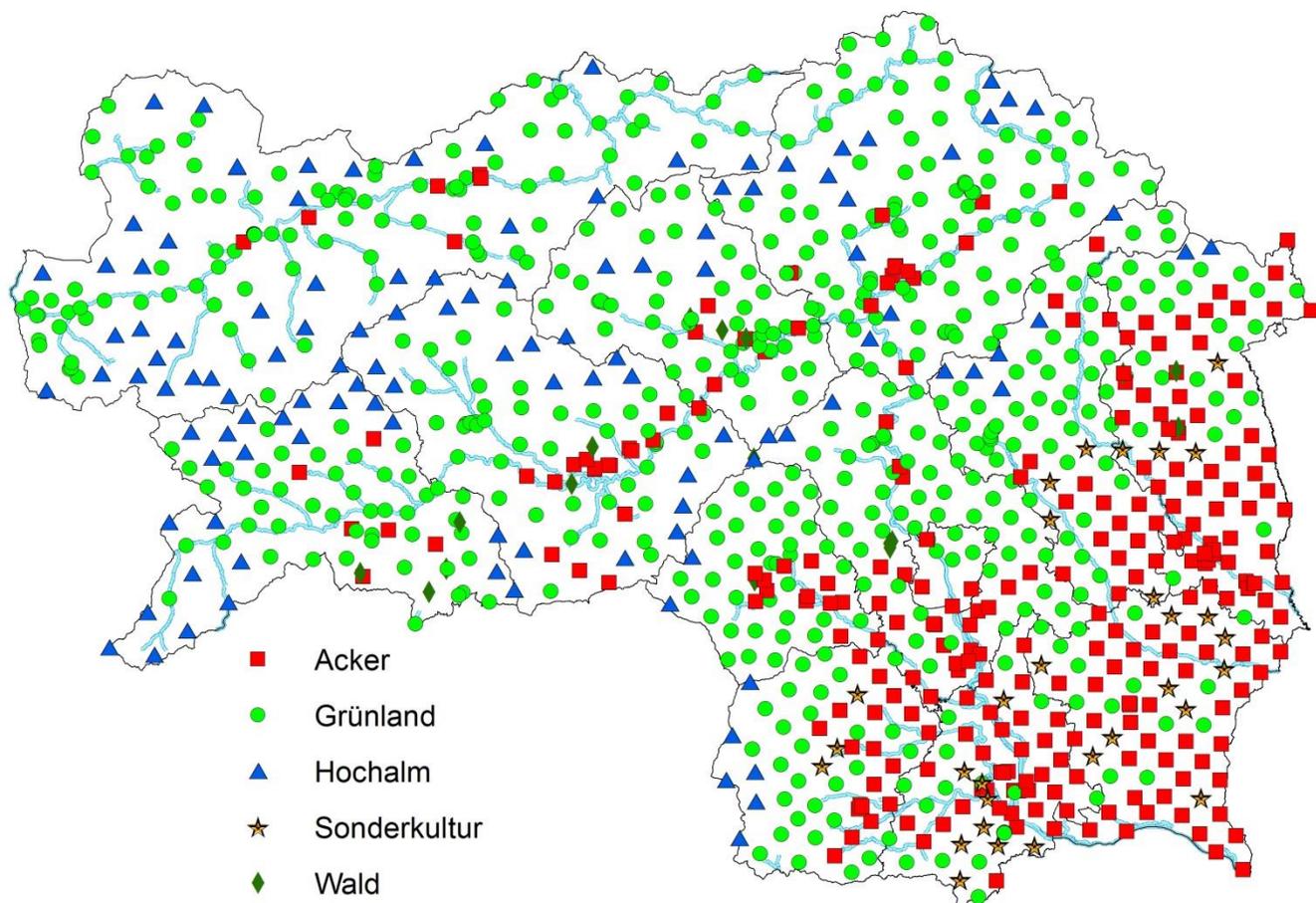


Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm

Bodenschutz-
bericht

2016



Amt der Steiermärkischen Landesregierung



Das Land
Steiermark

A10 Land- und Forstwirtschaft, Referat Boden- und Pflanzenanalytik



Das Bodenprobenarchiv des
Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzprogrammes.

Inhaltsangabe

	Seite
<u>Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm</u>	1
Inhaltsangabe	2
Zusammenfassung	4
1. Ein kurzer Rückblick	7
2. Durchführung der Untersuchungen	10
3. Bodenentstehung und Geologie	14
4. Bodentypen	21
5. Erosion	26
6. Bodenverdichtung	28
7. Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur	30
Allgemeines	32
Allgemeine Bodenparameter und Nährstoffe	34
Sand, Schluff, Ton	34
Humus	36
pH-Wert	38
Kalk	40
Phosphor	42
Kalium	44
Magnesium	46
Bor	48
Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Cu, Zn, Mn + Fe	50
Die austauschbaren Kationen Ca, Mg, K + Na	54
Das wasserextrahierbare Fluor	56

Inhaltsangabe

	Seite
Schwermetalle	58
Allgemeines	58
Kupfer	62
Zink	63
Blei	64
Chrom	65
Nickel	66
Kobalt	67
Molybdän	68
Cadmium	69
Quecksilber	70
Arsen	71
Organische Schadstoffe	72
Die chlorierten Kohlenwasserstoffe HCB, Lindan + DDT	72
Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe	76
Triazin - Rückstände	79
Erläuterung der Abkürzungen	81
Literatur	81
Impressum	82

Zusammenfassung

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm

Der vorliegende Bodenschutzbericht ist eine Zusammenfassung der vielen vorangegangenen Einzelberichte, er interpretiert die Ergebnisse nach dem aktuellen Kenntnisstand und verweist auf offene Fragen zukünftiger Untersuchungsprojekte. Seine Basis bilden die 1.000 Untersuchungsstandorte aus den Beprobungsjahren 1986 – 2007.

Allgemeine Bodenparameter:

Die Steiermark weist naturgegeben großräumig geringe Kalkgehalte auf, was häufig **saure Böden** zur Folge hat. 37 % der untersuchten Böden sind als „sauer“ einzustufen. Dies stellt an Hochalm und Waldstandorten kein Problem dar, an landwirtschaftlich genutzten Flächen ist aber eine Gesundheits- und Erhaltungs-Kalkung unerlässlich.

Der **Humusgehalt** ist an 98 % der untersuchten Böden in Ordnung und nur in Ausnahmefällen (10 % der Ackerböden) zu niedrig.

Nährstoff- und Spurenelement-Versorgung:

Während die **Phosphor**-Versorgung der Steiermark generell niedrig und Überdüngungen die Ausnahme darstellen, findet man beim **Kalium** häufig überversorgte Böden. Regelmäßige Bodenuntersuchungen in Verbindung mit einer kompetenten Düngeberatung sollten im Rahmen einer guten landwirtschaftlichen Praxis Standard sein.

Die pflanzenverfügbaren Nährstoffe und Spurenelemente **Magnesium**, **Mangan** und **Eisen** liegen in der Steiermark naturgegeben auf hohem Niveau.

Beim **Kupfer** findet man in der Steiermark vergleichsweise selten hohe Gehalte.

Das pflanzenverfügbare **Zink** ist im kalkalpinen Bereich und in der Nähe der Schwerindustrie häufig erhöht.

Das wasserlösliche Fluor:

Auf Grund der Ergebnisse der Bodenzustandsinventur werden **Fluorgehalte** bis 1,2 mg/kg Boden als normal angesehen. Darüber sind anthropogen verursachte Einträge durch Industriestäube und/oder Düngemittel anzunehmen (etwa 20 % der Untersuchungsstandorte).

Schwermetalle:

Hinsichtlich der Produktion gesunder Lebensmittel kommt den Schwermetallbelastungen in der Steiermark eine besondere Bedeutung zu. Die Einhaltung von Grenz- oder Richtwerten im Boden ist als alleiniger Beweis einer Gefährdung ungeeignet, weil zu viele Bodenparameter die Wasserlöslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit der Schadstoffe beeinflussen. Aber das Erkennen, wo in der Steiermark, welche Schwermetalle als erhöht anzusehen sind, ist bei der Abschätzung eines Gefährdungspotentials ein wichtiger erster Schritt.

Zu diesem Zweck wurden aus den Ergebnissen des Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzprogrammes **Normalwerte** berechnet, welche die Obergrenze der Schwermetallgehalte im Boden darstellen, oberhalb derer eine geologische Abnormalität oder anthropogen verursachte Schadstoffeinträge anzunehmen sind. Die vom Gesetz definierten Schwermetall-Grenzwerte sind diesbezüglich aussageelos, da sie aus Erhebungen anderer Regionen mit vermutlich anderen Zielsetzungen stammen.

Ein weiterer wichtiger Hinweis auf anthropogene Schadstoffeinträge sind im Oberboden eines Standortes angereicherte Schwermetallgehalte, welche aus dem Bodenprofil (Untersuchung mehrerer Bodenschichten) erkannt werden können.

Im Zuge der Auswertungen zeigte es sich, dass vor allem die beiden Schwermetalle **Cadmium** und **Blei** zu den häufigsten Umweltbelastungen zählen. Etwa 60 % der steirischen Böden weisen Anreicherungen im Oberboden auf. Außerdem wurde erkannt, dass es vor allem im Bereich der nördlichen Kalkalpen zu teils erhöhten Gehalten der beiden Schadstoffe kommt. Diese sind allerdings naturgegeben und addieren sich zur globalen Umweltbelastung.

Lokal begrenzte, aber zum Teil **Schwermetallbelastungen** findet man im Bereich ehemaliger Berg- und Hüttenstandorte von den Schladminger Tauern bis ins Grazer Bergland. Auch im Immissionsbereich der aktuellen Schwerindustrie sind deutlich erhöhte Schwermetallgehalte nachweisbar. Hinsichtlich der Detaillerggebnisse wird auf die Berichte der vergangenen Jahre hingewiesen.

Eine exaktere **Abgrenzung der belasteten Flächen in der Steiermark**, als sie durch das aktuelle Untersuchungsnetz möglich ist, ist in Arbeit und wird in Form kleinerer Projekte ein Thema der nächsten Jahre sein.

Organische Schadstoffe:

Von den untersuchten chlorierten Kohlenwasserstoffen wurde **DDT** an 47 der 1.000 Untersuchungsstandorte nachgewiesen. **HCB** wurde nur sporadisch gefunden und ist auch dann nur relevant, wenn Kürbis angebaut wird. **Lindan** ist in der Steiermark kein nennenswertes Thema.

Bei den **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen**, welche bei Verbrennungsvorgängen entstehen und einen universellen Umweltbelastungsindikator darstellen, weisen 13,4 % der Standorte eine erhöhte oder starke Belastung auf. Die restlichen Flächen liegen im Bereich der heute üblichen, überall vorkommenden Umweltbelastung.

An den 267 vom Bodenschutzprogramm erfassten Ackerstandorten wurden an 106 Untersuchungsstellen **Atrazin - Rückstände** im Oberboden nachgewiesen. Die Rückstände stammen aus der Zeit vor dem Anwendungsverbot. Bei den Kontrollen nach zehn Jahren war der Schadstoff nur mehr selten und in geringen Spuren nachzuweisen.

Anstelle von Atrazin konnten bei den Zehnjahreskontrollen im Zuge der Bodendauerbeobachtung ab 2006 an 29 Standorten Rückstände des Wirkstoffes **Terbutylazin** nachgewiesen werden.

Das weitere Vorgehen:

Die derzeit in Arbeit befindliche **Bodendauerbeobachtung** wurde in Form von Kontrollen im Zehn-Jahresabstand bereits 1996 begonnen. Erste Aussagen über Trends und Ergebnisse sind nach zwei bis drei Untersuchungsdekaden zu erwarten. Dazu liegt heute schon ein Großteil des zur Auswertung benötigten Proben- und Datenmaterials vor und es wird bei konsequenter Weiterführung bis spätestens 2026 eine erstmalige Erfassung von mittelfristigen Bodenveränderungen hinsichtlich Nährstoffversorgung und Schadstoffbelastung der steirischen Böden vorliegen.

Folgende wichtige Fragestellungen des Bodenschutzes werden dabei behandelt:

- **Humusverarmung** und **Bodenversauerung** an ackerbaulich genutzten Flächen.
- **Nährstoffverarmung** und **Überdüngung** von landwirtschaftlich genutzten Flächen.
- Finden weiterhin **Schadstoffeinträge von Schwermetallen** statt.
- Wie ist der Trend (Zu- oder Abnahme) der Bodengehalte bei den **organischen Schadstoffen** (chlorierte und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)?

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm

1. Ein kurzer Rückblick

Am **8. 10. 1984** wurde zur Erfassung des Bodenzustandes in einer ersten Besprechung der Aufbau eines Bodenuntersuchungsnetzes in der Steiermark projektiert.

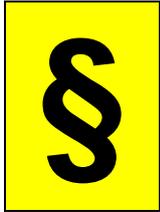
In weiterführenden Sitzungen wurde Dr. Max Eisenhut von der damaligen Bundesanstalt für Bodenwirtschaft und Bodenkartierung, Außenstelle Steiermark, mit der Auswahl der Untersuchungsstandorte unter Berücksichtigung von bodenkundlichen, umwelt- und nutzungsrelevanten Gesichtspunkten befasst. Unter Beiziehung weiterer Experten erfolgte eine Konkretisierung hinsichtlich des Projektumfanges und Finanzaufwandes.

Am **1. 7. 1985** fasste die Steiermärkische Landesregierung den Grundsatzbeschluss zu einem „Steirischen Bodenschutzprogramm“ zur Erfassung und laufenden Kontrolle des Zustandes landwirtschaftlicher Böden in der Steiermark. Das Projekt sollte als Dauer-einrichtung in der damaligen Landwirtschaftlich-chemischen Versuchs- und Untersuchungsanstalt installiert werden. In der Folgezeit wurde mit der Ausarbeitung des Steiermärkischen Bodenschutzgesetzes begonnen.

Die Einrichtung des ersten Untersuchungsstandortes des Bodenschutzprogrammes erfolgte im Leibnitzerfeld am **15. 4. 1986**.



Dr. Max Eisenhut und Ing. Leo Steiner bei der Bodenprofilaufnahme, April 1986.



Mit **2. 6. 1987** beschließt der Steiermärkische Landtag ein Gesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Böden, das **Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz** (LGBl. Nr. 66 / 1987) und mit **14. 12. 1987** ergeht eine Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung, mit der ein landwirtschaftliches Bodenschutzprogramm erlassen wird, die **Bodenschutzprogrammverordnung** (LGBl. Nr. 87 / 1987).

Aufgabe des Bodenschutzprogrammes ist es, ein für die Beurteilung des durch Schadstoffeintrag, Erosion und Verdichtung gegebenen Belastungsgrades landwirtschaftlicher Böden geeignetes ständiges Netz von Untersuchungsstellen zu schaffen und dort laufend Zustandskontrollen durchzuführen.

Zu diesem Zweck wurden in den Jahren 1986 – 1989 in den von der Bodenschutzprogrammverordnung vorgegebenen Untersuchungsregionen **119 Standorte** eingerichtet (**Nichtrasterstandorte**) und die Bodenproben aus mehreren Bodenschichten auf die geforderte Vielzahl an Parametern hin analysiert. An jedem Untersuchungsstandort erfolgte in dem auf das Erstuntersuchungsjahr nachfolgende Jahr zur Absicherung der Untersuchungsergebnisse eine Kontrolle des Oberbodens.

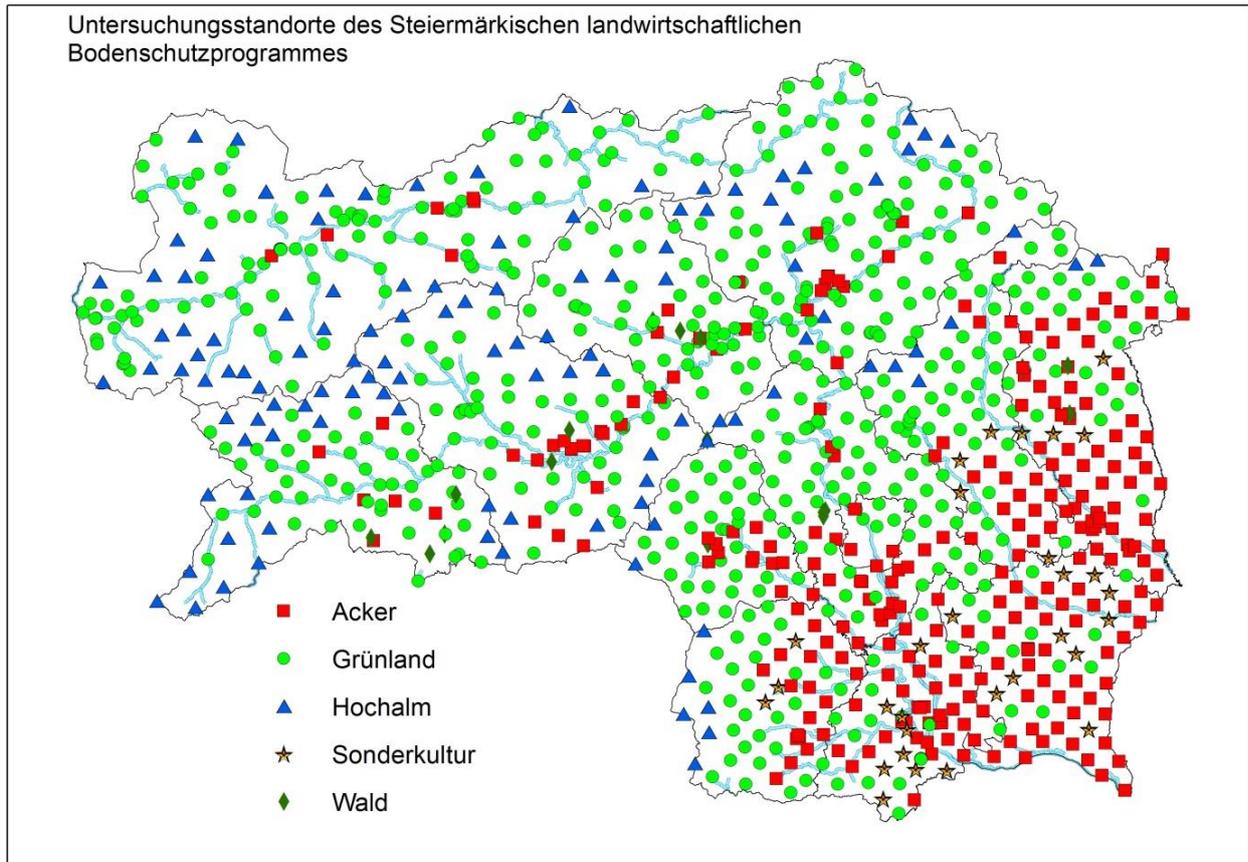
Die laufenden Ergebnisse der Untersuchungen wurden einer Forderung des Bodenschutzgesetzes entsprechend alljährlich dem Steiermärkischen Landtag in Form eines **Bodenschutzberichtes** zur Kenntnis gebracht.

Weil bei der Untersuchung der Schwermetallgehalte der Böden auch **Grenzwertüberschreitungen** festgestellt wurden, wurde gemäß § 2, Abs. 5 des Bodenschutzgesetzes der damalige Landeshygieniker für Steiermark, Hofrat Univ.-Doz. Ing. Dr. Michael Köck mit der Erstellung eines Gutachtens über die Ursachen und Auswirkungen erhöhter Schwermetallkonzentrationen in steirischen Böden beauftragt. In diesem **Gutachten** („Schwermetalle in steirischen Böden“, März 1993) sollten die Fragen zur Herkunft und möglichen Gefährdung für Mensch und Tier geklärt werden.

Das Gutachtertteam kam dabei zur Erkenntnis, dass die meisten Schwermetallbelastungen geogen begründet und somit als unabänderlich einzustufen sind. Eine Gefährdung von Pflanzen, Tieren oder Menschen konnte nach dem Stand der Wissenschaft und Erfahrung an fast allen Standorten ausgeschlossen werden. Zur Klärung noch offener Fragen wurde ein weiterführendes Projekt über die Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen in Böden vorgeschlagen. Über die Durchführung und Ergebnisse dieser Untersuchungen wird in einem der kommenden Bodenschutzberichte mit der Thematik „Pflanzenuntersuchungen“ näher eingegangen werden.

Ein weit größerer Aufwand und Zeitrahmen musste der in § 2, Abs. 4 des Bodenschutzgesetzes geforderten **Feststellung der Ausdehnung des durch Schadstoffe belasteten Bereiches** gewidmet werden. Einerseits wurde um großflächige Belastungen abschätzen zu können im Koordinationsausschuss des Bodenschutzprogrammes vereinbart ein flächendeckendes **Rasternetz (4x4 km) von 392 Untersuchungsstandorten** über die Steiermark zu legen (1990 – 1997). Andererseits wurden 1997 zur Abklärung kleinräumiger Belastungen an potentiellen Kontaminationsflächen zusätzlich 87 Standorte eingerichtet. Bis zum Jahr 2006 wurden die Lücken des Rasternetzes, welche durch Ausfall von Untersuchungsflächen entstanden sind, durch **489 Verdichtungsstandorte** ergänzt.

In Summe ergab sich somit ein aussagekräftiges, flächendeckendes Netz von **1.000 Untersuchungsstandorten** in der Steiermark:



2. Durchführung der Untersuchungen

Probenahme

Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm sieht vor, dass die Untersuchungsstandorte im ersten Jahr in mehreren Bodenhorizonten (Tiefenstufen) untersucht werden und dass im Folgejahr zur Absicherung dieser Ergebnisse eine Kontrollanalyse des Oberbodens stattfindet. Auf diese Weise wurden an den 1.000 Untersuchungsstandorten in der Steiermark **3.929 Bodenproben** untersucht.

Geländearbeit:

Die Probenahmefläche stellt einen Kreis mit einem 10 m Radius dar, dessen Mittelpunkt exakt vermessen und markiert wird. Bei der **Erstprobenahme** werden - wenn möglich - aus 4 Profilgruben des Kreises an den Stellen der Haupthimmelsrichtungen Proben aus drei Bodenhorizonten entnommen (Acker: 0-20, 20-50, 50-70 cm, sonstige Flächen: 0-5, 5-20, 20-50 cm). Die 4 Einzelproben eines Bodenhorizontes werden zu einer Mischprobe vereint. Der Bodenkundler erstellt eine bodenkundliche Profilbeschreibung und erhebt geländespezifische Daten (Neigung, Morphologie, Wasserverhältnis, etc.).

Bei den Wiederholungsprobenahmen im darauffolgenden Jahr wird an den Stellen der vier Nebenhimmelsrichtungen am Probenahmekreis eine Probe des Oberbodens entnommen.

Vermarkung der Standorte

Essentielle Basis bei der Errichtung eines für die Dauerbeobachtung geeigneten Untersuchungsnetzes ist die sorgfältige Vermessung und Markierung der Standorte. Beim Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzprogramm wurde wie folgt vorgegangen:

- Erstellung einer Lageskizze: Der Mittelpunkt des Untersuchungsstandortes wird von mehreren Fixpunkten mit Meter- und Winkelmaß eingemessen.
- Im Acker und Wechselland wird am Mittelpunkt des Probenahmekreises in ca. 40 cm Tiefe ein kleiner Permanentmagnet versenkt, an den übrigen Standorten erfolgt die Markierung durch Einschlagen eines großen Messnagels, dessen Kappe unter dem Wurzelfilz verborgen ist und eine problemlose Bewirtschaftung ermöglicht.
- Der Standort wird fotografisch durch zwei Bilder (Blickrichtung Nord und Süd) dokumentiert.
- Erfassung der GPS-Daten im Bundesmeldenetz (Rechts-/ Hochwert).

Bezeichnung der 1.000 Untersuchungsstandorte in den (ehemaligen) Bezirken:

Bezirk (Summe Standorte)	Erst- probennahme	Standort	Anzahl Standorte
1. Graz (10)	1989	GRA 11	1
	1995	GZA 1-5	5
	1997	VFF 4-6	3
	2003	GRZ 1	1
2. Bruck/Mur (77)	1986	BRU 1-10	10
	1987	IND 6-9, 10-12	7
	1989	BRU 11	1
	1994	BMA 1-7, BMB 1-6	13
	1995	BMB 7-8	2
	1997	VFC 6-8+10, VFH 1-6	10
	2000	BMX 1-30	30
	2002	BMX 31-34	4
3. Deutschlandsberg (56)	1995	DLA 1-11, DLB 1-10	21
	1997	VFB 1-4	4
	1998	DLX 1-3	3
	1999	DLX 4-31	28
4. Feldbach (54)	1993	FBA 1-11, FBB 1-11, FBC 1-11	33
	1995	FBD 1	1
	1997	VFA 4-6	3
	1998	FBX 1-17	17
5. Fürstenfeld (26)	1986	FUE 1-10	10
	1991	FFA 1-10	10
	1999	FFX 1-6	6
6. Graz-Umgebung (79)	1989	GRA 1-10, 12	11
	1995	GUA 1-10, GUB 1-10, GUC 1-8	28
	1997	VFE 8-14, VFI 1+3-4	10
	1998	GUX 1	1
	2004	GUX 2-16	15
2005	GUX 17-30	14	
7. Hartberg (72)	1988	POE 1-10	10
	1991	HBA 1-12, HBB 1-12, HBC 1-9	33
	1992	HBC 10	1
	1995	HBD 1-4	4
	2001	HBX 1-24	24
8. Judenburg (51)	1986	KNI 1-3, 8	4
	1989	KNI 11	1
	1992	JUA 1-10, JUB 1-8	18
	1997	VFD 1-2+6, VFE 1-6	9
	2003	JUX 1-18	18
	2006	JUX 19	1
9. Knittelfeld (33)	1986	KNI 4-7, 9, 10	6
	1992	KNI 12	1
	1992	KNA 1-10, KNB 1-5	15
	1995	KNB 6	1
	2004	KNX 1-10	10

Bezirk (Summe Standorte)	Erst- probennahme	Standort	Anzahl Standorte
10. Leibnitz (58)	1986	LEI 1-10	10
	1993	LBA 1-10, LBB 1-10, LBC 1-8	28
	1995	LBC 9	1
	1997	VFA 1-3, VFC 1	4
	1998	LBX 1-15	15
11. Leoben (69)	1989	LEO 1-10	10
	1994	LEA 1-8, LEB 1-6	14
	1997	VFB 5-12, VFC 2-5+9, VFE 7, VFH 8, VFI 2	16
	2002	LEX 1-22	22
	2003	LEX 23-29	7
12. Liezen (141)	1986	LIE 1-10	10
	1990	LIA 1-11, LIB 1-10, LIC 1-10, LID 1-2, 4-10	40
	1991	LID 3, LIB 11, LIC 11	3
	1992	LID 11	1
	1996	LIF 1-10, LIG 1-10, LIH 1-9	29
	1997	LIH 10, VFF 1-3, VFG 1-11, VFH 7+9-10	18
	1998	LIX 1-30	30
	2006	LIX 31-40	10
13. Mürzzuschlag (45)	1987	IND 1-5	5
	1992	IND 13-16	4
	1994	MZA 1-8, MZB 1-4	12
	1995	MZB 5-9	5
	1999	MZX 1-17	17
	2005	MZX 18+19	2
14. Murau (80)	1988	NEU 1-11	11
	1989	NEU 12	1
	1992	MUA 1-10, MUB 1-10, MUC 1-10, MUD 1-7	37
	1995	MUD 8-12	5
	1997	VFD 3-5	3
	1999	MUX 1-23	23
15. Radkersburg (24)	1993	RAA 1-7, RAB 1-6	13
	1998	RAX 1- 11	11
16. Voitsberg (52)	1986	VOI 1-10	10
	1989	VOI 11	1
	1994	VOA 1-8, VOB 1-7	15
	1995	VOB 8	1
	1997	VFF 7	1
	1998	VOX 1-2	2
	2004	VOX 3-23	21
	2005	VOX 24	1
17. Weiz (73)	1991	WZA 1-10, WZB 1-10, WZC 1-10	30
	1992	WZA 11	1
	1995	WZD 1-4	4
	1997	VFD 7, VFE 15-20	7
	2000	WZX 1-30	30
	2005	WZX 31	1

Durch die Wahl dieser Kurzbezeichnungen der Untersuchungsstandorte ist die Anonymität der Grundstückseigentümer bzw. Pächter gewährleistet.

Standortnutzung

Verteilung der Nutzungsformen in der Steiermark:

Bodenfläche nach Nutzung in ha:

Jahr (abs.)	Landwirtschaftliche Nutzfläche*	Forstwirtschaftliche Nutzfläche	Sonstige Flächen	Gesamtfläche**
1981	611.889,99	875.657,36	151.159,65	1.638.707,00
1991	593.371,54	885.262,89	160.174,09	1.638.808,52
2000	556.532,26	930.738,82	151.550,78	1.638.821,86
2011	536.033,58	939.853,07	164.217,32	1.640.103,97

* inkl. Gärten und Almen

** Flächenänderungen vermessungstechnisch bedingt.

Bodenfläche nach Nutzung (% - Anteil):

Jahr (%)	Landwirtschaftliche Nutzfläche*	Forstwirtschaftliche Nutzfläche	Sonstige Flächen
1981	37,3	53,4	9,3
1991	36,2	54,0	9,8
2000	34,0	56,8	9,2
2011	32,7	57,3	10,0

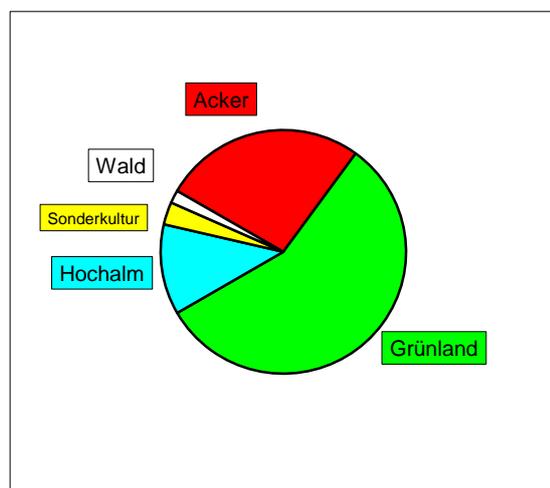
* inkl. Gärten und Almen

2011 wurden etwa ein Drittel der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt, die forstwirtschaftlich genutzte Fläche liegt bei 57 %. Die sonstigen Flächen (10 %) betreffen Gewässer, verbaute Bereiche und Gebirgslandschaften.

Aus dem zeitlichen Vergleich erkennt man, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche zu Gunsten des Waldes leicht abnimmt.

Quelle: Statistisches Bezirkssystem (STABIS) des Amtes der Steierm. Landesregierung

Die landwirtschaftliche Nutzung an den Untersuchungsstandorten:

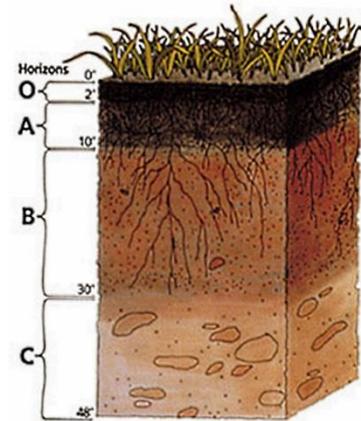


57 % Grünland (566 Standorte)
 27 % Acker (267 Standorte)
 12 % Hochalm (120 Standorte)
 3 % Sonderkultur (30 Standorte)
 2 % Wald (17 Standorte)

3. Bodenentstehung und Geologie

Boden ist - in menschlichen Dimensionen gemessen - ein unvermehrbares und überaus schützenswertes Gut; er ist, als Produktionsstätte unserer Nahrung, eine der wichtigsten Lebensgrundlagen des Menschen.

Ausgangsmaterial des Bodens sind verwitterte und zermahlene Gesteine. Seit dem Ende der letzten Eiszeit vor rund 11.000 Jahren vermischen sich die abgelagerten Sedimente an ihrer Oberfläche mit abgestorbenem organischem Material und bilden Humus. Abhängig von Klima, Ausgangsmaterial, Geländemorphologie, Fauna, Flora und menschlichen Einflüssen bilden sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Bodentypen mit einem charakteristischen Bodenprofil. Das Profil beginnt oben meistens mit einem Auflagehorizont (O-Horizont), darunter folgt der im Regelfall humose und belebte A-Horizont, der wiederum von einem durch Verwitterungs- oder Verlagerungsvorgänge umgestalteten B-Horizont unterlagert wird. Nach unten geht das Bodenprofil meistens diffus in das wenig veränderte Ausgangsgestein über (C-Horizont).



Wenn man somit über die Entstehungsgeschichte von Böden Bescheid weiß, wird klar, dass eine Interpretation von Bodeninhaltsstoffen - egal ob es sich um anorganische Nähr- oder Schadstoffe handelt - ohne Rückkopplung mit der Geologie unmöglich ist. Im Folgenden soll nun ein kurzer, für Laien verständlicher Ausflug in die Geologie der Steiermark unternommen werden.

