

Das Redoxpotenzial von Böden als Bonitätsmaß für die Düngung einer Apfelanlage

FRANZ SOLAR¹, HERBERT KEPPEL², KARL PIEBER³ und MARIANNE von BORMANN¹

¹Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur,
A-1180 Wien, Gregor Mendelstraße 66

²Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark, Versuchsstation für Obst- und Weinbau Haidegg,
A-8047 Graz, Ragnitzstraße 193

³Institut für Obst- und Gartenbau, Universität für Bodenkultur,
A-1180 Wien, Gregor Mendelstraße 66

In einer oststeirischen Apfelanlage mit pseudovergleyter Braunerde wurden die Auswirkungen des Mulchens und der Düngung mit Vollkorn Blau und Biosol auf das Bodenredoxpotenzial geprüft. Die Ergebnisse beziehen sich auf die spätsommerlich/frühherbstliche Periode, und der Tagesgang und die Tiefenfunktion des Redoxpotenzials repräsentieren einen frühherbstlichen Schönwettertag. Durch das Mulchen wurde das Bodenredoxpotenzial stark positiviert. Die dadurch erwirkte Vergrößerung der Potenzialdifferenz Boden/Baum wurde aber durch toxische Metaboliten des Stoffumsatzes überkompensiert. Zusätzlich vermochte das Mulchen die profilabschnürende Wirkung der Stauzone als Ort höchster Oxidation und des maximalen Elektronenstress nicht zu eliminieren. Düngung mit Vollkorn Blau oxidierte den Boden am stärksten und bewirkte damit den stärksten Elektronenstress und die größte Minderung der Potenzialdifferenz Boden/Baum. Die Profilabschnürung durch die Stauzoneneffekte wurde durch eine intensivierete Oxidation in den $A_{rig}P$ zusätzlich verstärkt und die Tiefenentwicklung der Wurzeln stark beeinträchtigt. Die Gabe von Biosol positivierte das Bodenredoxpotenzial ohne toxische Nebeneffekte, eliminierte den Elektronenstress im Unterboden und hob die Profilabschnürung durch den Stauzoneneffekt auf. Das Oxidationsgeschehen verlagerte sich bonitätserhöhend in die Krume.

The redox potential as an indicator for the yield power of soils for the fertilization of an apple orchard. *The effects of mulching and fertilization with Vollkorn Blau and Biosol on the redox potential of the soil were investigated in an apple orchard of East Styria. Results refer to the vegetational period of late summer and early fall, resp., and the diurnale rhythm and the deep action of the redox potential represent a fine weather day in early fall. Mulching caused a strong positivation of the redox potential of the soil, but the increase of the potential difference soil/tree was overcompensated by toxic metabolism products. Mulching did not eliminate the profile cut-off caused by the accumulation zone as the location with the highest oxidation and maximum electronic stress. Fertilization with Vollkorn Blau caused the highest oxidation of the soil, the strongest electronic stress and the strongest decrease of the potential difference soil/tree as well. The profile cut-off as an effect of the accumulation zone was even reinforced by an intensified oxidation in the $A_{rig}P$ and the depth development of the roots was significantly affected. Application of Biosol positivated the redox potential of the soil without any toxic side effects, eliminated electronic stress in the subsoil and neutralized the profile cut-off caused by the effects of the accumulation zone. Oxidation was translocated into the crumbs and had yield power increasing effects.*

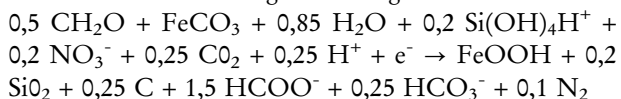
Le potentiel redox des sols en tant qu'indicateur de la qualité du sol suite à la fertilisation d'un verger de pommes. Les effets du mulching et de la fertilisation par Vollkorn Blau et par Biosol sur le potentiel redox du sol ont été examinés dans le sol brun gleyiforme d'un verger de pommes à l'est de la Styrie. Les résultats ont été relevés pendant la période de végétation fin de l'été/début de l'automne, le schéma diurne et l'action en profondeur du potentiel redox étant représentatifs pour une journée de beau temps du début de l'automne. A la suite du mulching, le potentiel redox du sol s'est fortement amélioré, mais l'augmentation de la différence du potentiel sol/arbre a été surcompensée par des métabolites toxiques. En outre, le mulching n'a pas été en mesure d'éliminer l'effet de la

