

mendem Tongehalt des Bodens ein höherer Humusgehalt anzustreben. Der Humusgehalt des Bodens verändert sich bei gleichbleibender Bewirtschaftung längerfristig auch bei relativ hoher Zufuhr von organischem Material nur sehr langsam.

### 2.3 pH-Wert (Bodenreaktion)

Die Bodenreaktion charakterisiert die Böden nach ihrer Azidität und Alkalinität, ausgedrückt als pH-Wert. Er wird in wässriger Suspension als Gehalt an Wasserstoffionen gemessen und zur Beurteilung in 6 Klassen eingeteilt (Tabelle 4). Der pH-Wert variiert kurzfristig nur wenig; seine Messung wird in regelmässigen Abständen empfohlen, vor allem für saure und neutrale Böden.

Die Bodenreaktion beeinflusst einerseits die biologische Aktivität und andererseits die Pflanzenverfügbarkeit von einzelnen Nährstoffen, insbesondere von P und Mg sowie den meisten Spurenelementen (Abbildung 2). So ist P bei pH-Werten im schwach sauren bis neutralen Bereich am besten pflanzenverfügbar. In alkalischen Böden liegt ein erhöhter Anteil von P in Form von schwer löslichen Calciumphosphaten vor. Mit steigenden pH-Werten sinkt auch die Verfügbarkeit von Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn) und Bor (B), diejenige von Molybdän (Mo) hingegen steigt. Auf der anderen Seite ist eine Bodenversauerung mit einem deutlichen Anstieg der Löslichkeit von Mn und Aluminium (Al) verbunden. Zu hohe bzw. zu tiefe pH-Werte können folglich bei empfindlichen Kulturen zu Nährstoffmangel oder – vor allem bei einigen Gemüsearten – zu Phytotoxizität führen.

Der pH-Wert kann zur groben Beurteilung des Kalkzustandes und zur Wahl geeigneter Dünger (insbesondere P-Dünger) und Bodenverbesserungsmittel herangezogen werden. Angaben zur Beurteilung des Kalkzustandes des Bodens im Hinblick auf eine Kalkung sind in Kapitel 5 enthalten.

### 2.4 Kalkgehalt

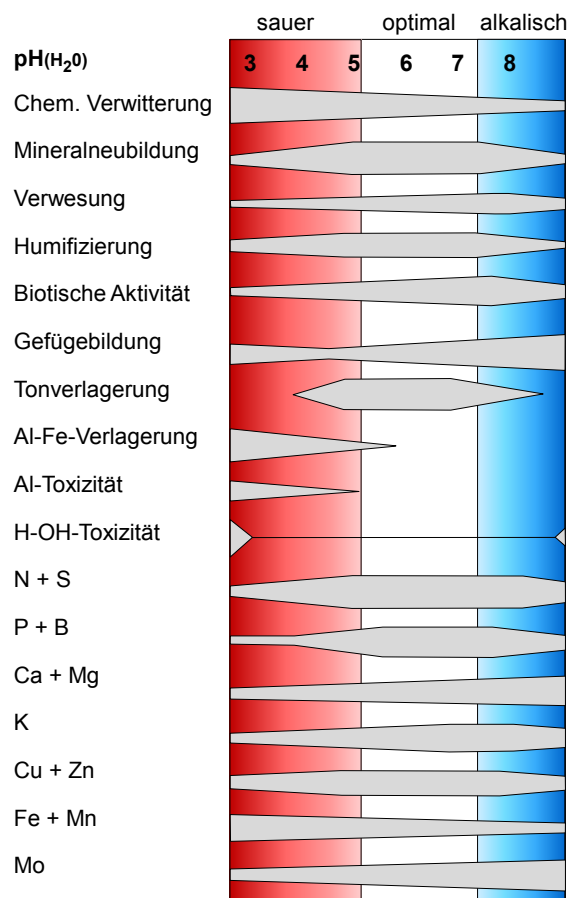
Der Kalkzustand des Bodens ist ein wichtiger Faktor für die nachhaltige landwirtschaftliche Landnutzung. Er