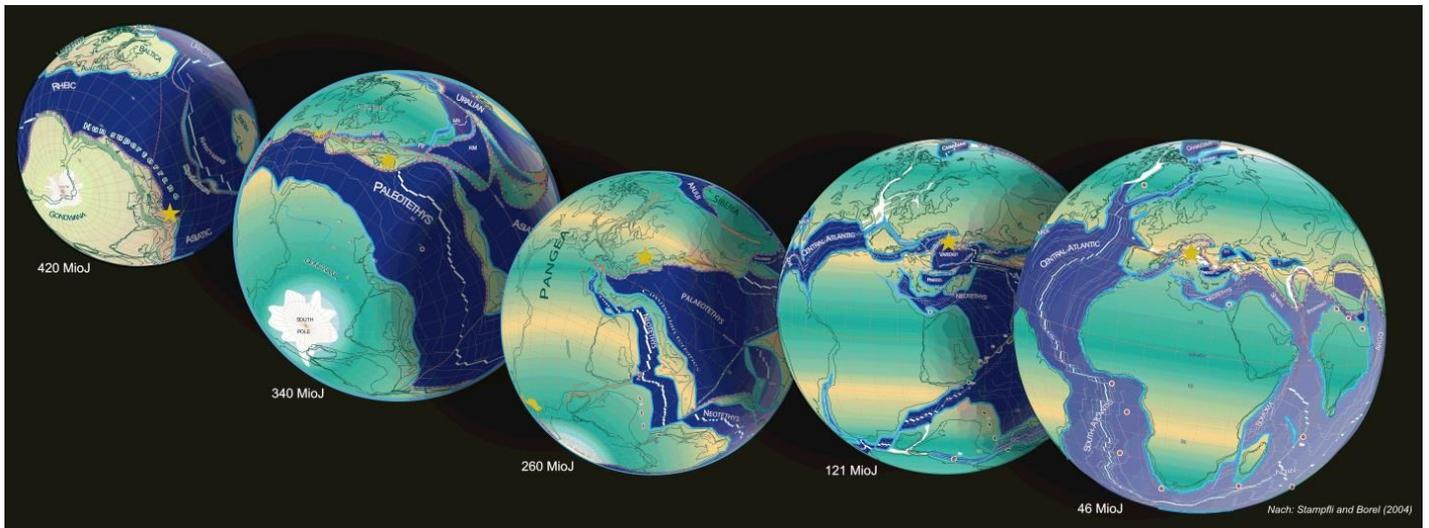
Steinzeiten - eine sehr kurze Geschichte der langen Geschichte der Steine.

Schon rund 200 Millionen Jahre nach der Entstehung unseres Planetensystems vor 4,6 Milliarden Jahren bildeten sich auf der Erde mit Wasser gefüllte Becken und erste feste Gesteinskruste. Seither ist das Erscheinungsbild unseres Planeten in ständiger Veränderung. Eine Erklärung für diese Vorgänge lieferte im vorigen Jahrhundert die Plattentektonik.

Der Boden unter den Ozeanen (ozeanische Kruste) besteht aus magmatischen Gesteinen und wird an den mittelozeanischen Rücken laufend neu gebildet. Die Erdkruste der Kontinente und der sie umgebenden seichteren Schelfbereiche setzt sich vorwiegend aus quarzreichen, metamorphen (umgewandelten) und magmatischen Gesteinen und Sedimenten zusammen. Diese Gesteinsplatten „schwimmen“ auf dem über 1300 °C heißen sogenannten Asthenosphärischen Mantel. Wenn die ständig zunehmende ozeanische Kruste beim Zusammentreffen mit einer (im Vergleich leichteren) kontinentalen Platte in die Asthenosphäre absinkt, spricht man von einer Subduktionszone. Die Gesteine werden aufgeschmolzen und lassen am Kontinent Vulkane entstehen.

Treffen zwei kontinentale Platten zusammen, kommt es durch Überschiebungen und Auffaltungen zu einer Gebirgsbildung. Gleichzeitig wird das kontinentale Gestein durch Erosion laufend zerstört und als Sediment abgelagert um irgendwann metamorph umgewandelt oder aufgeschmolzen zu werden. Über sehr lange Zeiträume gesehen spricht man letztendlich von einem Kreislauf der Gesteine.

Im Laufe der Erdgeschichte kam es zur Neubildung und Zerfall von vielen großen und kleinen Kontinentalplatten, am bekanntesten sind die beiden Großkontinente Gondwana und Pangäa. Parallel zu den sich verändernden Landmassen, kam es auch zum Verschwinden und zur Entstehung von Ozeanen, wie dem Urmeer Thetys.



Kontinentaldrift (gelber Stern: Position des heutigen Zentraleuropas)

Die Entstehung der Alpen – und damit auch der Steiermark – lässt sich im Wesentlichen durch die Verschmelzung von zwei Kontinenten und zwei Ozeanen erklären, die in der Zeit von 240 bis 40 Millionen Jahren vor heute das Gebiet des heutigen Mitteleuropas einnahmen: Die Kontinentalplatte des „Alten Europas“ (Laurasia) und eine von Afrika (Gondwana) abgespaltene kleinere Platte (der „Adriatische Sporn“), der Thetys-Ozean und ein Seitenarm des sich beim Zerfall von Pangäa neu öffnenden Atlantiks, der Penninische Ozean. Die Reise der ältesten paläozoischen Gesteine der Steiermark begann aber, wie das obige Bild zeigt schon viel früher, weit südlich des Äquators.

Bei der Kollision der afrikanischen bzw. adriatischen mit der eurasischen Platte kam es zu komplexen Deckenüberschiebungen und Beckenbildungen, deren Ergebnis heute unsere schöne Bergwelt und die landwirtschaftlich wichtigen Regionen der Steiermark sind. Das heutige Erscheinungsbild unseres Landes ist dabei hauptsächlich in der alpinen Hebungsphase der letzten wenigen Millionen Jahre und der Einwirkung der Eiszeiten der letzten 2 Millionen Jahre geprägt worden.

Der Alpenraum ist geologisch sehr komplex aufgebaut und vielfältig. Zur Interpretation der hier präsentierten Untersuchungsdaten findet man mit einer groben Zuordnung zu geologischen Großräumen meist das Auslangen. Auf detailliertere mineralogische und geologische Gegebenheiten wird nur bei speziellen Fragestellungen eingegangen.

Die wichtigsten bodenbestimmenden **geologischen Großräume der Steiermark** sind:

Quartär: In diesen Bereich fallen jene geologischen Ereignisse, welche sich in den letzten 2,6 Millionen Jahren ereignet haben. Im Wesentlichen handelt es sich um die Veränderungen der Erdoberfläche durch die 4 Eiszeiten Günz, Mindel, Riß und Würm, sowie um Ablagerungen und Veränderungen aus jüngster Zeit. Zu diesem Großraum zählen: Eiszeitliche Terrassensedimente, Moränen, Hangschutt, Material der Schwemmkegel und Talböden, Moore und anthropogene Ablagerungen (Halden, Deponien). Von dieser geologischen Zuordnung wurde in Einzelfällen abgewichen. Und zwar dann, wenn das Muttergestein eindeutig einem anderen Großraum zuordenbar ist. Zum Beispiel Böden auf kristallinem Hangschutt oder kalkiges Schwemmmaterial im kalkalpinen Bereich wurden wegen der chemischen Zugehörigkeit dem Kristallin bzw. Kalkalpin zugeordnet.



Ära	System	Serie	≈ Alter (mya)
Känozoikum	Quartär	Holozän	0,0117 – 0
		Pleistozän	2,588 – 0,0117
	Neogen	Pliozän	5,333 – 2,588
		Miozän	23,03 – 5,333
	Paläogen	Oligozän	33,9 – 23,03
		Eozän	56 – 33,9
		Paläozän	66 – 56



Schemmerlschotter (Miozän)

Tertiär (Paläogen + Neogen): Dieser geologische Großraum umfasst die Veränderungen der Erdoberfläche aus dem Zeitraum von 2,6 - 66 Millionen Jahren.

Das steirische Neogenbecken im Süden und Südosten unseres Bundeslandes entstand ab dem frühen Neogen (vor rund 19 Millionen Jahren). Es war anfangs ein Meer mit mehreren aktiven Vulkanen und wurde später mit Sedimenten, die aus der Erosion der nördlich gelegenen Berge stammen, verfüllt. Die Sedimentdecken reichen heute bis in Tiefen über 3000 Meter.

Vulkanischer Tuff mit Olivin
(Kapfensteiner Kogel):



Kalkalpen: Diese geologische Zone wurde aus Ablagerungen (Kalke und Dolomite) der Triaszeit (vor ca. 200 - 250 Millionen Jahren) gebildet, vom Kristallinsockel abgeschert und ortsfremd im Norden der Steiermark abgelagert. Ihr Entstehungsraum war ein riesiger Schelfbereich der Thetys östlich des Superkontinents Pangäa. Die Schichten der **Gosau** wurden ebenfalls in diesen geologischen Großraum mit einbezogen. Sie stammen aber aus jüngeren Ablagerungen der Oberkreide (vor ca. 66 - 100 Millionen Jahren). Geografisch handelt es sich dabei um kleinere Bereiche innerhalb der Kalkalpen und im Bezirk Voitsberg.

Ära	System	≈ Alter (mya)
Meso- zoikum	Kreide	145 – 66
	Jura	201,3 – 145
	Trias	252,2 – 201,3

Dachsteinkalk
aus der Trias
(Hoher Dachstein):



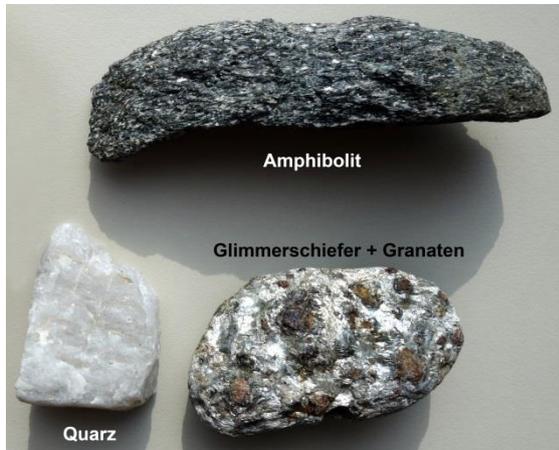
Paläozoikum: Dazu zählen geologische Formationen aus der Zeit des Erdaltertums von 252 - 541 Millionen Jahren. In der Steiermark handelt es sich um die Gebiete des Murauer- und Grazer Paläozoikums, sowie kleinerer Bereiche im Sausal. Ebenfalls aus diesem Zeitraum stammt die **Grauwackenzone** (GWZ). Ihre Gesteine sind sehr erzeich und sie erstreckt sich im Wesentlichen im Bereich zwischen den Kalkalpen und dem kristallinen Großraum.

Ära	System	≈ Alter (mya)
Paläo- zoikum	Perm	298,9 – 252,2
	Karbon	358,9 – 298,9
	Devon	419,2 – 358,9
	Silur	443,4 – 419,2
	Ordovizium	485,4 – 443,4
	Kambrium	541 – 485,4



Schöcklkalk (Niederschöckl) und Grünschiefer (Rettenbachklamm, Graz)
aus dem Grazer Paläozoikum.

Kristallin: Die Gesteine dieses geologischen Großraumes entstammen der frühesten Erdgeschichte, wurden aber im Laufe der Erdentwicklung mehrfach umgeformt und verändert (Metamorphose). Der früher gängige Begriff „Urgestein“ wird deshalb heute nicht mehr verwendet.



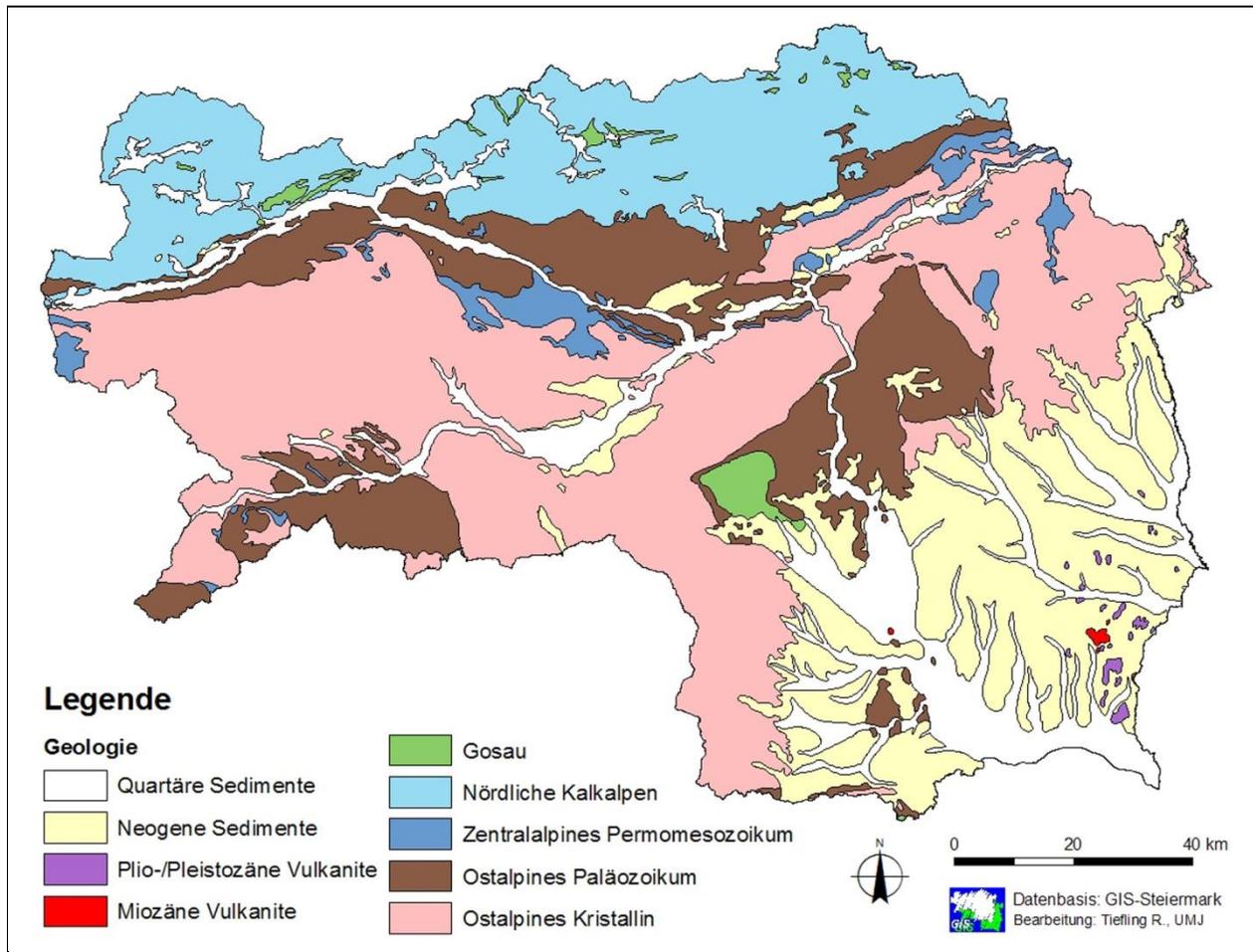
Wölzer (links) und Schladminger Kristallin.



Granat-Glimmerschiefer (Rappoldkogel) und feingebänderter Amphibolit (Handalpe).

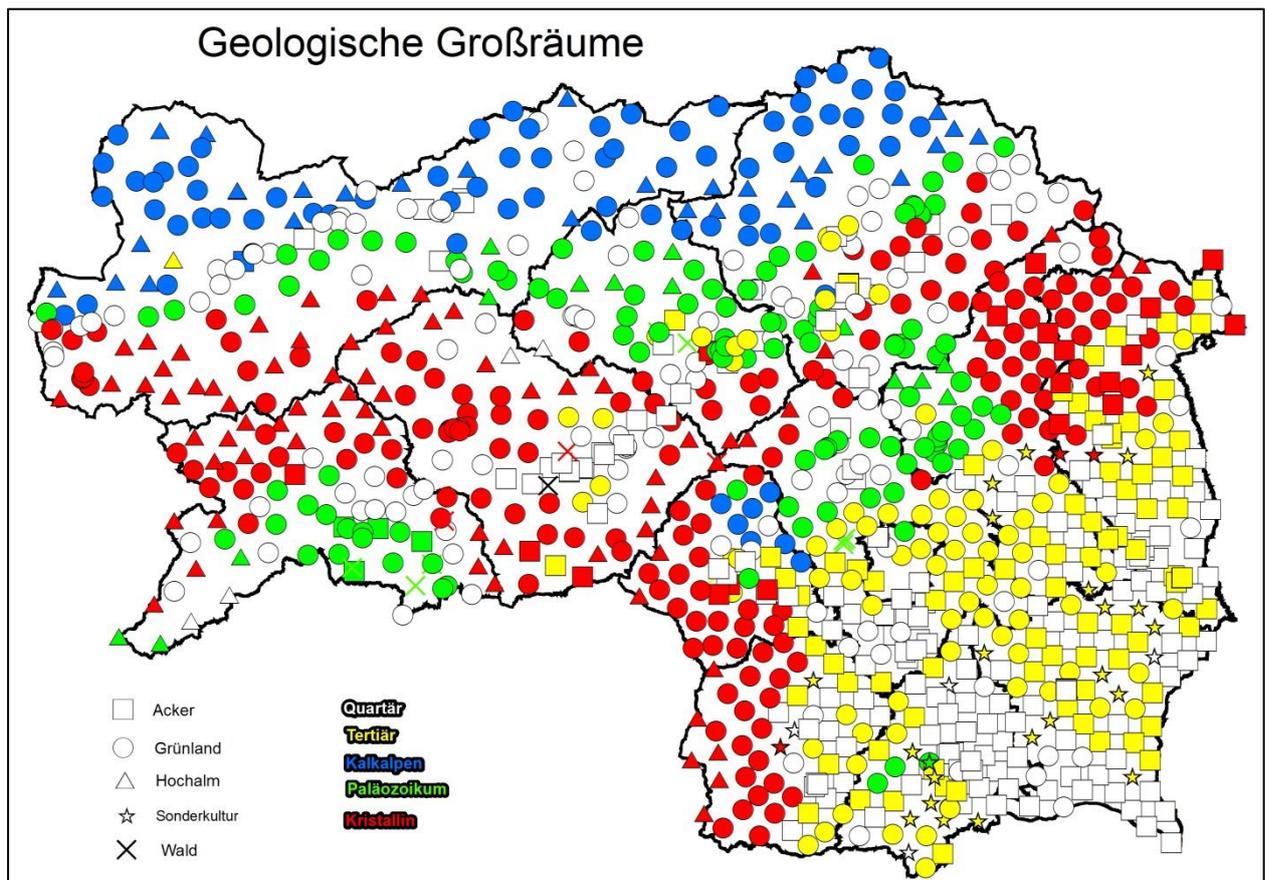
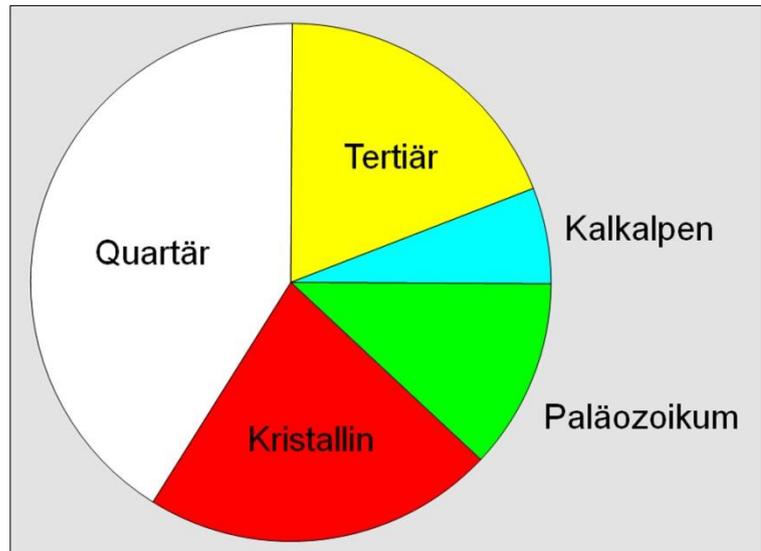
Verwendete Literatur:

Die Geologie der Alpen aus der Luft, Kurt Stüwe und Ruedi Homberger, 2012.
 Rocky Austria, Geologische Bundesanstalt, 2013.
 Wikipedia.



Die Verteilung der 1.000 Standorte des Bodenschutzprogrammes in den geologischen Großräumen:

Geologischer Großraum	Anzahl Standorte
Quartär	412
Tertiär	190
Kalkalpen	60
Paläozoikum	119
Kristallin	219



4. Bodentypen

Böden, welche den gleichen Entwicklungszustand aufweisen, bilden einen **Bodentyp**. Er wird durch eine bestimmte Abfolge von Bodenhorizonten (genetische Tiefenstufen) charakterisiert.

Die Entwicklung der Böden ist vom Ausgangsmaterial, von der Oberflächenausformung (Morphologie), der Wasserbeeinflussung, vom Klima, von der Vegetation, vom Bodenleben und vom menschlichen Einfluss abhängig. Besonders in den Tallandschaften wurden die ursprünglichen bodenkundlichen Verhältnisse durch Meliorationsmaßnahmen (Entwässerung) oft grundlegend verändert.

Man unterscheidet folgende Bodentypen:

Niedermoore:

Niedermoore entstehen bei der Verlandung von stehendem oder langsam fließendem Gewässer bei Vorhandensein eines bestimmten Pflanzenbestandes (Seggen, Schilf und Braunmoose). Aus diesen Pflanzen bildet sich Torf, der - besonders nach Entwässerung - durch Zersetzung und Vererdung (Einschwemmung, zum Teil auch Einwehung von Mineralstoffen) langsam zu Boden wird. Niedermoorböden sind relativ mineralstoffreich.

Anmoore:

Als Anmoore bezeichnet man sehr humusreiche Mineralböden, deren Humus unter sehr feuchten Bedingungen entstanden ist. Diese meist mittel- bis tiefgründigen Böden zeigen vor allem an nassen Standorten Gleyerscheinungen. Sie haben oft eine ungünstige Struktur und sind im Allgemeinen von mittelschwerer oder schwerer Bodenart. Ihr landwirtschaftlicher Wert hängt von den Wasserverhältnissen und davon ab, wie weit ihr Humus zu Anmoormull umgewandelt ist.

Im Bereich von Quellaustritten findet man fallweise kleinräumige Hangniedermoore.

Auböden:

Dies sind Böden, welche aus (jungem) Schwemmmaterial entstanden sind und die Auedynamik (d. h. Wasserdurchpulsung in Abhängigkeit vom Wasser des dazugehörigen Gerinnes) aufweisen. Sie zeigen der Art ihrer Ablagerung entsprechend oft einen geschichteten Aufbau. Infolge ihres geringen Alters verfügen sie noch über einen hohen Mineralbestand.

Man unterscheidet: Rohauböden, Graue Auböden, Braune Auböden und Schwemmböden.

Gleye:

Unter einem Gley versteht man einen Mineralboden, in dem durch Grundwasser-Einfluss chemisch-physikalische Veränderungen eingetreten sind. Gleyhorizonte sind vor allem an den charakteristischen Flecken, oder an einer typischen Verfärbung des gesamten Horizontmaterials zu erkennen. Die Verfärbungen entstehen durch Sauer-

stoffmangel (Reduktion) und haben einen hellgrauen, blaugrauen, bläulichen oder grünlichen Farbton. Dort, wo das Grundwasser zeitweise oder ständig absinkt, dringt Luft ein (Oxidation) und eine meist fleckige rostbraune Verfärbung tritt ein. Sehr oft liegen ungünstige Strukturverhältnisse (Verdichtung) vor.

Da in Gleyhorizonten oft die Wurzelatmung völlig unterbunden ist, dringen Wurzeln nicht in diese Zonen ein. Die Gründigkeit des Bodens wird somit begrenzt, insbesondere wenn die Bodenverdichtung zusätzlich ein Eindringen der Wurzeln erschwert.

Man unterscheidet Typische Gleye, Extreme Gleye und Hanggleye.

Rendsinen und Ranker:

Wenn sich unmittelbar über festem oder aus großen Trümmern bestehendem Ausgangsmaterial ein deutlicher Humushorizont gebildet hat, spricht man - je nach der mineralischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials - von Eurendsinen, Pararendsinen oder Rankern:

Eurendsinen:	vorwiegend aus Kalkgestein
Pararendsinen:	aus Kalkgestein und Silikaten
Ranker:	aus kalkfreiem Ausgangsmaterial

Beim Ranker sitzt der Humushorizont direkt am Muttergestein auf. In der landwirtschaftlichen Nutzung stellen derartige Böden ziemlich minderwertige, trockene Standorte dar.

Braunerden:

Dieser Bodentyp umfasst Böden, die infolge von Niederschlägen einer mehr oder weniger intensiven Verwitterung unterliegen. Dies lässt sich im Vorhandensein eines braunen Horizontes im Unterboden, dem B-Horizont, erkennen.

Je nach dem Ausgangsmaterial des B-Horizontes unterscheidet man Felsbraunerden, Lockersediment-Braunerden und Parabraunerden.

Podsole:

Podsol ist ein russischer Bauernname, der „Ascheboden“ bedeutet. Böden der Podsolgruppe enthalten nämlich unter der Humusaufgabe einen aschgrauen Bleichhorizont, der kaum organische Substanz enthält. Podsole entstehen durch kühles, niederschlagsreiches Klima, welches im Boden sogenannte Podsolierungsprozesse auslöst. Es handelt sich um stark saure Böden, welche kaum Nährstoffe enthalten und ein sehr schlechtes Speichervermögen besitzen.

Man unterscheidet Semipodsole und Typische Podsole.

Pseudogleye:

Enthält ein Boden einen nicht oder nur wenig durchlässigen Staukörper, so können über diesem Horizont Wasserstauungen auftreten. Der Staukörper kann dabei primär als geologische Schicht vorhanden sein, oder sich allmählich durch Einschlammung und Verdichtung gebildet haben. Die Staunässe, welche die über dem Staukörper liegende Stauzone ausfüllt, hat keinen durchgehenden Wasserspiegel und keine Verbindung mit dem tiefer liegenden Grundwasser. Sie tritt periodisch im Zusammenhang mit den Niederschlägen auf, sodass man von regelmäßigen feuchten und trockenen Phasen bzw. von Wechselfeuchtigkeit spricht.

Staunasse Böden, die im Unterboden typische Verfärbungen zeigen, gibt es in mannigfacher Ausbildung. Sie gelten im Allgemeinen bei Ackernutzung als ertragsunsicher, unter bestimmten Voraussetzungen bewirkt jedoch die Staunässe auch positive Effekte. Man unterscheidet Typische und Extreme Pseudogleye, Stagnogleye und Hangpseudogleye.

Reliktböden:

Unter diesem Überbegriff versteht man sowohl Böden, die schon in der Vorzeit, also unter wesentlich anderen Klimabedingungen als heute, entstanden sind und nun als Relikte vorliegen, als auch Böden, deren Ausgangsmaterial zwar bereits in der Vorzeit geprägt worden ist, die aber in der Erdgegenwart einer neuerlichen Bodenbildung unterworfen wurden. Diese Böden haben meist eine intensivere Farbe als die Böden anderer Typen.

Man unterscheidet: Braunlehm, Rotlehm (Terra Rossa), Roterde, Reliktpseudogley und Terra Fusca.

Atypische Böden:

Dazu zählen: **Ortsböden** (Farb-, Textur- und Strukturortsböden)

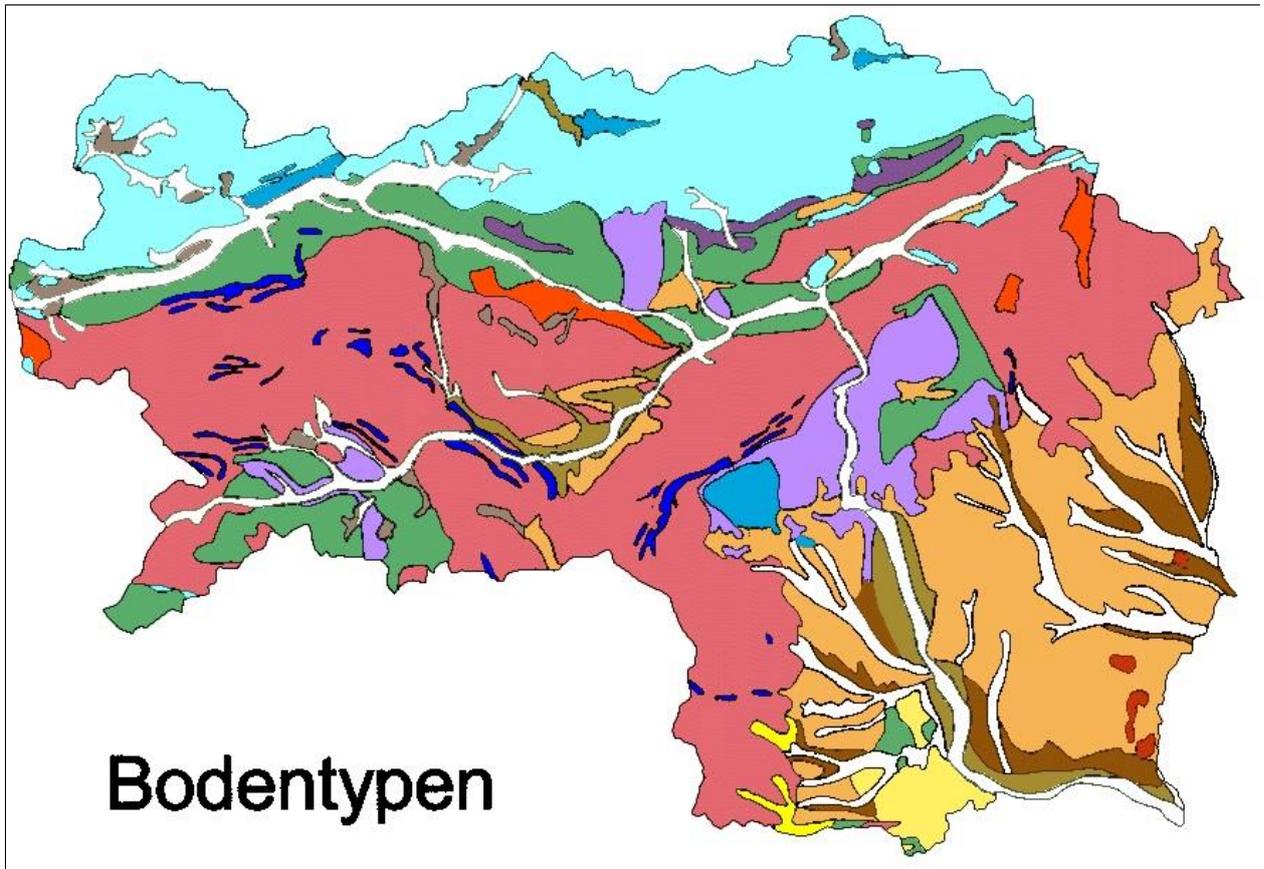
Gestörte Böden (Rest-, Kulturroh- und Rigolböden)

Schüttungsböden (Halden- und Planieböden, sowie Kolluvium und Bodensedimente)

Quelle: Niederösterreichische Bodenzustandsinventur 1994.

Die Verteilung der Bodentypengruppen der vom Bodenschutzprogramm erfassten Standorte:

Bodentypen	Anzahl
Moorböden	8
Aubodengruppe	91
Gleygruppe	70
Rendsina – Ranker	50
Braunerdegruppe	571
Podsol	19
Pseudogleygruppe	87
Reliktbodengruppe	20
Atypische Böden	84



Legende Bodentypen - Karte:

Signatur	Bodenbildendes Ausgangsmaterial - Bodentypen
 	Talböden (Schwemmmaterial) Enns: Kalkhaltige Graue Auböden, Gleye, Moore, Anmoore Auf Schwemmkegel und Schwemmfächer: Pararendsinen, Ranker und Braunerden Mur (Oberlauf), Mürz: Graue Auböden, Gleye Auf Schwemmkegel und Schwemmfächer: Pararendsinen, Ranker und Braunerden Mur (südl. von Graz): Kalkhaltige Graue Auböden, kalkfreie Braune Auböden und Gleye Hügellandtäler: Gleye, allochthone Braune Auböden, Pseudogleye
	Niederterrassen Kalkfreie Braunerden (dominant), Ranker, pseudovergleyte Braunerden, Pseudogleye
	Mittel- und alteiszeitliche Terrassen Typische und Extreme Pseudogleye, Parabraunerden
	Glazialer Bereich (Moränen und fluvioglaziale Sedimente) Pararendsinen, Ranker, Braunerden, Pseudogleye, Hangpseudogleye, Moore, Gleye
	Kalkfreie Tertiärsedimente Kulturrohböden, kalkfreie Braunerden (zum Teil pseudovergleyt), Hangpseudogleye
	Kalkhaltige Tertiärsedimente Pararendsinen, Rigolböden, Braunerden, Braunlehme und Pelosole
	Tertiäre Blockschotter Kalkfreie Braunerden, Ranker und Braunlehmreste
	Vulkangesteine (Tertiär - Miozän) Braunlehme, Rigolböden und kalkfreie Braunerden
	Gosauschichten (Mergel, Sandstein, Konglomerat) Braunerden, Pararendsinen, Ranker und Farbortsböden
	Mesozoische Karbonatgesteine (Kalk, Dolomit) und Werfener Schichten Rendsinen, Rohböden, Braunerden und Braunlehme
	Quarzite Kalkfreie Braunerden (zum Teil mit Podsolierung), pseudovergleyte Braunerden, Ranker und Rohböden
	Paläozoische Kalke und Dolomite Rendsinen, kalkhaltige Braunerden, Braun- und Rotlehme
	Paläozoische Tonschiefer, Phyllite und Grünschiefer Kalkfreie Braunerden, Ranker, Hanggleye und Farbortsböden
	Paläozoische Porphyroide Kalkfreie Braunerden und Ranker
	Kristallin Kalkfreie Felsbraunerden (zum Teil mit Podsolierung), Ranker, Rohböden und Podsole
	Marmor und Kalkschiefer Rendsinen und kalkhaltige Braunerden

5. Erosion

Geologen und Geographen verstehen unter Erosion die ausfurchende und einschneidende Wirkung des fließenden Wassers auf die Erdoberfläche, wodurch diese in Talformen und Rücken zergliedert wird.

