



BERATUNGSLEITFADEN

*für einen gewässerschutzorientierten
Weinbau in Hessen*



IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Regierungspräsidium Darmstadt
Im Auftrag des
Hessischen Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt,
Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat

DRUCK

Regierungspräsidium Darmstadt
Luisenplatz 2
64283 Darmstadt
Telefon: 06151 12 0

V.i.S.d.P: Matthias Schaider
Stand: März 2024
3. Auflage
Bildmaterial: © Regierungspräsidium Darmstadt, Pixabay, iStock

AUTOR / AUTORIN

Jan Schäfer
Telefon: 06123 9058 28 | Mail: jan.schaefer@rpda.hessen.de
Veronica Ullrich
Telefon: 06123 9058 26 | Mail: veronica.ullrich@rpda.hessen.de
Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat V 51.2 Weinbau

IN ZUSAMMENARBEIT MIT

Regierungspräsidium Kassel;
Hochschule Geisenheim University, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung;
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen;
Landesbetrieb Hessisches Landeslabor;
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	6
2.	Zusammensetzung, Aufbau und Funktion von Böden	7
2.1	Bodenfunktion für Rebe und Ökosystem	7
2.2	Beurteilung von Böden.....	8
2.3	Einflussfaktoren auf den Bodenwasserhaushalt.....	9
2.4	Charakterisierung Hessischer Weinbergsböden.....	9
3.	Humus.....	10
3.1	Nährhumus und Dauerhumus.....	10
3.2	Humusgehalt, C/N-Verhältnis und Mineralisation	11
4.	Rebenernährung.....	13
4.1	Hauptnährstoffe (Makronährstoffe)	13
4.2	Spurenelemente (Mikronährstoffe)	16
4.3	Wurzel und Unterlage.....	18
4.4	Entnahme und Behandlung von Bodenproben.....	22
5.	Wasserhaushalt der Reben.....	24
5.1	Nutzbare Feldkapazität:.....	26
5.2	Wasserpotential.....	26
6.	Bodenpflege	27
6.1	Begrünung	27
6.2	Begrünungsformen	29
6.3	Begrünungspflanzen und Gemenge.....	30
6.4	Begrünungsmanagement	38
6.5	Bodenbearbeitung.....	39
7.	Querterrassierung in Steillagen	43
8.	Düngegesetz und Düngeverordnung.....	44
8.1	Allgemeine gesetzliche Rahmenbedingungen zur Düngung in Hessen	45
8.2	Regelungen für unbelastete Gebiete.....	45
8.3	Regelungen für mit Nitrat belastete (rote) Gebiete.....	48
8.4	Regelungen für mit Phosphor belastete (gelbe) Gebiete.....	49
8.5	Allgemeine Anwendungsbeschränkungen und Sperrfristen	50
8.6	Befreiung von der Dokumentationspflicht und der Verpflichtung der Erstellung einer Düngebedarfsermittlung.....	51
8.7	Zusammenfassung DüV - Was müssen Weinbaubetriebe in Hessen beachten?.....	52
9.	Düngung im Weinbau.....	55
9.1	Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs	57
9.2	Ermittlung des Nährstoffdüngedarfs	57
9.3	Organische Düngung (Humusdüngung).....	58
9.4	Tresterverbringung	63
9.5	Mineralische Düngung	67
9.6	Düngung im ökologischen Weinbau	69
10.	Vegetationsbegleitende Messungen und Beratung zur angepassten Düngung	72

