphor bei Oberflächenabfluss leicht gelöst und abgeschwemmt werden. Verdichtete und strukturgeschädigte Böden in Hanglage weisen einen erhöhten Oberflächenabfluss sowie eine niedrige Infiltrationsrate der Flüssigdünger (Gülle, Jauche) auf. Nach Angabe von VON ALBERTINI et al. (1993) erhöhen falsche Bewirtschaftungsmethoden, lückenhafte Vegetation sowie Fahr- und Trittvverdichtungen das Risiko für eine Phosphor-Abschwemmung in die Fließgewässer. Zur Verminderung der Stoffeinträge in das Grundwasser sind eine dichte geschlossene Grasnarbe, eine regelmäßige Schnittnutzung mit Entfernung des Mähgutes sowie eine langfristige ausgeglichene Phosphorbilanz des Grünlandbodens notwendig (BOHNER et al., 2007). BRAUN et al. (1993) zeigt, dass der Düngungszeitpunkt entscheidend ist, um das Risiko einer Abschwemmung zu mindern. Im Grünland wird die Phosphor-Auswaschung auch von der Vegetation beeinflusst. Während der Vegetationsperiode, die im Wirtschaftsgrünland vergleichsweise lange andauert (von Anfang April bis Mitte Oktober), nehmen die Grünlandpflanzen viel Phosphor aus der Bodenlösung. In dieser Zeit ist die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung gering. In den Herbstmonaten hingegen wird im Grünland durch Mineralisations-, Desorptions- und Auflösungsprozesse mehr Phosphor mobilisiert als von den Grünlandpflanzen aufgenommen werden kann. Deswegen besteht in dieser Jahreszeit vor allem in Gebieten mit intensiven Herbstniederschlägen erhöhte Gefahr einer Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser (BOHNER, 2008). Bodenerosion hat im Dauergrünland für die Eutrophierung eine niedrige Bedeutung (BOHNER und SCHINK, 2007). Eine Erosionsgefahr besteht am ehesten nach einer Neuansaat bzw. wenn in der Fruchtfolge regelmäßig Mais- auf Maisanbau stattfindet. Im Grünland kann Phosphor mit hoher Wahrscheinlichkeit abgeschwemmt werden, wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis oder im Winter bei schneebedecktem oder gefrorenem Boden ausgebracht wird (BOHNER und SCHINK, 2007; BRAUN und PRASUHN 1997; POMMER et al., 2001). TIMMONS und HOLT (1977) vertreten die Meinung, dass die Nährstoffkonzentrationen im erodierten Material im Durchschnitt bei Regenereignissen höher sind als bei der Schneeschmelze. Allerdings schreibt TIMMONS et al. (1977) auch, dass die meisten Nährstoffe durch Schneeschmelze abgeschwemmt werden. Deshalb fördert ein hoher wasserlöslicher Phosphor-Gehalt im Oberboden die Eutrophierung der Gewässer (PRASUHN und LAZZAROTO, 2005).

In Anlehnung an Ergebnisse von BOHNER et al. (2012) weisen die untersuchten Acker- und Grünlandböden günstige Bodenreaktionen auf. 361 Bodenproben der Ackerböden befinden sich im Karbonat- bzw. Silikat-Pufferbereich (pH 6,2 – 8,3 bzw. 6,2 – 5,0). Diese pH-Bereiche sind für die im untersuchten Gebiet angebauten Kulturen optimal. Im Grünland findet man 143 Bodenproben im Silikat-Pufferbereich (pH 6,5 – 5,0), welcher aus Sicht der Grünlandbewirtschaftung günstig ist. In Böden des Dauergrünlandes ist der pH-Wert generell niedriger als in Ackerböden. Nach Angabe von BOHNER (2011) ist bei einem pH-Wert unter 5,0 eine Aufkalkung sinnvoll. Im Grünland soll ein pH-Wert von 5,0 – 6,2 erreicht werden. Der Humusgehalt, die Humusqualität und die Nährstoffgehalte sind stark von der Fruchtart abhängig. Der Humusgehalt sowie die Gesamtgehalte an Schwefel und Stickstoff sind in den Grünlandböden deutlich höher als in den Ackerböden. Die Aggregatstabilität ist in den Grünlandböden ebenfalls deutlich höher als in den Ackerböden. Die intensivere Durchwurzelung und der höhere Humusgehalt sind dafür hauptverantwortlich. Dies ist auch Grund, warum im Grünland Bodenerosion kaum anzutreffen ist. Die Ackerböden mit den Kulturen Mais und Getreide weisen die geringste Aggregatstabilität im Oberboden auf. Erosionsrillen, welche im Untersuchungsgebiet gefunden wurden, stellen dar, dass eine lineare Erosion stattfindet (Abb. 53 und Abb. 54). Die Aggregatstabilität ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Verschlammung durch Wasser (SCHACHTSCHABEL und HARTGE, 1959). Nach SCHWERTMANN (1981) führt eine nicht ausreichende Aggregatstabilität häufig zu Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche sowie bei Hanglage zu Bodenabtrag (FRANKEN und LOH, 1986). Durch Bodenerosion werden Bodenpartikel, welche Phosphor enthalten, ins Gewässer eingetragen (PRASUHN, 2005).

