

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Management der Bodenacidität durch Kalkung – eine unterschätzte Herausforderung | 1 |
| Eckart Kramer, Robin Gebbers, Jörg Rühlmann, Eric Bönecke und Ingmar Schröter | |
| 1.1 Die Begriffe „Kalkung“ und „Management der Bodenacidität“ | 1 |
| 1.2 Die Kalkung als Grundlage nachhaltiger Bodenbewirtschaftung | 3 |
| 1.3 Suboptimale Boden-pH-Werte in Deutschland – ein verbreitetes Problem | 5 |
| 1.4 Die teilflächenspezifische Kalkung als vernetztes System | 8 |
| 1.5 Motivation und Aufbau des Buches – Der Workflow für eine präzise Kalkung | 13 |
| 1.6 Exkurs: Naturräumliche Gegebenheiten der untersuchten Betriebe | 16 |
| Literatur | 17 |
| 2 Die sensorgestützte Kartierung von Bodenparametern | 23 |
| Robin Gebbers und Eckart Kramer | |
| 2.1 Einführung zu den vorgestellten Messmethoden | 23 |
| 2.2 Merkmale von Boden-Sensorsystemen: Ein Exkurs | 26 |
| 2.2.1 Bezug zum Zielparameter | 26 |
| 2.2.2 Geometrie der erfassten Probe (Stützung) und Probenkonditionierung | 28 |
| 2.2.3 Lokalisation der Sensoren | 29 |
| 2.2.4 Zeitliches Antwortverhalten | 30 |
| 2.2.5 Anerkennung und Zertifizierung von neuen, sensorbasierten Messverfahren | 30 |
| Literatur | 31 |
| 3 Die Kartierung von Parametern zur Bestimmung der Bodentextur | 33 |
| Jörg Rühlmann, Eric Bönecke und Swen Meyer | |
| 3.1 Definition der Bodentextur | 33 |
| 3.2 Bedeutung der Bodentextur | 35 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3 | Methoden für die Bestimmung der Bodentextur | 36 |
| 3.4 | Stand der betrieblichen Erfassung der Bodentextur | 37 |
| 3.5 | Vor-Ort-Messung | 40 |
| 3.5.1 | Goelektrik | 40 |
| 3.5.2 | Gamma-Radiometrie. | 44 |
| 3.5.3 | Kombination von Goelektrik und Gamma-Radiometrie. | 46 |
| 3.6 | Ausblick: Alternative Ansätze aus der Forschung | 49 |
| 3.7 | Fazit | 51 |
| | Literatur | 51 |
| 4 | Die Kartierung von Parametern zur Bestimmung des Boden-pH-Wertes | 59 |
| | Robin Gebbers, Sebastian Vogel und Eckart Kramer | |
| 4.1 | Definition des Boden-pH-Wertes | 59 |
| 4.2 | Bedeutung des pH-Wertes | 61 |
| 4.3 | Methoden zur Bestimmung pH-Wertes | 62 |
| 4.3.1 | Bestimmungsmethoden des pH-Wertes im Labor | 62 |
| 4.3.1.1 | Probleme bei der Verwendung von Glas-pH-Elektroden | 65 |
| 4.3.1.2 | Probleme bei der Messung im Labor | 66 |
| 4.4 | Stand der betrieblichen Boden-pH-Erfassung in Deutschland | 66 |
| 4.5 | In-situ-Messung | 67 |
| 4.5.1 | Stationäre und absatzige Messung des pH-Wertes in situ ... | 68 |
| 4.5.1.1 | Kolorimetrische pH-Indikatoren | 68 |
| 4.5.1.2 | Antimon-pH-Elektroden | 68 |
| 4.5.1.3 | Robuste pH-Glaselektroden | 69 |
| 4.5.2 | Die Messung des pH-Wertes in Bewegung | 69 |
| 4.5.2.1 | Die Veris Multisensorplattform MSP3 | 70 |
| 4.5.2.2 | Kalibrierung | 72 |
| 4.5.2.3 | Messunsicherheit | 72 |
| 4.5.2.4 | Hinweise zur Nutzung der Veris MSP | 74 |
| 4.6 | Ausblick: Alternative Ansätze aus der Forschung | 75 |
| 4.6.1 | Ionen-sensitive Feldeffekttransistoren (ISFET) | 76 |
| 4.6.2 | Optische pH-Sensoren (pH-Optoden) | 76 |
| 4.6.3 | Schätzung durch indirekte Methoden | 77 |
| 4.7 | Fazit | 78 |
| | Literatur | 78 |
| 5 | Die Kartierung von Parametern zur Bestimmung des Bodenumusgehaltes im Oberboden | 85 |
| | Ingmar Schröter und Sandra Post | |
| 5.1 | Bedeutung des Bodenumusgehalts | 85 |
| 5.2 | Labormethoden zur Bestimmung des Humusgehalts | 87 |
| 5.2.1 | Elementaranalyse | 87 |
| 5.2.2 | Glühverlust | 88 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Probenahme und Probenaufbereitung | 88 |