Unter der **kulturbedingten** Erosion versteht man die vom Menschen ausgelöste Verlagerung von Bodenbestandteilen durch abfließendes Wasser. Der Einfluss des Menschen besteht dabei überwiegend in einer Beseitigung der natürlichen Pflanzengesellschaften. Eine ackerbauliche Landnutzung wirkt daher meist erosionsfördernd.

In der Steiermark waren bis etwa 1970 kaum Erosionsprobleme bekannt. Eine vielgliedrige Fruchtfolge, in der alle standortsüblichen Feldfrüchte Platz fanden, sorgte für die Bodengare. Relativ kleine, oft hangparallele Parzellen, Ackerterrassen auf steileren Hängen und Buschreihen an den Flurgrenzen hielten den Bodenabtrag in Grenzen. Erst als diese arbeitsaufwändige Landnutzung wegen wirtschaftlicher Zwänge aufgegeben werden musste und die Mechanisierung erheblich zunahm, wurde die Bodenerosion allmählich zur Gefahr für die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit (Zeitschrift „Der Pflanzenarzt“, 1987).

Ursachen der Bodenerosion:

- Ausräumung der einst reich gegliederten Kulturlandschaft
- Inanspruchnahme guter Ackerlagen für Verbauung, Rohstoffgewinnung usw.
- Vereinfachung der Fruchtfolge bis zur Maismonokultur
- Wegfall von Stallmist und Leguminosen als Bodenverbesserer
- Befahren und Bearbeiten der Äcker mit schweren Geräten in zu feuchtem Zustand.

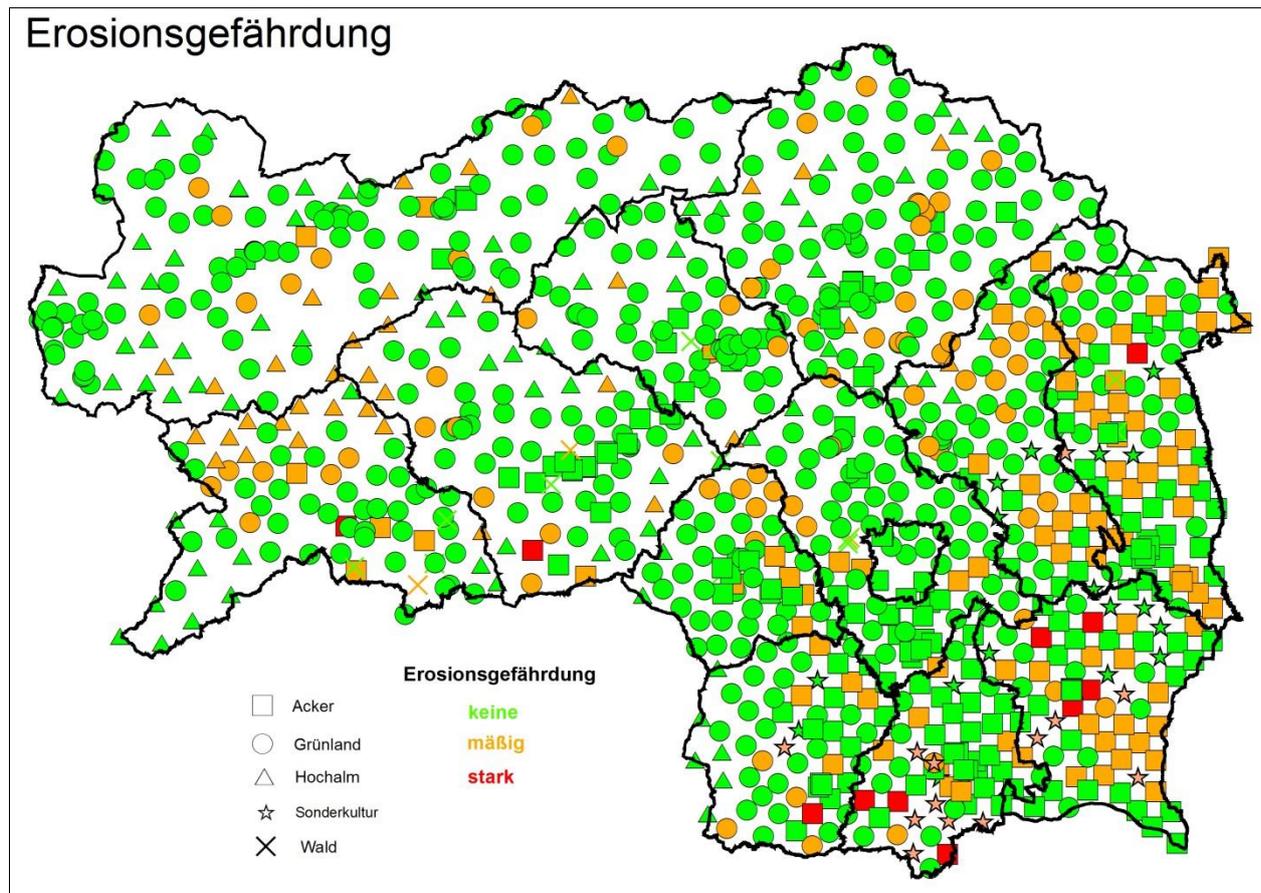
Eine **grobe Abschätzung der Erosionsgefährdung** der Untersuchungsstandorte des Bodenschutzprogrammes erfolgte entsprechend der nachstehenden Tabelle nach **Nutzungsart** und **Hangneigung**:

Erosionsgefährdung:	stark	mäßig	keine
Acker	$> 10^\circ$	$5 - 10^\circ$	$0 - 4^\circ$
Wald	---	$\geq 25^\circ$	$0 - 24^\circ$
Grünland, Obstanlagen	---	$\geq 20^\circ$	$0 - 19^\circ$
Weinanlagen	---	$\geq 10^\circ$	$0 - 9^\circ$

Von den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes sind nach dieser groben Abschätzung nur einige wenige Ackerstandorte **stark** erosionsgefährdet (Hangneigung $> 10^\circ$).

Beim überwiegenden Anteil der Untersuchungsflächen besteht nur **mäßige** oder **keine** Gefahr von Erosion.

Die Erosionsgefährdung der Untersuchungsstandorte der Steiermark:



Da die Bodenerosion auf lange Sicht die Bodenfruchtbarkeit zerstört und dadurch wertvolles, humoses mit Nährstoffen angereichertes Pflanzenmaterial verloren geht, liegt die **Eindämmung der Erosion** im Interesse jedes verantwortungsvollen Landwirtes. Nach Mayer (1998) ist auch in den nächsten Jahren zu erwarten, dass in der Steiermark jene Kulturen überwiegen werden, die am kostengünstigsten bei guten Roherträgen produzierbar sind.

Durch **pflanzenbauliche** (Untersaaten und Eingrünung zwischen zwei Maisvegetationsperioden) und **landtechnische Maßnahmen** (nicht-wendende Bodenbearbeitung und minimale Saatbettbereitung) können Reihenkulturen weniger erosionsanfällig angelegt werden.

Fruchtfolgen mit hohem Bedeckungsgrad sind ebenfalls geeignet.

Auch die Anlage von Dauergrünland, die Stilllegung und die Aufforstung stellen in extremen Hanglagen Lösungsansätze dar.

6. Bodenverdichtung

Der ideale Zustand für unsere Kulturpflanzen ist ein garer Boden. Das Gegenteil von Bodengare ist die Bodenverdichtung. Dabei treten folgende Schadensbilder auf:

- Verlust der Krümelstruktur
- Verminderung des Porenvolumens, vor allem der Grobporen
- Gehemmte Wasserführung
- Gestörter Gasaustausch
- Beeinträchtigt Wurzelwachstum
- Reduziertes Bodenleben

Die **Ursachen der Bodenverdichtung** liegen einerseits in den natürlichen, geologisch-pedogenen Voraussetzungen (schluff- und tonreiche Sedimente), andererseits in anthropogenen Einwirkungen.

Zu den vom Menschen verursachten Einwirkungen zählen:

- Bodenbearbeitung (Einsatz von schweren Maschinen und Fahrzeugen, Bearbeiten und Befahren des Bodens im feuchten Zustand)
- Düngung (mineralische Düngung allein führt zu Humusabbau)
- Monokultur

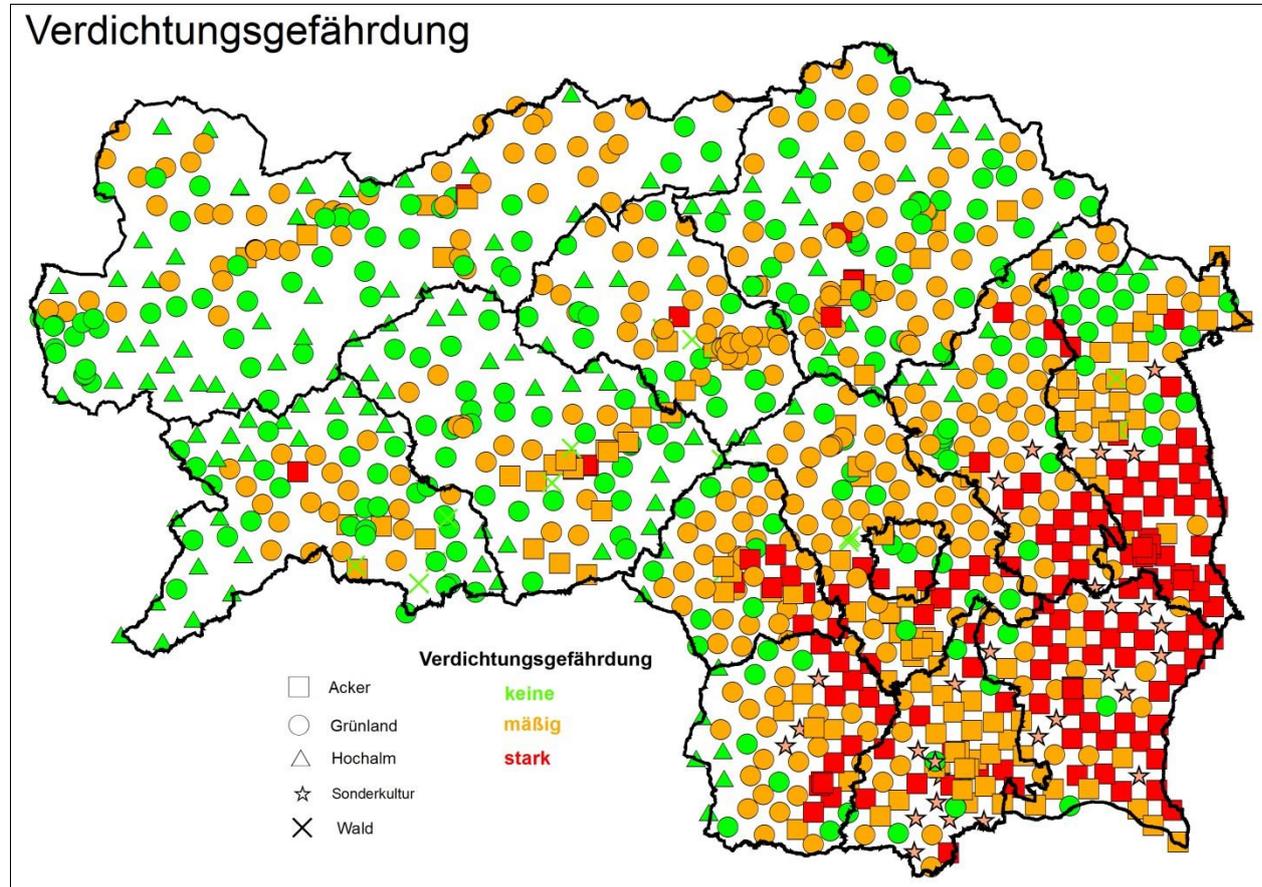
Strukturschäden im Boden sind nicht irreparabel. Sie können durch gezielte standortsangepasste Bodenbewirtschaftung aufgehoben, oder von vornherein vermieden werden. Neben einer standortsangepassten Fruchtfolge sind vor allem der Bodenbearbeitung und der Wahl des optimalen Zeitpunktes der Bearbeitung große Beachtung zu schenken. Bei der Düngung ist darauf zu achten, dass einerseits die Kulturpflanzen ausreichend mit Nährstoffen versorgt werden und andererseits das Bodenleben gefördert wird. Dadurch werden günstige Voraussetzungen zur Erhaltung der Bodengare geschaffen (z.B. Gründüngung oder Stallmist ergänzt durch mineralischen Dünger).

Eine **grobe Abschätzung der Gefahr von Bodenverdichtung** an den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes erfolgte entsprechend der nachstehenden Tabelle nach **Nutzungsart** und **Bodenschwere** (abgeleitet aus dem Tongehalt des Bodens; siehe Seite 34):

Gefahr von Bodenverdichtung:	stark	mäßig	keine
Acker	mittlere und schwere Böden	leichte Böden	---
Grünland	---	mittlere und schwere Böden	leichte Böden
Sonderkulturen	---	alle	---

Von den Untersuchungsstandorten des Bodenschutzprogrammes sind nach dieser groben Abschätzung besonders die Äcker der Untersteiermark **stark** verdichtungsgefährdet, wenn der Tongehalt über 15 % liegt.

Die Verdichtungsgefährdung der Untersuchungsstandorte der Steiermark:



7. Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wurden den betreffenden Grundstückseigentümern bzw. Pächtern schriftlich mitgeteilt.

Die Diskussion bzw. Präsentation der Untersuchungsergebnisse in der Öffentlichkeit wurde durch den jährlich erscheinenden Bodenschutzbericht gewährleistet, der auch im Internet als pdf-File aufgerufen werden kann.

Die **Internet - Adresse** zu allen Untersuchungsdaten lautet:

www.bodenschutz.steiermark.at

Die Abfrage von Untersuchungsergebnissen erfolgt folgendermaßen:

1. Den Link „Untersuchungsergebnisse“ oder die Karte anklicken
2. Im neuen Fenster links neben Karte „Bodenschutzprogramm“ ankreuzen
3. Eventuell mit der „+“-Lupe in die Karte hineinzoomen
4. Hotlink-Werkzeug (Symbol „i“) wählen
5. Im neuen Fenster die Abfrage „Bodenschutzpunkte“ auswählen
6. Gewünschten Standort anklicken
7. In der nun erscheinenden Zeile unten „Beurteilung“ wählen
8. Im neuen Fenster der verbalen **Beurteilung** sind auch die bodenkundliche **Profilbeschreibung** und die **Analysedaten** des gewählten Standortes zugänglich.

Weitere vielfältige Informationen zum Thema Umweltschutz in der Steiermark sind im Landes-Umwelt-Informationen-System (LUIS) unter **www.umwelt.steiermark.at** abrufbar.

Übersicht Bodenschutzberichte

Seit dem Jahr **1988** wurde entsprechend der gesetzlichen Vorgabe dem Landtag Steiermark jährlich ein Bodenschutzbericht zur Kenntnis gebracht.

Bodenschutzberichte 1988 - 1997:

Die ersten zehn Jahre der Berichtslegung behandelten den damals aktuellen Stand der Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes.

Bodenschutzbericht 1998 (Steiermark-Raster):

Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur im 4x4 km - Raster (392 Standorte). Erste Grundlagen für Beurteilungskriterien (Normalwerte, Analysenfehler).

Bodenschutzbericht 1999 (Potentielle Kontaminationsflächen):

Bodenbelastungen auf Grund von geologischen Besonderheiten und Umwelteinflüssen menschlichen Ursprungs (historischer Bergbau, Industrie, Verkehr, Tontaubenschießplätze).

Bodenschutzbericht 2000 (Die Variabilität von Bodenparametern):

Erste Ergebnisse zur Bodendauerbeobachtung (10-Jahreskontrolle von 109 Nichttrasterstandorten) und Ergebnisse des einjährigen Projektes "Untersuchungen zur zeitlichen und örtlichen Variabilität von Bodenparametern".

Bodenschutzberichte 2001 - 2015:

Bezirksweise Zusammenfassung der Ergebnisse der Bodenzustandsinventur.

Jahr	Bodenzustandsinventur
2001	Bezirk Radkersburg
2002	Bezirk Leibnitz
2003	Bezirk Deutschlandsberg
2004	Bezirk Feldbach
2005	Bezirk Fürstenfeld
2006	Bezirk Hartberg
2007	Bezirk Murau
2008	Bezirk Weiz
2009	Bezirk Voitsberg
2010	Bezirke Graz und Graz-Umgebung
2011	Bezirk Mürzzuschlag
2012	Bezirk Murtal
2013	Bezirk Leoben
2014	Bezirk Bruck-Mürzzuschlag
2015	Bezirk Liezen

Anforderung von Berichten:

Frau Mag. Dr. Gertrude Billiani

Tel.: 0316-877-6651

E-mail: gertrude.billiani@stmk.gv.at

Alle Bodenschutzberichte ab 1998 sind als pdf-File im Internet unter <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10215574/2998692/> zugänglich.

Allgemeines

Die Untersuchung der Parameter wird gemäß der Bodenschutzprogrammverordnung durchgeführt, wobei die Analyse der chlorierten und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe prinzipiell nur im Oberboden erfolgt und der jeweilige Unterboden nur bei Auffälligkeiten im Gehalt der Krume kontrolliert wird. Triazinherbizid-Rückstände werden nur an Ackerstandorten untersucht und die Bestimmung der Korngrößen (Sand-Schluff-Ton) erfolgt nur im Erstuntersuchungsjahr.

Sämtliche Bestimmungen beziehen sich auf den auf 2 mm Korngröße gesiebten, luftgetrockneten Feinboden. Nur bei der Untersuchung auf Triazinrückstände wird das frische Probenmaterial verwendet und das Ergebnis nachträglich auf die Trockensubstanz (105°) bezogen.

Bei der Diskussion der Untersuchungsergebnisse werden in erster Linie die Mittelwerte der Oberböden (Erst- und Folgeuntersuchung) herangezogen. Die Ergebnisse der Unterböden werden erst bei speziellen Fragestellungen bzw. Auffälligkeiten im betreffenden Oberboden näher betrachtet.

Die Ergebnisse gelten streng genommen nur an der beprobten Untersuchungsfläche, welche ein Ausmaß von ca. 0,1 ha hat und repräsentieren den Bodenzustand zum Zeitpunkt der Probennahme.

Die Präsentation der Daten in diesem Bericht beschränkt sich auf einen groben Überblick des steirischen Bodenzustandes. Detailinterpretationen sind den einzelnen Bodenschutzberichten der Bezirke aus den Jahren 2001 – 2015 zu entnehmen.

Genauigkeit der Messergebnisse:

Jedes Messergebnis ist fehlerbehaftet (Bodenschutzbericht 1998, Seiten 26 ff). Die Angabe der Untersuchungsergebnisse ist daher folgendermaßen zu verstehen:

Messwert ± Vertrauensbereich

Der Begriff „**Vertrauensbereich (VB)**“ wird statistisch definiert als die zweifache kombinierte Messunsicherheit, in welche alle Fehlerquellen von der Probenahme bis zur Endberechnung eines Untersuchungsparameters summarisch eingehen (in früheren Berichten wurde anstelle des Vertrauensbereiches der Begriff „Analysefehler“ verwendet).

Der Vertrauensbereich ist - egal ob man ihn absolut oder prozentuell ausdrückt - konzentrationsabhängig. Das heißt, der für einen Untersuchungsparameter angegebene Vertrauensbereich gilt nur für einen konkreten, engen Gehaltsbereich.

Die Berechnung des Vertrauensbereiches erfolgt üblicherweise aus der Standardabweichung von Mehrfachbestimmungen nach: $VB = 2 \times STABW$.

Da Untersuchungsdaten von Böden in der Regel eine sehr geringe temporäre Variabilität aufweisen (vergleiche Bodenschutzbericht 2000), wurden für die Berechnung des Vertrauensbereiches die Analysenergebnisse der Erst- und Wiederholungsuntersuchungen aller Bodenschutzstandorte herangezogen. Nach einer Ausreißereliminierung wurde die Ausgleichsgerade berechnet und der Vertrauensbereich für den Mediangehalt steirischer Böden ermittelt. Die nachstehende Tabelle ist eine Zusammenfassung dieser Schätzwerte für den Vertrauensbereich am Mediangehalt steirischer Böden.

Durchschnittsgehalte im Oberboden und Vertrauensbereiche (VB):

Parameter	Einheit	Mediangehalte (Steiermark)	Vertrauensbereich (geschätzt)
Sand	%	35,00	2,10*
Schluff	%	48,00	2,94*
Ton	%	16,00	2,35*
Humus	%	6,15	0,95
P2O5	mg/100g	6,00	3,14
K2O	mg/100g	16,00	5,97
pH-Wert	---	5,43	0,24
CaCO ₃ > 0	%	0,20	0,09
CaKat	mg/100g	242,50	37,88
MgKat	mg/100g	24,00	5,46
KKat	mg/100g	12,00	5,37
NaKat	mg/100g	1,20	0,50
Mg	mg/100g	17,00	3,45
Bor	mg/kg	0,38	0,30
EDTA-Cu	mg/kg	5,30	1,01
EDTA-Zn	mg/kg	7,45	2,43
EDTA-Mn	mg/kg	299,50	56,36
EDTA-Fe	mg/kg	538,25	128,81
Fluor	mg/kg	0,49	0,15
Cu	mg/kg	25,13	3,49
Zn	mg/kg	94,95	11,73
Pb	mg/kg	27,44	4,06
Cr	mg/kg	39,93	5,86
Ni	mg/kg	26,35	3,33
Co	mg/kg	12,70	1,66
Mo	mg/kg	0,89	0,13
Cd	mg/kg	0,28	0,06
Hg	mg/kg	0,13	0,04
As	mg/kg	11,55	1,70
PAH-Summe	µg/kg	65,00	26,08

* Da die Bestimmung der drei Korngrößenfraktionen nur bei der Erstprobennahme erfolgte, wurde der Vertrauensbereich der Parameter Sand, Schluff und Ton aus den Ergebnissen von Ringversuchen geschätzt (ohne Probenahmefehler).

Allgemeine Bodenparameter und Nährstoffe:

Zur Beurteilung der Untersuchungsergebnisse werden in erster Linie die " Richtlinien für sachgerechte Düngung" - 6. Auflage des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft von 2006 herangezogen. Die Hochalmstandorte, sowie die forstwirtschaftlich genutzten Standorte wurden näherungsweise wie Grünland beurteilt.

Beurteilt wurden primär nur die Oberböden (Mittelwert aus Erst- und Wiederholungsuntersuchung im Folgejahr). Die Unterböden wurden nur für spezielle Fragestellungen, wie etwa zur Beurteilung der Profilverteilung bei Schwermetallen, herangezogen.

Sand, Schluff, Ton:

Die Bestimmung dieser drei Korngrößenfraktionen erfolgt laut Bodenschutzprogrammverordnung nur im Erstbeprobungsjahr und wird aus analytischen Gründen nur bis zu einem Humusgehalt von maximal 15 % durchgeführt.

Allgemeines:

Die Korngrößenverteilung im Boden hat einen großen Einfluss auf Ertragsfähigkeit, Bearbeitbarkeit und Filtervermögen des Bodens. Die grobe Einteilung des mineralischen Bodenmaterials in Sand (63 - 2000 μm), Schluff (2 - 63 μm) und Ton (< 2 μm) ermöglicht eine Beurteilung von wichtigen Bodeneigenschaften, wie zum Beispiel der **Bodenschwere**:

„Schwerer“ Boden:	Tongehalt: > 25%
„Mittlerer“ Boden:	Tongehalt: 15 - 25 %
„Leichter“ Boden:	Tongehalt: < 15%

Böden mit einem hohen Tonanteil besitzen eine große Filterkapazität, was für das Bindevermögen von Schadstoffen günstig ist, andererseits aber die Bearbeitbarkeit erschwert. Umgekehrtes gilt für Böden mit einem hohen Sandanteil, sodass Schluff- und Lehmböden mittleren Tongehaltes bei gutem Gefüge die günstigste Konstellation chemischer und physikalischer Eigenschaften darstellen.

Die Bodenschwere ist auch ein wichtiger Einflussfaktor bei der Beurteilung der Nährstoffversorgung mit Kalium, Magnesium und Bor sowie zur Charakterisierung des anzustrebenden Mindesthumusgehaltes und Säuregrades im Boden.

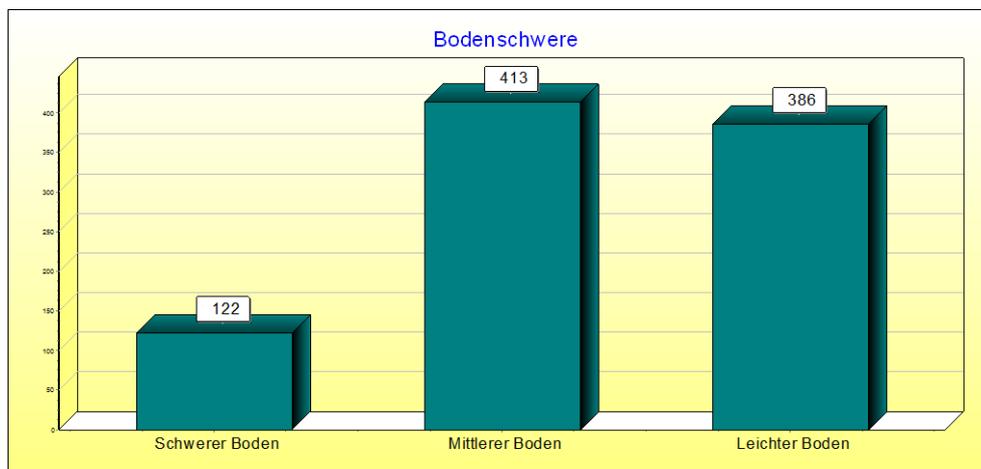
Die Bestimmung der Korngrößen erfolgt nach ÖNORM L1061-2.

Untersuchungsergebnisse:

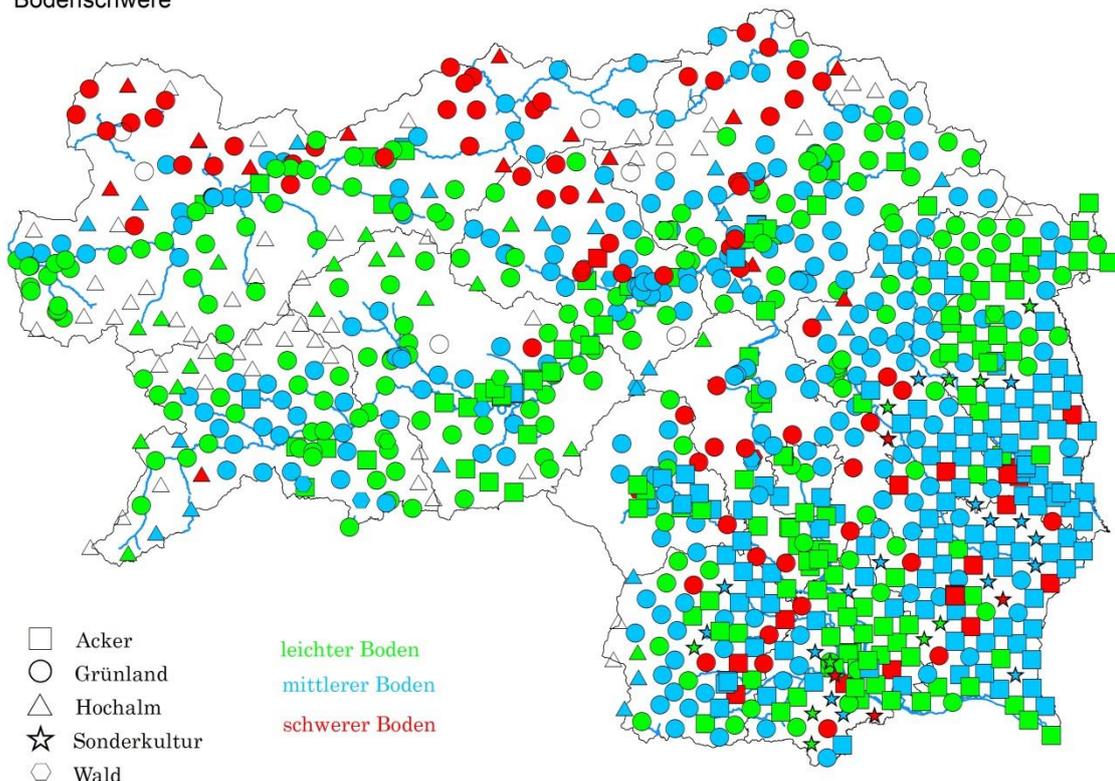
Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen der **Bodenschwere**:

Bodenschwere	„schwer“	„mittel“	„leicht“
Grünland	83	246	219
Acker	19	119	129
Hochalm	15	24	23
Sonderkultur	4	16	10
Wald	1	8	5
Summe Steiermark (921*)	122	413	386

* 79 Standorte konnten nicht untersucht werden, da ihr Humusgehalt über 15 % liegt.



Bodenschwere



Humus:

Allgemeines:

Der Humusgehalt bzw. die organische Substanz eines Bodens ist definiert als die Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren Umwandlungsprodukte in und auf dem Boden.

Humus zählt zu den wichtigsten Bestandteilen eines Bodens. Er beeinflusst das Wasser-, Nährstoff- und auch Schadstoffspeichervermögen ebenso positiv, wie die Pufferkapazität oder die Strukturstabilität. Humus ist deshalb nicht nur ein wesentlicher Faktor der Bodenfruchtbarkeit, er hat auch einen bedeutenden Anteil an der Schutzfunktion des Bodens für die Nahrungskette und das Grundwasser.

Der Humusanteil des Bodens ist ständigen Um-, Auf- und Abbauprozessen unterworfen und daher eine veränderliche und beeinflussbare Größe. Huminstoffe können mit Tonteilchen relativ starke Bindungen eingehen. Dadurch entsteht im Boden ein stabiles Aggregatgefüge. Die Bindung an die Tonminerale macht die organischen Stoffe resistenter gegen mikrobiellen Abbau.

Die Fähigkeit der Huminstoffe metallorganische Komplexe bilden zu können, ist von größter Wichtigkeit für die komplizierten Vorgänge der Pflanzenverfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen.

Der anzustrebende Mindesthumusgehalt im Boden ist in Abhängigkeit zur Bodenschwere unterschiedlich. Während auf leichten Böden ein entsprechender Humusgehalt eine niedrige Sorptionsleistung teilweise ausgleicht bzw. diese erhöht, erfüllt er in schweren Böden in erster Linie die Aufgabe den Boden zu lockern und die Krümelbildung zu fördern.

Anzustrebender Mindesthumusgehalt in Ackerböden in Abhängigkeit zum Tongehalt (Bodenschwere):

Tongehalt	Anzustrebender Mindesthumusgehalt
unter 15 %	1,5 %
von 15 - 25 %	2,0 %
über 25 %	2,5 %

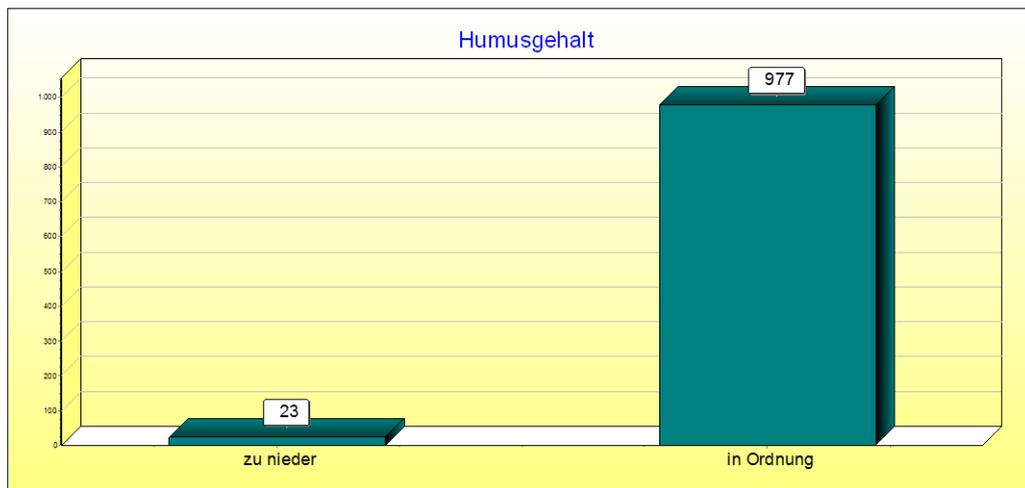
Im Grünland besteht keine Gefahr der Unterschreitung der Mindestgehalte.