11. Erosionsschutz	72
11.1 Erosionsschutz in Junganlagen	73
11.2 Erosionsschutz in Steillagen	73
12. Tipps im Web - Weiterführende Information	75
13. Literaturverzeichnis	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematischer Aufbau und Darstellung der Bodenfunktionen in Ökosystemen (S. Marahrens, Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen , Stand: 01.03.2024).....	8
Abbildung 2 Schematischer Aufbau und Zusammensetzung eines Bodenkrümel (Paul & Clark, 1989 [5] verändert durch Beck, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/094487/index.php , Stand: 01.03.2024).....	11
Abbildung 3 Schematischer Aufbau der Rebe bestehend aus unterirdisch wurzelbildender Unterlage (links) und oberirdisch ertragsbildendem Edelreis (https://glossar.wein.plus/rebstock , Stand: 01.08.2023; K. Bauer, 2002 [21]).....	19
Abbildung 4 Schematische Darstellung einer ausgewählten Reaktion von Pflanzen auf Wassermangel im Boden (Philips-Universität, Marburg; LVWO Weinsberg, https://lvwo.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Fachinformationen/Reaktion+der+Rebe+auf+ein+differenziertes+Wasserangebot , Stand: 01.03.2024).....	26
Abbildung 5 Gewässerabstände in belasteten Gebieten nach § 13a Abs. 3 Nr. 4 DüV (Veronica Ullrich, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).....	50
Abbildung 6 Gesetzliche Regelungen zu Stickstoff-Düngemaßnahmen in mit Nitrat unbelasteten (grün) und belasteten (rot) Gebieten im hessischen Weinbau nach Vorgaben der Düng-VO (DüV) und Ausführungsverordnung zur Düng-VO (AVDüV) (Jan Schäfer, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).	53
Abbildung 7 Gesetzliche Regelungen zu Phosphor-Düngemaßnahmen in mit Phosphor unbelasteten (grün) und belasteten (rot) Gebieten im hessischen Weinbau nach Vorgaben der Düng-VO (DüV) und Ausführungsverordnung zur Düng-VO (AVDüV) (Jan Schäfer, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).....	54
Abbildung 8 RAL-Gütesiegel	61
Abbildung 9 Unsachgemäße Lagerung von Trester und kieselgurhaltiger Kellereiabfälle (links) und optimale Verteilung in der Fläche (rechts) (Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).....	66
Abbildung 10 Oberflächenabfluss in Abhängigkeit der Hangneigung und der Niederschlagsmenge auf offen-gehaltenen Böden im Vergleich zu begrüneten Rebassen (Hofmann, HLNUG, https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/wbsa/texte/4-3-tstress.pdf , Stand: 01.03.2024).	74

1. Einleitung

Das Bundesland Hessen beherbergt mit den Weinanbaugebieten „Rheingau“ und „Hessische Bergstraße“ gleich zwei der in Deutschland insgesamt 13 weinrechtlich geschützten Anbaugebiete. Mit einer Gesamtanzahl von 558 Weinbaubetrieben befinden sich im Rheingau derzeit anderthalbmal mehr Betriebe als an der Hessischen Bergstraße (356 Betriebe). Aktuell wird dabei eine bestockte Rebfläche von insgesamt 3669,1 Hektar (ha) bewirtschaftet (Rheingau: 3205,8 ha; Hessische Bergstraße: 463,3 ha). Nach Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern liegt Hessen somit bundesweit auf dem vierten Platz der weinproduzierenden Bundesländer. Im Rheingau dominieren die Rebsorten Riesling und Spätburgunder mit zusammen über 91 Prozent. An der Hessischen Bergstraße gehören zusätzlich Ruländer, Müller-Thurgau und Grüner Silvaner zu den Hauptrebsorten. (RP Darmstadt, Dezernat Weinbau; Stand: 31. Juli 2022) Der Weinbau in Hessen wird fast ausschließlich an Standorten betrieben, die weitestgehend durch keine andere landwirtschaftliche Kultur genutzt werden können. Teilweise prägen Hang-, Steil- und Terrassenlagen die Landschaft seit Jahrhunderten. Neben der wirtschaftlichen Existenzgrundlage für die zahlreichen hessischen Winzerinnen und Winzer trägt der Weinbau vor allem auch dadurch zur Förderung des Tourismus und dem Erhalt der Kulturlandschaft in Hessen bei.