| 5.4 | Aktueller Stand der betrieblichen Bodenumuserfassung | 89 |
| 5.5 | Sensorgestützte Erfassung des Humusgehalts | 90 |
| 5.5.1 | Bodensensoren (Nahbereichssensoren) | 91 |
| 5.5.2 | Satellitendaten. | 94 |
| 5.5.2.1 | Einflüsse von Bodeneigenschaften auf das Reflexionsmuster | 96 |
| 5.5.2.2 | Humusmodellierung mit Sentinel-2 Daten. | 99 |
| 5.6 | Beispiele der sensorbasierten Humuskartenerstellung | 101 |
| 5.7 | Erwartete zukünftige Lösungen | 106 |
| 5.8 | Fazit | 107 |
| 5.9 | Exkurs: Fernerkundung | 109 |
| | Literatur. | 109 |
| 6 | Von Sensormessungen zu Bodeneigenschaftskarten | 115 |
| | Eric Bönecke, Ingmar Schröter, Sebastian Vogel, Robin Gebbers, Jörg Rühlmann und Swen Meyer | |
| 6.1 | Von Punktmessungen zu Sensorkarten | 116 |
| 6.2 | Genutzte Interpolationsverfahren | 119 |
| 6.2.1 | Inverse Distance Weighting (IDW). | 120 |
| 6.2.2 | Geostatistische Interpolation (Kriging) | 121 |
| 6.3 | Referenzbeprobung. | 125 |
| 6.4 | Laboranalysen. | 127 |
| 6.5 | Erstellung von Kalibriermodellen durch einfache und multiple Regression | 127 |
| | Literatur. | 132 |
| 7 | Von Bodeneigenschaftskarten zur Düngestreukarte | 137 |
| | Eric Bönecke, Charlotte Kling, Ingmar Schröter, Sebastian Vogel, Swen Meyer, Golo Philipp, Dirk Scheibe, Kathrin Lück, Robin Gebbers und Jörg Rühlmann | |
| 7.1 | Kalkbedarfsermittlung | 138 |
| 7.1.1 | Kalkbedarf nach dem VDLUFA-Algorithmus | 138 |
| 7.1.2 | Kontinuierliche Kalkbedarfsbestimmung | 141 |
| 7.2 | Bearbeitungsbreite und Fahrspurausrichtung | 144 |
| 7.3 | Düngerauswahl und Berücksichtigung des Neutralisationswertes. | 146 |
| 7.4 | Weitere Anpassungen an die auszubringende Streumenge. | 147 |
| 7.5 | Technik zur Düngerapplikation | 148 |
| | Literatur. | 150 |
| 8 | Die pH-BB Toolbox | 155 |
| | Ingmar Schröter, Jakob Walch und Karin Zieger | |
| 8.1 | Digitale Bodenkartenerstellung | 158 |
| 8.1.1 | Schritt 1: Dateninterpolation. | 158 |
| 8.1.2 | Schritt 2: Referenzprobenpunkte setzen | 159 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.1.3 | Schritt 3: Laborergebnisse importieren. | 160 |
| 8.1.4 | Schritt 4: Bodenkarten erstellen (Modellkalibrierung). | 161 |
| 8.2 | Applikationskartenerstellung. | 161 |
| 8.2.1 | CaO-Bedarfskarte berechnen. | 162 |
| 8.2.2 | CaO-Streukarte berechnen. | 163 |
| 8.2.3 | Kalkapplikationskarte berechnen. | 164 |
| 8.3 | Fazit. | 165 |
| | Literatur. | 165 |
| 9 | Nutzung sensorbasierter Texturkarten für das Management der Bodenacidität – Effekte auf Kalkbedarf, Ertrag und ökonomische Kennwerte. | 167 |
| | Jörg Rühlmann, Eric Bönecke und Golo Philipp | |
| 9.1 | Vergleich von betrieblichen und sensorbasierten Bodentexturkarten. | 168 |
| 9.2 | Aufstellung von Szenarien zu Berechnung der Effekte der Nutzung sensorbasierter Bodenkarten. | 170 |
| 9.2.1 | Berechnung der pH-Werte für die einzelnen Jahre einer Fruchtfolgerotation. | 171 |
| 9.2.2 | Berechnung der Ertragseinbußen bei suboptimalen pH-Werten. | 172 |
| 9.2.3 | Berechnung des Textureinflusses auf den Ertrag. | 173 |
| 9.3 | Effekte auf ökonomische Kennwerte. | 174 |
| 9.4 | Fazit. | 175 |
| | Literatur. | 176 |
| 10 | Andere Methoden der Basenbedarfsermittlung. | 179 |
| | Sebastian Vogel und Robin Gebbers | |
| 10.1 | Klassische Labormethoden als Alternativen zur VDLUFA-Kalkbedarfsbestimmung. | 180 |
| 10.1.1 | Boden-Kalk-Inkubationen. | 180 |
| 10.1.2 | Boden-Base-Titrationen. | 180 |
| 10.1.3 | Boden-Puffer-Gleichgewicht. | 181 |
| 10.2 | Neue Alternativen durch In-situ-Sensoren. | 181 |
| | Literatur. | 183 |