couche imperméable qui présente l'oxydation et le stress électronique les plus élevés. L'épandage du Vollkorn Blau a provoqué la plus forte oxydation du sol, ce qui a entraîné le stress électronique et la réduction de la différence de potentiel sol/arbre les plus importants. Les effets de la couche imperméable ont encore été renforcés par une oxydation intensifiée dans les ArigP, le développement en profondeur des racines ayant été fortement atteint. Le Biosol a amélioré le potentiel redox du sol sans effets secondaires toxiques, a éliminé le stress électronique dans le sous-sol et a neutralisé l'effet de la couche imperméable. L'oxydation a eu lieu dans la couche supérieure du sol, ce qui a eu pour conséquence une amélioration de la qualité du sol.

Ausreichende Durchlüftung und sanft ablaufende Oxidationsprozesse sind Bonitätsmerkmale guter Böden. Damit wird das Paar Boden/Pflanze als Redox-Paar statuiert, dessen Kathode die Pflanze und dessen Anode der Boden ist; die Potenzialdifferenz Boden/Pflanze wird so zum Bonitätsmaß des Standortzustandes (vergleiche KEPPEL et al., 1997). Oxidationsprozesse und Redox-Negativierungen sind in Kulturböden zumeist anthropogener Natur, wobei die Düngung daran maßgeblich Anteil haben kann. Rückschlüsse auf den zu Grunde liegenden Stoffumsetzungsprozess gewähren die horizontspezifische Oxidationsintensität, die horizontspezifischen Bodeneigenschaften und die Potenzialvariation der Düngungsvarianten. In die Stoffumsetzung müssen demnach folgende Gruppen potenzialbildend einbezogen sein:

- a) organische Substanzen,
- b) dominant vertretene Metalle als oxidationsfähige Hauptkomponenten,
- c) Kieselsäure als H^+ -Puffer,
- d) Nitrat als Oxidant und
- e) Wurzelausscheidungen (H^+ , e^- , CO_2) als Impulsgeber.

Verständlicherweise können nur oxidationsfähige Hauptkomponenten oxidiert werden. In Summe aber ist die Umsetzung ein Reduktionsprozess, bei dem es zu einer Absenkung der positiven Potentiale und zur Verringerung der Potenzialdifferenzen Boden/Pflanze kommt. Demnach lässt sich der potenzialbildende Prozess in seinen Grundzügen wie folgt beschreiben:



Aus obiger Gleichung können unter Verwendung der veröffentlichten Normalpotentiale (MARTELL und SILLEN, 1964; LINDSAY, 1979; STUMM und MORGAN, 1981) die Bodenpotentiale berechnet werden. Die so aus den analysierten Bodenparametern berechneten Potentiale stimmen üblicherweise gut mit den gemessenen Potentialen überein. Ziel vorliegender Arbeit war es, die Auswirkung verschiedener Düngungsvarianten auf das

Redoxpotenzial des Bodens einer steirischen Apfelanlage zu messen.