Kehrseite der Medaille sind negative Folgen unsachgemäßer weinbaulicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Umwelt und angrenzende Ökosysteme. Hervorzuheben ist insbesondere die hohe Nitratbelastung (>50 mg/L) des Grundwassers, die durch den übermäßigen Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln sowie eine zu intensive Bodenbearbeitung verursacht wird. Als Folge der jahrzehntelangen intensiven Anwendung von phosphorhaltigen Düngemitteln sind zudem viele Weinbergsböden überversorgt, wodurch angrenzende Gewässer von Eutrophierung bedroht sind. 1996 trat die Düngeverordnung (DüV), die die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen regelt, bundesweit in Kraft. Die DüV dient zur Umsetzung der 1991 eingeführten EU-Nitratrichtlinie (Richtlinie 91/676/EWG), die eine Reduzierung von Nährstoffeinträgen aus landwirtschaftlichen Quellen in Gewässer verfolgt. Die Länder haben zudem zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat oder Phosphat durch Rechtsverordnung mit Nitrat belastete (rote) und aufgrund von Phosphor eutrophierte (gelbe) Gebiete auszuweisen. In Hessen ist die aktuelle Gebietsausweisung seit Dezember 2022 in der hessischen Ausführungsverordnung (AVDüV) festgelegt. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV GeA, veröffentlicht am 10.11.2020 zuletzt geändert am 10.08.2022) dient hierfür als methodische Grundlage.

Mit der Einführung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 (WRRL) wurden Ziele für das Erreichen bzw. den Erhalt des guten Zustandes des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer bis Ende 2027 formuliert. Als Rechtsgrundlage zur Umsetzung dieser Ziele dienen in Deutschland u.a. das Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2020), die Oberflächengewässerverordnung (OGewV, 2016) und die Grundwasserverordnung (GrwV, 2017). Anlässlich des Grundwasserschutzes sind zahlreiche Wasserschutzgebiete in Hessen ausgewiesen. In den Festsetzungsverordnungen der einzelnen Wasserschutzgebiete sind gesonderte Auflagen und Verbote zum Schutz der Gewässer aufgeführt. (HLNUG.de, Stand: 16.02.2023)

Da ein Großteil der hessischen Weinbergsflächen in mit Nitrat belasteten Gebieten, an der Hessischen Bergstraße teilweise auch in eutrophierten Gebieten sowie in Wasserschutzgebieten liegen und sich die Grundwasserkörper in einem schlechten Zustand befinden, verfolgt die Hessische Landesregierung die Umsetzung einer ökologisch nachhaltigen Bewirtschaftung der Weinbergsflächen. Hierfür sind insbesondere beim Einsatz von organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln die gesetzlichen Bestimmungen des Düngegesetz (DüngG), der Düngeverordnung (DüV), der Düngemittelverordnung (DüMV), und letztendlich die Hessische Ausführungsverordnung zur Düngeverordnung (AVDüV) einzuhalten.

Die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen von Wetterereignissen, wie beispielsweise zunehmende Dürreperioden oder Starkregenereignisse, stellen den zukünftigen Weinbau zusätzlich vor große Herausforderungen, stellen eine zusätzliche Bedrohung für unsere Grundwasserkörper dar und bedürfen angepasster Bewirtschaftungsstrategien. Neben der Begrenzung des Einsatzes von Düngemitteln sind daher ebenfalls ergänzende kulturtechnische Maßnahmen, wie beispielsweise der gezielte Einsatz von Begrünungen und eine standortangepasste Bodenbearbeitung, erforderlich. Mit dem vorliegenden Leitfaden werden die vielfältigen Aspekte eines gewässerschutzorientierten Weinbaues beleuchtet und Maßnahmen für dessen Umsetzung aufgezeigt. Zudem werden die gesetzlichen Grundlagen der aktuellen Düngeverordnung vermittelt und gleichzeitig die Zusammenhänge zwischen Begrünungsmanagement, Bodenbearbeitung sowie Düngemaßnahmen im Kontext der Rebenernährung beschrieben.