Der Phosphor-Vorrat im Projektgebiet liegt im Oberboden in unterschiedlicher Bindungsform vor. Die Ackerböden weisen einen niedrigeren Gesamtelementgehalt an Phosphor sowie einen geringeren Gesamtgehalt an organischem Phosphor als die Grünlandböden auf. Die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalalextrahierbarem Phosphor sind jedoch in den Ackerböden höher. Der niedrigere Humusgehalt und ein höheres Düngungsniveau auf den Ackerflächen sind für die nutzungsspezifischen Unterschiede hauptverantwortlich. Die Gesamtelementgehalte an Phosphor weisen in

den Grünland- und Ackerböden meist Werte unter 1000 mg pro kg Feinboden auf; somit liegt keine übermäßige Phosphor-Anreicherung im Oberboden durch Düngung vor. Der häufig niedrige Nutztierviehbesatz im Untersuchungsgebiet ist der Hauptgrund hierfür. Der größte „Phosphor-Pool“ im Oberboden bei den Ackerflächen ist der oxalatextrahierbare Phosphor und in den Grünlandböden der organisch gebundene Phosphor. Auch Bohner (2008) kam zu dem Ergebnis, dass der organisch gebundene Phosphor die dominierende Phosphor-Fraktion und somit auch der größte „Phosphor-Pool“ im Grünland ist. Die untersuchten Böden besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität (PSC). Nach BOHNER et al. (2012) und HUEMER et al. (2012) ist die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) vor allem aufgrund der hohen Gehalte an amorphen Eisen-Oxiden groß. Sie ist im Grünland in den ersten 15 cm im Durchschnitt etwas geringer als in den Ackerböden. Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) ist in den obersten 15 cm sowohl in den Acker- als in den Grünlandböden mit durchschnittlich 19 % bzw. 16 % niedrig. Nach Angabe von DE SMET et al. (1996), LOOKMANN et al. (1996) und LEINWEBER et al. (1997) wird ein Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) über 30 % als kritischer Wert für einen erhöhten Phosphor-Austrag in die Gewässer angeführt. Aufgrund der hohen Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und wegen des überwiegend niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades (DPS) ist die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei den untersuchten Acker- und Grünlandböden gering.

Bei den Korrelationen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) korreliert mit dem oxalatextrahierbaren Eisen und Aluminium. Die Studie von BEHRENDT und BOEKHOLD (1993) zeigt, dass die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) hauptsächlich von der Konzentration von oxalatextrahierbarem Aluminium und Eisen beeinflusst wird und diese korrelieren. Der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) korreliert mit dem oxalatextrahierbaren Phosphor. BUCZKO und KUCHENBUCH (2007) zeigen, dass der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) mit den Phosphorkonzentrationen im Oberboden korreliert.

SHARPLEY et al. (1981), SHARPLEY et al. (1994) als auch PRASUHN und BRAUN (1994) weisen darauf hin, dass erodiertes Material normalerweise mit Phosphor angereichert ist.

Entscheidend ist auch, wie groß die Aggregate von erodiertem Material sind bzw. ob sie trocken oder nass sind. Je nachdem sind Nährstoffkonzentrationen höher oder niedriger im erodierten Material. ALBERTS und MOLDENHAUER, 1981 stellten fest, dass Nährstoffkonzentrationen von Aggregaten unter 0,05 mm generell 10 % höher sind als von Aggregaten über 0,21 mm. Sie zeigen, dass Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen von trockenen Böden um 15 % höher sind, als von nassen Böden. SHARPLEY (1985) stellt dar, dass die Anreicherungen von Sedimenten nach Erosionen mit Nährstoffen nie gleich sind.

Der Unterhang im Untersuchungsgebiet weist sowohl bei den Acker- als auch den Grünlandböden im Durchschnitt höhere Werte bei Humus und Gesamtstickstoff als am Oberhang auf. Auch die C : N-Verhältnisse sind am Unterhang weiter als am Oberhang. Das C : N-Verhältnis ist ein Maß für die Humusqualität sowie ein wichtiger geökologischer Standortindikator (BLUME et al., 2010). Je enger das Verhältnis ist, desto besser ist die Qualität. Nach Bohner (2011) ist ein C : N-Verhältnis von 8 / 9 typisch bei Acker- und Grünlandböden. Der Anteil des gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist sowohl bei den Ackerböden als auch bei den Grünlandböden am Unterhang größer als am Oberhang. Dies ist ein Kennzeichen der landwirtschaftlich genutzten Böden für eine stärkere Anreicherung von organisch gebundenem Phosphor am Unterhang. Eine Phosphor-Anreicherung am Unterhang der Ackerflächen war nicht wirklich feststellbar. Im Grünland sind die Phosphor-Gehalte am Unterhang deutlich geringer als am Oberhang. Es besteht die Möglichkeit, dass bei erosionsauslösenden Starkniederschlägen Phosphor nicht am Unterhang abgelagert wird, sondern sofort direkt in die Fließgewässer gelangt. Bei linearer Erosion, durch Starkniederschläge ausgelöst, wird das Bodenmaterial meist direkt in die Gewässer transportiert (PRASUHN und BRAUN, 1994, HILLBRICHT-ILKOWSKA et al., 1995). Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung der Flächen kann Abflüsse aus Starkniederschlägen beeinflussen, indem sie ein gut regenaufnehmendes Bodengefüge erzeugt. KLAGHOFER, 1993 fordert konkret geeignete Fruchtfolgen mit entsprechender Humusanreicherung im Boden, bodenschonenden Anbau- und Ernteverfahren oder gefügestabilisierenden Maßnahmen wie Kalkung. Auch DIEPOLDER und RASCHBACHER (2007) zeigen, dass die Förderung von erosionsmindernden

Maßnahmen wesentliche Ansatzpunkte für die Minderung von diffusen Phosphor-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen sind.