Die Bestimmung des Humusgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1081 (Bestimmung durch Nassoxidation).

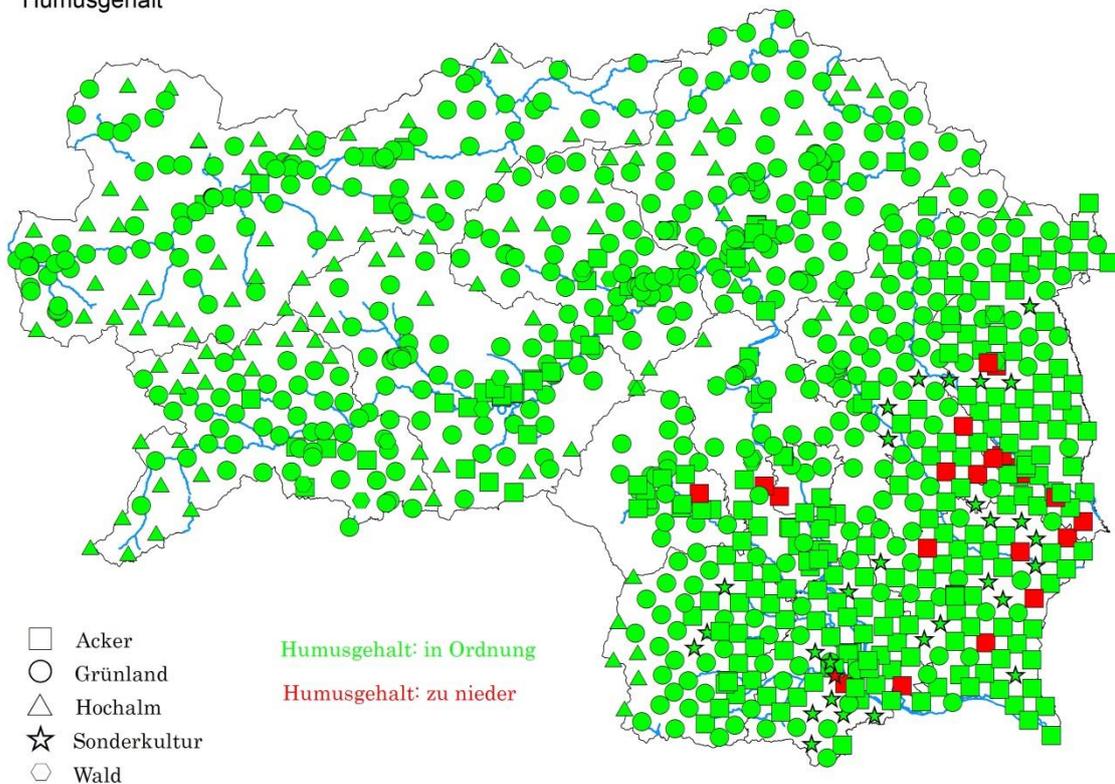
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Humusgehaltes**:

Humusgehalt	„zu nieder“	„in Ordnung“
Grünland	0	566
Acker	22	245
Hochalm	0	120
Sonderkultur	1	29
Wald	0	17
Summe Steiermark	23	977



Humusgehalt



pH-Wert:

Allgemeines:

Der pH-Wert des Bodens (auch Acidität oder Säuregrad genannt) hat maßgeblichen Einfluss auf die Mobilisierbarkeit von Metallen (Nährstoffhaushalt und Verfügbarkeit von Schadstoffen).

Bei Umweltdiskussionen hat die Befürchtung einer zunehmenden Bodenversauerung immer wieder zu Bedenken Anlass gegeben. Dazu kann allgemein gesagt werden, dass der Boden am besten vor Versauerung geschützt ist, wenn seine Austauschkapazität hoch und mit Erdalkalitionen (Kalzium, Magnesium) gut abgesättigt ist, oder wenn freies Karbonat im Boden vorliegt. Die natürlichen sowie die durch die Bewirtschaftung bedingten, unvermeidlichen Basenverluste werden damit kompensiert. In humusarmen Sandböden kann die Versauerung allerdings innerhalb kurzer Zeit schwerwiegende Ausmaße erreichen.

Durch die Abhängigkeit des pH-Wertes vom Humusgehalt sind bei vergleichbarem bodenbildendem Ausgangsmaterial ackerbaulich genutzte Böden nicht so sauer wie Grünlandstandorte. Die sauersten Böden findet man daher auf Hochalmen und Waldstandorten mit kalkfreiem bodenbildendem Ausgangsmaterial.

Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen mit zu niedrigem pH-Wert (Bewertung „sauer“) ist als bodenverbessernde Maßnahme eine Gesundungskalkung angebracht.

Anzustrebender Säuregrad in Abhängigkeit zur Bodenschwere:

Bodenschwere (Tongehalt)	Anzustrebender Säuregrad	
	Ackerland*, Wein- und Obstgärten	Grünland
unter 15 %	über 5,5	um 5,0
15 - 25 %	über 6,0	um 5,5
über 25%	über 6,5	um 6,0

* Beim Anbau von Hafer, Roggen oder Kartoffel kann der Säuregrad jeweils um 0,5 Einheiten niedriger sein.

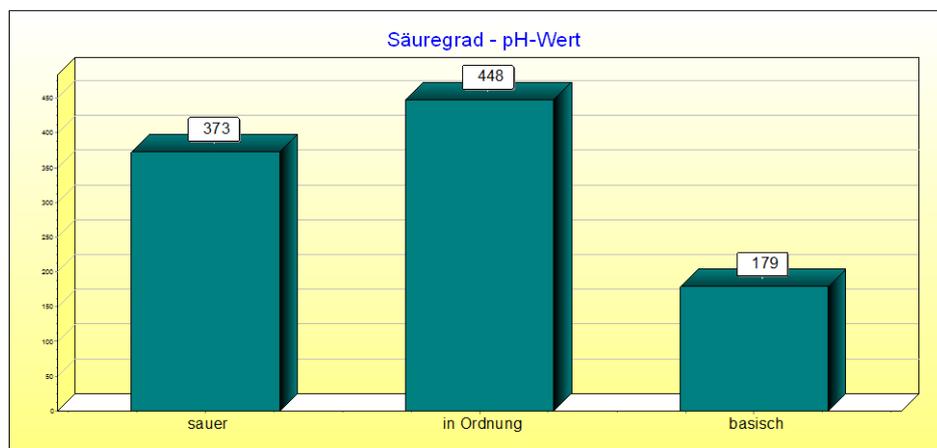
Um auch den Säuregrad von Hochalmstandorten einschätzen zu können, wurde ihr anzustrebender Säuregrad dem von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgt nach ÖNORM L1083 durch Messung der Wasserstoffionenaktivität einer Suspension von Boden in einer CaCl₂ - Lösung.

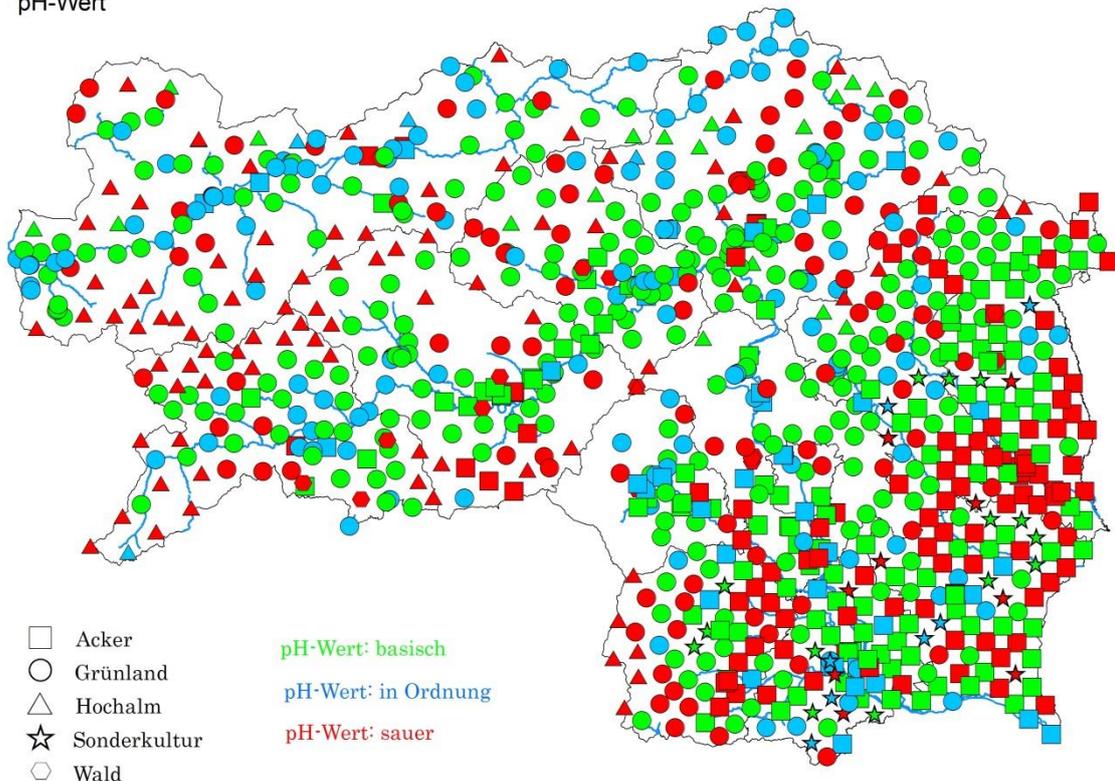
Untersuchungsergebnisse:Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Säuregrades**:

Säuregrad*	„sauer“	„in Ordnung“	„basisch“
Grünland	107	302	157
Acker	140	112	15
Hochalm	96	20	4
Sonderkultur	13	14	3
Wald	17	0	0
Summe Steiermark	373	448	179

- * „sauer“: Der anzustrebende Säuregrad ist nicht erreicht (Boden zu sauer).
 „in Ordnung“: Der anzustrebende Säuregrad ist erreicht.
 „basisch“: Der Säuregrad des Bodens ist sogar höher als der Sollwert.



pH-Wert



Kalk (CaCO₃):

Allgemeines:

Etwa 90 % der untersuchten steirischen Böden weisen einen Kalkgehalt von 0-0,5 % auf - sind also weitestgehend kalkfrei. Einige wenige Böden im Bereich der nördlichen Kalkalpen erreichen extrem hohe Gehalte über 30 % Kalk. Da der Kalkgehalt der wesentlichste Einflussfaktor der Bodenacidität ist, ist ihm besondere Bedeutung beizumessen.

Verbunden mit dem naturgegeben niedrigen Kalkgehalt der steirischen Böden ergeben sich im Zusammenspiel mit anderen Faktoren (hoher Humusgehalt, leichter sandiger Boden, anhaltende saure Depositionen u. a.) an vielen Standorten zwangsläufig niedrigere pH-Werte. Um dem zu entgegen ist die Verhinderung von Umwelteinflüssen zwar ein wichtiges Ziel, sie ist aber letztlich nur eine Einflussgröße von vielen.

Für eine effiziente Bodenverbesserung ist es notwendig, dem Boden den fehlenden Kalk im Zuge der landwirtschaftlichen Bearbeitung zuzuführen. Bei Böden, deren pH-Wert zu niedrig ist, bedarf es einer **Gesundungskalkung**. Zur Aufrechterhaltung des optimalen pH-Bereiches müssen **Erhaltungskalkungen** durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere an den kalkarmen Ackerflächen.

Bewertungsklassen des Kalkgehaltes:

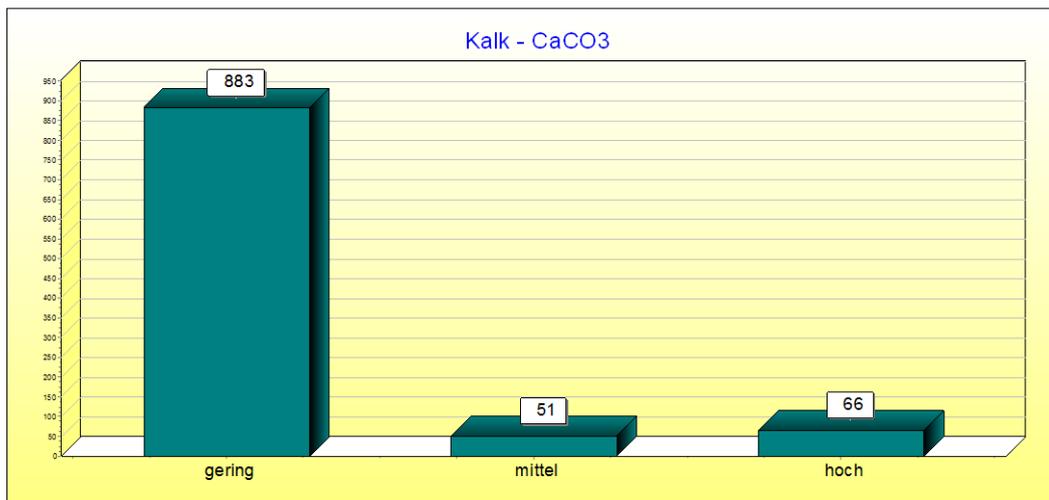
Kalkgehalt in %	Kalkgehalt
unter 1	gering
1 – 5	mittel
über 5	hoch

Die Bestimmung des Kalkgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1084 (Methode nach Scheibler).

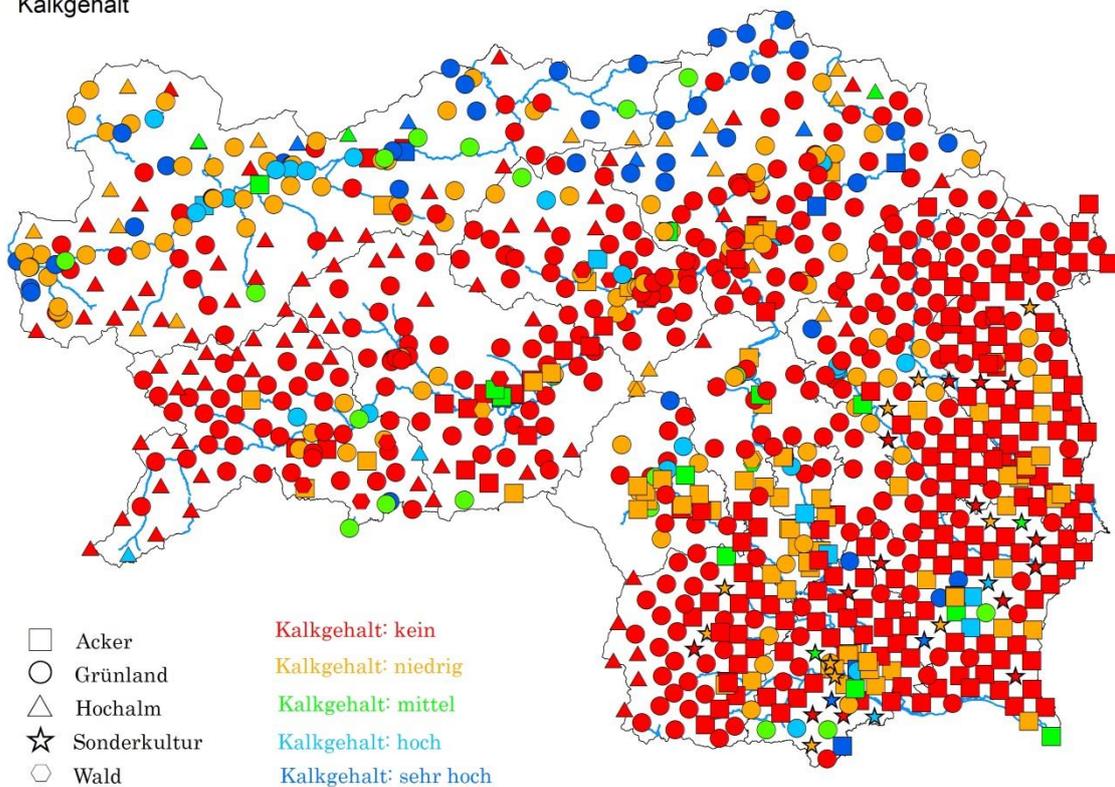
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Kalkgehaltes**:

Kalkgehalt	„gering“	„mittel“	„hoch“
Grünland	478	35	53
Acker	251	10	6
Hochalm	112	3	5
Sonderkultur	25	3	2
Wald	17	0	0
Summe Steiermark	883	51	66



Kalkgehalt



Phosphor / Phosphat (P₂O₅):

Allgemeines:

Der natürliche Gesamtgehalt der Böden an Phosphor beträgt laut Scheffer/Schachtschabel (1984) 0,02 - 0,08 % Phosphor, was umgerechnet etwa 46 - 183 mg P₂O₅ pro 100 g Boden entspricht. Der Großteil des Phosphors ist in mineralischen Phosphaten gebunden, weiters gibt es auch organische Phosphorverbindungen. Nur ein geringer Teil dieses Gesamtphosphors befindet sich in der Bodenlösung und steht somit den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung.

Bei der zur Düngeberatung angewandten Gehaltsbestimmung im Boden wird ein Extraktionsverfahren durchgeführt, welches den pflanzenverfügbaren Anteil des im Boden enthaltenen Phosphats annähernd ermitteln soll. Dieser Gehalt wird dann für die Bemessung von Düngegaben herangezogen.

Bei den bisherigen Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wurde festgestellt, dass der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt in der Steiermark von Natur aus sehr niedrig ist und nur selten auf Grund von Düngegaben sehr hohe Gehalte erreicht.

Überdüngungen mit Phosphor sind insofern problematisch, als über Bodenerosion und Versickerung eine Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer erfolgt, welche zu übermäßigem Algenwachstum und letztlich zum "Kippen" der Gewässer führen kann.

Zur Unterstützung einer bedarfsgerechten Düngung werden zum Beispiel von der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft gemeinsam mit dem Referat Boden- und Pflanzenanalytik Aktionen zur Untersuchung der Böden und die Erstellung von Düngeplänen angeboten.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Phosphor (in mg P₂O₅/100g):

GEHALTSSTUFE	Ackerland, Wein- und Obstgärten, Feldgemüse	Grünland
sehr niedrig	unter 6	unter 6
niedrig	6 - 10	6 - 10
ausreichend	11 - 25	11 - 15
hoch	26 - 40	16 - 40
sehr hoch	über 40	über 40

Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalmstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

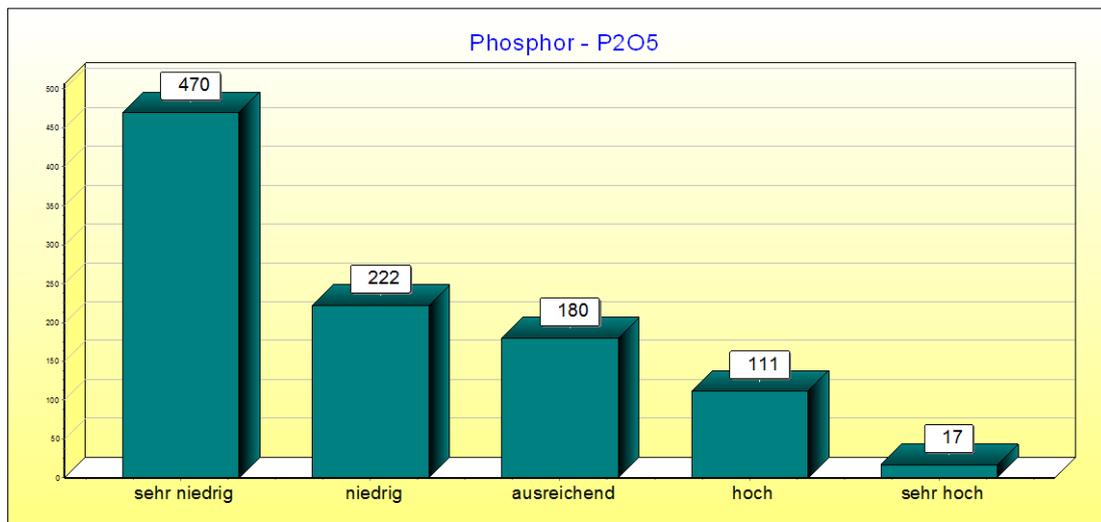
Die Bestimmung des Phosphatgehaltes erfolgte in Böden mit einem pH-Wert unter 6 nach ÖNORM L1088 (DL-Methode), bei höheren pH-Werten (≥ 6) nach ÖNORM L1087 (CAL-Methode).

In der heute üblichen Praxis bei Untersuchungen zur Düngeberatung wird generell mit der CAL-Methode gearbeitet und Böden mit niedrigem pH-Wert mit der Formel $P(DL) = P(CAL) * 0,98 + 10,2$ umgerechnet.

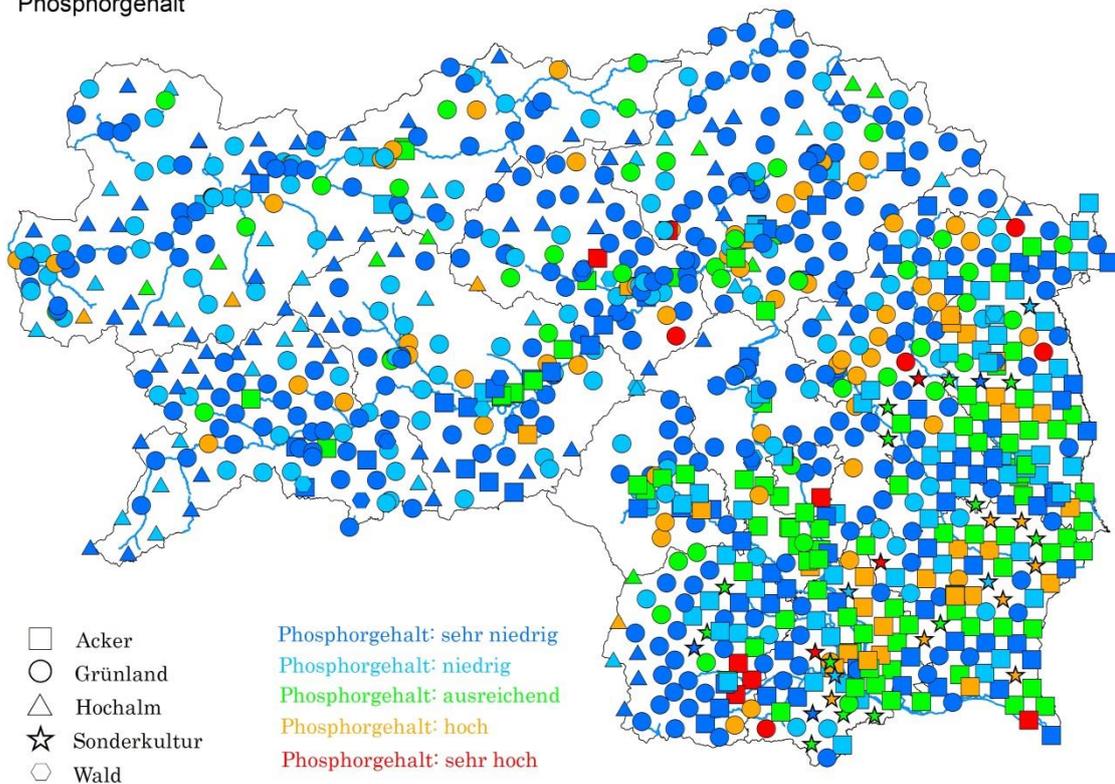
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Phosphorgehaltes**:

Phosphorgehalt	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	311	124	56	68	7
Acker	75	58	99	28	7
Hochalm	73	31	10	6	0
Sonderkultur	3	2	15	7	3
Wald	8	7	0	2	0
Summe Steiermark	470	222	180	111	17



Phosphorgehalt



Kalium (K₂O):

Allgemeines:

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) weist Kalium von allen Nährstoffen in der Regel den höchsten Gehalt in den Pflanzen auf und ist es auch in Gesteinen häufig zu einem hohen Anteil vertreten. Der Gehalt der Böden an Gesamtkalium liegt meist zwischen 0,2 und 3,3 % Kalium, was umgerechnet etwa 240 - 4000 mg K₂O /100 g Boden entspricht. Der pflanzenverfügbare Anteil davon ist viel geringer.

Bei der zur Düngeberatung angewandten Gehaltsbestimmung im Boden wird wie beim Phosphor ein Extraktionsverfahren durchgeführt, welches den pflanzenverfügbaren Anteil des im Boden enthaltenen Kaliums annähernd ermitteln soll. Dieser Gehalt wird dann für die Bemessung von Düngegaben herangezogen. Die Untersuchung der landwirtschaftlich genutzten Böden mit der Erstellung von Düngeplänen erfolgt zum Beispiel im Zuge von Aktionen der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft und dem Referat Boden- und Pflanzenanalytik.

Bei den bisherigen Untersuchungen des Bodenschutzprogrammes wurde festgestellt, dass der pflanzenverfügbare Kaliumgehalt steirischer Böden vor allem in Sonderkulturen häufig zu hohe Werte aufweist. Aber auch bei Acker- und Grünlandflächen kommt es in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten der Steiermark häufiger als beim Phosphor zu Überdüngungen. An derartigen Standorten ist bis zur Normalisierung der Bodengehalte von weiteren Düngegaben abzusehen.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Kalium (in mg/100g):

	Ackerland, Wein- und Obstgärten, Feldgemüse			
Gehaltsstufe	Ton unter 15 %	Ton 15 - 25 %	Ton über 25 %	Dauer- grünland
sehr niedrig	unter 6	unter 8	unter 10	unter 6
niedrig	6 - 10	8 - 13	10 - 16	6 - 10
ausreichend	11 - 21	14 - 25	17 - 29	11 - 20
hoch	22 - 35	26 - 40	30 - 45	21 - 40
sehr hoch	über 35	über 40	über 45	über 40

Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalmstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

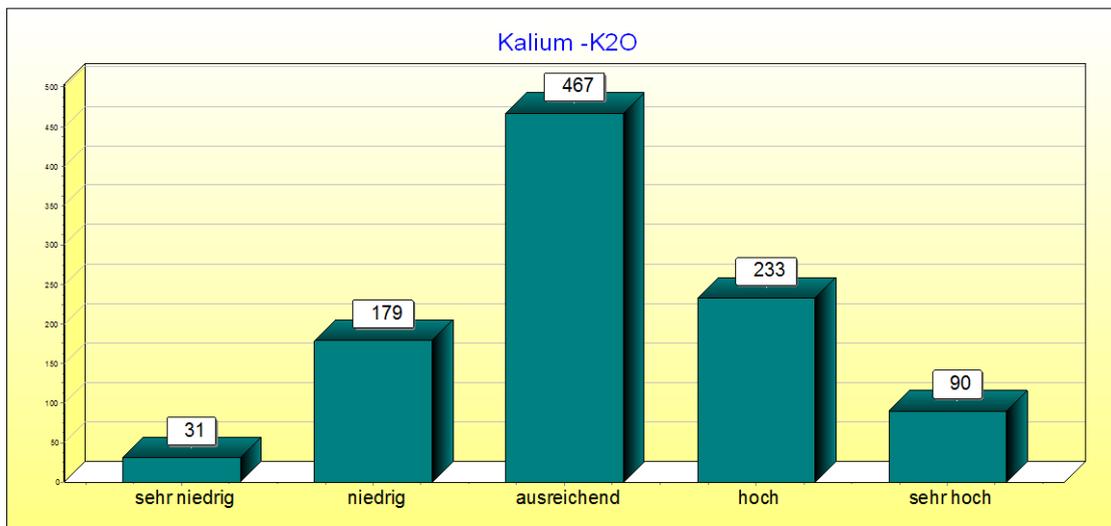
Die Bestimmung des Kaliumgehaltes erfolgte in Böden mit einem pH-Wert unter 6 nach ÖNORM L1088 (DL-Methode), bei höheren pH-Werten (≥ 6) nach ÖNORM L1087 (CAL-Methode).

In der heute üblichen Praxis bei Untersuchungen zur Düngeberatung wird entsprechend der „Richtlinien für die sachgerechte Düngung (6. Auflage)“ generell mit der CAL-Methode gearbeitet.

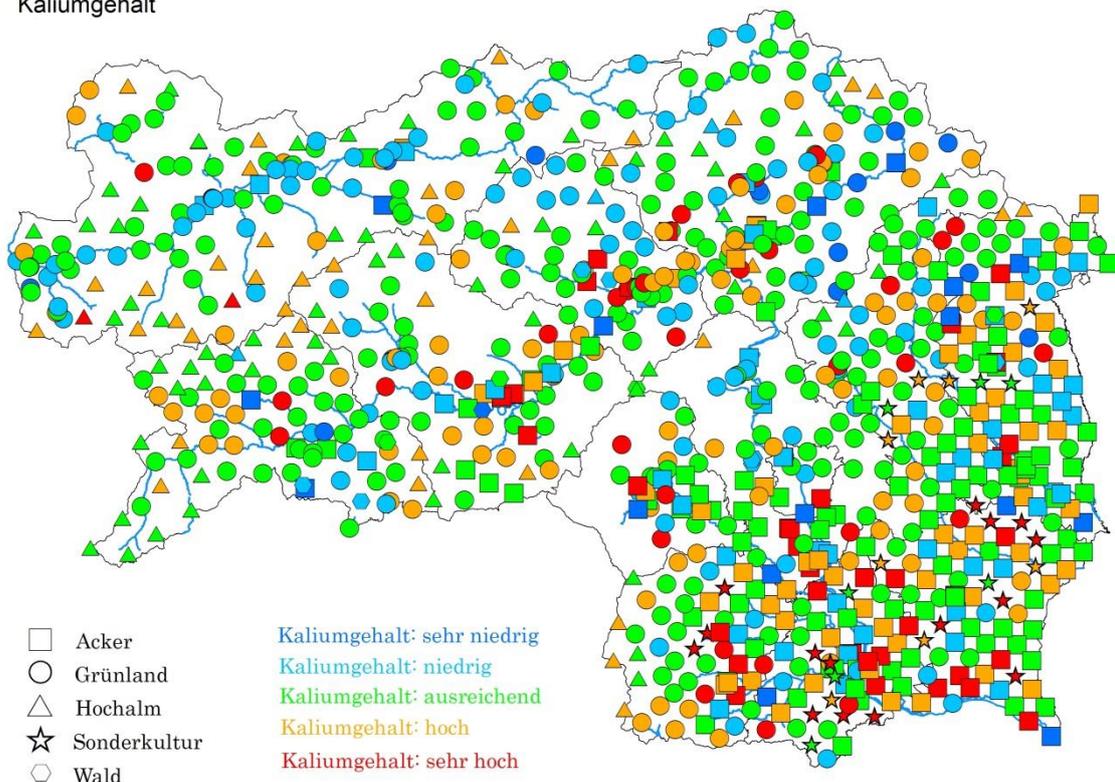
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Kaliumgehaltes**:

Kaliumgehalt	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	13	116	285	115	37
Acker	17	51	101	62	36
Hochalm	0	4	67	47	2
Sonderkultur	0	0	7	8	15
Wald	1	8	7	1	0
Summe Steiermark	31	179	467	233	90



Kaliumgehalt



Magnesium (Mg):

Allgemeines:

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) liegt der Gesamtgehalt an Magnesium in $MgCO_3$ -freien Böden im Bereich von 0,05 - 0,5 %, was umgerechnet etwa 50 - 500 mg Mg /100 g Boden entspricht. Für die Magnesiumversorgung der Pflanzen ist vor allem das austauschbare Magnesium von Bedeutung, da dieses mit der Bodenlösung in einem sich schnell einstellenden Gleichgewicht steht.

Für Routineuntersuchungen zur Erfassung des mehr oder weniger hohen Anteils an austauschbarem Magnesium wird üblicherweise das Extraktionsverfahren nach Schachtschabel angewandt. Als Extraktionslösung wird eine $CaCl_2$ -Lösung verwendet. Bei der Bestimmung der austauschbaren Kationen (Ca, Mg, K, Na) im Zuge der Abschätzung der Kationenaustauschkapazität wird als Extraktionslösung eine $BaCl_2$ -Lösung verwendet.

Es besteht eine enge Beziehung zwischen den Magnesiumgehalten aus den beiden Extraktionsverfahren. Dabei beträgt der nach Schachtschabel ermittelte Magnesiumgehalt im Mittel 65 % des $BaCl_2$ -Extraktes und wird üblicherweise als "pflanzenverfügbarer" Anteil definiert.

Eine hohe Kaliumkonzentration in der Bodenlösung hat auf die Pflanzenaufnehmbarkeit von Magnesium einen negativen Einfluss (Ionenkonkurrenz).

Die bisherigen Untersuchungen in der Steiermark zeigen, dass mehr als 80 % der Böden hohe bzw. sehr hohe Magnesiumgehalte aufweisen. Ob die Werte rein geologisch bedingt sind, oder fallweise auch aus Düngegaben (magnesiumhaltige Düngekalke, Patentkali) resultieren, ist unbekannt.