2. Zusammensetzung, Aufbau und Funktion von Böden

Ein idealer Boden besteht zu ca. 50 % aus organischer und anorganischer Festschubstanz, 25 % Wasser und 25 % Luft. Im Oberboden befindet sich eine nährstoffreiche Auflage organischer Masse (Humusschicht), die je nach Standort, landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und mikrobiologischer Aktivität unterschiedlich intensiv ausgeprägt ist. Mineralische Partikel unterschiedlicher Art und Größe bilden zusammen mit der organischen Masse das sogenannte Bodengefüge. Dabei entsteht ein charakteristisches Hohlraumssystem, das mit Wasser und Luft befüllt ist und Lebensraum für bis zu 10 Millionen Mikroorganismen pro Gramm Boden bietet. Je nach Gründigkeit (Tiefe des durchwurzelbaren Bodenraumes) trifft man in den unteren Bodenschichten auf das Festgestein, aus dessen Verwitterung Bruchstücke (Steine, Grus) und seine Minerale (Quarz, Feldspäte, Glimmer) hervorgehen. Gemeinsam mit neugebildeten Mineralen (Tonminerale, Oxide) entsteht die anorganische Festschubstanz, die in Abhängigkeit der Partikelgröße in abnehmender Reihenfolge in die Fraktionen Grobboden, Sand, Schluff und Ton untergliedert wird. [1]

2.1 Bodenfunktion für Rebe und Ökosystem

Böden liefern als Nährstoff- und Wasserspeicher die Grundlage für wichtige pflanzenphysiologische Prozesse (z.B. Photosynthese, Proteinbiosynthese). Über das Wurzelsystem ist die Rebe im Boden stabil verankert und kann mit lebenswichtigen Mikro- bzw. Makronährstoffen (siehe Kapitel 4) sowie Wasser und Sauerstoff versorgt werden. Für eine gute Versorgung mit diesen Elementen und in der Folge eine gesunde Rebenentwicklung, ist daher eine gute Durchwurzelbarkeit des Bodens sowie die

Ausbildung einer gut ausgeprägten Wurzelmasse entscheidend. Böden sind zudem unterirdische Habitate für Bodentiere und Mikroorganismen, zu deren Nahrungsquelle u.a. abgestorbene Wurzeln und weitere organische Materialien (Blätter, Triebe, Schnittholz etc.) zählen. In einem komplexen Zusammenspiel aller Bodenorganismen wird durch Abbau- und Umwandlungsprozesse (Humifizierung) dieser organischen Materialien Humus gebildet, der eine zentrale Bedeutung für den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens hat (siehe Kapitel 3). Zudem werden in den verschiedenen Bodenschichten Schadstoffe gefiltert sowie festgelegt und ggf. umgewandelt, wodurch deren Eindringen in tiefere Bodenschichten verhindert wird (Abbildung 1). Bei der Neutralisation von Säureeinträgen übernimmt der Boden zusätzlich eine Pufferfunktion und kann dadurch das Absinken des pH-Wertes regulieren. Auf diese Weise trägt der Boden aktiv zum Grundwasserschutz bei.