**Tabelle 4 | Beurteilung des pH-Wertes (Reaktion) und der Kalkbedürftigkeit des Bodens.**

pH(H <sub>2</sub> O)	Bezeichnung	Salzsäureprobe	Beurteilung	Kalkbedürftigkeit <sup>1</sup>
< 5,3	stark sauer	–	kalkfrei	Aufkalkung erforderlich
5,3–5,8	sauer	–	kalkfrei	Aufkalkung erforderlich
5,9–6,7	schwach sauer	–	kalkfrei	Erhaltungskalkung
6,8–7,2	neutral	–	kalkfrei	Erhaltungskalkung
		+	kalkhaltig	Erhaltungskalkung <sup>2</sup>
7,3–7,6	schwach alkalisch	+	kalkhaltig	keine Kalkung
> 7,6	alkalisch	++	stark kalkhaltig	keine Kalkung

<sup>1</sup> Spezielle Anforderungen der Kulturen sind zu berücksichtigen. Im Futterbau sind Pflanzenbestand und an saure Standorte angepasste Pflanzenarten zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.3.2).

<sup>2</sup> Nur wenn eine Abnahme des pH-Wertes beobachtet wird.



*Abbildung 2 | Schema der Beziehung zwischen pH-Wert und pedogenetischen (bodenbürtigen) und ökologischen Faktoren (die Breite der Bänder gibt die Intensität der Vorgänge bzw. die Verfügbarkeit der Nährstoffe an; verändert nach Schroeder 1984).*

wird entscheidend durch das Muttergestein, aus dem der Boden entstanden ist, durch die Niederschlagsverhältnisse sowie durch die Bewirtschaftungsweise beeinflusst.

Der Kalkgehalt (CaCO<sub>3</sub>) im Boden spielt bei chemischen, physikalischen und biologischen Bodenprozessen eine wichtige Rolle. Die folgenden Prozesse werden durch den Abbau von Kalk in besonderem Masse beeinflusst:

- **Chemische Kalkwirkung:** Der Kalkgehalt beeinflusst den pH-Wert und damit direkt die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Boden.
- **Physikalische Kalkwirkung:** Das bei der Zersetzung des Kalkes frei werdende Calcium (Ca<sup>2+</sup>) beeinflusst die Krümelbildung positiv (Brückenbildung zwischen Ton- und Humusteilchen) und trägt damit zur Erhaltung der Bodenstruktur bei. Auf schweren sowie verschlammungsgefährdeten Böden erfolgt die Kalkung vorwiegend im Hinblick auf die Verbesserung des Boden-

gefüges und begünstigt damit den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und indirekt das Wurzelwachstum der Pflanzen.

- Die **bodenbiologische Kalkwirkung** ist eine indirekte Wirkung: Ein optimaler pH-Wert sowie ausgeglichene Luft- und Wasserverhältnisse begünstigen die Bodenlebewesen. Dadurch werden Abbau- und Umbauprozesse wie die Zersetzung von Ernteresten, der Aufbau stabiler Humusformen oder die Mineralisation von Nährstoffen gefördert.

Die Versorgung der Pflanzen mit Ca als essenziellem Nährstoff, der durch die Zersetzung des Kalks frei wird, ist von untergeordneter Bedeutung. Auch in sauren Böden ist für die meisten Pflanzen ausreichend Ca in gelöster oder austauschbarer Form vorhanden. Erst bei sehr calciumarmen Böden kann sich im Hinblick auf die Sicherstellung einer ausreichenden Ca-Versorgung der Kulturen eine Aufkalkung oder die Verwendung von kalkhaltigen Düngern als notwendig erweisen.