Material und Methoden

Standort

Der untersuchte Standort liegt auf einer verschliffenen Quartärterrasse im oststeirischen Hügelland nahe Graz. Der Boden ist eine tiefgründige und mittelschwere pseudovergleyte Braunerde aus vorverwitterten, umgelagerten und mit Quarzkies vermengten tertiären Lehmen. Der Boden ist tiefrigolt und hat ein A_1 10 cm/ A_{rig} 35 cm/ $A_{rig}P$ 45 cm/ AB_{rig} 60 cm/ B_v -Profil. Alle rigolten Horizonte sind humos, teils infolge Humuseinwirkung, teils durch Humusinfiltration. Die Humusform ist Mull (A_1) und Fahlmull. Alle Horizonte sind mit hochpoliertem Quarz angereichert, insbesondere die initiale Stauzone $A_{rig}P$. Das Gefüge aller rigolten Horizonte ist kollabiert und mäßig verdichtet; lediglich der A_1 -Horizont ist biogen gelockert und aufgekümmelt. Der Boden ist mäßig belebt, mehrere Wurmröhren reichen bis in den unrigolten B_v -Horizont. Die Apfelmultipflanzung ist eine Anlage der Sorte 'Golden Delicious Klon Haidegg (F 6A)' in Spindelerziehung mit der Pflanzweite 4 m x 1 m. Der Boden ist in den Fahrgassen dauerhaft begrünt, in den Baumreihen aber nur zwischen Mitte August und der Ernte. Nach der Ernte bis zum nächstjährigen August werden die Baumreihen bewuchsfrei gehalten. Die Gründede wurzelt im A_1 -Horizont. Die Fahrspuren sind teilweise verkahlt und mit gequetschter Pflanzenmasse bedeckt. Die Bäume haben zwischen 7 und 35 cm Tiefe zwei schwächliche, plagiotrope Wurzeletagen entwickelt. Die plagiotropen Wurzeln reichen seitwärts bis an die Fahrspur, die sie nicht untertauchen. Die flachsitzende Wurzeloberetage ("Taufwurzeln") entwickelt kurze, ascendente Seitenstränge und einige descendente Tiefgänger. Die zweite, über der initialen Stauzone angelegte Wurzeletage entwickelt nur descendente, in

Wurmröhren absteigende Seitenwurzeln ("Wurmröhrenwurzeln"). Diese deszendente Wurmröhrenwurzeln sind nur im unrigolten Unterboden merklich verzweigt.

Untersuchungsvarianten

Folgende vier Bearbeitungs- bzw. Düngungsvarianten wurden getestet: Mulch (M), Vollkorn Blau (VKB), Biosol (B) und eine Kontrollvariante (K). Diese weist eine Gründecke auf, wobei das Schnittgut als Mulch an Ort und Stelle verbleibt. Jede Variante wurde in die drei Mikrostandorte a) Baumreihe, b) Fahrgasse und c) verkahlte Fahrspur in der Fahrgasse unterteilt.

Das Bodenredoxpotenzial wurde in Tagesgängen über sieben Bodentiefen zwischen 10 und 70 cm Tiefe gemessen. Die Messungen erstreckten sich somit über die volle Durchwurzelungstiefe. Sie erfolgten mittels einer feldtauglich adaptierten Cu/Cu(OH)Cl-Zelle nach der bereits früher beschriebenen Methodik (KEPPEL et al., 1997; KEPPEL et al., 2000). Die vorliegenden Ergebnisse wurden im Spätsommer bzw. Frühherbst des Jahres 1995 gemessen, Tagesgang und Potenzialtiefenfunktion werden am Zustand eines frühherbstlichen Schönwettertages erläutert.

Ergebnisse

Allgemeine Charakteristik des Boden-Redoxzustandes

Das Normalwasserstoffpotenzial aller Böden ist positiver als das Kupferpotenzial (Tab. 1). Das Mittel aller Düngungsvarianten und Mikrostandorte liegt bei $\varepsilon_H = 428 \pm 24$ mV, die Einzelwerte liegen im Bereich von 333 bis 463 mV. Das formale Höchstmaß an Bodenbonität veranschaulicht das (positive) Maximum, das formale Malusmaß das (negativere) Minimum. Das Potenzial-Minimum drückt das Höchstmaß an Reduktionsdruck (Elektronenstress) auf die Baumwurzeln während ablaufender Oxidationsprozesse im Boden aus. Im Gegensatz dazu beschreibt das Potenzialmaximum das Mindestmaß an Reduktionsdruck. Die Untersuchungen ergaben, dass die Vitalität der Bäume zwischen Maximum und Minimum formal um 130 mV oder 28 % eingeschränkt wurde.