Generell kann gesagt werden, dass eine gezielte Magnesiumdüngung nur in Ausnahmefällen wirklich sinnvoll ist. An ackerbaulich genutzten Standorten mit niedrigem pH-Wert, wo auch die prozentuellen Gehalte der austauschbaren Kationen Magnesium und Kalium auf einen Magnesiummangel schließen lassen, wäre die Verwendung eines magnesiumhaltigen Düngekalkes möglich.

Gehaltsstufen des Nährstoffes Magnesium (in mg/100g):

Gehaltsstufe	Ton unter 15 %	Ton 15 - 25 %	Ton über 25 %
sehr niedrig	-	unter 3	unter 4
niedrig	unter 5	3 - 5	4 - 7
ausreichend	5 - 7	6 - 10	8 - 13
hoch	8 - 15	11 - 19	14 - 22
sehr hoch	über 15	über 19	über 22

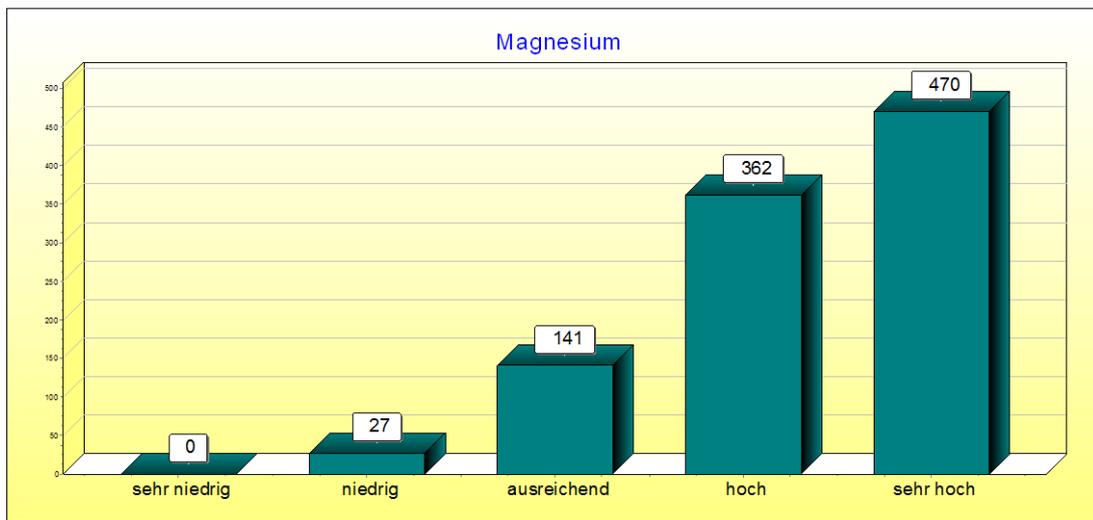
Um auch die Nährstoffversorgung von Hochalmstandorten einschätzen zu können, wurden ihre Gehaltsklassen denen von Grünland gleichgesetzt.

Die Bestimmung des Magnesiumgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1093 (Methode nach Schachtschabel).

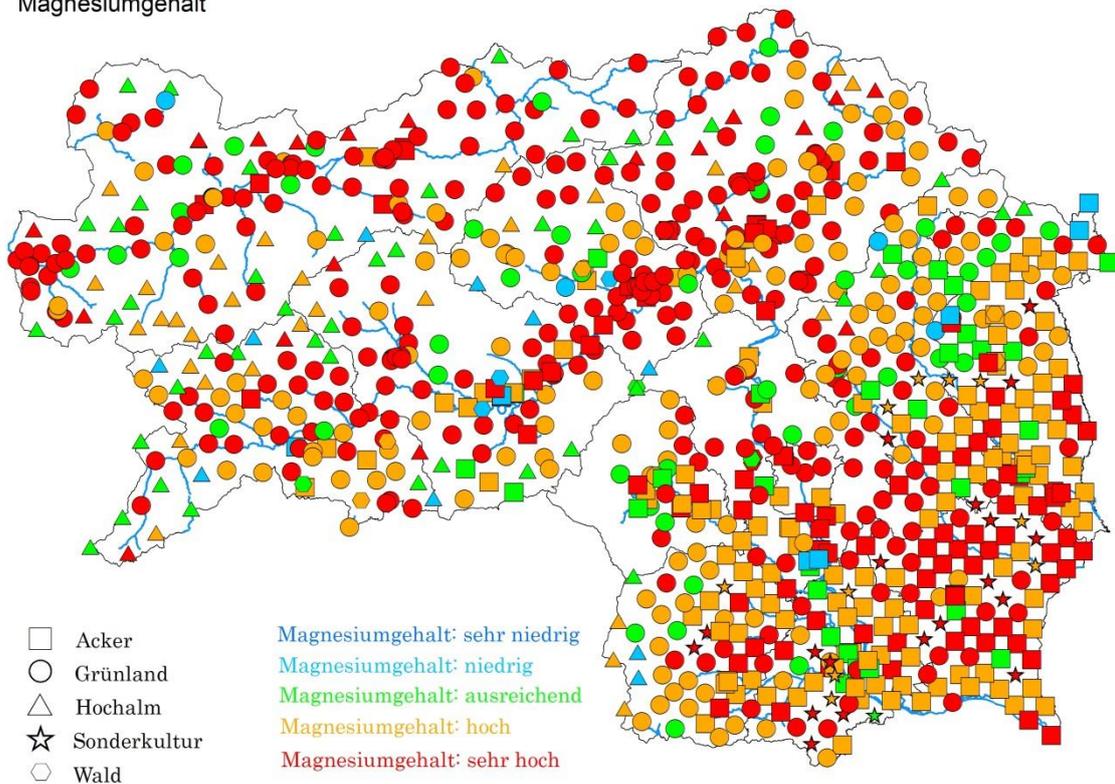
Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Magnesiumgehaltes**:

Magnesiumgehalt	„sehr niedrig“	„niedrig“	„ausreichend“	„hoch“	„sehr hoch“
Grünland	0	4	51	181	330
Acker	0	7	32	132	96
Hochalm	0	11	53	34	22
Sonderkultur	0	0	1	10	19
Wald	0	5	4	5	3
Summe Steiermark	0	27	141	362	470



Magnesiumgehalt



Bor (B):

Allgemeines:

Das Nichtmetall Bor ist ein für die Pflanzenernährung essentieller Mikronährstoff. Besondere Bedeutung hat seine Bestimmung im Boden bei Sonderkulturen und Rüben, da sich hier Mangelercheinungen am ehesten negativ bemerkbar machen.

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) tritt **Bormangel** vor allem in trockenen und warmen Jahren auf Sandböden sowie auf trockenen Standorten tonreicher Böden auf. Dort bewirkt er zum Beispiel bei Zuckerrüben die Herz- und Trockenfäule, bei Äpfeln die Korkbildung und bei anderen Kulturen ein Absterben der jüngsten Blätter. Stark Bor - bedürftige Pflanzen sind Mais, Wein, Blumenkohl, Sellerie, Kohlrabi und andere.

Bor-Toxizität wird im humiden Klimabereich nur sehr selten beobachtet und beruht dann auf einem zu hohen Borgehalt in der Bodenlösung infolge zu hoher Bor-Düngung. Im ariden Klimabereich führt häufig die Anwendung von Beregnungswasser mit hoher Borkonzentration zu Ertragsdepressionen. Auch durch die Aufbringung von Klärschlamm (enthält oft hohe Konzentrationen an Boraten aus den Haushaltsabwässern) können im Boden hohe Gehalte an Bor angereichert werden. Ein Borüberschuss ist an Nekroseflecken auf den Blättern von Bor - empfindlichen Pflanzen, wie Kartoffeln, Bohnen und Getreide zu erkennen.

Zur Bestimmung der Bor-Verfügbarkeit haben sich die Extraktion des Bodens mit siedendem Wasser oder die Acetatextraktion nach Baron, welche neben dem löslichen und den Pflanzen direkt zur Verfügung stehenden Anteil auch das etwas stärker gebundene Bor erfasst, bewährt.

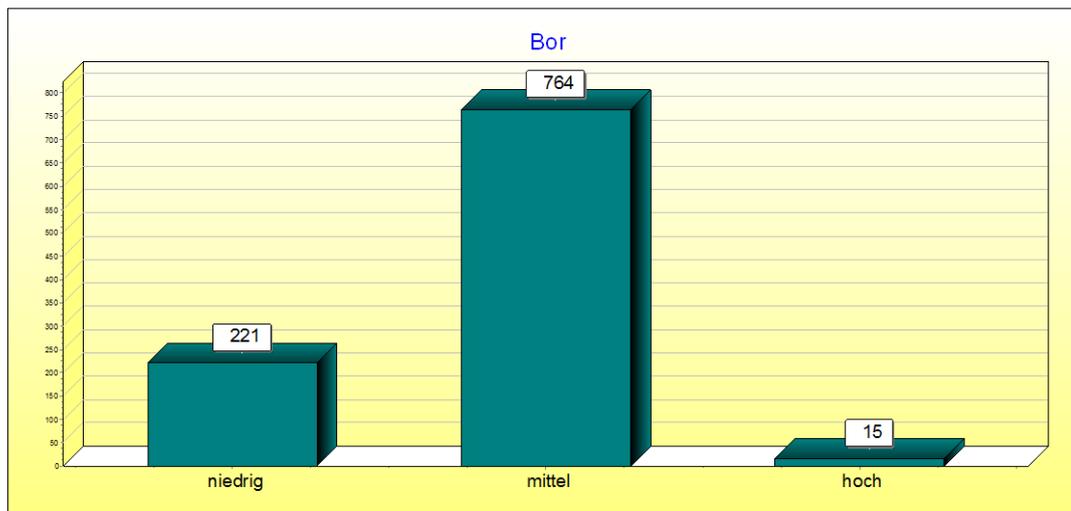
Gehaltsstufen des Spurenelementes Bor (in mg/kg):

Gehaltsstufe Bor	Ton unter 15 %	Ton über 15 %
niedrig	< 0.2	< 0.3
mittel	um 0.6	um 0.8
hoch	> 2.0	> 2.5

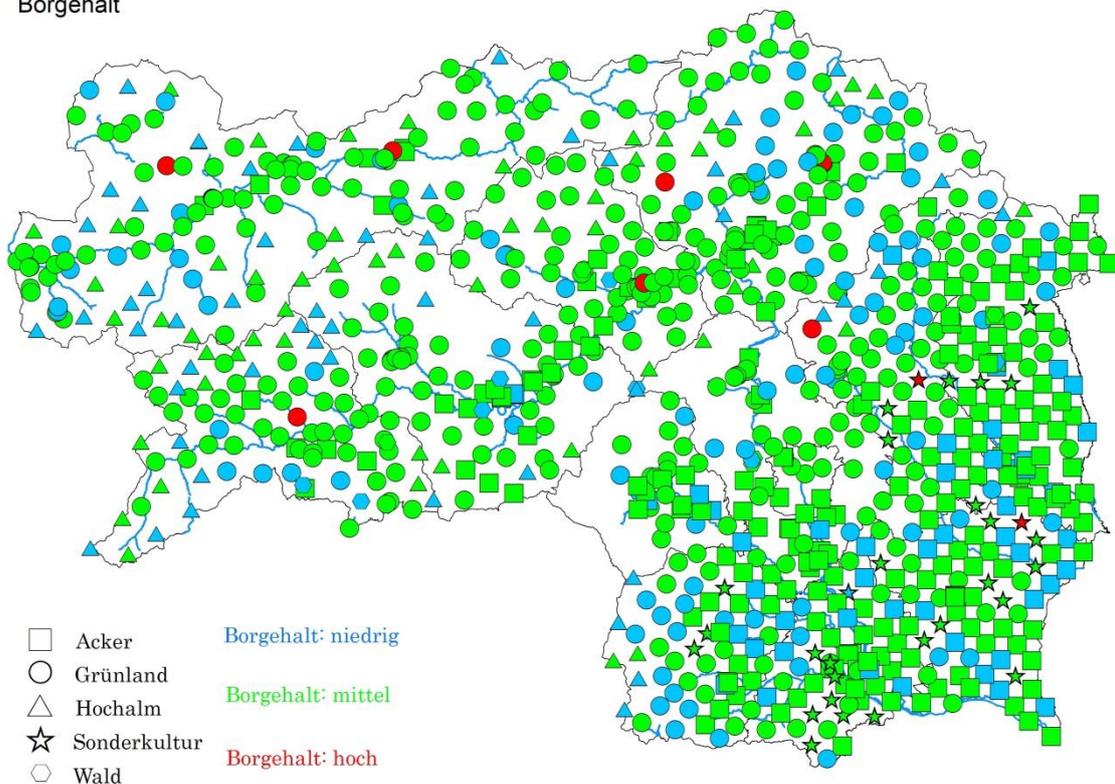
Die Bestimmung des Borgehaltes erfolgt nach ÖNORM L1090 (Acetatextraktion nach Baron).

Untersuchungsergebnisse:Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen des **Borgehaltes**:

Borgehalt	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	106	447	13
Acker	51	216	0
Hochalm	55	65	0
Sonderkultur	1	27	2
Wald	8	9	0
Summe Steiermark	221	764	15



Borgehalt



Die EDTA-extrahierbaren Spurenelemente Kupfer, Zink, Mangan und Eisen:

Allgemeines:

Die Gehaltsbestimmung aus dem EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure) - Extrakt wird dazu verwendet, um die Versorgung des Bodens mit metallischen Spurenelementen abzuschätzen. Sie erfasst die für Pflanzen leicht verfügbare Schwermetallfraktion der komplexgebundenen und an der Oberfläche der Bodenpartikel angelagerten Bindungsformen der Elemente.

Man versucht so aus den Ergebnissen der EDTA-Extraktion Unterversorgungen mit den untersuchten Spurenelementen festzustellen und für Kupfer oder Zink auch Intoxikationen durch zu hohe Gehalte abzuleiten.

Eine hohe Konzentration an Phosphat in der Bodenlösung kann die Aufnahme der Spurenelemente in die Pflanzen vermindern.

Laut Scheffer/Schachtschabel (1984) tritt **Manganmangel** nur sehr selten auf.

Eine **Unterversorgung mit Eisen** ist trotz häufig hoher Gehalte der Böden an Eisenoxiden weltweit sehr verbreitet und tritt vor allem in stark kalkhaltigen Böden auf. Die Bestimmung der Eisenverfügbarkeit durch eine Bodenuntersuchung führt nicht zu befriedigenden Ergebnissen.

Kupfermangel tritt besonders bei Podsol - Sandböden und frisch kultivierten Moorböden auf, sonst selten. Eine **hohe Kupferkonzentration** in der Bodenlösung hemmt die Aufnahme von Zink und Molybdän durch die Pflanzen und kann auf Mikroorganismen toxisch wirken.

Zinkmangel ist weltweit verbreitet und tritt besonders in karbonatreichen Böden mit hohem pH-Wert und viel organischer Substanz auf. Bei sehr hohen Gehalten in Böden wirkt **Zink toxisch** auf Pflanzen und Mikroorganismen.

Die Untersuchungen in der Steiermark zeigen, dass hohe Kupfer- und Zinkwerte eher die Ausnahme sind (z.B. Kupfereinträge durch Spritzmittel in Sonderkulturen). Die Versorgung der Böden mit Eisen und Mangan ist naturgegeben generell hoch. Negative Auswirkungen einer Überversorgung mit den Spurenelementen sind derzeit in der Steiermark nicht bekannt.

Gehaltsstufen der Spurenelemente Cu, Zn, Mn und Fe (in mg/kg) im EDTA-Extrakt:

Gehaltsstufe	Kupfer (EDTA-Cu)	Zink (EDTA-Zn)	Mangan (EDTA-Mn)	Eisen (EDTA-Fe)
niedrig	< 2	< 2	< 20	< 20
mittel	um 8	um 8	um 70	um 100
hoch	> 20	> 20	> 200	> 300

Die Bestimmung erfolgt nach ÖNORM L1089 (EDTA-Extraktion).

Untersuchungsergebnisse:

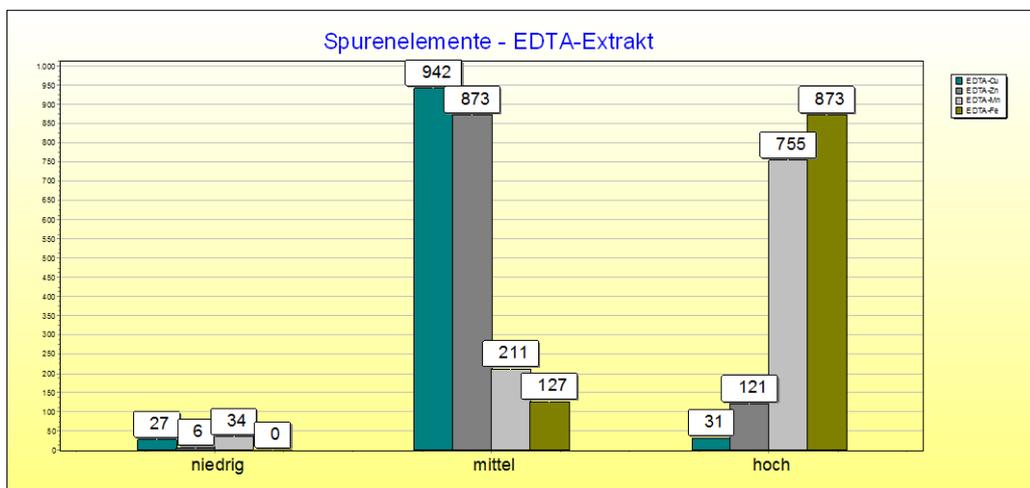
Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen der **EDTA - extrahierbaren Spurenelemente Cu, Zn, Mn und Fe:**

EDTA-Cu	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	7	546	13
Acker	5	257	5
Hochalm	11	108	1
Sonderkultur	0	18	12
Wald	4	13	0
Summe Steiermark	27	942	31

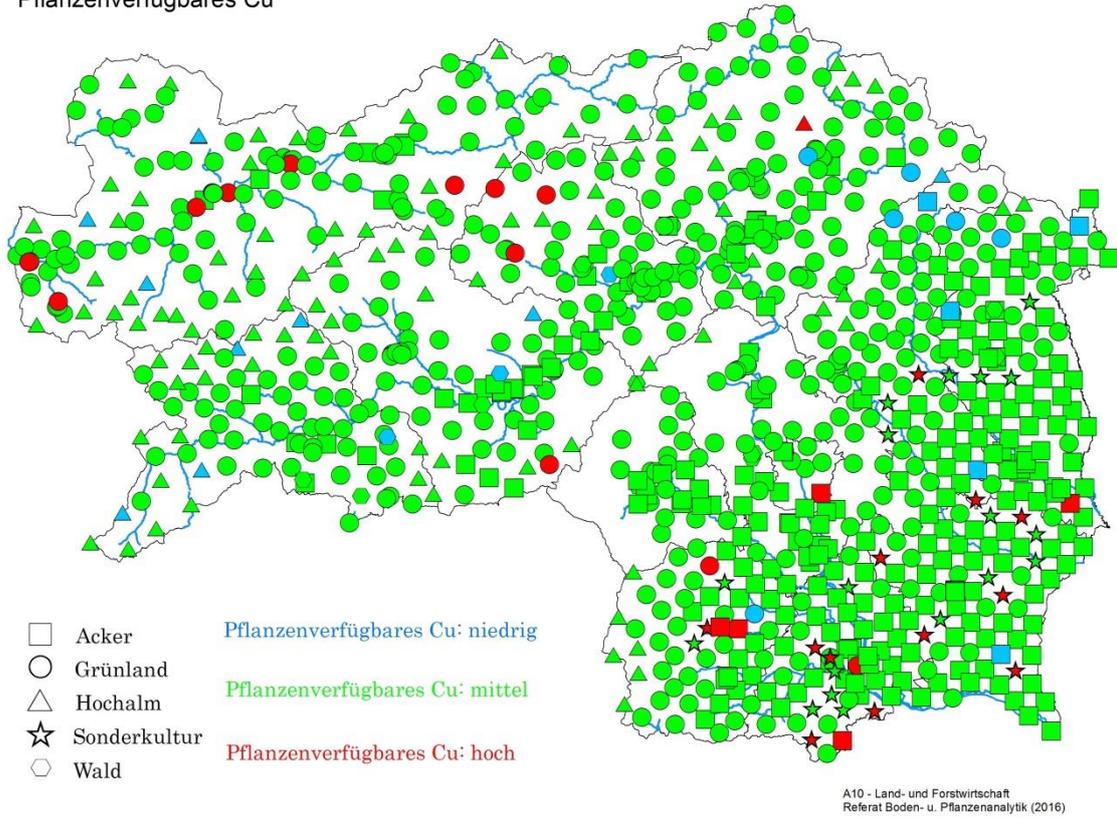
EDTA-Zn	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	0	481	85
Acker	5	257	5
Hochalm	1	93	26
Sonderkultur	0	25	5
Wald	0	17	0
Summe Steiermark	6	873	121

EDTA-Mn	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	0	83	483
Acker	0	65	202
Hochalm	31	47	42
Sonderkultur	0	6	24
Wald	3	10	4
Summe Steiermark	34	211	755

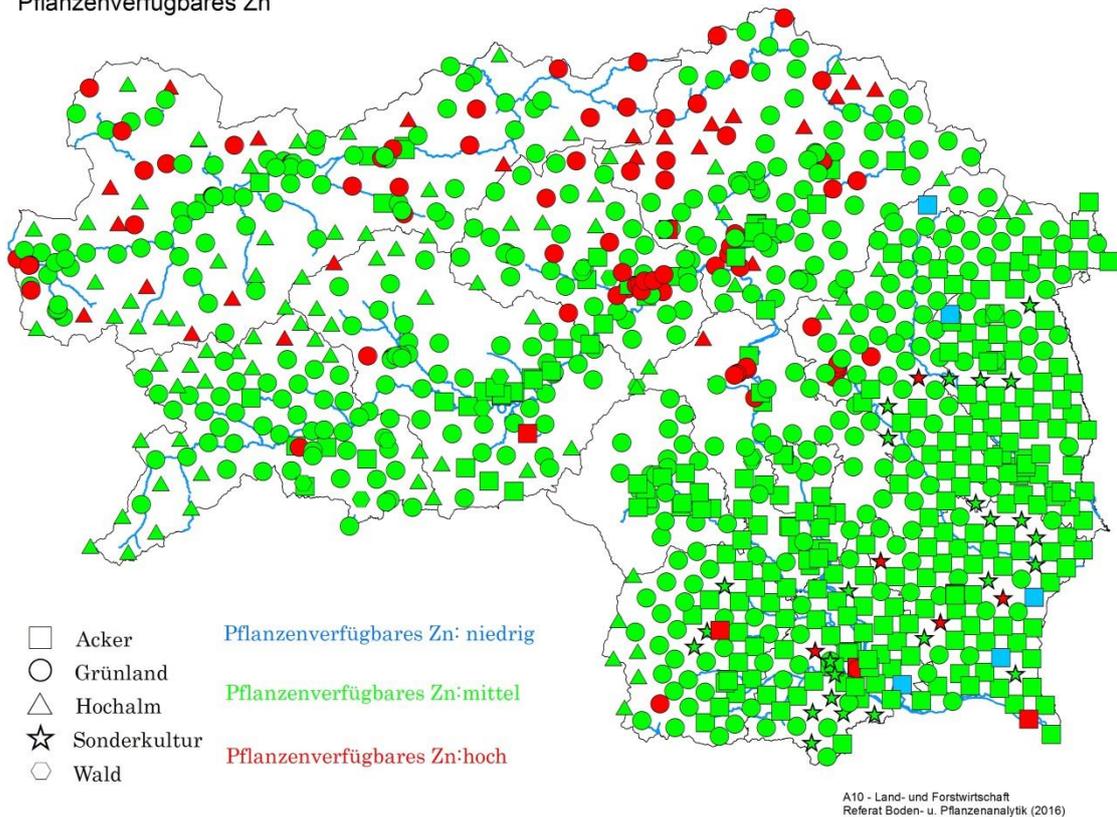
EDTA-Fe	„niedrig“	„mittel“	„hoch“
Grünland	0	40	526
Acker	0	78	189
Hochalm	0	1	119
Sonderkultur	0	8	22
Wald	0	0	17
Summe Steiermark	0	127	873



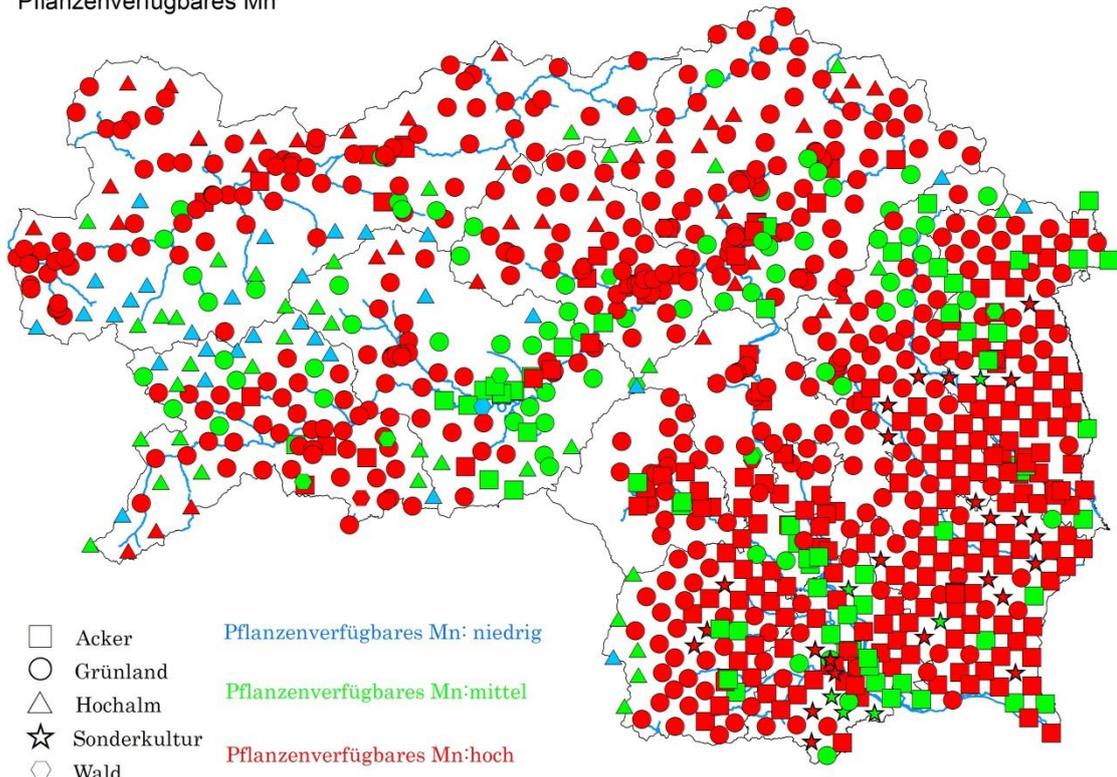
Pflanzenverfügbares Cu



Pflanzenverfügbares Zn

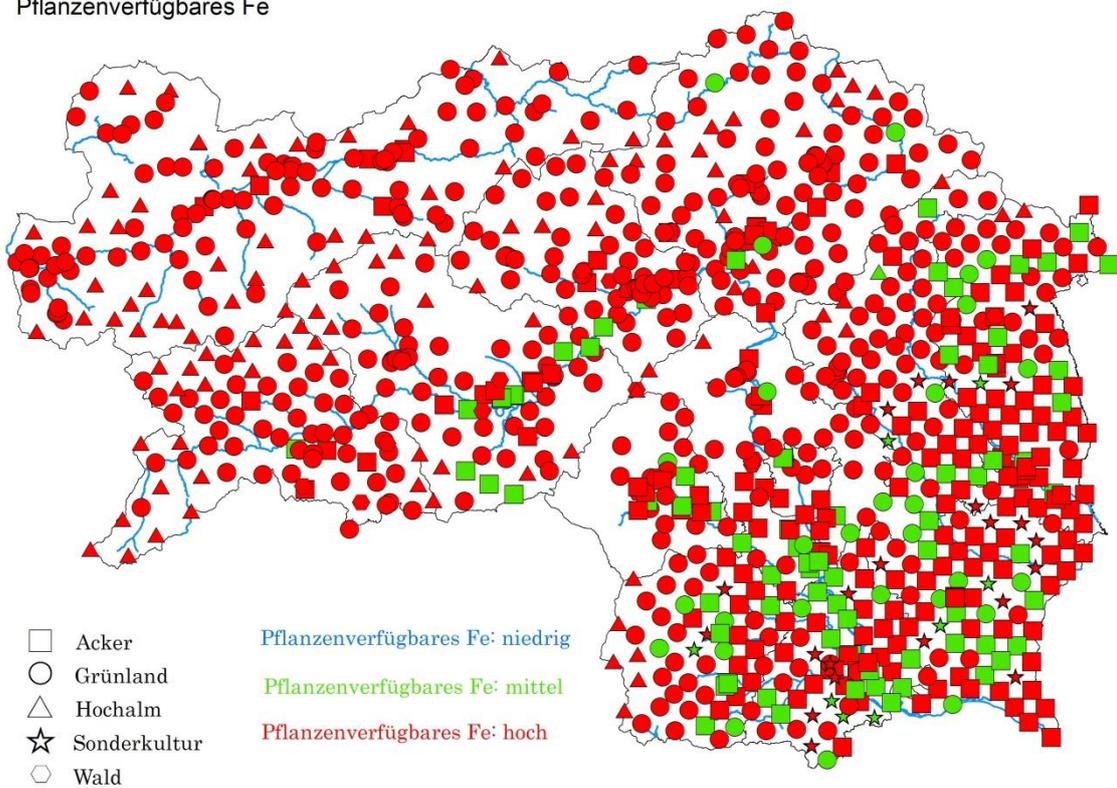


Pflanzenverfügbares Mn



A10 - Land- und Forstwirtschaft
Referat Boden- u. Pflanzenanalytik (2016)

Pflanzenverfügbares Fe



A10 - Land- und Forstwirtschaft
Referat Boden- u. Pflanzenanalytik (2016)

Die austauschbaren Kationen Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium:

Allgemeines:

Eine wichtige Eigenschaft des Bodens ist es Kationen so binden zu können, dass sie weitgehend vor der Auswaschung geschützt, aber trotzdem pflanzenverfügbar sind. Diese Fähigkeit wird Kationenaustausch genannt und gewährleistet die Mineralversorgung der Pflanzen.

Die Summe der austauschbaren Kationen wird **Kationenaustauschkapazität (KAK)** genannt und inkludiert folgende Ionen: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{+++} , Fe^{++} , Mn^{++} und H^+ . Die Höhe der KAK wird hauptsächlich vom Humus- und Tongehalt, sowie dem pH-Wert des Bodens beeinflusst.

Den mengenmäßig größten Anteil an der KAK hat normalerweise das Ca^{++} -Ion. In Böden mit annähernd neutralem pH-Wert findet man fast ausschließlich die Kationen Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ und Na^+ . Ihre Summe bezeichnet man als **austauschbare Basen** (früher S-Wert).

Als Einheit zur Mengenangabe verwendet man üblicherweise *mmol-Ionenäquivalent* oder *mval*, bzw. *mg* pro 100 oder neuerdings auch 1000 g Boden. Der prozentuelle Anteil der austauschbaren Basen an der KAK wird **Basensättigung** (früher V-Wert) bezeichnet.

Bei niedrigen pH-Werten (etwa $< 6,5$) steigt definitionsgemäß der Anteil an H^+ -Ionen und auch jener von Al^{+++} , Fe^{++} und Mn^{++} . Der Anteil an Fe^{++} - und Mn^{++} -Ionen ist nur bei extrem sauren Böden nennenswert und bleibt daher analytisch meist unberücksichtigt.

Die Ermittlung der KAK kann daher aus der Einzelbestimmung der Ionen Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ und Al^{+++} unter Berücksichtigung des pH-Wertes (Anteil H^+) erfolgen, oder durch eine Summenbestimmung über den sogenannten Barium-Rücktausch.

Um ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur zu erzielen, sollte der Sorptionskomplex des Bodens etwa folgendermaßen belegt sein (die Angaben beziehen sich auf den Kationenanteil in mval bezogen auf die KAK):

60 - 90 %	Kalzium (Ca)
5 - 15 %	Magnesium (Mg)
2 - 5 %	Kalium (K)
0 - 1 %	Natrium (Na)

Die Summe der vier Kationen wird 100 % gesetzt.

Starke Abweichungen von diesen Werten können zu einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen.

Kalziumwerte unter 50 % können Ursache für eine schlechte Bodenstruktur sein. Steigt der Natriumwert auf über 5 %, kann es zu einem „Zerfließen“ des Bodens kommen. Magnesiumwerte von weniger als 10 % sind in Verbindung mit hohen Kaliwerten ein Hinweis auf einen möglichen Magnesiummangel.