## 7. Zusammenfassung

Der Zielsetzung entsprechend wurden im Untersuchungsgebiet mehrere zeitverschobene Bodenuntersuchungen durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse weisen auf Ursachen der Eutrophierung der Antiesen hin. Im Untersuchungsgebiet liegt der Phosphor in unterschiedlichen Fraktionen vor und diese sind im Wesentlichen von der Art der Nutzung abhängig. In den Grünlandböden ist die dominierende Phosphor-Fraktion der Gesamtphosphor bzw. der organisch gebundenen Phosphor, während in den Ackerböden höhere Gehalte an CAL-löslichem Phosphor und oxalateextrahierbarem Phosphor vorliegen. Eine hohe Phosphor-Anreicherung im Oberboden durch Düngung kann ausgeschlossen werden. Die Böden des Untersuchungsgebietes besitzen eine hohe Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und einen niedrigen Phosphor-Sättigungsgrad (DPS). Somit ist die Gefahr einer hohen Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei standortangepasster Bewirtschaftung sowohl im Acker- als auch im Grünland gering. Die wasserlöslichen Phosphor-Gehaltswerte sind im Oberboden regional sehr hoch. Diese Acker- und Grünlandböden besitzen in Hanglagen ein größeres Phosphor-Abschwemmungspotenzial. Im Grünland besteht die Gefahr der Abschwemmung von gelöstem Phosphor durch falsche Bewirtschaftung, Bodenverdichtungen, Narbenauflockerungen und Lückenbildung im Pflanzenbestand. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass höhere Phosphor-Mengen von „hot spots“ mit höheren Phosphor-Gehalten in der näheren Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten ins Gewässer eingetragen werden.

Auf Grund des hohen Ackerflächenanteils im Untersuchungsgebiet ist auszugehen, dass die Bodenerosion hauptverantwortlich für die Eutrophierung der Antiesen ist. Eine Verbesserung der Wasserqualität kann erst erfolgen, wenn erosionsmindernde Maßnahmen im Einzugsgebiet der Antiesen ausgearbeitet, umgesetzt und wirksam werden. Auf Ackerflächen in erosionsgefährdeten steilen Hanglagen soll kein Maisanbau erfolgen; die Gefahr, dass bei Starkregen das erodierte Bodenmaterial direkt in die Antiesen eingetragen wird, ist groß. Anzustreben ist eine Reduzierung der hohen wasserlöslichen Phosphor-Gehalte im Oberboden reduziert werden, insbesondere in der Nähe von Fließgewässern und auf steilen Hanglagen.

Weitere präventive erosionsmindernde Maßnahmen sind:

- ✓ Längst mögliche Vegetationsbedeckung durch die Fruchtfolgegestaltung, den Zwischenfruchtanbau sowie Einsatz von Untersaaten.
- ✓ Verringerung der Hanglänge und der Hangneigung, richtige Schlaggestaltung / Unterteilung bzw. Vermeidung hangwärtsgerichteter Bearbeitung.
- ✓ Optimale Bodenbearbeitung – reduzierend; minimal; termingerecht (keine schweren Maschinen einsetzen).
- ✓ Erhöhung des Humusgehaltes in Ackerböden zur Erhöhung der Aggregatstabilität im Oberboden.
- ✓ Rückführung von Ackerland in Grünland.
- ✓ Mehr Berücksichtigung des Bodentyps sowie des Bodenwasserhaushaltes bei den Düngeempfehlungen.
- ✓ Keine Düngerausbringung auf Hanglagen, wenn Stark- oder Dauerregen zu erwarten ist; ein ausreichender Abstand zu Gewässern bei der Düngung ist einzuhalten.
- ✓ Ausgeglichene Phosphor-Bilanz anstreben bzw. auf Dünger mit höheren Phosphorgehalten verzichten, wenn hohe Phosphor-Gehalte im Boden vorliegen.