Kalkverluste treten vor allem durch Auswaschung, den Neutralisationsbedarf im Boden sowie den Entzug von Ca durch die Kulturen auf. Die jährlichen Kalkverluste können einige bis mehrere Hundert Kilogramm  $\text{CaCO}_3$  pro Hektare betragen. Die Bestimmung des Gesamtkalkgehaltes genügt oft nicht zur Bemessung der Aufkalkung. In diesem Falle wird die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung empfohlen (siehe Kapitel 5).



Abbildung 3 | Vorbereitung der Bodenproben für die Laboranalysen: Sieb mit 2 mm Maschenweite zur Trennung von Skelett und Feinerde (Foto: René Flisch, Agroscope).

### 3. Bodenanalysen und Interpretation der Resultate

Eine Bodenuntersuchung ist Voraussetzung für die Erstellung eines Düngungsplanes zur bedarfsgerechten Düngung und die Schonung der Umwelt. Zu diesem Zwecke werden die Nährstoffgehalte im Boden in regelmässigen Zeitabständen (siehe Tabelle 5) bestimmt.

#### 3.1 Empfehlungen für die Bodenuntersuchung

Für eine gezielte Düngung sind neben den Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen auch verschiedene Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Standorteigenschaften wie die Körnung müssen auf einer Parzelle in der Regel nur einmal bestimmt werden, falls keine bodenverbessernden Massnahmen durchgeführt wurden. Im Falle von langjährigen Kulturen wird eine solche Untersuchung vor der Neuanlage empfohlen.

Insbesondere bei ausdauernden Kulturen ist es wichtig, das durchwurzelte Bodenvolumen zu kennen; die Bodenuntersuchung wird daher bei Obst- und Rebkulturen vor der Erstellung der Anlage sowohl im Oberboden wie auch im Unterboden durchgeführt. Im weiteren Kulturverlauf werden nur noch Bodenproben aus dem Oberboden untersucht, ausser wenn Wachstums- oder Qualitätsschwierigkeiten festgestellt werden. Die bei den verschiedenen Kulturgruppen empfohlenen Probenahmetiefen sind in Tabelle 5 enthalten.

Die Untersuchung von Standorteigenschaften und Nährstoffgehalten in Bodenproben, wie sie für die Düngeberatung verwendet werden, basieren auf Mischproben einer repräsentativen Fläche. Die Güte der Untersuchungsergebnisse hängt wesentlich von der Probenahme ab, da Probenahmefehler die Summe aller Laborfehler um ein Mehrfaches übertreffen können. Um eine gute Mischprobe zu erhalten, kommt der Auswahl einer repräsentativen Fläche, dem Vorgehen bei der Beprobung (Einzeleinsteiche) sowie dem Beprobungszeitpunkt eine besondere Bedeutung zu.

##### 3.1.1 Auswahl einer repräsentativen Fläche

Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass die Proben in einem Bereich der Parzelle gestochen werden, wo Bodeneigenschaften und Wachstum der Kulturen homogen sind. Ist die Parzelle von gleichmässiger Beschaffenheit, so genügt die Entnahme einer Mischprobe. Lässt die Bewirtschaftungsweise oder der Pflanzenbestand auf grössere Verschiedenheiten des Bodens schliessen, oder unterscheiden sich einzelne Probenaussteiche durch ihre Farbe oder andere Merkmale, so ist es notwendig, aus jeder in sich einheitlichen Teilfläche separate Mischproben zu entnehmen.

##### 3.1.2 Vorgehen bei der Beprobung der festgelegten Fläche

Für die Entnahme einer repräsentativen Bodenprobe sind 20–25 Einstiche nötig, die unabhängig von der Parzellengrösse gleichmässig auf die Parzelle verteilt werden müssen (siehe Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1, Agroscope 1996). Die so entnommene Probenmenge (ca. 1 kg) reicht für die vorschriftsgemässe Probenaufbereitung und Analyse im Labor aus (Abbildung 3). Es ist zu vermeiden, dass nur ein Teil der entnommenen Probe dem Labor zugestellt wird, da das Mischen und die Entnahme einer homogenen Teil-