Da der Ca-Gehalt im Obst großen Einfluss auf die Lagerfähigkeit hat, wird in Böden von Obstanlagen auch der absolute Gehalt an austauschbarem Kalzium bewertet. Für Äpfel und Birnen ist ein Richtwert von mehr als 300 mg Ca / 100g Boden erstrebenswert, für andere Obstarten ein Wert von mehr als 250 mg Ca / 100g Boden.

Die Bestimmung der austauschbaren Kationen erfolgt nach ÖNORM L1086.

Um auch eine **Klassifizierung der Absolutgehalte** der austauschbaren Kationen (AKat) durchführen zu können, wurden die Gehalte des austauschbaren Ca, Mg, K und Na in mval/100g umgerechnet und aufsummiert.

Summe Ca, Mg, K und Na	< 10	mval/100 g:	Gehalt niedrig
Summe Ca, Mg, K und Na	10 - 25	mval/100 g:	Gehalt mittel
Summe Ca, Mg, K und Na	> 25	mval/100 g:	Gehalt hoch

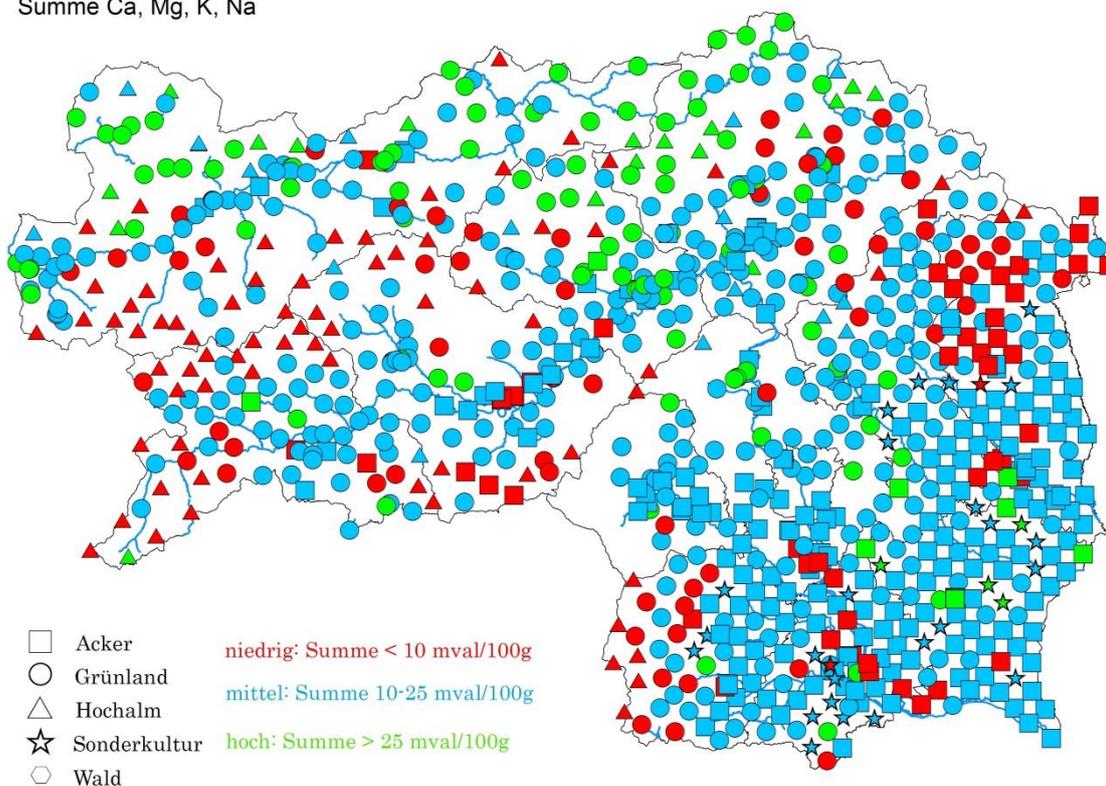
Berechnung: AKat-Summe (mval/100g) = 0,0499 x CaKat (mg/100g) + 0,0823 x MgKat (mg/100g) + 0,0256 x KKat (mg/100g) + 0,0435 x NaKat (mg/100g)

Die Verteilung der **Summe aus Ca, Mg, K und Na (AKat-Summe)** in den drei Gehaltsklassen lautet:

AKat - Summe	< 10 mval / 100 g	10 – 25 mval / 100 g	> 25 mval / 100 g
Grünland	87	361	118
Acker	60	197	10
Hochalm	84	16	20
Sonderkultur	2	23	5
Wald	11	5	1
Summe Steiermark	244	602	154

An den landwirtschaftlich genutzten Standorten mit einer zu niedrigen Summe an austauschbaren Kationen kann versucht werden das Problem in der Nährstoffbilanzierung durch eine Anhebung des pH-Wertes (Kalkung) zu verbessern.

Summe Ca, Mg, K, Na



Das wasserextrahierbare Fluor (F):

Allgemeines:

Der Fluorgehalt von Futterpflanzen ist einerseits wichtig für den Aufbau von Knochen und Zähnen der Tiere, andererseits gilt ein Fluorgesamtgehalt von mehr als 30 mg/kg in der Trockensubstanz von Weidegräsern bereits als bedenklich für die Gesundheit der Tiere (Fluorose). Der normale Pflanzengesamtgehalt an Fluor liegt meist unter 10 mg/kg in der Trockensubstanz.

Der Fluorgehalt von Pflanzen steht in keiner Beziehung zum Fluorgesamtgehalt des Bodens, sodass eine Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit des Fluors nur über den wasserextrahierbaren Fluoranteil des Bodens durchgeführt werden kann. Für dieses wasserextrahierbare Fluor bestehen auch gute Korrelationen zur Entfernung von potentiellen Emittenten (z. B.: Zementfabriken, Ziegeleien, Aluminiumindustrie, Müllverbrennung, Eisenverhüttung).

Laut Lehrbuch der Bodenkunde von Scheffer/Schachtschabel (16. Auflage, 2010) kann der jährliche Fluoreintrag in Form von Fluorwasserstoff, Fluoriden oder an Staubpartikel gebundenem Fluor in der Nähe von Industriebetrieben bis 20 kg Fluor / ha betragen. Mit der Ausbringung von Phosphatdüngern, deren Fluorgehalt meist 1,5 - 4 % beträgt, gelangen bei einer Düngung von 500 kg/ha 7,5 - 20 kg Fluor / ha auf den Boden.

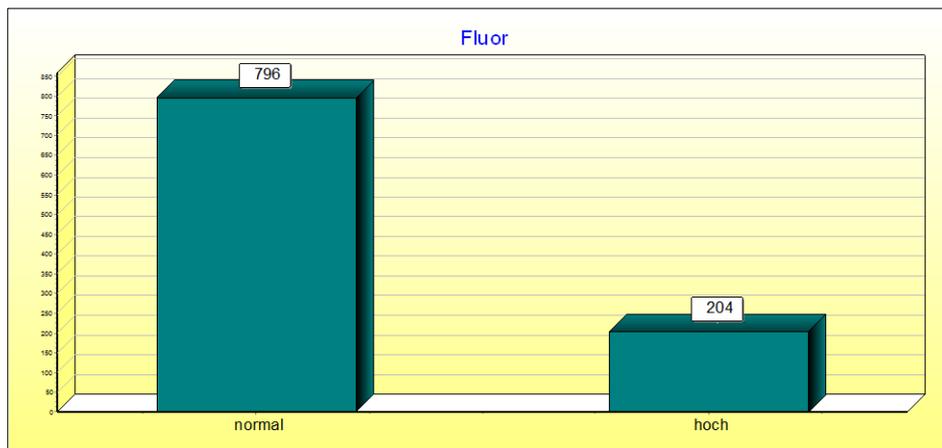
Im Boden wird eingetragenes Fluor normalerweise relativ rasch in Form unlöslicher Verbindungen fixiert. Ausnahmen bilden kalkhaltige Böden, in denen Fluoride eine längere Zeit in mobiler und pflanzenverfügbarer Form erhalten bleiben als in sauren Böden. Die Bindungskapazität für Fluoride ist bei sandigen Böden niedrig und bei tonigen hoch, sodass sich in leichten Böden das wasserlösliche Fluor oft deutlich nach unten verlagert.

Derzeit existieren kein offizieller Richtwert und auch keine standardisierte Untersuchungsmethode für die Bestimmung des wasserlöslichen Fluor in Böden, sodass zur Beurteilung der Untersuchungsergebnisse des Bodenschutzprogrammes ein aus den landesweiten Rasteruntersuchungen errechneter Normalgehalt für Fluor von maximal 1,2 mg/kg im Boden herangezogen wird. Bodengehalte von mehr als 1,2 mg/kg weisen auf Einträge aus Düngemitteln und/oder Industrieemissionen hin. Schädigungen an Pflanzen sind derzeit in der Steiermark auch bei Standorten mit sehr hohem Anteil an wasserlöslichem Fluor nicht bekannt.

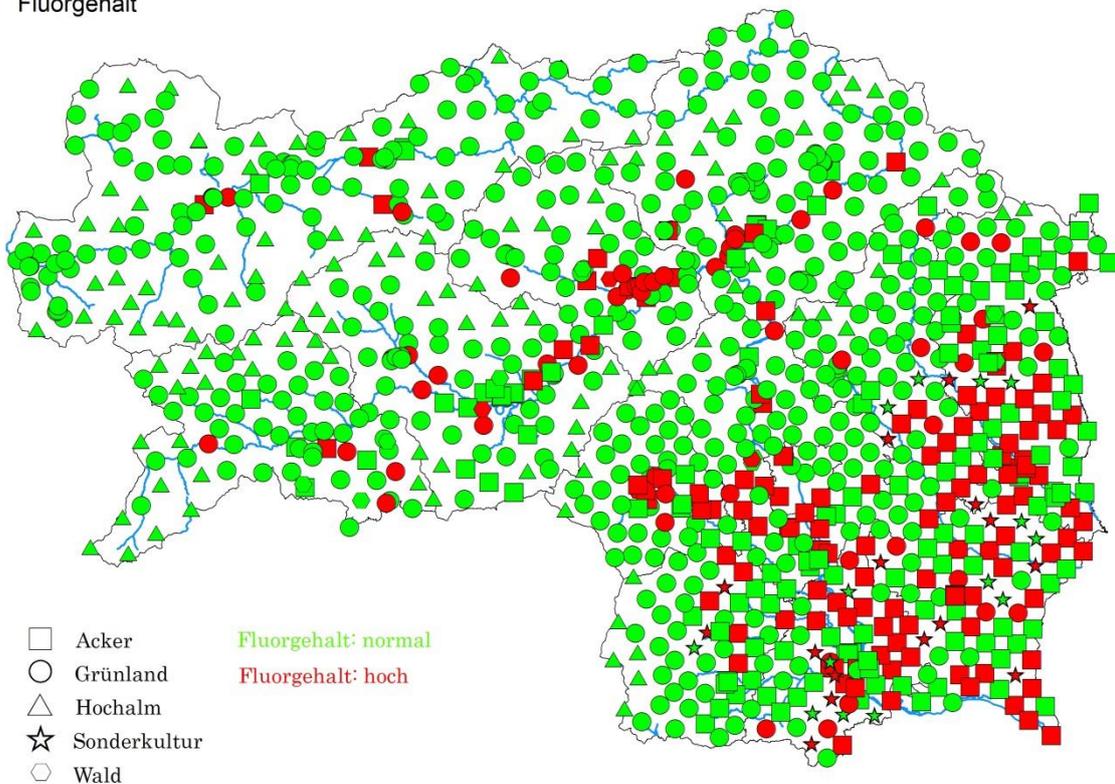
Die Bestimmung des wasserlöslichen Fluors im Boden erfolgt nach einer Wasser-Extraktion und Messung mit ionenselektiver Elektrode.

Untersuchungsergebnisse:Anzahl der Standorte in den einzelnen Bewertungsklassen des **Fluorgehaltes**:

Fluor (wasserlöslich)	„normal“	„über 1,2 ppm“
Grünland	509	57
Acker	142	125
Hochalm	120	0
Sonderkultur	14	16
Wald	11	6
Summe Steiermark	796	204



Fluorgehalt



Schwermetalle:

Allgemeines:

Der Bestimmung dieser Elementgruppe ist besondere Bedeutung beizumessen, da hier die Möglichkeit einer **Gefährdung** von Menschen, Tieren und Pflanzen besteht.

Schwermetalle sind einerseits allgegenwärtige, naturgegebene Elemente, welche sowohl nützliche als auch schädigende Eigenschaften besitzen - andererseits findet spätestens seit Beginn der industriellen Revolution auch eine Verbreitung durch den Menschen in seine Umwelt statt. Diesen fallweise hoch toxischen Schadstoffen - ihre schädigenden Wirkungen reichen von Ertragseinbußen bis zum Auslösen von Krebserkrankungen - ist höchstes Augenmerk zu widmen. Erkannten Belastungen muss durch entsprechende Maßnahmen entgegnet werden.

Eine Abschätzung des Gefährdungspotentials ist durch einen alleinigen Vergleich mit Bodenrichtwerten jedoch unmöglich!

Der aus dem Königswasserextrakt bestimmte Schwermetallgehalt repräsentiert nahezu den Gesamtanteil der Elemente im Boden und ist viel größer als der für eine Gefährdungsabschätzung maßgebliche pflanzenverfügbare Anteil. Auch Versuche mit schonenderen Extraktionsverfahren führen zu keiner universell einsetzbaren Bestimmungsmethode, welche in der Lage wäre für verschiedene Bodentypen den mobilen Schwermetallanteil und dessen Aufnahme in diverse Pflanzenarten zu ermitteln.

Nur durch eine kombinierte Interpretation der Ergebnisse von Boden-, Pflanzen-, Lebensmittel-, Wasser- und Luftuntersuchungen können schädigende Auswirkungen von Schadstoffbelastungen (nicht nur Schwermetalle) richtig eingeschätzt werden. Besonders schwierig ist eine Einschätzung von Wechselwirkungen (Abschwächung und Potenzierung) mehrerer Substanzen. Hier gibt es noch großen Forschungsbedarf.

Die Bestimmung der Schwermetalle im Boden erfolgt nach ÖNORM L1085 (Königswasser-Aufschluss) und anschließender AAS - Messung mit Flammen- bzw. Graphitrohrtechnik (Mo, Cd und As); Hg wird mit Kaltdampftechnik (FIMS) bestimmt.

Richtwerte für die Beurteilung von Schwermetallbelastungen:

Grenzwert: Per Gesetz oder Verordnung festgelegter Maximalgehalt, welcher bei Überschreitung Folgemaßnahmen nach sich zieht. In der Steiermark müssen an Standorten mit einer Grenzwertüberschreitung Pflanzenproben untersucht werden und per Gutachten die Herkunft und flächenhafte Verbreitung des Schadstoffes abgeklärt werden (Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz, Bodenschutzprogrammverordnung und Klärschlammverordnung). Der Grenzwert für Quecksilber wurde mit Wirkung vom 29. 7. 2000 von 2 auf 1 mg/kg herabgesetzt. Bei der Novellierung der Klärschlammverordnung am 31. 10. 2007 wurden einige Grenzwerte weiter herabgesetzt. Kupfer: 60 mg/kg, Zink: 150 mg/kg, Cadmium: 0,5 mg/kg und Quecksilber: 0,5 mg/kg. Die Grenzwerte für Kobalt und Molybdän wurden weggelassen.

Beim Arsen wird bisher, da in der Gesetzgebung kein Grenzwert angegeben ist, der international übliche Gehalt von 20 mg/kg als Richtwert verwendet.

Es sei angemerkt, dass diese Grenzwerte „de jure“ nur für den Oberboden (Acker 0 - 20 cm, alle anderen Flächen 0 - 10 cm) Geltung haben und damit im Dauergrünland eine entsprechende Berücksichtigung des zweiten Horizontes notwendig ist. Böden mit erhöhten Werten im Unterboden können jedoch trotzdem als belastete Standorte angesehen werden, sodass die gesetzlich vorgeschriebene Pflanzenprobenuntersuchung für Böden mit Grenzwertüberschreitungen auch dort erfolgte.

Der „Vater“ dieser Grenzwerte für die Bewertung von Schadstoffen in Böden („Richtwerte 1980“) ist Prof. Dr. Adolf Kloke vom Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin. Die „Richtwerte 1980“ repräsentieren in erster Linie die Bodensituation jener Region in der die ihrer Berechnung zu Grunde liegenden Untersuchungen durchgeführt wurden, die dortige Fragestellung, welcher die Richtwerte gerecht sein sollten und vermutlich auch die damaligen analytischen Möglichkeiten (Mo, Cd, Hg).

1986 waren diese Richtwerte für die Steiermark der wichtigste Anhaltspunkt einer Beurteilung der Untersuchungsergebnisse des Bodenschutzprogrammes. Nebenbei wurde auch mit aus der Literatur bekannten üblichen Bodengehalten verglichen.

1988 hat Prof. Kloke sein Beurteilungskonzept verfeinert und ein sogenanntes „Drei-Bereiche-System“ vorgeschlagen. Darin werden kurz gesagt drei Gehaltsbereiche (Unbedenklichkeitsbereich - Toleranzbereich - Toxizitätsbereich), je nach Bodennutzung noch weiter durch drei Bodenwerte (Unbedenklichkeitswert - Toleranzwert - Toxizitätswert) näher definiert.

Mit Abschluss der Untersuchungen im 4x4 km - Rastersystem in der Steiermark war es erstmals möglich die hiesige Bodenbelastung richtig einzuschätzen (Bodenschutzbericht 1998). "Bodenbelastungen" mit Arsen erwiesen sich als naturgegeben und unbedenklich - Cadmiumgehalte unter dem Grenzwert wurden als Umweltbelastung erkannt. Die wichtigsten Folgerungen aus diesen Untersuchungen waren:

- Bei der Erstellung von Richtwerten muss in erster Linie die gewünschte Aussage exakt definiert werden (z. B. das Erkennen von Umwelteinflüssen und erhöhtem geogenen Background) und dementsprechend ein passendes mathematisches Berechnungsverfahren gewählt werden.
- Bodenrichtwerte gelten streng genommen nur für eine begrenzte Region mit vergleichbarer Geologie und Umweltbelastung. Das heißt, dass Extremwerte von der Berechnung ausgenommen werden müssen. Wünschenswert wäre natürlich eine

möglichst genaue Differenzierung geologischer Einheiten, doch dafür ist ein 4x4 km - Raster zu grob.

Entsprechend diesen Überlegungen wurden aus den Ergebnissen der Bodenzustandsinventur jene Richtwerte ermittelt, welche die durchschnittliche Obergrenze des noch als natürlich anzusehenden Gehaltsbereiches der Schwermetalle im Boden darstellen (ausreißerbereinigte Mediangehalte der Unterböden). Sie wurden als **Normalwerte** bezeichnet und ermöglichen das Erkennen von nennenswerten anthropogenen Schwermetalleinträgen oder geologischen Anomalien in den Böden der Steiermark.

Schwermetall - Richtwerte:

Richtwerte (mg/kg)	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Grenzwerte bis 2007	100	300	100	100	60	50	10	2	1	(20)
Grenzwerte ab 2007	60	150	100	100	60	-	-	0,5	0,5	(20)
Normalwerte	60	160	50	80	70	30	1,6	0,5	0,3	40

Herkunft der Schwermetalle:

Zur weiteren Differenzierung zwischen anthropogener oder geogener Herkunft der Schwermetalle wurde für alle 1.000 Standorte rein rechnerisch die Differenz der Schwermetallgehalte aus Oberboden minus Unterboden gebildet. An Standorten, wo diese Differenz einen höheren Wert als der doppelte Vertrauensbereich ergibt, besteht der **Verdacht** auf eine anthropogene Beeinflussung (siehe nachstehende Tabelle).

Mit Hilfe dieses groben Rechenmodells erfolgte auch eine Abschätzung der ubiquitären Anreicherungen im Oberboden, welche möglicherweise auf Umwelteinflüsse zurückzuführen sind. Es sei dazu angemerkt, dass auch natürliche biologische und physikalisch-chemische Transportvorgänge im Boden Anteil an derartigen Anreicherungen haben können. Häufig führt auch das von Gewässern abgelagerte bodenbildende Schwemmaterial oder Hangwasser zur Anreicherung von Schwermetallen und anderen Schadstoffen im Oberboden. Diese können wiederum geogenen oder anthropogenen Ursprungs sein.

Abschätzung des vermutlich anthropogenen Schwermetallanteils im Oberboden belasteter Standorte im Vergleich zum üblichen Landesdurchschnitt:

mg/kg	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
~ Einträge	10	37	16	20	10	5	0,4	0,20	0,12	5
Median Stmk.	25	95	27	40	26	13	0,9	0,28	0,13	12

Im Zuge der Auswertungen zeigte es sich, dass vor allem die beiden Schwermetalle **Cadmium** und **Blei** zu den häufigsten Umweltbelastungen zählen. Etwa 60 % der steirischen Böden weisen Anreicherungen von Blei und Cadmium im Oberboden auf; rund ein Drittel davon überschreitet auch den Normalwert, wobei hier die Summe aus der natürlichen geologischen Grundbelastung und den anthropogenen Einträgen maßgebend ist.

Schwermetallbelastung und Standortnutzung: Normalwertüberschreitungen in %

% NW-Überschreitungen	Cu > NW (> 60 mg/kg)	Zn > NW (> 160 mg/kg)	Pb > NW (> 50 mg/kg)	Cr > NW (> 80 mg/kg)
Grünland	4,6	10,2	16,3	7,6
Acker	1,1	1,9	2,6	0,7
Hochalm	0,8	16,7	65,0	1,7
Sonderkultur	26,7	0,0	0,0	0,0
Wald	0,0	5,9	58,8	5,9
Summe Steiermark	3,8	8,4	18,7	4,8

% NW-Überschreitungen	Ni > NW (> 70 mg/kg)	Co > NW (> 30 mg/kg)	Mo > NW (> 1,6 mg/kg)	Cd > NW (> 0,5 mg/kg)
Grünland	3,7	2,7	16,8	20,7
Acker	1,5	0,4	5,6	2,2
Hochalm	0,0	0,0	10,0	34,2
Sonderkultur	0,0	0,0	10,0	0,0
Wald	0,0	0,0	35,3	11,8
Summe Steiermark	2,5	1,6	13,1	16,6

% NW-Überschreitungen	Hg > NW (> 0,3 mg/kg)	As > NW (> 40 mg/kg)	Anzahl untersuchter Standorte
Grünland	9,7	8,5	566
Acker	3,4	2,2	267
Hochalm	11,7	5,8	120
Sonderkultur	0,0	6,7	30
Wald	35,3	5,9	17
Summe Steiermark	8,4	6,4	1.000

Steiermarkweit gesehen erkennt man, dass die häufigsten Normalwertüberschreitungen die beiden umweltrelevanten Schwermetalle **Blei** und **Cadmium** betreffen. Vor allem Hochalmen (beim Blei auch Waldböden) sind überdurchschnittlich oft belastet. Hinsichtlich der naturgegebenen geologischen Ausgangssituation findet man in den nördlichen Kalkalpen deutlich höhere Belastungen durch Blei und Cadmium, als im Kristallin.

Waldböden weisen auch deutlich mehr **Molybdän-** und **Quecksilberbelastungen** auf als andere Nutzungsformen. Ursache dürfte das Auskämmen der luftgetragenen Schadstoffe durch die Bäume sein. Über den Bestandsabfall landen die belasteten Staubpartikel letztendlich im Boden, wo sie sich im Laufe der Zeit anreichern.

An Hochalmen führt wahrscheinlich die höhere Niederschlagstätigkeit zu einer höheren Depositionsrate als im Flachland. Auch fehlt hier eine Verdünnung der obersten Bodenschicht mit weniger belastetem Material aus dem Unterboden durch ackerbauliche Maßnahmen – ein Effekt der beim Vergleich zwischen Acker- und Grünlandböden bei allen Schwermetallen eine Rolle spielen dürfte.

Kupfer (Cu):

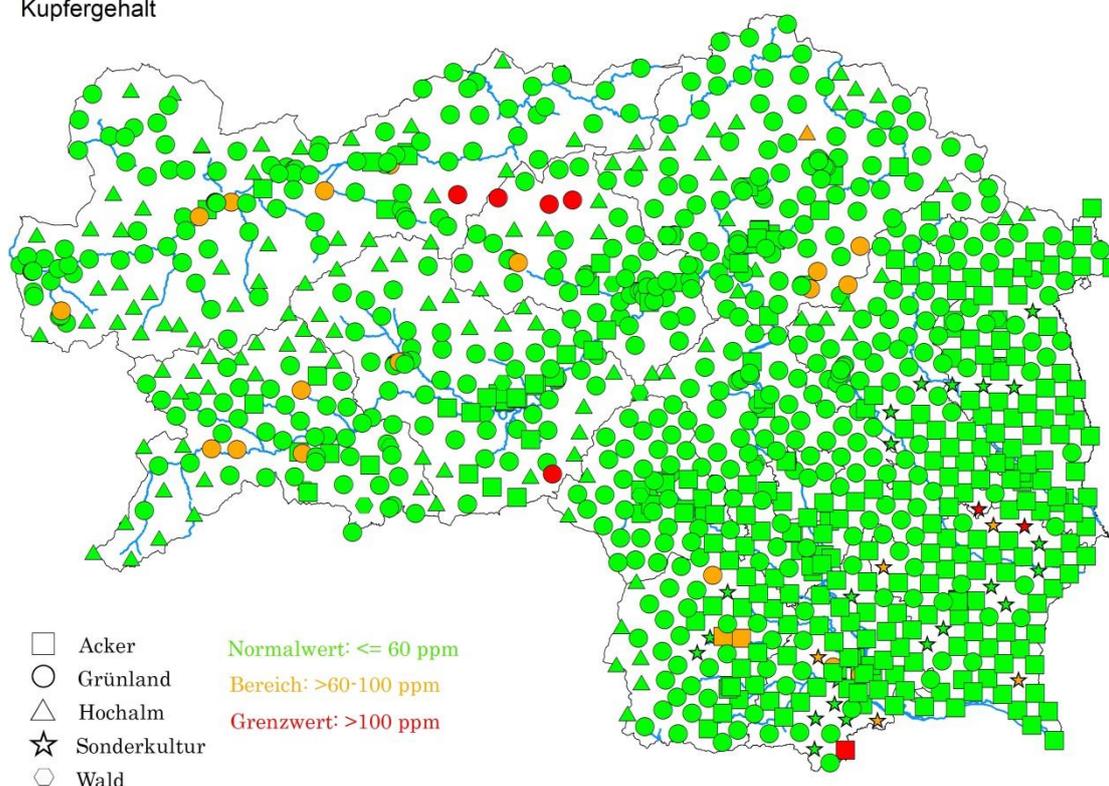
Allgemeines:

Kupfer ist ein für die Ernährung aller Lebewesen essentielles Element. Bei Kupferüberschuss können jedoch toxische Wirkungen bei Pflanzen und einigen Tieren (Schafe, Wiederkäuer) auftreten. Für viele Bakterien und Viren ist Kupfer nach Cadmium und Zink sogar das giftigste Element. Gräser und Algen hingegen sind relativ kupfertolerant. Außerdem sind Wechselwirkungen mit anderen Metallen bekannt. So kann ein Kupferüberschuss im Boden einen Eisen- bzw. Molybdänmangel bei Pflanzen auslösen. Nach Arbeiten der WHO benötigt der erwachsene Mensch täglich Kupfermengen von 0,03 mg/kg Körpergewicht (Kinder mehr: bis zu 0,08 mg/kg); Kupfermangelerscheinungen sind gleich wie eine chronische Kupfertoxizität beim Menschen sehr selten.

Untersuchungsergebnisse:

Kupfer (Cu) Normalwert: 60 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	3,20	1,20	1,20
Maximum	537,00	815,00	400,00
Mittelwert	28,44	28,33	28,65
Median	25,13	24,60	25,30

Kupfergehalt



Zink (Zn):

Allgemeines:

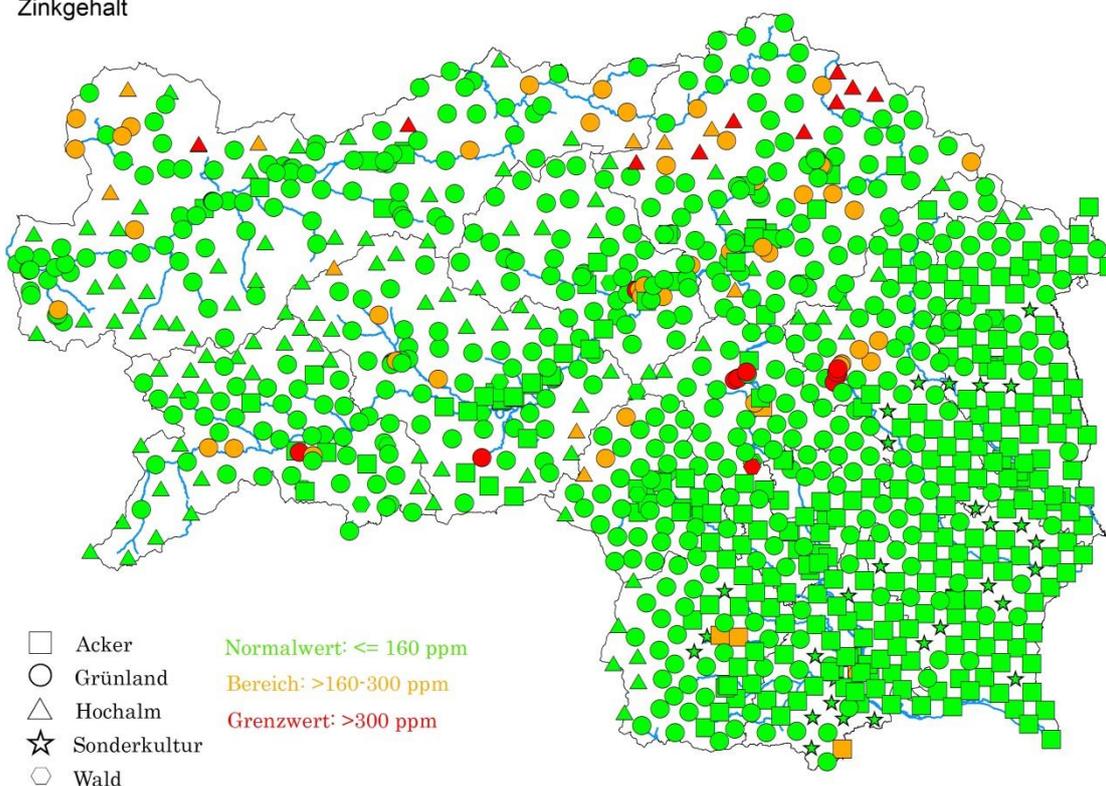
Zink ist ein für Pflanze, Tier und Mensch essentielles Spurenelement. Erst bei sehr hohen Gehalten im Boden wirkt es toxisch auf Pflanzen und Mikroorganismen. Auch für Tiere und Menschen ist Zink nicht sehr giftig. Viel häufiger gibt es Probleme durch Zinkmangel, sodass in der Futtermittelverordnung Minimalwerte für Zink vorgeschrieben werden. Zinkmangel in der Landwirtschaft wird zumeist über den aus dem EDTA-Extrakt abgeschätzten pflanzenverfügbaren Zinkanteil im Boden kontrolliert.

Der anthropogen verursachte Eintrag von Zink in unsere Umwelt erfolgt hauptsächlich durch industrielle Emissionen, durch Reifenabrieb (Reifen enthalten Zinkoxid) und Motorölzusätze von Kraftfahrzeugen. Dabei wird das Element neben der Ablagerung in unmittelbarer Umgebung zum Emittenten auch gebunden an kleinste Partikel fernverfrachtet.