Die Untersuchungen der Masterarbeit zeigen im Ergebnis, dass für die Eutrophierung von Gewässern vor allem die Phosphor-Einträge durch Abschwemmung und Bodenerosion verantwortlich sind. Die Phosphor-Auswaschung durch Sickerwasser ist hingegen bis auf ein paar „hot spots“ gering und stellt keine besondere Gefahr dar. Möglicherweise wird im Untersuchungsgebiet Phosphor über Drainagen eingetragen; Ergebnisse liegen derzeit nicht vor. Im Teileinzugsgebiet der Antiesen ist aufgrund des geringen Phosphor-Sättigungsgrades (DPS) im Acker- und Grünland das Risiko für erhöhte Phosphorverluste durch Auswaschung gering. Die „Richtlinie für die Sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) darf nur als Hilfsmittel für die Phosphor-Düngeempfehlung gesehen werden und soll unmittelbar von der zuständigen Behörde überprüft werden. Für eine nachhaltige und umweltschonendere Phosphor-Düngerausbringung sind sowohl Landwirte als auch die Politik und die Landtechnik gefordert.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- AIGNER, J. und ALTENBURGER J. (2010): Pflanzenbau – ein Lern- und Arbeitsbuch für land- und forstwirtschaftliche Schulen und für die Berufsausbildung. 7., Auflage. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- ALBERTS, E.E. und MOLDENHAUER, W.C. (1981): Division S-6 – soil and water management and conservation – Nitrogen and Phosphorus Transported by Eroded Soil Aggregates. Soil Sci. Soc. of Am. J., 45 (2), 391-396.
- AMA – AGRARMARKT AUSTRIA (2012): Mehrfachantrag Flächen 2012 – Merkblatt mit Ausfüllanleitung. Wien: Eigenverlag.
- AUER, I.; BÖHM, R.; POTZMANN, R.; SCHÖNER, W. und SKOMOROWSKI, P. (2001): ÖKLIM – digitaler Klimaatlas Österreichs; eine interaktive Reise durch die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimas. Wien: ZAMG.
- BARBER, S-A. (1995): Soil Nutrient Bioavailability – A Mechanistic Approach. Second Edition, Ney York: John Wiley & Sons, Inc..
- BEHRENDT, H. und BOEKHOLD, A. (1993): Phosphorus saturation in soils and groundwaters. Land Degradation & Rehabilitation, Vol. 4, 233-243.
- BLUME, H-P.; BRÜMMER, G.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K. und WILKE, B-M. (2010): Scheffer / Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde. 16. neu bearb. Aufl., Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2006): Richtlinien für die Sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6., Aufl., Wien: Selbstverlag.
- BOHNER, A. „Mündliche Aussage vom 16. Juni 2011“.
- BOHNER, A. (2008): Phosphor-Pools und Phosphor-Verfügbarkeit im Grünlandboden als Basis für Phosphor-Düngeempfehlungen. LFZ Raumberg-Gumpenstein, 1. Umweltökologisches Symposium, 59-66.
- BOHNER, A. (2005): Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und die floristische Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland. Mitteilung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft 72, 67-73.

- BOHNER, A.; DIEPOLDER, M. und WENDLAND M. (2007): Maßnahmen zur Verminderung der Phosphoreinträge mit besonderer Berücksichtigung des Grünlandes. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 26, 131-144.
- BOHNER, A. und EDER G. (2006): Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland. Umweltprogramme für die Landwirtschaft, 53-64.
- BOHNER, A.; EDER, G. und SCHINK, M. (2007): Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. In: HÖHERE BUNDESLEHR- UND FORSCHUNGSANSTALT (Hrsg.): 12. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.
- BOHNER, A.; HUEMER, C.; SCHAUMBERGER, J. und LIEBHARD, P. (2012): Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und des Reliefs auf den Nährstoffgehalt im Oberboden mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. LFZ Raumberg-Gumpenstein, 3. Umweltökologisches Symposium, 91-100.
- BOHNER, A. und SCHINK, M. (2007): Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. In: BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 26, 34-50.
- BRAUN, M.; HURNI P. und VON ALBERTINI N. (1993): Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz 6 (10), 615-620.
- BRAUN, M. und LEUENBERGER, J. (1991): Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Ackerland und Grasland während den Wintermonaten. Landwirtschaft Schweiz, Band 4 (10), 555-560.
- BRAUN, M. und PRASUHN, V. (1997): Maßnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. Agrarforschung 4, 339-342.
- BUCHGRABER, K. und GINDL, G. (2009): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. 2. Auflage, Graz: Leopold Stocker Verlag.
- BU CZKO, U. und KUCHENBUCH, R.O. (2007): Phosphorus indices as risk-assessment tools in the U.S.A. and Europe – a review. J. Plant Nutr. Soil Sci., 170, 445-460.

- DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER S. (2007): Quantifizierung von P-Austrägen aus landwirtschaftlich Flächen – Ergebnisse eines Forschungsprojekts. Schule und Beratung, Heft 8-9/07, 5-12.
- DIEPENBROCK, W.; ELLMER, F. und LÉON, J. (2009): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor. 2., korr. Aufl., Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- ECKHARD, K. und LEINWEBER, P. (1997): P-Fractionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 85/II, 871-874.
- FINCK, A. (2007): Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. Aufl., Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- FINCK, A. (1993): Phosphat-Düngung – Aktuelle Fragen aus agronomischen und ökologischen Perspektiven. In: VDLUFA - VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (Hrsg.): Kongressband 1993 Hamburg – Qualität und Hygiene von Lebensmitteln in Produktion und Verarbeitung, Schriftenreihe 37, Darmstadt: betz druck gmbh, 133-136.
- FRANKEN, H. und LOH, M. (1987): Der Einfluss ackerbaulicher Maßnahmen auf die Dynamik der Aggregatstabilität. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 28, 35-41.
- FROSSARD, E.; JULIEN, P.; NEYROUD, J.-A. und SINAJ, S. (2004): Phosphor in Böden. Standortbestimmung Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, Bern: BUWAL.
- GÄCHTER, R.; MARES, A.; STAMM, C.; KUNZE, U. und BLUM, J. (1996): Dünger düngt Sempachersee. Agrarforschung, Nr. 3, 329-332.
- GERZABEK, M.H.; BAUMGARTEN, A.; TULIPAN, M. und SCHWARZ S. (2004): Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen noch ausgewogen? – Eine Analyse aufgrund von Bodenuntersuchungen und Langzeitversuchen. Ländlicher Raum 2, 1-8.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2002): Rocky Austria – Eine bunte Erdgeschichte von Österreich. 2., verbesserte Auflage, Wien: Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H..
- HANUS, H.; HEYLAND, K.-U. und KELLER, R. (2008): Getreide und Futtergräser. In: Handbuch des Pflanzenbaues. Band 2, Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- HEINZLMAIER, F. (2007): Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden – Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodenparametern. Wien: Diss. Universität für Bodenkultur.