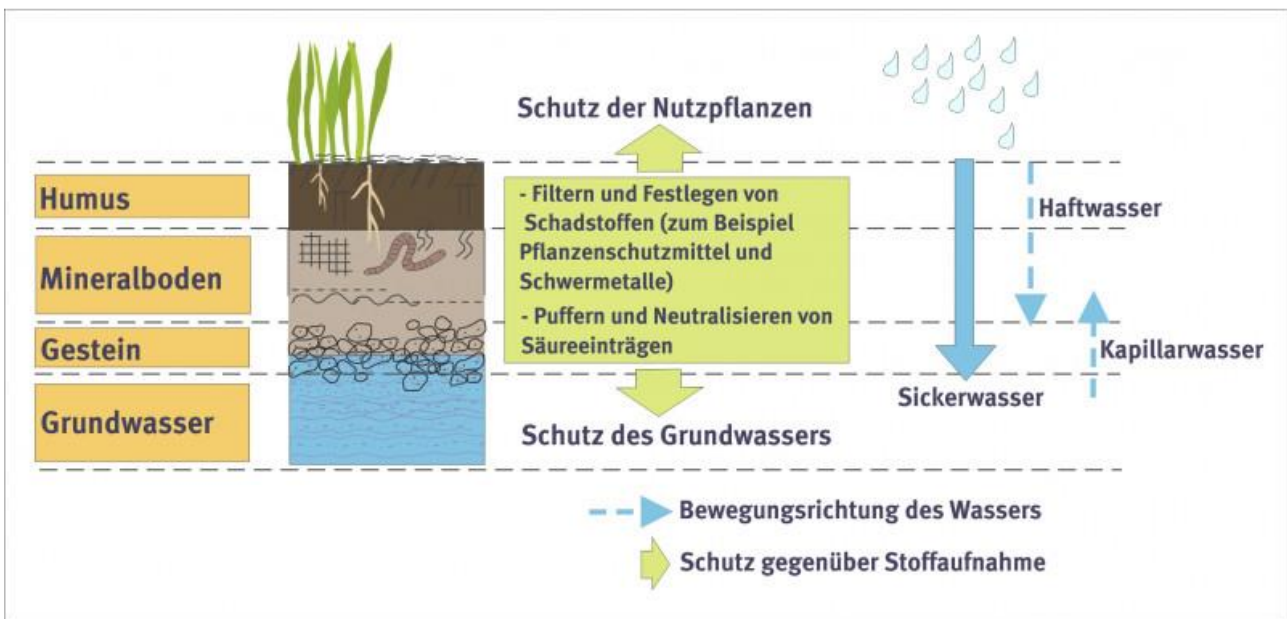


Abbildung 1 Schematischer Aufbau und Darstellung der Bodenfunktionen in Ökosystemen (Quelle: S. Marahrens, Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen>, Stand: 01.03.2024)

2.2 Beurteilung von Böden

Zur Beurteilung von Böden werden physikalische, chemische und biologische Merkmale berücksichtigt (Tabelle 1). Für die Rebe physiologisch bedeutende Bodenparameter sind beispielsweise die Mineralzusammensetzung, der Kalk- sowie Säuregehalt und die durch die Bodenart bestimmte Feinerde- und Grobbodenanteile. In Abhängigkeit von der Korngrößenzusammensetzung werden leichte, mittelschwere und schwere Böden unterschieden. Die Bodenart bestimmt somit auch die Verfügbarkeit und Speicherfähigkeit von Nährstoffen sowie Wasser. Im Kontext des „Terroir“-Gedankens beeinflussen die Standortfaktoren und somit auch bestimmte Bodeneigenschaften, die Traubenqualität und die spätere sensorische Wahrnehmung des Weines. [1,2]

Tabelle 1 Physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften mit Auswirkungen auf pflanzenphysiologisch relevante Prozesse (nach Böhm & Sabel 2022 [2])

Bodeneigenschaften	Parameter	Einflussbereich
Physikalische	Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte, Humusgehalt	Wasser- und Lufthaushalt: Versorgung mit pflanzenverfügbarem Wasser, Staunässe, Bodenerwärmung, Neigung zur Erodierbarkeit, Gründigkeit (Bemessung des Wurzelraumes)
Chemische	Kalkgehalt, Basensättigung, Bodenreaktion (pH-Wert)	Nährstoffhaushalt, biologische Aktivität
Biologische	Bodentiere, Mikroorganismen	Nährstofffixierung (Humifizierung), Nährstofffreisetzung (Mineralisierung), Bodenstruktur