Untersuchungsergebnisse:

Zink (Zn) Normalwert: 160 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	13,10	6,80	4,60
Maximum	1898,00	2280,00	1420,00
Mittelwert	109,62	99,66	86,85
Median	94,95	85,40	77,40

Zinkgehalt



Blei (Pb):

Allgemeines:

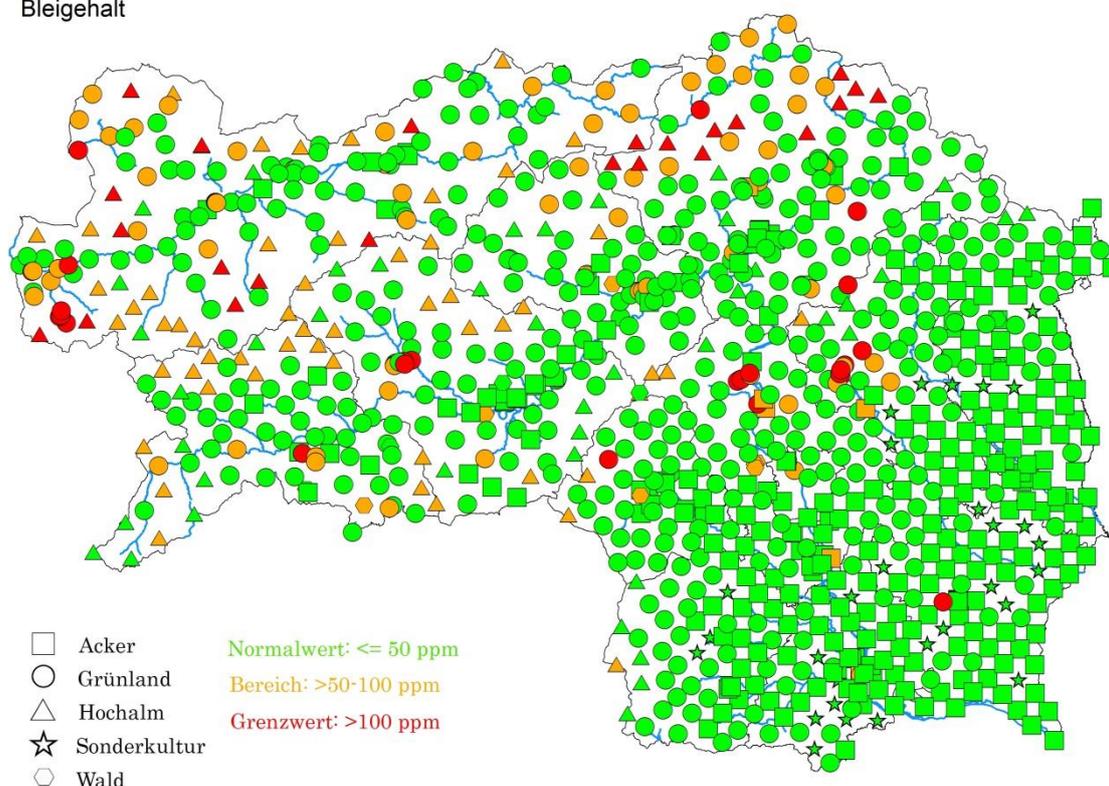
Blei ist kein essentielles Spurenelement und besitzt ein hohes toxisches Gefährdungspotential. Das durch menschliche Aktivitäten in die Umwelt gebrachte Blei kann sich im Boden und in Organismen anreichern. Es besitzt eine hohe biologische Halbwertszeit, welche beim Menschen 5-20 Jahre beträgt, sodass mit zunehmendem Alter der Bleigehalt im menschlichen Körper ansteigt. Die Bleiaufnahme in den Körper erfolgt über die Nahrung und die Atemluft. Laut FAO/WHO wird eine Bleiaufnahme bis zu 3 mg/Woche (für eine 70 kg schwere Person) als tolerierbar angesehen.

Emissionsquellen für Blei sind der Kfz-Verkehr, die Industrie und die Kohleverbrennung. Obwohl durch das Verbot der Verwendung von Treibstoffen mit Bleizusatz in Österreich ein weiterer Bleieintrag in die Umwelt gebremst wird, werden uns die bisher eingebrachten Bleibelastungen noch weiterhin sehr lange erhalten bleiben. Abgesehen davon enthalten auch unverbleite Treibstoffe noch Spuren von Blei.

Untersuchungsergebnisse:

Blei (Pb) Normalwert: 50 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	4,55	< 2,20	< 2,20
Maximum	8769,20	16520,00	17880,00
Mittelwert	64,84	65,08	52,69
Median	27,44	21,60	15,45

Bleigehalt



Chrom (Cr):

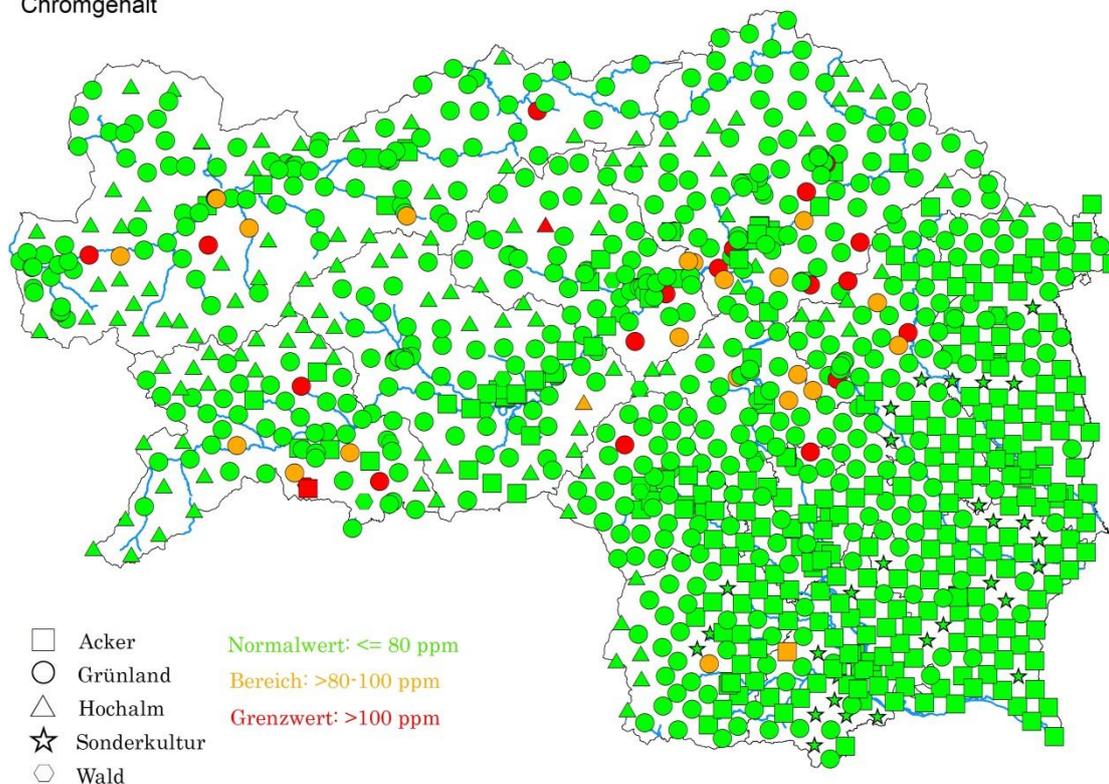
Allgemeines:

Chrom ist ein für Pflanzen sehr wahrscheinlich entbehrliches, für Mensch und Tier dagegen essentielles Element. Seine toxischen Wirkungen sind stark von der Oxidationsstufe abhängig. So ist 6-wertiges Chrom 100 bis 1000-mal giftiger als 3-wertiges. Bei arbeitsplatzbedingter Inhalation von Chrom (VI) - Verbindungen treten nach langen Latenzzeiten auch Krebserkrankungen der Atmungsorgane auf. Die Hauptmenge an Chrom wird normalerweise jedoch oral über die Nahrung und das Trinkwasser aufgenommen, wobei die Verweilzeit im Körper wesentlich kürzer ist, als beim Blei.

Untersuchungsergebnisse:

Chrom (Cr) Normalwert: 80 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	4,20	2,00	1,90
Maximum	516,00	544,00	522,00
Mittelwert	42,95	43,02	44,06
Median	39,93	39,70	40,60

Chromgehalt



Nickel (Ni):

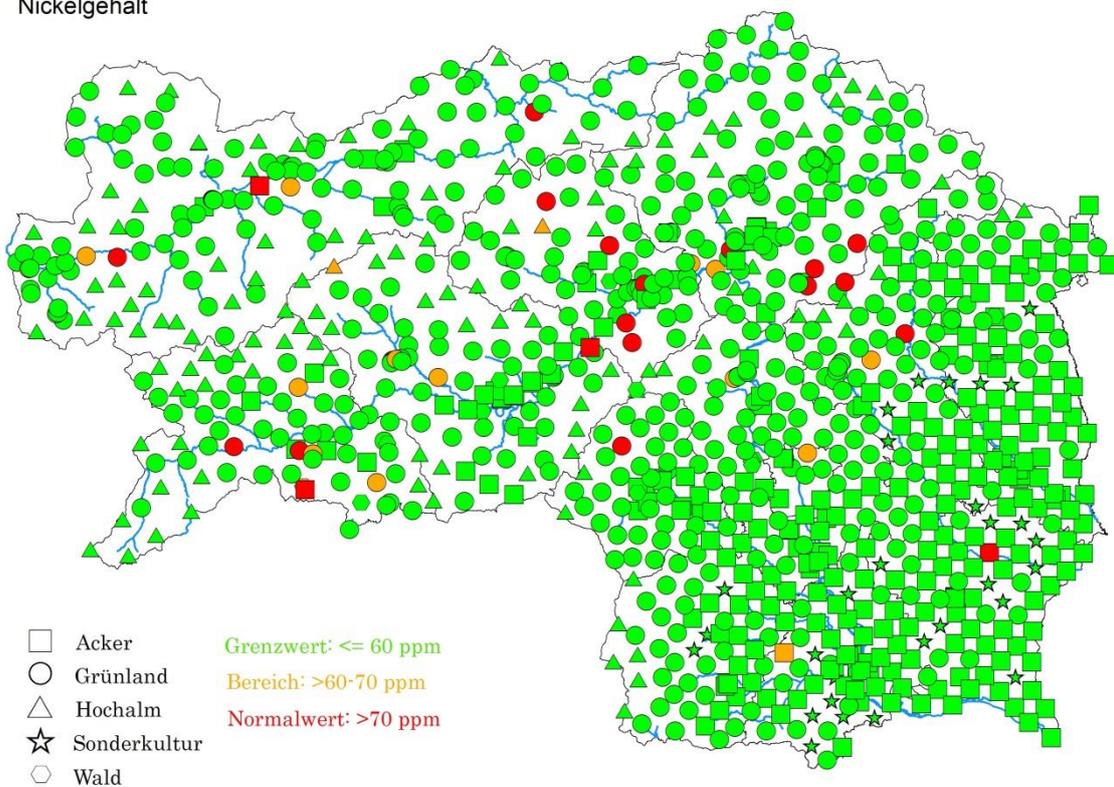
Allgemeines:

Nickel ist für einige lebende Organismen ein essentielles Spurenelement. Seine Toxizität ist stark von der Art der Verbindung abhängig. So ist seine 2-wertige wasserlösliche Form wenig toxisch (gegebenenfalls treten Dermatitisfälle auf). Andere Nickelverbindungen (z. B.: Nickelstäube) erwiesen sich als krebserregend oder teratogen. Bekannt ist Nickel auch als Auslöser allergischer Reaktionen.

Untersuchungsergebnisse:

Nickel (Ni) Normalwert: 70 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,83	0,30	0,60
Maximum	352,55	904,00	616,80
Mittelwert	28,54	31,79	34,23
Median	26,35	28,80	31,00

Nickelgehalt



Kobalt (Co):

Allgemeines:

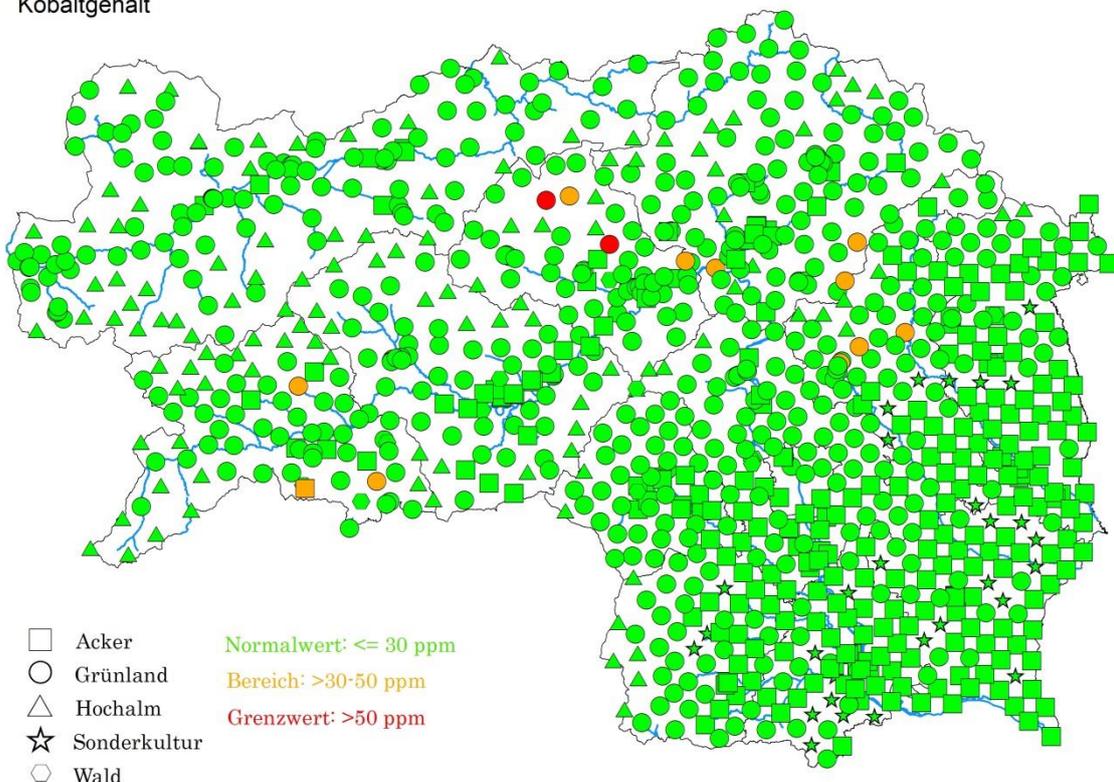
Kobalt ist für Mensch und Tier ein essentielles Spurenelement und ist im Vitamin B₁₂ für die Erhaltung der Gesundheit erforderlich. Der Bedarf an Vitamin B₁₂ ist gering und kann problemlos durch mäßige Fleisch- und Fischernährung gedeckt werden. Das toxische Potential von Kobalt ist bei oraler Aufnahme für den Menschen gering. Gefahren durch eine Kobaltbelastung bestehen im Bereich der metallverarbeitenden Industrie, wo es zu den als krebserzeugend ausgewiesenen Arbeitsstoffen zählt. Vereinzelt treten auch allergische Reaktionen durch den Kontakt mit kobalthaltigen Gegenständen auf.

Kobalt ist im Boden nur zu einem kleinen Anteil pflanzenverfügbar, wobei kobaltarme Böden meist nur einen Gehalt von 1-5 mg/kg aufweisen. Weidefutter sollte zur Vermeidung von Kobaltmangel mindestens 0,08 mg/kg Kobalt in der Trockensubstanz aufweisen.

Untersuchungsergebnisse:

Kobalt (Co) Normalwert: 30 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,15	0,40	0,30
Maximum	58,90	61,90	70,80
Mittelwert	13,03	14,07	15,11
Median	12,70	13,60	14,50

Kobaltgehalt



Molybdän (Mo):

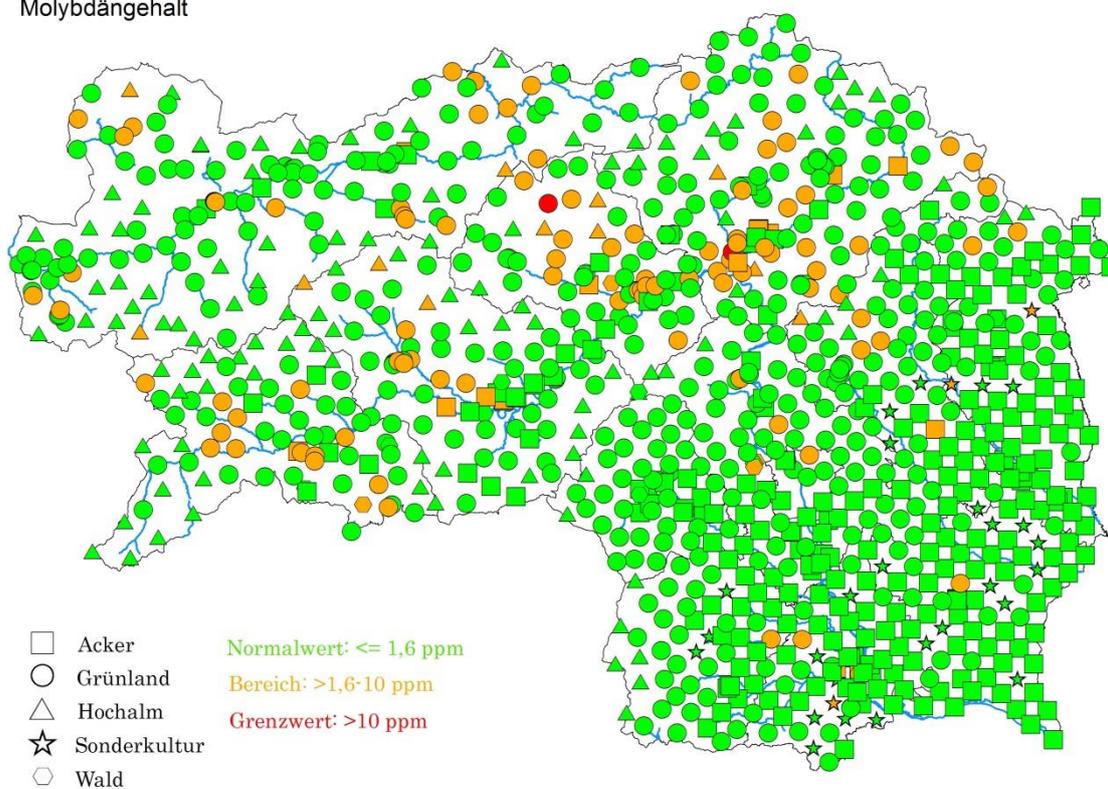
Allgemeines:

Das für Pflanzen, Tiere und Menschen lebensnotwendige Schwermetall Molybdän ist weit verbreitet und wird im Boden als Molybdat-Anion freigesetzt. Seine Verfügbarkeit steigt mit höherem pH-Wert, sodass sich eine Kalkung saurer Böden bei Molybdänmangel positiv auswirkt. Der Molybdängehalt in Pflanzen liegt normalerweise zwischen 0,1 - 0,3 mg/kg bezogen auf die Trockensubstanz. Eine industrielle Verschmutzung kann deutlich höhere Gehalte verursachen, wobei auch schon Vergiftungserscheinungen bei Rindern beobachtet wurden.

Untersuchungsergebnisse:

Molybdän (Mo) Normalwert: 1,6 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,17	0,07	0,03
Maximum	28,95	11,04	10,08
Mittelwert	1,10	0,95	0,87
Median	0,89	0,75	0,66

Molybdängehalt



Cadmium (Cd):

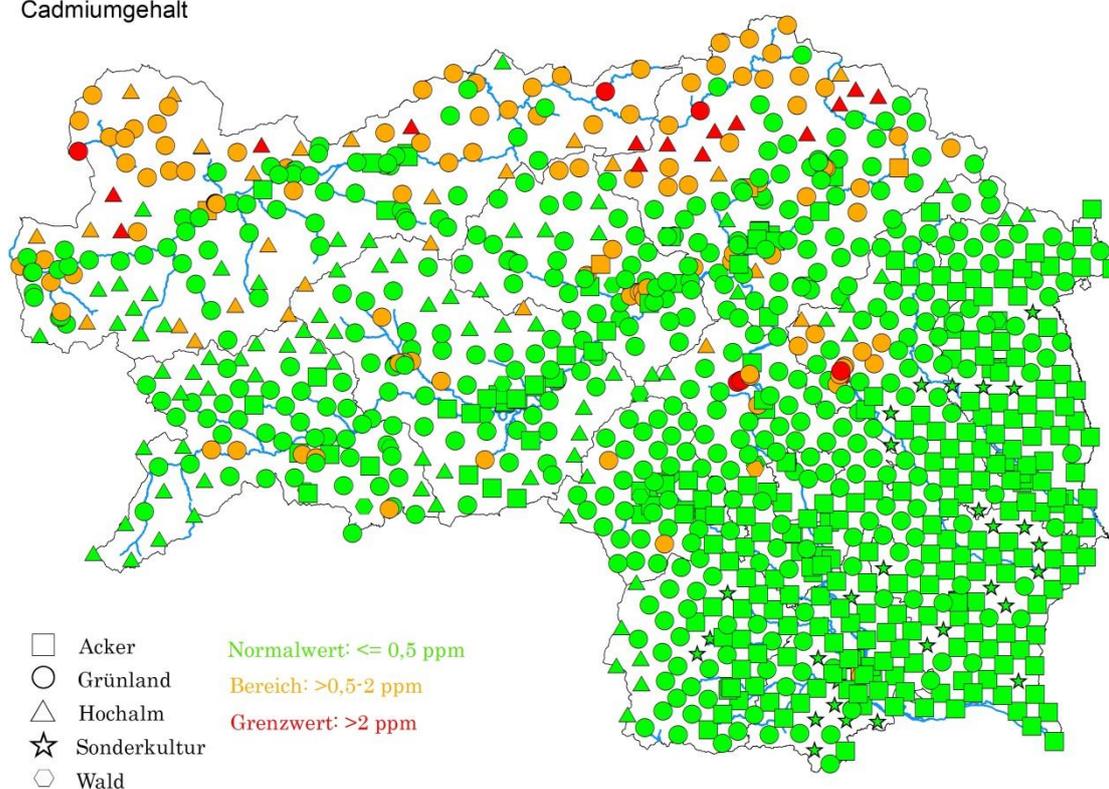
Allgemeines:

Cadmium ist ein für Tier und Mensch bereits in geringen Konzentrationen toxisch wirkendes Element. Laut WHO - Empfehlung sollen dem menschlichen Körper täglich nicht mehr als 1 µg Cd pro kg Körpergewicht zugeführt werden. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch die beträchtliche Cadmiumaufnahme durch Zigarettenrauch. Da die biologische Halbwertszeit von Cadmium beim Menschen sehr lang ist (19-38 Jahre), steigt der Cadmiumgehalt von Leber und Nieren mit zunehmendem Alter und die Gefahr einer Nierenfunktionsstörung nimmt zu. Zudem wurde im Tierversuch auch ein krebserregendes, mutagenes und teratogenes Potential beobachtet. In Kombination mit anderen Schwermetallen sind antagonistische und synergistische Effekte bekannt. Cadmium ist im Boden relativ leicht mobilisierbar. Vor allem bei pH-Werten unter 6 steigt die Löslichkeit von Cadmium im Boden stark an, sodass bei belasteten sauren Böden eine Aufkalkung zu empfehlen ist. Quellen für den vom Menschen verursachten Cadmumeintrag in Böden sind die metallverarbeitende Industrie, der Kfz-Verkehr, Feuerungs- und Müllverbrennungsanlagen, sowie die Aufbringung von Klärschlamm und Phosphatdüngern.

Untersuchungsergebnisse:

Cadmium (Cd) Normalwert: 0,5 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,07	< 0,01	< 0,01
Maximum	21,47	30,13	6,52
Mittelwert	0,47	0,35	0,21
Median	0,28	0,17	0,10

Cadmiumgehalt



Quecksilber (Hg):

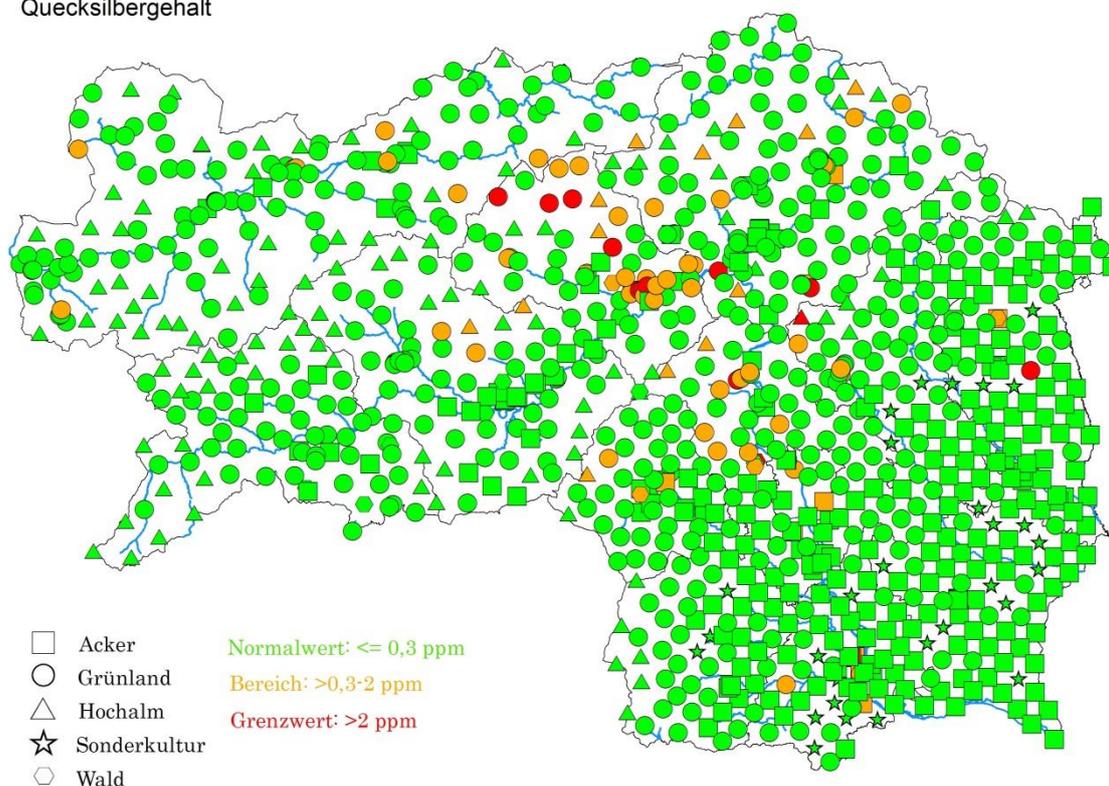
Allgemeines:

Quecksilberverbindungen (vor allem organische wie Methylquecksilber) sind stark toxisch für Mensch und Tier. Auch mutagene und teratogene Wirkungen sind bekannt. Die WHO sieht für den Menschen eine wöchentliche Maximaldosis von 0,35 mg (für eine 70 kg schwere Person) als tolerierbar an. Die Hauptaufnahmekategorie bei der Nahrung stellt der Verzehr von Meerestieren dar. Die Quecksilberbelastung der Umwelt passiert wegen des hohen Dampfdruckes von Quecksilber etwa zu zwei Drittel aus natürlichen Quellen und zu einem Drittel durch menschliche Aktivitäten, wobei die Anwendung von quecksilberhaltigen Fungiziden und Beizmitteln heute verboten ist. Im Boden wird Quecksilber sehr stark durch den Humus gebunden, sodass seine Mobilisierbarkeit außerordentlich gering ist und erhöhte Pflanzengehalte auch bei stark kontaminierten Böden selten sind. Quecksilberanreicherungen sind nur in wenigen Pflanzen wie Algen und Pilzen von Bedeutung.

Untersuchungsergebnisse:

Quecksilber (Hg) Normalwert: 0,3 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,03	0,01	< 0,01
Maximum	116,12	138,69	98,75
Mittelwert	0,31	0,31	0,28
Median	0,13	0,10	0,08

Quecksilbergehalt



Arsen (As):

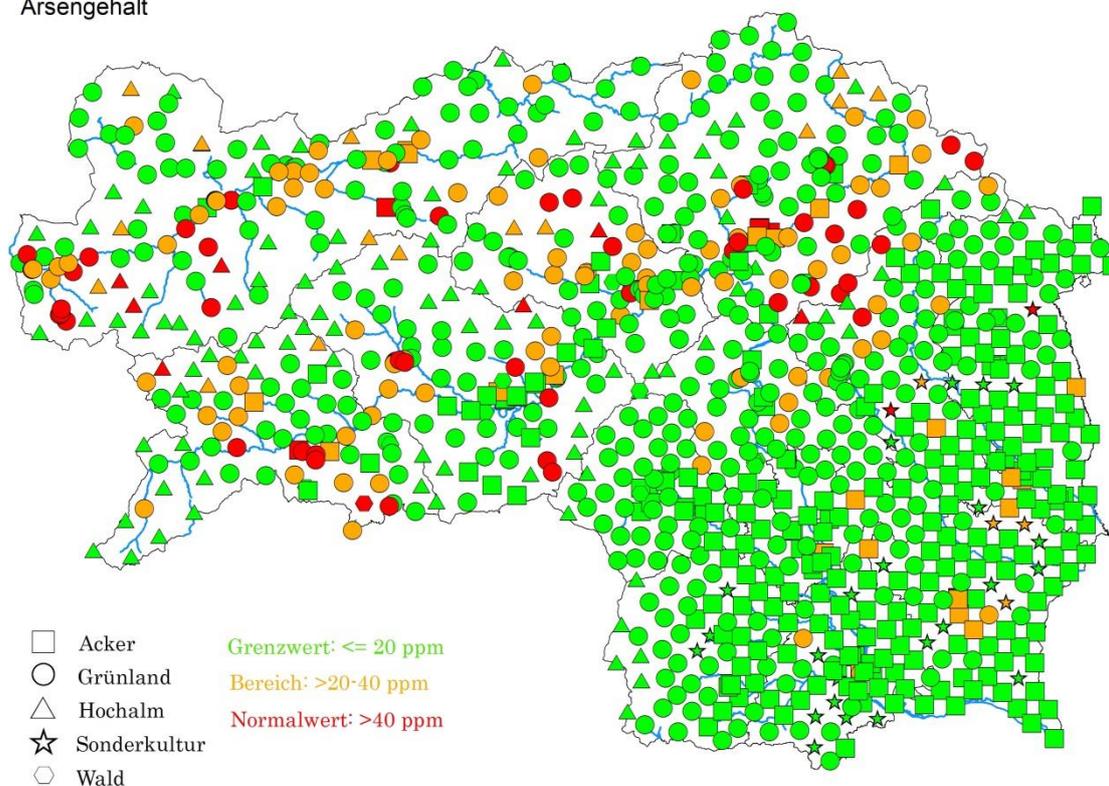
Allgemeines:

Bei einer Betrachtung der Toxikologie des Arsens müssen seine beiden Oxidationsstufen berücksichtigt werden. So ist dreiwertiges Arsen besonders giftig und verursacht Hautkrebs. Arsen ist vermutlich auch co-karzinogen, mutagen und teratogen. Seine gebietsweise häufige Verbreitung in oft beträchtlichen Konzentrationen ist zumeist geogener Natur. Anthropogen verursachte Einträge im Boden findet man vor allem in der Nähe von Schmelzereien. Auch die früher übliche landwirtschaftliche Anwendung von Arsen-haltigen Schädlingsbekämpfungsmitteln kann fallweise kleinräumig Probleme bereiten. Die Hauptaufnahmequelle des Menschen stellt der Verzehr von Meerestieren und Reis sowie Getreide dar. Man vermutet sogar, dass Arsen für Mensch und Tier innerhalb einer schmalen Wirkungsbreite ein essentielles Spurenelement ist. Erstaunlich ist auch der Antagonismus von Arsen und Selen, welche zusammen deutlich weniger giftig sind als einzeln. Die WHO/FAO empfiehlt, dass die tägliche Nahrungsaufnahme von Arsen 0,05 mg/kg Körpergewicht nicht übersteigt.

Untersuchungsergebnisse:

Arsen (As) Normalwert: 40 mg/kg	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Minimum	0,30	0,20	< 0,20
Maximum	1820,00	1897,00	1680,00
Mittelwert	20,08	22,48	20,80
Median	11,55	12,20	12,30

Arsengehalt



Organische Schadstoffe:

Die chlorierten Kohlenwasserstoffe (HCB, Lindan und DDT):

Allgemeines:

Die landwirtschaftliche Anwendung dieser 3 Schadstoffe ist zwar schon lange verboten, doch bedingt durch ihre Langlebigkeit sind sie auch heute noch immer wieder im Boden nachweisbar. Auf Grund ihres lipophilen (fettliebenden) Charakters werden sie bevorzugt in fetthaltigen Pflanzenteilen angereichert und im Fettgewebe von Lebewesen gespeichert. Sie besitzen eine hohe biologische Halbwertszeit.

HCB (Hexachlorbenzol) war früher als Fungizid in Verwendung und kommt als Verunreinigung in diversen Chemikalien vor. Seine Verbreitung in die Umwelt findet daher auch heute noch statt (Müllverbrennung, Industrie).

Lindan war früher ein weit verbreitetes Insektizid, welches vor allem in der Forstwirtschaft bei der Borkenkäferbekämpfung eingesetzt wurde. Seine chemische Bezeichnung lautet γ -Hexachlorcyclohexan bzw. γ -HCH.

DDT (Dichlor-diphenyl-trichlorethan) war jahrzehntelang als universelles Insektizid (zum Beispiel: Kartoffelkäferbekämpfung) im Einsatz.

Die Bestimmung dieser 3 Schadstoffe erfolgt nach gemeinsamer Aufarbeitung zusammen mit den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch eine Aceton-Extraktion und Messung mittels ECD - GC.

Ihre Bestimmung wird generell nur im Oberboden durchgeführt, Unterböden werden nur bei positiven Befunden des Oberbodens untersucht, um eine eventuelle Tiefenverlagerung erkennen zu können.

Die **Bestimmungsgrenze** der Substanzen lag bis 2006 bei 15 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$). Unter der Bestimmungsgrenze ist eine Quantifizierung von Ergebnissen nicht seriös - ein qualitativer Nachweis von Rückständen ist aber bis zur so genannten **Nachweisgrenze** möglich.

Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen verbessern sich im Laufe der Zeit. Ab 2006 konnten die Bestimmungsgrenzen für chlorierte Kohlenwasserstoffe im Boden durch den Ankauf neuer Analysegeräte auf 1 ppb gesenkt werden.