- HEINZLMAIER, F.; GERZABEK, M.H.; TULIPAN, M. und BAUMGARTEN, A. (2005): Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden: Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodeneigenschaften. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 17, 96-97.
- HELL, N. (2000): Planet Erde. 2. Auflage, Wien: öbv & hpt VerlagsgmbH & Co.KG.
- HEYLAND, K.-U.; HANUS, H. und KELLER, R. (2006): Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen. In: HEYLAND, K.U. (Hrsg.): Handbuch des Pflanzenbaues. Band 4. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA, A.; RYSZKOWSKI, L. und SHARPLEY, A.N. (1995): Phosphorus Transfers And Landscape Structure: Riparian Sites And Diversified Use Patterns. Phosphorus in the Global Environment, 201-228.
- HÖLZL, F.X. (2012): Auswirkungen der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie auf den Bodenschutz, Schwerpunkte der OÖ Bodenschutzberatung beim Erosionsschutz. at: [http://www.hlbla-florian.at/joomla-1\\_5/images/stories/Bodenschutz/bowasan-hoelzl.pdf](http://www.hlbla-florian.at/joomla-1_5/images/stories/Bodenschutz/bowasan-hoelzl.pdf) (27.12.2012).
- HUEMER, C.; BOHNER A. und LIEBHARD P. (2012): Einfluss der Bewirtschaftungsintensität auf den Phosphoreintrag in Acker- und Grünlandböden. In: ALVA (Hrsg): „Ernährung sichern – trotz begrenzter Ressourcen“. Tagungsbericht 2012, 189-191.
- KLAGHOFER, E. (1997): Bodenerosion. In: BLUM, W., KLAGHOFER, E., KÖCHL, A. und RUCKENBAUER P. (Hrsg.): Bodenschutz in Österreich. Wien: Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 37-45.
- KLAGHOFER, E. (1993): Das Oberflächenabflußverhalten landwirtschaftlich genutzter Böden bei Starkregen. In: VDLUFA – VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (Hrsg.): Kongressband 1993 Hamburg – Qualität und Hygiene von Lebensmitteln in Produktion und Verarbeitung, Schriftenreihe 37, Darmstadt: betz druck gmbh, 102-108.
- KRIGE, D.G. (1951): A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa 52 (6), 119-139.
- KUMMERT, R. und STUMM W. (1992): Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. 3. Aufl., Zürich: Verlag der Fachvereine.

- LEINWEBER, P.; LÜNSMANN, F. und ECKHARDT, K.-U. (1997): Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany. *Soil Use and Management* 13, 82-89.
- LEINWEBER, P.; MEISSNER, R.; ECKHARDT, K.-U. und SEEGER, J. (1999): Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses. *European Journal of Soil Science* 50, 413-424.
- LOISKANDL, W.; KLIK, A. und CEPUDER P. (2011): Landeskulturelle Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz. at:  
[http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H81/H815/Skripten/LKWW/LKWW\\_2011.pdf](http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H815/Skripten/LKWW/LKWW_2011.pdf)  
(03.01.2013).
- LOOKMAN, R.; JANSEN, K.; MARCKX, R. und VLASSAK, K. (1996): Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters – A transect study in northern Belgium. *Geoderma* 69, 265-274.
- MEISSNER, R.; KLAPPER, H. und SEEGER, J. (1992): Wirkungen einer erhöhten Phosphatdüngung auf Boden und Gewässer. *Wasser und Boden* 4, 217-220.
- NESTROY, O.; AUST, G.; BLUM, W.E.H.; ENGLISCH, M.; HAGER, H.; HERZBERGER, E.; KILIAN, W.; NELHIEBEL, P.; ORTNER, G.; PECINA, E.; PEHAMBERGER, A.; SCHNEIDER, W. und WAGNER, J. (2011): Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Wien: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft
- ÖNORM L 1055 (2004): Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM L 1056 (2004): Probenahme von Dauergrünland (inklusive Parkanlagen, sowie Zier- und Sportrasen). Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM L 1083 (2006): Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Acidität (pH-Wert). Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM L 1087 (2006): Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung von „pflanzenverfügbarem“ Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM L 1092 (2005): Chemische Bodenuntersuchungen – Extraktion wasserlöslicher Elemente und Verbindungen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