2.3 Einflussfaktoren auf den Bodenwasserhaushalt

Voraussetzung für einen ausgeglichenen Wasserhaushalt des Bodens ist zunächst eine gute Infiltration von Regenwasser. Dadurch werden übermäßiges oberflächliches Abfließen oder Staunässe verhindert und eine gleichmäßig Verteilung des Wassers im Boden sowie das Eindringen in tiefere Bodenschichten ermöglicht. Eine gute Infiltration des Bodens kann auf diese Weise Bodenerosion in Folge von Starkregenereignissen vermindern oder sogar verhindern (siehe Kapitel 11). Neben der Wasserinfiltration charakterisiert zudem die Wasserhaltefähigkeit den Wasserhaushalt eines Bodens. Letztere hängt primär vom Humusgehalt und der Korngrößenzusammensetzung sowie der Struktur des Bodengefüges ab. Auf leichten, sandigen Böden wird einerseits die Infiltration begünstigt, andererseits versickert das Wasser schnell. Auf schweren, lehmig-tonigen Böden besteht dagegen in der Regel eine bessere Wasserhaltefähigkeit. Auf verdichteten Böden dringt das Wasser allerdings weniger leicht in die Bodenschichten ein. Zudem ist das Porenvolumen aufgrund der Bodenverdichtung vermindert und in der Folge die Speicherfähigkeit des Bodens reduziert. Zur Verbesserung des Wasserhaushaltes und Steigerung der Wasserverfügbarkeit für die Rebe ist daher der Humusgehalt in den Weinbergsböden entscheidend. Da der Humusgehalt in Weinbergsböden oftmals niedrig ist, müssen geeignete Maßnahmen zur Erhöhung ergriffen werden (siehe Kapitel 3 und 6). [3,4]

2.4 Charakterisierung Hessischer Weinbergsböden

Die hessischen Weinbergsböden sind überwiegend Rigosolböden, d.h. sie wurden mehrfach umgegraben. Oft wurde den Weinbergsböden auch Fremdsubstrat beigemischt. Im oberen Rheingau dominieren nährstoffreiche Parabraunerde-Rigosole (Lösslehm über Löss) mit ausgeglichenem Wasserhaushalt. Im unteren Rheingau überwiegen steinige, nährstoffarme, trockene und flachgründige Braunerdeböden mit Quarzit- oder Tonschieferschutt. Die Weinbergsböden der Hessischen Bergstraße sind durch kalkhaltige Löss- bzw. Sandlössböden (Pararendzina-Rigosol) und Sandstein-Braunerden charakterisiert. [2] Mit dem webbasierten „Weinbaustandort-Viewer-Hessen“ des HLNUG können die Bodeneigenschaften hessischer Weinbergsböden parzellengenau abgerufen werden.

3. Humus

Gewässerschonende Bewirtschaftung der Weinberge erfordert ausreichend Humus im Boden zur Verfügung zu haben. Zudem ist Humus die Schutzschicht des Grundwassers, hier werden Schadstoffe gefiltert und schließlich abgepuffert (Abbildung 1). Gleichzeitig stellt Humus ein wichtiges Nährstoffreservoir dar, das durch mikrobiologische Umwandlungsprozesse essenzielle Nährstoffe für die Rebe zur Verfügung stellt. Humus erhöht auch die Wasserhaltekapazität. Die Böden und damit der pflanzliche Aufwuchs sind somit gegenüber sehr trockenen und heißen Sommermonaten widerstandsfähiger.