Untersuchungsergebnisse:

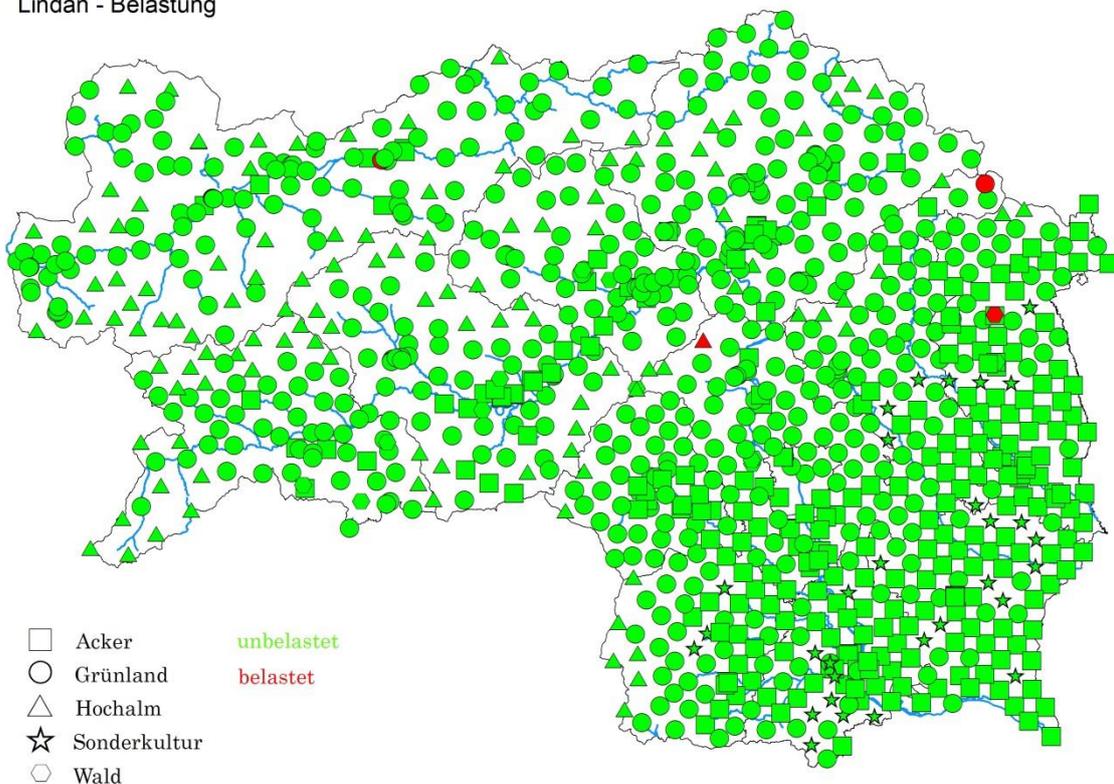
Bei den Untersuchungen wurden nur in 4 Böden Spuren von **Lindan-Rückständen** unter der ehemaligen Bestimmungsgrenze von 15 ppb Lindan festgestellt.

HCB-Rückstände über der ehemaligen Bestimmungsgrenze von 15 ppb HCB waren an 5 Untersuchungsstandorten nachweisbar.

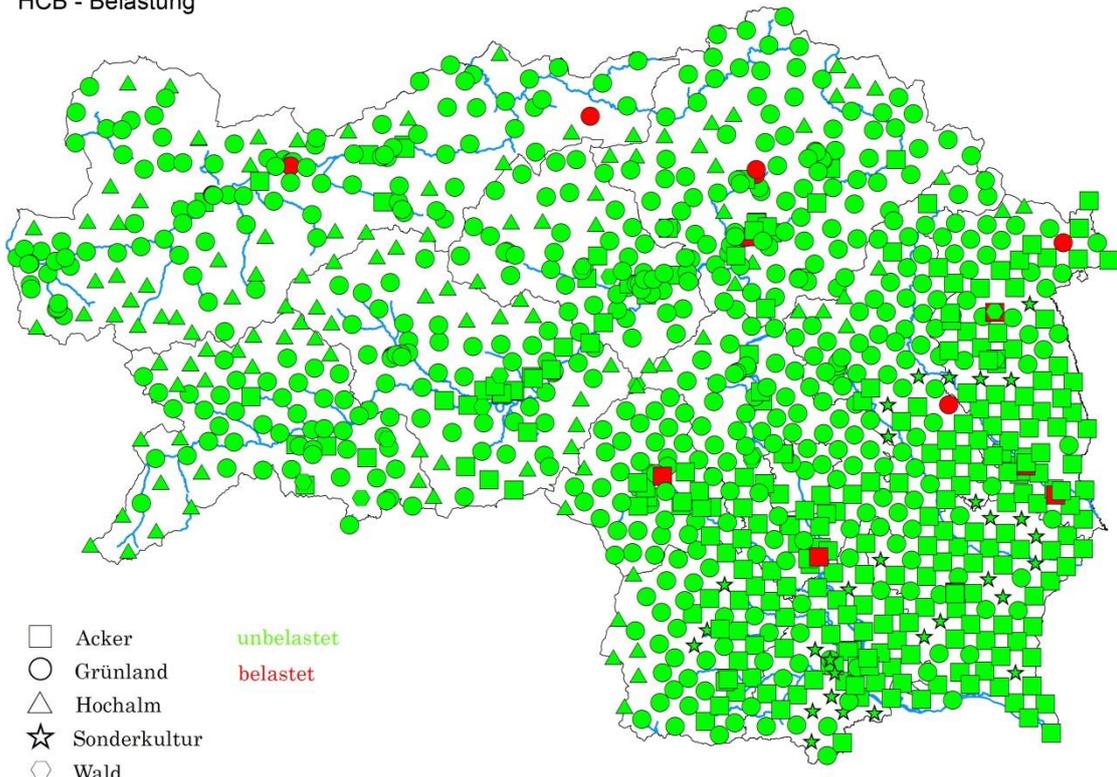
DDT-Rückstände sind von den drei untersuchten chlorierten Schadstoffen am häufigsten in Böden festzustellen. 47 Böden der 1000 Untersuchungsstandorte weisen DDT-Belastungen über der ehemaligen Bestimmungsgrenze von 15 ppb DDT auf.

Bei den Ergebnissen ist eine starke Schwankung der Gehalte innerhalb der Wiederholungsprobenahmen auffällig, was von großer Inhomogenität der kleinräumigen Bodenbelastungen zeugt.

Lindan - Belastung

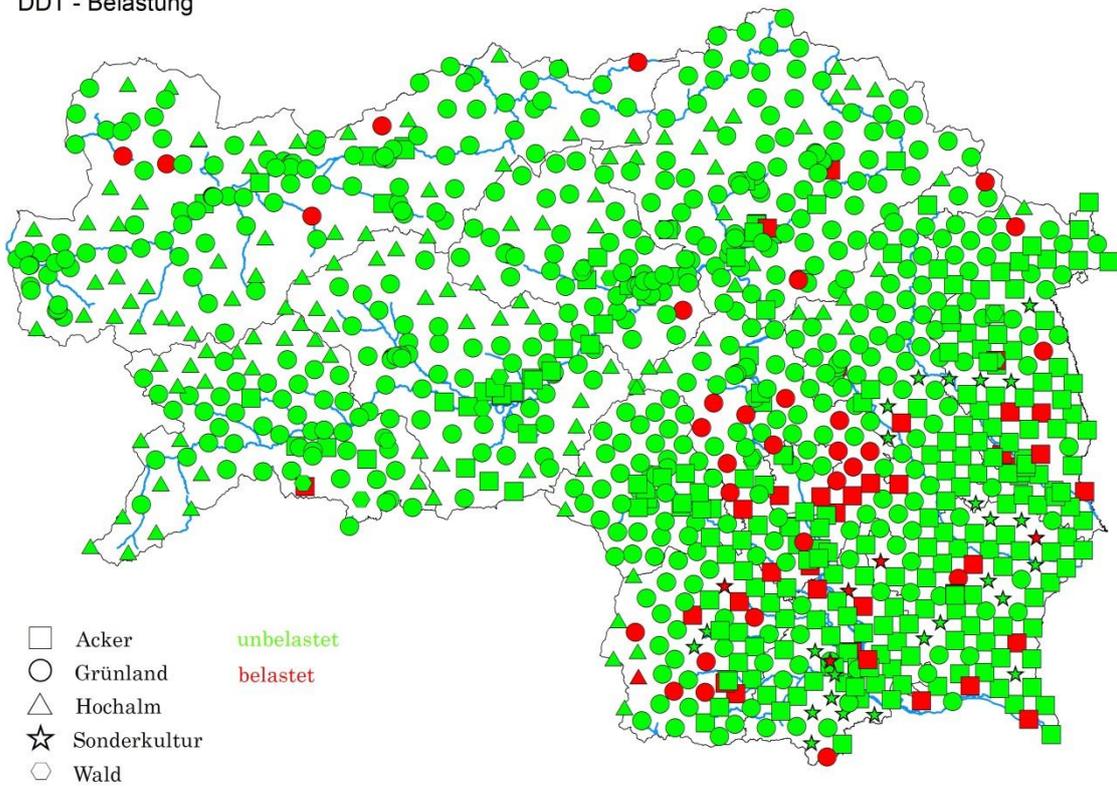


HCB - Belastung



A10 - Land- und Forstwirtschaft
 Referat Boden- u. Pflanzenanalytik (2016)

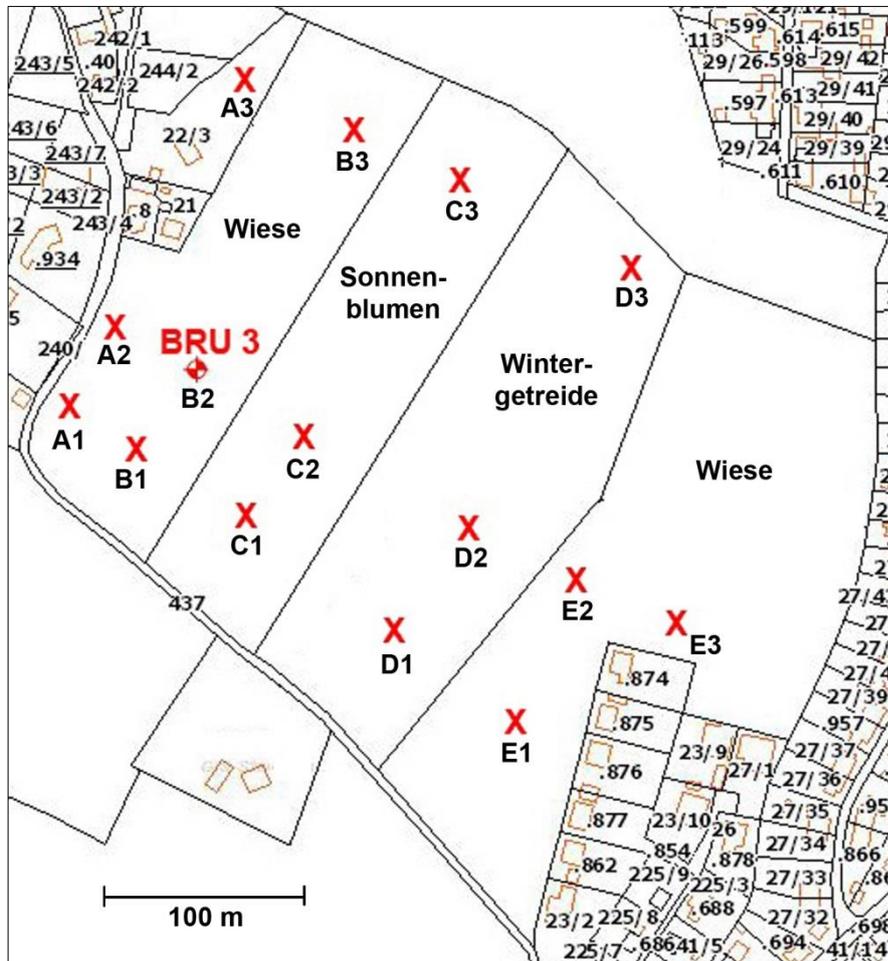
DDT - Belastung



A10 - Land- und Forstwirtschaft
 Referat Boden- u. Pflanzenanalytik (2016)

Projekt zur Untersuchung der örtlichen Variabilität von HCB-Belastungen:

Im Bereich des mit HCB-Rückständen belasteten Ackerstandortes **BRU 3** wurden 2001 zusätzliche Proben des Oberbodens (0-20 cm) untersucht.



Probe	ppb HCB
A1	< 1
A2	< 1
A3	n.n.
B1	10
B2	10
B3	12
C1	< 1
C2	< 1
C3	< 1
D1	< 1
D2	< 1
D3	n.n.
E1	n.n.
E2	n.n.
E3	< 1

Nur im Wiesenstreifen der Untersuchungsstellen B1-3, in dem auch der Standort BRU 3 (Mittelpunkt ident mit der aktuellen Probenahmestelle B2) liegt, wurden nennenswerte HCB-Belastungen festgestellt. Alle übrigen Untersuchungsstellen weisen HCB-Gehalte unter der Bestimmungsgrenze von 1 ppb HCB auf oder der Schadstoff ist überhaupt nicht nachzuweisen (n.n.).

Aus diesem Befund lässt sich ableiten, dass HCB-Rückstände im Boden oft nur kleinräumige Belastungen darstellen und einen konkreten landwirtschaftlichen Nutzungsbereich betreffen. Da HCB vor allem im Kürbisbau Rückstandprobleme verursacht, sind als belastet erkannte Flächen von einer derartigen Nutzung auszusparen.

Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH's):

Allgemeines:

Die Abkürzung „PAH's“ oder "PAH" für diese Substanzklasse entstammt der englischsprachigen Literatur („polycyclic aromatic hydrocarbons“); weiters üblich ist auch „PAK“ („polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe“) aus der deutschsprachigen Schreibweise.

PAH's entstehen bei diversen Verbrennungsvorgängen, egal ob es sich um eine Verbrennung von Kohle, Öl, Kraftstoffen, Holz oder Zigarettentabak handelt. Bei der alleinigen Verbrennung einer organischen Substanz (z. B.: Erdöl) entsteht zwar ein charakteristisches Verteilungsmuster der PAH - Einzelsubstanzen (PAH-Profil), dennoch ist eine Verursachenermittlung über den PAH - Gehalt einer Bodenprobe kaum möglich, da das gefundene PAH-Profil immer ein Mischprofil aus mehreren Quellen darstellt. Dennoch ist eine Bestimmung der PAH's im Boden von großem Wert, weil der PAH - Gehalt neben den Schwermetallgehalten ein universeller Indikator für die Umweltbelastung des untersuchten Standortes ist.

Bei den Vertretern dieser Schadstoffe handelt es sich meist um stark toxische, krebserzeugende, mutagene (erbgutverändernde) und teratogene (den Fötus schädigende) Substanzen. Die größten Emissionsquellen sind Industrie, Hausbrand, Kraftstoffverbrennungsmaschinen und natürliche Brände. Die Verbreitung der PAH's erfolgt über feine Rußpartikel, an welchen die Schadstoffe adsorbiert sind. Besonderes Augenmerk sollte daher der Rußpartikel - Emission aus den Dieselmotoren des ständig wachsenden Schwerverkehrs und der zunehmend großen Anzahl dieselbetriebener PKWs gewidmet werden.

PAH's sind heute ubiquitär verbreitet und werden auch in den entlegensten Almböden gefunden. Dass sie trotz ihres hohen Toxizitätspotentials nicht verbreitet großen Schaden anrichten, verdankt man dem Umstand, dass sie aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit für die Nahrungskette kaum verfügbar sind. Nur bei direkter Inhalation (z. B.: Zigarettenkonsum), oder bei oraler Aufnahme von Ruß-belasteten Nahrungsmitteln (angebrannte oder falsch geräucherte Lebensmittel) ist eine unmittelbare Gesundheitsgefährdung gegeben.

Die Schadstoffgruppe der PAH's besteht aus vielen Einzelsubstanzen, deren bekanntester Vertreter das als Leitsubstanz gebräuchliche Benzo(a) Pyren ist. Bei der steirischen Bodenzustandsinventur werden folgende PAH's bestimmt:

Phenanthren	Summe Benzo(b+k+j) Fluoranthen
Anthracen	Benzo(e) Pyren
Fluoranthen	Benzo(a) Pyren
Pyren	Perylen
Summe Triphenylen + Chrysen	Benzo(ghi) Perylen

Um die Ergebnisse besser überblicken und interpretieren zu können, werden die Einzelgehalte zu einer „PAH-Summe“ addiert - ausgenommen von dieser Summenbildung werden nur die Substanzen Phenanthren und Anthracen, da sie größere analytische Schwankungen aufweisen und so das Ergebnis verfälschen können. Ihre Bestimmung ist aber dennoch von Bedeutung, da Phenanthren und Anthracen, als die zwei niedermolekularsten untersuchten Verbindungen, auch die größte Tendenz zur Tiefenverlagerung verglichen mit den anderen PAH's aufweisen.

Zur leichteren Interpretierbarkeit der Untersuchungsergebnisse wird folgende grobe **Klasseneinteilung** getroffen (ppb = $\mu\text{g}/\text{kg}$):

PAH-Summe	0 - 200 ppb	„Ubiquitäre Belastung“
PAH-Summe	201 - 500 ppb	„Erhöhte Belastung“
PAH-Summe	> 500 ppb	„Starke Belastung“

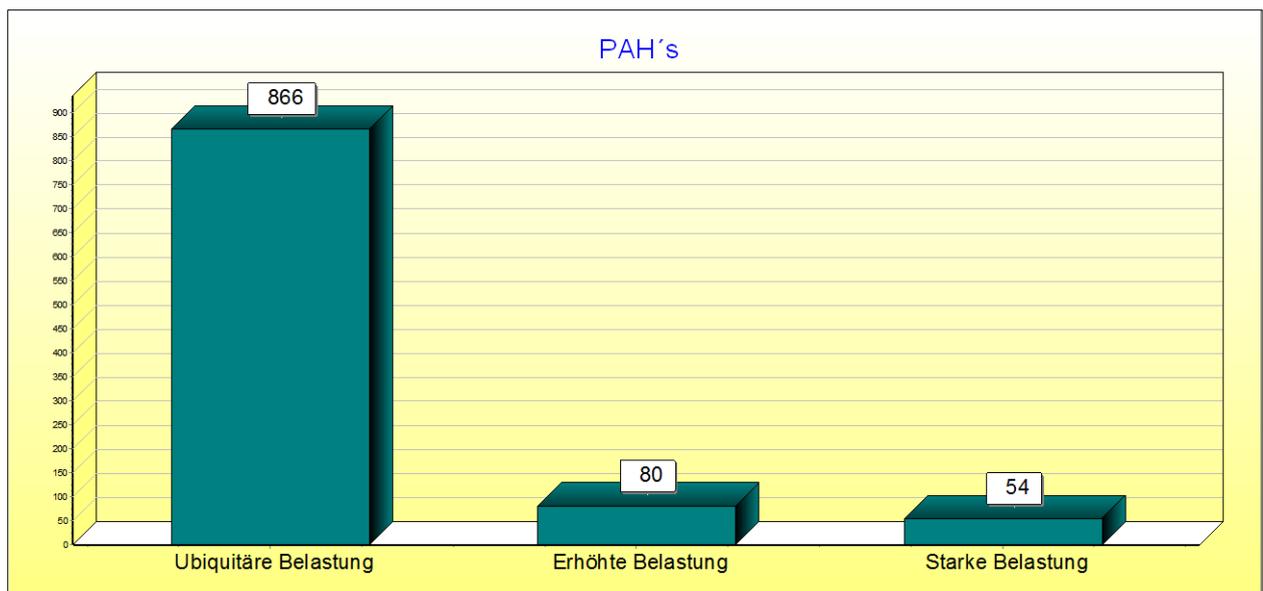
Die Bestimmung der PAH's erfolgt in gemeinsamer Aufarbeitung mit den chlorierten Kohlenwasserstoffen nach einer in internationalen Ringversuchen getesteten Methode (Aceton-Extraktion und Messung mittels GC - MS).

Wie bei den chlorierten Kohlenwasserstoffen, wurde bei der Bodenzustandsinventur primär nur der Oberboden untersucht und erst ab einer PAH-Summe von mehr als 500 ppb auch die Unterböden kontrolliert.

Untersuchungsergebnisse:

Anzahl der Standorte in den Bewertungsklassen der **PAH-Summe**:

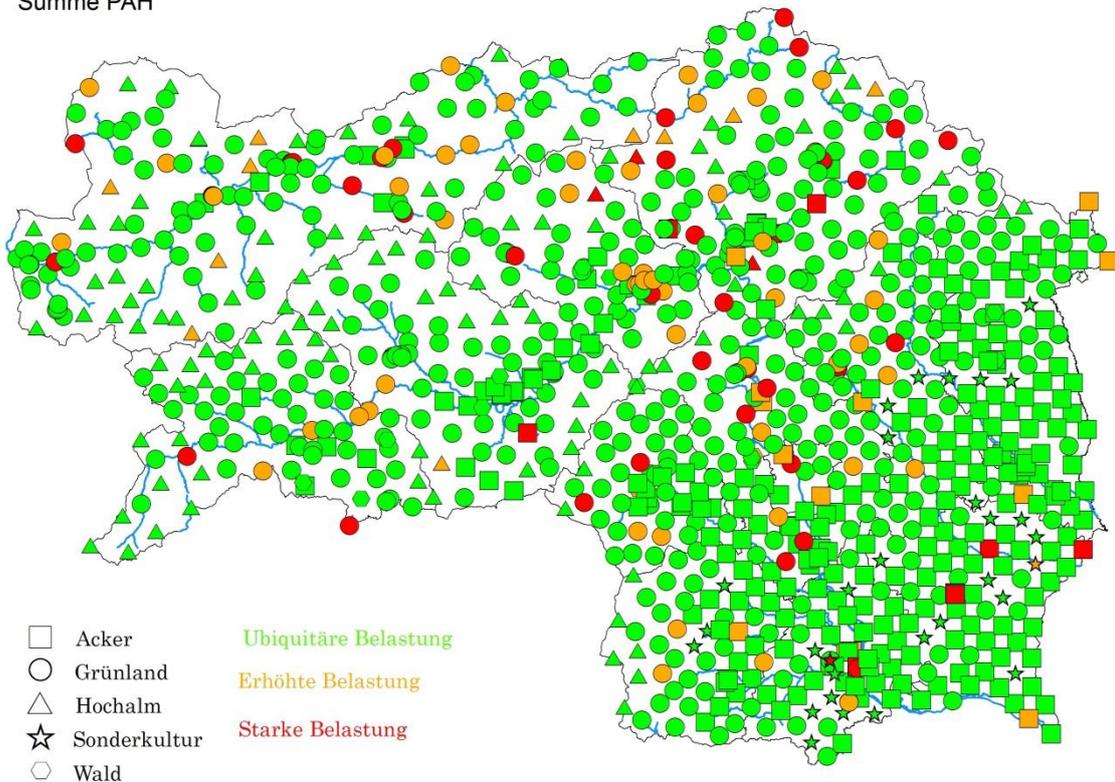
PAH - Summe	Ubiquitäre Belastung	Erhöhte Belastung	Starke Belastung
Grünland	474	52	40
Acker	243	15	9
Hochalm	106	10	4
Sonderkultur	28	1	1
Wald	15	2	0
Summe Steiermark	866	80	54



Statistische Kennzahlen der untersuchten Standorte:

PAH-Summe in ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Horizont 1 (MW)
Minimum	10
Maximum	43.897
Mittelwert	260
Median	65

Summe PAH



Triazin - Rückstände:

Allgemeines:

Die Untersuchung von Triazin-Rückständen erfolgt nur an Ackerstandorten und umfasst die Rückstände folgender **5 Triazine**:

Atrazin, Simazin, Cyanazin, Terbutylazin und Propazin.

Die angeführten Substanzen sind Unkrautvernichtungsmittel (Herbizide), wovon vor allem das Mittel **Atrazin** bis Mitte der 90er Jahre beim Maisanbau stark zum Einsatz kam. Als das Problem der Grundwasserkontamination auftrat, wurde die Anwendung von Atrazin, nach anfänglichen gesetzlichen Anwendungsbeschränkungen, mit 5. 5. 1995 gänzlich verboten.

Die Bestimmung der Rückstände im Boden erfolgt nach einer Aceton/Wasser - Extraktion und Messung mittels NPD - GC.

Die Bestimmungsgrenze der einzelnen Parameter beträgt 10 µg/kg (= 10ppb).

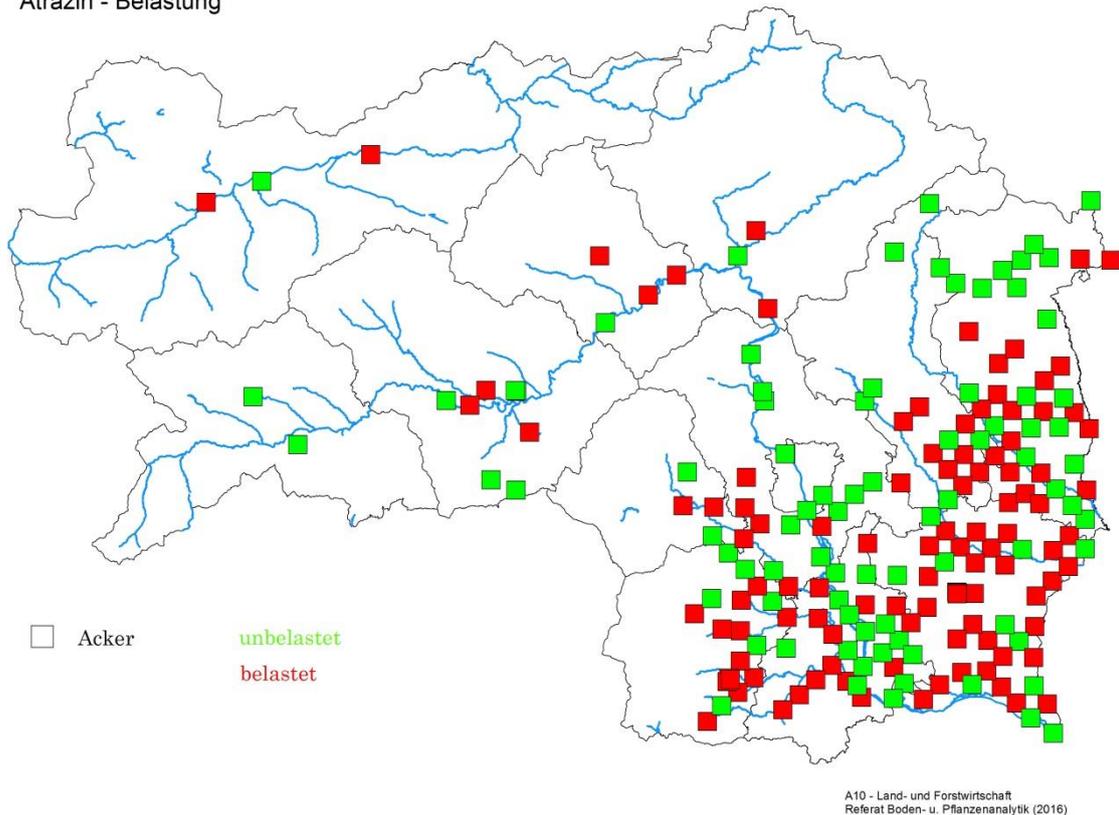
Die Schwankungsbreite der Atrazinrückstände im Boden kann auf Grund von inhomogener Aufbringung eine relativ hohe lokale Variabilität aufweisen!

Untersuchungsergebnisse:

An den 267 vom Bodenschutzprogramm erfassten Ackerstandorten wurden an 106 Untersuchungsstellen **Atrazin - Rückstände** im Oberboden nachgewiesen. Die Rückstände stammen aus der Zeit vor dem Anwendungsverbot. Bei den Kontrollen nach zehn Jahren war der Schadstoff nur mehr selten und in Spuren nachzuweisen.

Anstelle von Atrazin konnten bei den Zehnjahreskontrollen im Zuge der Bodendauerbeobachtung ab 2006 an 29 Standorten Rückstände des Wirkstoffes **Terbutylazin** im Gehaltsbereich 5 - 34 ppb nachgewiesen werden.

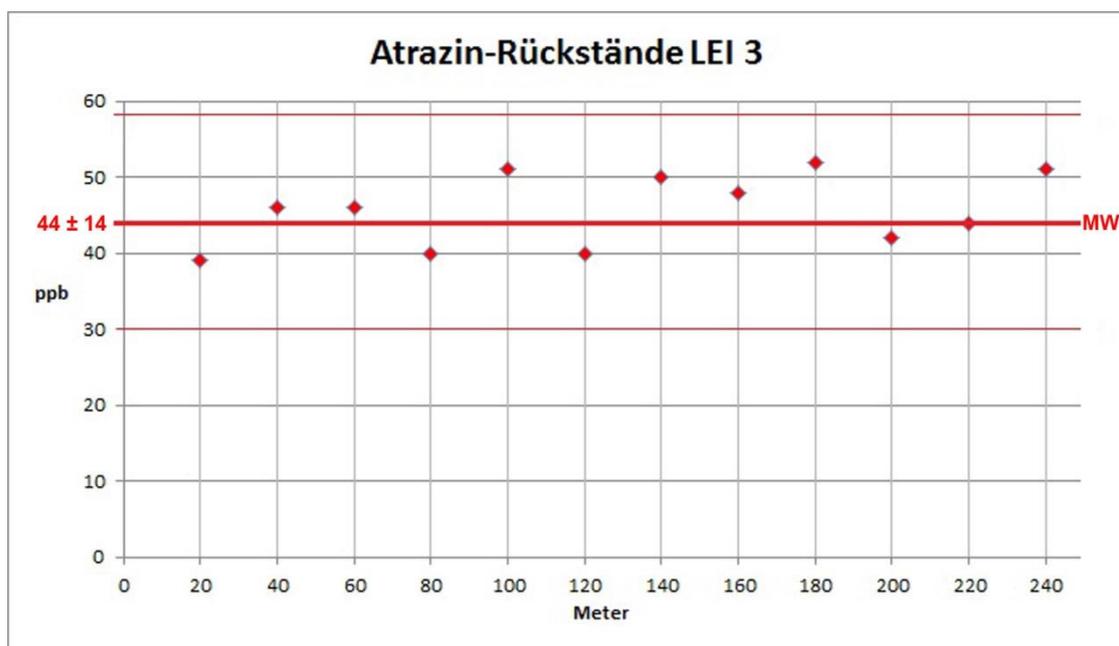
Atrazin - Belastung



Projekt zur Untersuchung der örtlichen Variabilität von Atrazin-Belastungen:

Im Bereich des mit Atrazin-Rückständen belasteten Ackerstandortes **LEI 3** wurden 1998 zusätzliche Proben des Oberbodens (0-20 cm) untersucht. Dabei wurden in der Mitte des Ackerstreifens entlang einer Gerade alle 20 m eine Probe entnommen.

Ergebnis: Die Atrazin-Belastung ist sehr gleichmäßig über den Acker verteilt.



Erläuterung der Abkürzungen

CaCO₃	Kalziumcarbonat bzw. Kalk		
P₂O₅	Phosphorpentoxid → Angabeform des Phosphor-Gehaltes		
K₂O	Kaliumoxid → Angabeform des Kalium-Gehaltes		
Mg	Magnesium		
B	Bor		
F	Wasser - extrahierbares Fluor		
EDTA-Cu	EDTA - extrahierbares Kupfer		
EDTA-Zn	EDTA - extrahierbares Zink		
EDTA-Mn	EDTA - extrahierbares Mangan		
EDTA-Fe	EDTA - extrahierbares Eisen		
CaKat	Austauschbares Kalzium		
MgKat	Austauschbares Magnesium		
KKat	Austauschbares Kalium		
NaKat	Austauschbares Natrium		
Cu	Kupfer	Ni	Nickel
Zn	Zink	Co	Kobalt
Pb	Blei	Mo	Molybdän
Cr	Chrom	Cd	Cadmium
		Hg	Quecksilber
		As	Arsen
HCB	Hexachlorbenzol		
PAH's, PAH	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe		
ppm	„part per million“, z. B.: mg/kg (Milligramm pro Kilogramm)		
ppb	„part per billion“, z. B.: µg/kg (Mikrogramm pro Kilogramm)		

Verwendete Literatur

Richtlinien für sachgerechte Düngung - 6. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2006.

Lehrbuch der Bodenkunde - 11. Auflage, Scheffer / Schachtschabel, 1984.

Metalle in der Umwelt, Ernest Merian, 1984.

Steirische Bodenschutzberichte 1988 - 2015.

Niederösterreichische Bodenzustandsinventur 1994.

Oberösterreichischer Bodenkataster - Bodenzustandsinventur 1993.

Diverse ÖNORMEN des Österreichischen Normungsinstitutes.

IMPRESSUM

Herausgegeben von:

Abteilung 10 Land- und Forstwirtschaft
Abteilungsleiter Hofrat Dipl. Ing. Georg Zöhner

Inhalt:

A10, Referat Boden- und Pflanzenanalytik
Mag. Dr. Wolfgang Krainer

Druck:

A2- Zentrale Dienste