- OTTO, A. (1980): Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. Wasser und Boden 1, 26-30.
- PIHL, W. und WERNER, W. (1993): Zur Interpretation von Quantitäts- / Intensitäts-Quotienten als Kriterien vertikaler Phosphatverlagerung in Böden. In: VDLUFA – VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (Hrsg.): Kongressband 1993 Hamburg – Qualität und Hygiene von Lebensmitteln in Produktion und Verarbeitung, Schriftenreihe 37, Darmstadt: betz druck gmbh, 99-102.
- POMMER, G.; SCHRÖPEL, R. und JORDAN, F. (2001): Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser und Boden 53/4, 34-38.
- PRASUHN, V. (2005): Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Erosion. Schriftenreihe der FAL Reckenholz 57, 108-119.
- PRASUHN, V. (2001): Abschätzung der P- und N-Einträge in die Gewässer des Kantons Zürich mittels GIS. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges., Band 96, Heft 2, 645-646.
- PRASUHN, V. und BRAUN, M. (1994): Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Schriftenreihe der FAC Liebefeld 17, Liebefeld-Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarkulturchemie und Umwelthygiene.
- PRASUHN, V. und FLISCH, R. (2005): Phosphor in der Landwirtschaft. In: AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ (Hrsg.): Evaluation der Ökomassnahmen – Bereich Stickstoff und Phosphor. Schriftenreihe der FAL 57, 80-81.
- PRASUHN, V. und GRÜNIG, K. (2001): Evaluation der Ökomaßnahmen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Schriftenreihe der FAL 37, Zürich: Selbstverlag.
- PRASUHN, V. und LAZZAROTTO, P. (2005): Abschwemmung von Phosphor aus Grasland im Einzugsgebiet des Sempachersees. Schriftenreihe der FAL Reckenholz 57, 95-107.
- RÖMER, W. (1997): Phosphorausstrag aus der Landwirtschaft in Gewässer. Wasser und Boden 49/8, 51-54.
- RUTHSATZ, B. (2001): Pflanzen- und Boden-Indikatoren für die Intensivierung der Landwirtschaft in Mittelgebirgen – am Beispiel des Wirtschaftsgrünlandes einer kleinen Gemeinde bei Trier. Arch. Für Nat.- Lands., Vol. 40, 289-323.

- SCHACHTSCHABEL, P. und HARTGE, K. (1959): Die Verbesserung der Strukturstabilität von Ackerböden durch eine Kalkung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 83. (128.), Band 2, 193-202.
- SCHAEFFER, B. (1977): Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden und Gewässerbelastung. Geologisches Jahrbuch F/4, 203-241.
- SCHMID, C. und PRASUHN V. (2000): GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Zürich. Schriftenreihe der FAL 35, Zürich: Selbstverlag.
- SCHNEIDERBAUER, C. „Mündliche Mitteilung vom 29.07.2011“.
- SCHÜBL, E. (2011): Biodiversitätsflächen im Ackerbau und auf gemischten Betrieben zuletzt diskutierte Modelle. LK Niederösterreich, at: [http://www.netzwerk-land.at/umwelt/veranstaltungen/downloads\\_biodiversitaetsflaechen2011/biodivflaechen\\_schuebl](http://www.netzwerk-land.at/umwelt/veranstaltungen/downloads_biodiversitaetsflaechen2011/biodivflaechen_schuebl) (01.12.2011).
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 105, 194-202.
- SCHWERTMANN, U. (1981): Grundlagen und Problematik der Bodenerosion. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 58 (1), 75-79.
- SCHWERTMANN, U.; VOGL, W. und KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- SEIFFERT, P. (1990): Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in ein kleineres Stehgewässer. In: ZINTZ, K., RAHMANN, H. und WEISSER H. (Hrsg.): Ökologie und Management kleiner Stehgewässer. Bd. 3 – Ökologie und Naturschutz. Filderstadt: F. & T. Müllerbader, 127-149.
- SHARPLEY, A.N. (1985): The Selective Erosion of Plant Nutrients in Runoff. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1527-1534.
- SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPHOL R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C. und REDDY K.R. (1994): Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters: Issues and Options. J. Environ. Qual. 23, 437-451.
- SHARPLEY, A.N.; DANIEL, T.C.; SIMS, J.T. und POTE, D.H. (1996): Determining environmentally sound soil phosphorus levels. Journal of soil and water conservation 52(2), 160-166.

- SHARPLEY, A.N.; MENZEL, R.G.; SMITH, S.J., RHOADES, E.D. und OLNESS, A.E. (1981): The sorption of Soluble Phosphorus by Soil Material during Transport in Runoff from Cropped and Grassed Watersheds. *J. Environ. Qual.*, Vol. 10, no.2, 211-215.
- SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J. und MENZEL, R.G. (1986): Phosphorus criteria and water quality management for agricultural watersheds. *Lake and Reservoir Management* 2, 177-182.
- STRAUS, P. „Mündliche Aussage vom 29.11.2012“.
- TIMMONS, D.R. und HOLT, R.F. (1977): Nutrient Losses in Surface Runoff from a Native Prairie. *J. Environ. Qual.*, Vol. 6, no. 4, 369-373.
- TIMMONS, D.R.; VERRY, E.S.; BURWELL, R.E. und HOLT R.F. (1977): Nutrient Transport in Surface Runoff and Interflow from an Aspen-Birch Forest. *J. Environ. Qual.*, Vol. 6, no. 2, 188-192.
- TOUTENBURG, H.; SCHOMAKER, M.; WIBMANN, M. und HEUMANN C. (2009): Arbeitsbuch zur deskriptiven und induktiven Statistik. 2., aktualisierte und erweiterte Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- UMWELTBUNDESAMT GMBH (2013): Wasserrahmenrichtlinie. at:  
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/wasser/wrrl/> (02.01.2013).
- VON ALBERTINI, N.; BRAUN, M. und HURNI, P. (1993): Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. *Landwirtschaft Schweiz*, Band 6, 575-582.
- WERNER, W.; OLFS, H.-W.; AUERSWALD, K. und ISERMANN, K. (1991): Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In: Hamm, A. (Hrsg): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Sankt Augustin: Academia.
- WISCHMEIER, W.H. und SMITH, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*. U.S.A.: Department of Agriculture.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Klimadaten von Österreich 1971-2000. at:  
[http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe7100/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe7100/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm)  
(01.10.2012).