Die Potenziale sind keine Konstanten, sondern periodische Tagesfunktionen und individuelle Größen der einzelnen Bodenhorizonte. Die tägliche Potenzialentwick-

lung weist in der Nacht das positivste Potenzialmaximum auf, fällt dann ab und erreicht zwischen dem frühen Vormittag und Mitte Nachmittag das negativste Minimum und steigt dann wieder zum nächtlichen Grundzustand an. Diese Tagesentwicklung ist als Schwingen der Krumpenpotenziale um die Profilmittelpunkte ($A_{rig,P}$) ausgelegt, die tägliche Oxidation beginnt im Unterboden und schreitet von dort diskontinuierlich nach oben fort. Die Spannbreiten der Potenziale sind solcherart als Amplituden, als Intensitätsmaß der oxidativen Stoffumsetzung im Boden zu verstehen. Der intensivste Umsatz erfolgt im Oberboden, deshalb verfügen die beiden Krumpen auch über die größten Potenzialamplituden (A_1, A_{rig} : 333 bis 458 mV), die Unterböden aber über die niedrigsten (AB_{rig}, B_v : 361 bis 463 mV). Die Mittelpartie des Bodens, die sehr umsetzungs- und oxidationsaktive initiale Stauzone, ist gleichzeitig die Unstetigkeitsstufe der Potenzialtiefenfunktion, um welche das Ober- und Unterbodenpotenzial zeitversetzt schwingen. Diese Tiefenfunktion des Potenzials bedeutet, dass die beiden plagiotropen Wurzelstagen unter zeitweilig höherem Elektronenstress stehen als die deszendente Wurzelstiefengänge. Der Adaptionsmechanismus der Bäume besteht in der Entwicklung ascendenter Luftwurzeln.

Die drei Mikrostandorte oxidieren unterschiedlich und bringen dadurch in jede Düngungsvariante Modifikationen ein (Tab. 1). Besser als die Mittelwerte charakterisieren die Potenzialspannbreiten die Unterschiedlichkeit der drei Mikrostandorte.

Die Düngung produziert auf den Mikrostandorten ein variables und düngerspezifisches Maß an Elektronenstress und die Mikrostandorte reagieren auf die verschiedenen Dünger mit höherem oder geringerem Stress. Organische Dünger produzieren ein geringeres Maß an Elektronenstress als oxidierende Mineraldünger (VKB). Da der organische Umsatz in lockeren Böden höher ist als in verdichteten, resultiert bei organischer Düngung die folgende Stressreihung (Potentialspannbreiten in mV): Baumreihe (391-458) > Fahrgasse (401-458) > Fahrspur (411-463).

Oxidierende Mineraldünger greifen angereicherten Humus an und vermögen diesen auch in verdichteten Böden umzusetzen. Derart wird ein Platzwechsel in obiger Stressreihung erzwungen. Die Stressreihung und die Potentialspannbreiten lauten solcher Art bei Einrechnung der VKB Varianten:

Fahrgasse (333-463) > Baumreihe (341-463) > Fahrgasse (401-459)

Tabelle 1:

Boden-Redoxpotenziale in mV (Werte positiv) - Mittelwerte der spätsommerlich/frühherbstlichen Messperiode 1995

	Vollkorn	Kontrolle	Biosol	Mulch
Baumreihe: Oberboden 0 - 30 cm	404 ± 46	430 ± 4	435 ± 25	438 ± 17
Unterboden 40 - 70 cm	388 ± 40	433 ± 15	438 ± 12	440 ± 8
Fahrgasse: Oberboden 0 - 30 cm	428 ± 12	432 ± 14	425 ± 12	441 ± 15
Unterboden 40 - 70 cm	420 ± 16	428 ± 14	433 ± 15	436 ± 9
Fahrspur: Oberboden 0 - 30 cm	390 ± 38	441 ± 14	431 ± 5	441 ± 4
Unterboden 40 - 70 cm	416 ± 39	426 ± 9	437 ± 14	425 ± 10
Mittel der Mikrolokalitäten	408 ± 38	431 ± 13	435 ± 44	436 ± 12

Auswirkungen unterschiedlicher Düngung auf den Boden-Redoxzustand

Die untersuchten Dünger wirken bezogen auf den Redoxzustand der Kontrollvariante (K-Variante) entweder oxidierend oder reduzierend.