## Quellenverzeichnis (Abbildungen, Tabellen)

- BARBER, S-A. (1995): Soil Nutrient Bioavailability – A Mechanistic Approach. Second Edition, Ney York: John Wiley & Sons, Inc..
- BMLFUW (1998): Haferrispen. (26.02.1998)
- BMLFUW (2002): Weizen. LFZ Raumberg-Gumpenstein (10.07.2002).
- BMLFUW (2004): Weizenfeld. UBA/Gröger (10.05.2004).
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (BFW) (2013): Bodenarten im Projektgebiet: Schluff (Z), sandiger Schluff (sZ), lehmiger Schluff (LZ) und schluffiger Lehm. at: <http://gis.lebensministerium.at/eBOD> (28.02.2013).
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (BFW) (2011): Bodentypen im Projektgebiet: Braunerde (B), Pseudogley (P) und Gley (G). at: <http://gis.lebensministerium.at/eBOD> (26.07.2011).
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (BFW) (2011): Digitale Bodenkarte von Österreich I. at: <http://gis.lebensministerium.at/eBOD> (26.07.2011).
- BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND LANDSCHAFT (BFW) (2011): Digitale Bodenkarte von Österreich II. at: <http://gis.lebensministerium.at/eBOD> (26.07.2011).
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2011): Geologische Übersichtskarte Österreich. at: [http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/geologie\\_und\\_landschaft.htm](http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/geologie_und_landschaft.htm) (26.07.2011).
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2011): Schlierhügelland in der Molassezone bei Strengberg, N.Ö. at: <http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/molasse.htm> (26.07.2011).
- Hösl, R. (2011): Karten mit Bodenanalysepunkten des Untersuchungsgebietes. (04.04.2011).
- HUEMER, C. (2011): Bilder aus dem Projektgebiet. eigene Quelle. (20.04.2011).
- HUEMER, C. (2012): Bilder im Laufe der Vegetation. eigene Quelle.
- K + S KALI GMBH (2012): Phosphatdynamik im Boden. at: [http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/phosphorus.html](http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/phosphorus.html) (01.10.2012).

- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH / FRÜHWIRTH (2012): Ähren der Triticale, einer Kreuzung von Weizen und Roggen. at: <http://www.agrarnet.info/?id=2500,1072897> (01.10.2012)
- SALLABERGER, K. (2011): Öllein. (23.06.2011).
- SCHAUMBERGER, J. (2012): Geostatistische Interpolationen.
- SCHNEIDERBAUER, C. (2011): Vorfrucht zu Mais 2011 in % im Untersuchungsgebiet.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Hagel. at: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (01.10.2012).
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Lufttemperatur. at: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (01.10.2012).
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Niederschlag. at: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (01.10.2012).
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Schnee. at: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (01.10.2012).
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2012): Übersichtskarte der Klimastationen mit der Station Reichersberg. at: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (01.10.2012).

## Anhang

### Erste Ergebnisse der Bodenanalysen der Phosphor-Gehalte nach der CAL – Methode

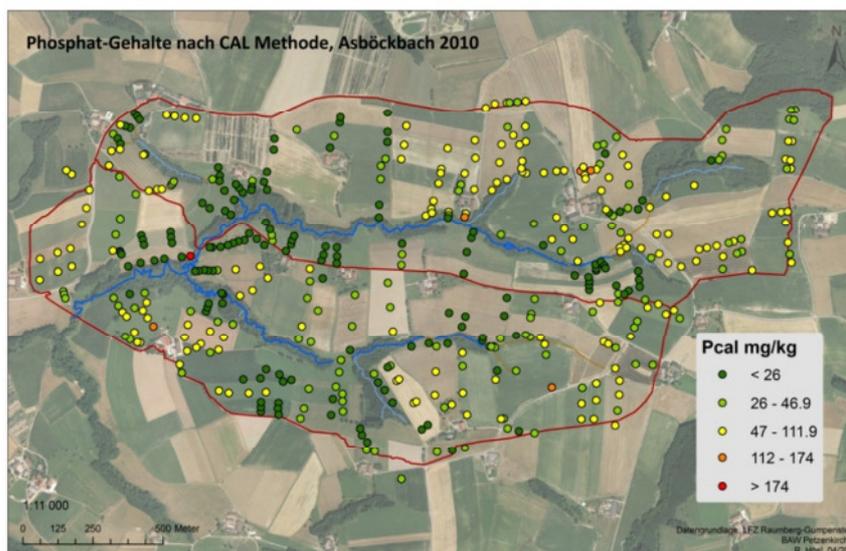


Abb. 47: Phosphat-Gehalte nach CAL Methode (Hösl, 2011)

### Erste Ergebnisse der Bodenanalysen der Mindestgehalte an wasserlöslichem Phosphat

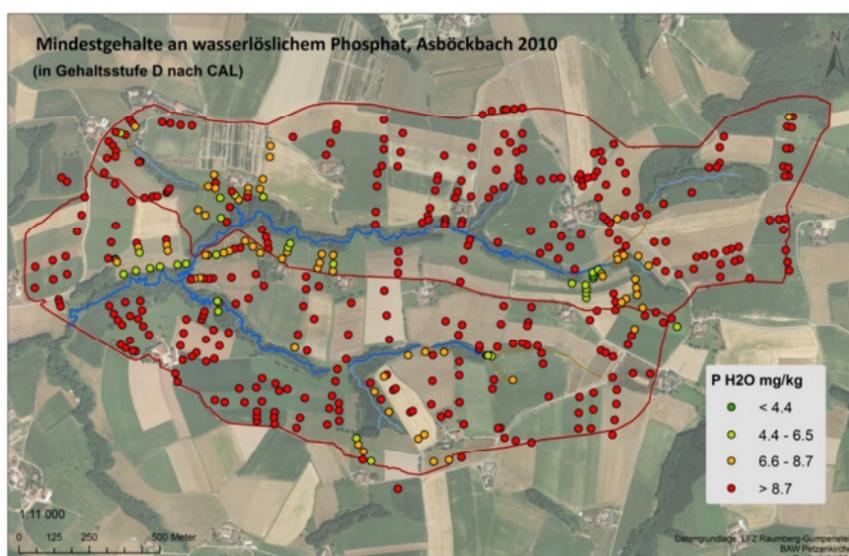
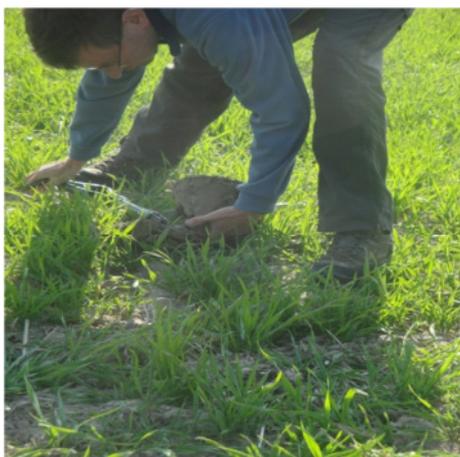


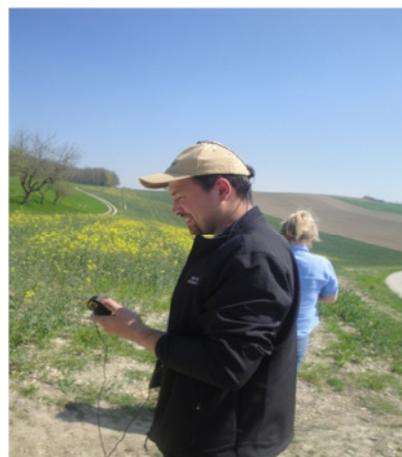
Abb. 48: Mindestgehalte an wasserlöslichem Phosphat (Hösl, 2011)

Die Karten mit den Probenahmepunkten wurden im April 2011 von Rosemarie Hösl, BAW Petzenkirchen erstellt. Diese dienen zur Ermittlung der „hot spots“.

## Fotos vom Untersuchungsgebiet (April, 2011)



**Abb. 49:** Probeentnahme durch Dr. Andreas Bohner  
(HUEMER, 2011)



**Abb. 50:** Datenpunkteverwaltung (mittels GPS)  
durch Christoph Schneiderbauer (HUEMER, 2011)



**Abb. 51:** Messstelle im Untersuchungsgebiet  
(HUEMER, 2011)



**Abb. 52:** Geländeaufnahme (HUEMER, 2011)



**Abb. 53:** Erosionsrinne Bild 1 (HUEMER, 2011)



**Abb. 54:** Erosionsrinne Bild 2 (HUEMER, 2011)

## Zusatztabellen: Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad

**Tab. 17:** Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0–15 cm Bodentiefe) in den Ackerböden

n		Ackerböden Oberhang									
16	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	808	457	352	531	45	79	22	1348	5198	847	

n		Ackerböden Mittelhang									
15	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	718	369	349	466	50	96	17	1825	6110	856	

n		Ackerböden Unterhang									
17	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	778	429	349	517	47	94	19	1677	6121	890	

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor; P<sub>i</sub> = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor; P<sub>o</sub> = Gesamtgehalt an organischem Phosphor; P<sub>ox</sub> = Gesamtgehalt an oxalatrehabierbarem Phosphor; P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad; Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub> = oxalatrehabierbares Aluminium, Eisen, Mangan

**Tab. 18:** Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad (0–15 cm Bodentiefe) in den Grünlandböden

n		Grünlandböden Oberhang									
16	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	788	379	409	466	56	94	16	1828	5838	816	

n		Grünlandböden Mittelhang									
15	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	782	291	491	416	65	86	16	1531	5704	773	

n		Grünlandböden Unterhang									
17	mg kg <sup>-1</sup>				%	mmol kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			
	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>org</sub>	PSC	DPS	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	
MW	769	301	468	387	63	86	16	1611	5674	576	

n = Anzahl der Bodenanalysen; Min = Minimum; Max = Maximum; MW = arithmetischer Mittelwert; P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor; P<sub>i</sub> = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor; P<sub>o</sub> = Gesamtgehalt an organischem Phosphor; P<sub>ox</sub> = Gesamtgehalt an oxalatrehabierbarem Phosphor; P<sub>org</sub> = Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt; PSC = Phosphor-Speicherkapazität; DPS = Phosphor-Sättigungsgrad; Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub> = oxalatrehabierbares Aluminium, Eisen, Mangan

## Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Christa Huemer

Hauptstraße 1

4552 Wartberg an der Krems

„Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.“

Wien, März 2013

.....