Die Beurteilung erfolgt zunächst anhand der Mittelwerte (Tab. 1). Der Redoxzustand der Kontrollvariante wird durch nicht entfernte Pflanzenreste, die Bioaktivität und die mäßigen Wechselfeuchteimpulse gesteuert. Die Oxidation ist insbesondere im Unterboden, in den Fahrgassen und Fahrspuren intensiver als in den Baumreihen. Die geringere Oxidation der Unterböden in den Baumreihen kann durch geringere Mengen an leicht abbaubarem Humusfiltrat nur unzulänglich erklärt werden.

Die Extrempositionen beiderseits des Kontrollzustandes (Kontrollparzelle) nehmen die Mulch- und die VKB-Variante ein. Das Mulchen wirkt oxidationshemmend auf den Boden, daher steigen die Potenzialmittelwerte sowohl der Ober- als auch der Unterböden über das Kontrollmaß deutlich an, ausgenommen die Potenzialwerte der Fahrspur-Unterböden. Die ungehemmte Oxidation der Fahrspur-Unterböden scheint bei Absperrung gegenüber der Atmosphäre betont autochthon über pedogene Oxidation zu verlaufen. Der Redoxzustand der Mulch-Variante für sich allein scheint die Baumvitalität zu fördern. Tatsächlich aber ist die Zunahme des positiven Potentials in diesem Fall mit der Bildung toxischer Metaboliten gekoppelt (sensorisch wahrnehmbar sind Mercaptane und Schwefelwasser-

stoff), was vitalitätshemmend wirkt.

Die Vollkorn Blau-Variante (VKB) steht im Kontrast zur Mulchvariante, da VKB die Oxidation im Boden forciert. Als Steuerungsmechanismus wird die Nitratreduktion zu Nitrit resp. molekularem Stickstoff angenommen. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass die durch Vollkorn Blau initiierte Oxidation an Orten gehemmter Durchlüftung, in den Unterböden und in verpressten Bodenpartien, dominiert. Die Verpressung der Fahrspur und die Anreicherung durch gequetschtes pflanzliches Plasma bewirken, dass der Fahrspur-Oberboden unabhängig von der größeren Nähe zur Atmosphäre am stärksten von der nitratinduzierten Oxidation erfasst wird. Durch den gesteigerten Elektronenstress wird der Vitalitätszustand bei der VKB-Variante deutlich vermindert. Hinzu treten als ertragsmindernder Faktor die bekannten Stickstoffverluste in gasförmiger Form.

Die Werte der Biosol-Varianten liegen zwischen den Kontroll- und den Mulch-Varianten. Das bedeutet die Minderung der Oxidation gegenüber der Kontroll-Variante ohne die Entwicklung toxischer Metaboliten wie bei der Mulch-Variante. Dieser Generalbefund ist nach Ober- und Unterboden zu differenzieren. Tatsächlich wird der Mittelwert durch die stark positiven Unterboden-Potenziale bestimmt. Im Oberboden aber übertrifft das Oxidationsmaß die Kontrolle und in den Fahrgassen sogar die VKB-Varianten. Dieser Befund bedeutet, unter Beachtung der organischen Natur des Biosol, dass der ablaufende Prozess biogen und das

Produkt von Biosol-Umsetzung und angeregter Bodenatmung ist. Die Oxidation bedeutet hier nicht Abbau bodeneigener organischer Substanz. Die Biosol-Applikation bringt ein Minimum an Wurzelstress. Die descendenten Tiefgänger geraten an Orte positiverer Potenziale, und die oberflächennahen Wurzeletagen decken ihren Sauerstoffbedarf durch die Ausbildung ascendenter Luftwurzeln. Negative Nebeneffekte, wie toxische Metaboliten und Stickstoffverluste, treten nicht auf.

Tages- und Tiefenfunktion des Redoxpotenzials und die Modifikationen durch Düngung und Mikrostandort

Die Ober- und Unterböden bauen ihr Oxidationspotential zeitversetzt auf. Die Oberböden bauen ihr Oxi-

dationspotential jeden Morgen von neuem auf und fallen gegen Abend in ihren positiveren Potenzialgrundzustand wieder zurück; darin spiegelt sich ganz offenkundig der biogene Tagesgang. Die Unterböden hingegen beginnen den Morgen auf ihrem negativeren Grundzustand, sodass die morgendliche Oxidationsintensität in den Unterböden größer ist als in den Oberböden. Solcherart baut sich das Oxidationspotential im Boden täglich von neuem von unten nach oben auf. Dabei bildet die initiale Stauzone (Arig P) jenen Angelpunkt, um den die Oberböden aus ihrem Grundzustand in den Oxidationszustand und wieder zurück kippen. Aus dieser Form des Potenzialtagesganges resultieren Redox-Tiefenfunktionen, die je nach Art von Düngung und Mikrostandort steter oder unsteter sind (Tab. 2). Die verschiedenen Bodenhorizonte sind von unterschiedlicher Oxidationsintensität. Besonders oxidati-

Tabelle 2:

Boden-Redoxpotenziale in mV (Werte positiv) Tiefenfunktionen eines frühherbstlichen Schönwetter-Tagesganges im Jahr 1995 (Wiedergabe der negativsten und der positivsten Potenziale)

	Tiefe	Vollkorn Blau	Kontrolle	Biosol	Mulch
Baumreihe:	10 cm	384 - 436	428 - 431	403 - 458	424 - 462
	20 cm	360 - 441	431 - 435	408 - 453	431 - 455
	30 cm	343 - 429	421 - 432	413 - 450	427 - 455
	40 cm	349 - 434	402 - 442	432 - 448	437 - 453
	50 cm	354 - 434	427 - 449	430 - 454	427 - 437
	60 cm	339 - 418	430 - 443	429 - 448	431 - 447
	70 cm	357 - 403	428 - 451	422 - 455	439 - 448
Fahrgasse:	10 cm	434 - 442	435 - 453	424 - 449	427 - 459
	20 cm	415 - 449	417 - 435	423 - 441	439 - 460
	30 cm	404 - 444	414 - 440	421 - 441	438 - 438
	40 cm	405 - 427	412 - 421	419 - 446	418 - 436
	50 cm	418 - 423	421 - 439	428 - 440	438 - 445
	60 cm	427 - 436	441 - 451	434 - 455	433 - 446
	70 cm	381 - 421	423 - 435	435 - 451	434 - 445
Fahrspur:	10 cm	434 - 441	450 - 457	423 - 438	438 - 447
	20 cm	335 - 436	421 - 443	420 - 441	438 - 448
	30 cm	359 - 418	427 - 440	428 - 440	437 - 449
	40 cm	333 - 416	421 - 432	431 - 442	411 - 441
	50 cm	434 - 444	420 - 434	430 - 450	417 - 432
	60 cm	434 - 449	421 - 442	425 - 451	420 - 438
	70 cm	385 - 434	422 - 428	427 - 463	428 - 434

onsintensiv sind der Bereich der initialen Stauzone und der Übergang vom rigolten in den unrigolten Boden. Stete Tiefenfunktionen stellen sich bei jener Düngung und auf jenen Mikrostandorten ein, wo es durch Aufbau hoher Oxidationspotenziale im Oberboden zum Eindringen (Positivieren) des Oxidationspotenzials im $A_{rig}P$ und am Übergang AB_{rig}/B_v kommt. Die Stetigkeit der Potenzialtiefenfunktionen ist in den Baumreihen immer höher als in den Fahrgassen und Fahrspuren.

Die Kontrollvariante weist eine unstete Potenzialtiefenfunktion auf, die im $A_{rig}P$ (Baumreihe) und am Übergang AB_{rig}/B_v (Fahrgassen, Fahrspuren) lokalisiert ist. Die beiden Horizonte sind Orte starker Oxidation. Das morgendliche Oxidationshoch der Krümen ist allerdings höher, wodurch die Potentialtiefenfunktion insgesamt steter wird.

Die Mulchvariante ist ebenso wie die Kontrollvariante unstet, besitzt aber keine deutlich ausgeprägten Angelunkte, um die das Potenzial der Oberböden aus dem Grundzustand in den Oxidationszustand und wieder zurück schwingt. Vielmehr wird die Tiefenfunktion des Grundzustandes mit all ihren Unstetigkeiten einfach parallel in den stärker oxidierenden Bereich verschoben. Dieser Tagesgang ist in den Fahrgassen am deutlichsten ausgeprägt und bedeutet, dass die höhere Oxidationsintensität des Tages zwar das gesamte Bodenprofil erfasst, die Eigenheiten der einzelnen Bodenhorizonte aber nicht zu verändern vermag.

Die VKB-Variante oxidiert das Gesamtprofil des Bodens so auf, dass selbst die extremen Maxima der Oberbodenoxidation das Maß der Unterbodenoxidation nicht überschreiten. Bei extremer Oberbodenoxidation (Fahrspur) ist die Oxidation in der initialen Stauzone immer noch größer als in den Krümen. Daraus resultieren die schon erwähnten Unstetigkeiten der Potenzialtiefenfunktion. Bei oxidativer Verschiebung des Grundzustandes in den negativeren Mittagszustand bleiben die Unstetigkeiten des Grundzustandes erhalten. In gleicher Weise erfolgen auch Parallelverschie-

bungen der Tiefenfunktion (Baumreihe), wobei alle Unstetigkeiten wie bei der Mulchvariante erhalten bleiben.

Die Tiefenfunktion der Biosolvarianten ist der der Kontrollvarianten ähnlich, mit der einen Ausnahme, dass die Tagesmaxima der Oberbodenoxidation deutlich stärker sind als die Oxidationsmaxima der Unstetigkeitspunkte in der initialen Stauzone. Zusätzlich werden diese im Tagesverlauf stark eingedrückt und positiviert. Das Charakteristikum der Biosolvarianten ist demnach, dass die applikationsbedingte Beeinflussung der Potenzialentwicklung stärker ist als die bodenbürtige Steuerung. Der Bonus des Biosol liegt hier darin, dass es die negativen pedogenen und anthropogenen Grenzflächeneffekte im Bodenprofil zu unterdrücken vermag, vor allem auch die negativen Impulse, die aus Stauzonen und Wechselfeuchte resultieren. Damit wird vor allem die Tiefenentwicklung des Wurzelsystems verbessert.

Literatur

- BORMANN, M. 1998: Standorte und Böden steirischer Apfelanbaugebiete. - Diplomarb. Univ. Bodenkultur Wien, 1998
- KEPPEL, H., PIEBER, K. und SOLAR, F. 1997: Untersuchungen zum Redoxpotenzial am Standort und zur Potenzialdifferenz Boden/Pflanze als allgemeines Vitalitätsmaß. 1. Mitt.: Zusammenhänge zwischen Potenzialdifferenz und Vitalität von Obstbäumen am gleichen Standort. Mitt. Klosterneuburg 47(6): 205-210
- LINDSAY, W.L. 1979: Chemical equilibria in soils. - New York: Wiley, 1979
- MARTELL, A.E. and SILLEN, L.G. 1964: Stability constants of metal-Ion complexes. - London: The Chemical Society. Burlington House. Special Publication No 17
- KEPPEL, H., PIEBER, K. und SOLAR, F. 2000: Untersuchungen zum Redoxpotenzial am Standort und zur Potenzialdifferenz Boden/Pflanze als allgemeines Vitalitätsmaß. 2.: Die Potenzialdifferenz von Obstbäumen in der Winterphase. Mitt. Klosterneuburg 50(6): 213-216
- STUMM, W. and MORGAN, J.J. 1981: Aquatic chemistry. 2nd Ed. - New York: Wiley, 1981

Manuskript eingelangt am 30. August 1998