3.1 Nährhumus und Dauerhumus

Um den Humusgehalt von Weinbergsböden zu erhöhen, muss biologisch verfügbarer Kohlenstoff in die Böden eingetragen werden. Spricht man von Humus, wird zwischen den zwei Fraktionen Nährhumus und Dauerhumus unterschieden. Der Nährhumus steht den Mikroorganismen direkt als Nahrungsquelle zur Verfügung und fördert damit unmittelbar die biologische Aktivität. Die hierin gebundenen Nährstoffe können zügig freigesetzt und sofort für das Wachstum der Pflanzen genutzt werden. Die anderen zwei Drittel werden zu Dauerhumus umgewandelt. Dabei handelt es sich um sehr stabile Verbindungen, die von den Mikroorganismen nur noch sehr langsam abgebaut werden. Der Vorteil ist, dass dadurch die Pflanzennährstoffe im Dauerhumus nur in geringen Mengen freigesetzt werden. Dauerhumus stellt somit eine langsam fließende Nährstoffquelle für Pflanzen dar.

Um den Dauerhumuswert von Weinbergsböden zu erhöhen, muss genügend biologisch verfügbarer Kohlenstoff in die Böden eingetragen werden. Dies kann teilweise durch Kompost erfolgen, doch um stabilen Dauerhumus aufzubauen braucht es ein funktionierendes Nahrungsnetzwerk von Bodenorganismen, Pflanzenwurzeln, frischer Biomasse und tierischen Helfern. Dieses Nahrungsnetzwerk verarbeitet und baut durch Nahrungsaufnahme pflanzliche Anteile um.

Je üppiger der Bewuchs beispielsweise durch Begrünungspflanzen ist, desto mehr Kohlendioxid nehmen die Pflanzen aus der Atmosphäre auf und wandeln ihn in kohlenstoffreiche Biomasse um. Wird diese Biomasse von den tierischen Helfern gefressen und wieder ausgeschieden oder sterben die Blätter, Äste, Wurzeln von alleine ab, so werden sie zur Nahrungsquelle von Bodenorganismen. Die tote Materie wird durch Würmer, Bakterien, Pilze und Insekten weiter verstoffwechselt, wobei die stabilsten Stoffe wie z.B. Lignin und Zellulose nur sehr langsam zersetzt werden. Sie bilden das Grundgerüst des Humus.

Humusstoffe können nicht nur untereinander neukombiniert und verknüpft werden, sondern beispielsweise auch Verbindungen mit Tonmineralen eingehen. So entstehen wertvolle Ton-Humus-Komplexe mit hoher Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität. In Kombination mit Huminstoffen werden im Boden vorkommende Mineralteilchen sowie Quarze durch Bodenbakterien zu hohlraumreichen und stabilen Bodenkrümeln sozusagen „verklebt“ (Abbildung 2). Pflanzen können den Boden dadurch besser durchwurzeln, der Sauerstoffeintrag wird für Wurzeln und Mikroorganismen erhöht und der Boden wird widerstandsfähiger gegen physikalische Belastungen. Letzteres hat insbesondere einen Einfluss auf die Bodenbearbeitung, die hierdurch erheblich erleichtert wird.

Humusaufbau ist allerdings kein unendlicher Prozess. Wird ein stabiles Bodensystem durch Landnutzungsänderung gepflügt und bleiben die Böden kahl und unbewachsen, so überwiegt der Austrag an Kohlenstoff den Eintrag durch pflanzliche Biomasse. Als Ergebnis schwindet die Humusaufgabe wieder, bis sie auf niedrigerem Niveau ein neues Gleichgewicht findet. So liegt z.B. der Humusgehalt nicht-begrünter Weinberge im Schnitt um das drei- bis vierfache unterhalb des Wertes einer stabilen, dauerbegrünten Mischkultur, was zwar relativ hohe Traubenqualitäten ermöglicht, den Weinberg aber zu einem ökologisch höchst empfindlichen System macht.

Um den Humusgehalt eines Weinbergbodens auf das nächst höhere stabile Niveau zu bringen, muss für einen relativ starken Bewuchs der Begrünung und eine hohe mikrobielle Aktivität gesorgt werden.

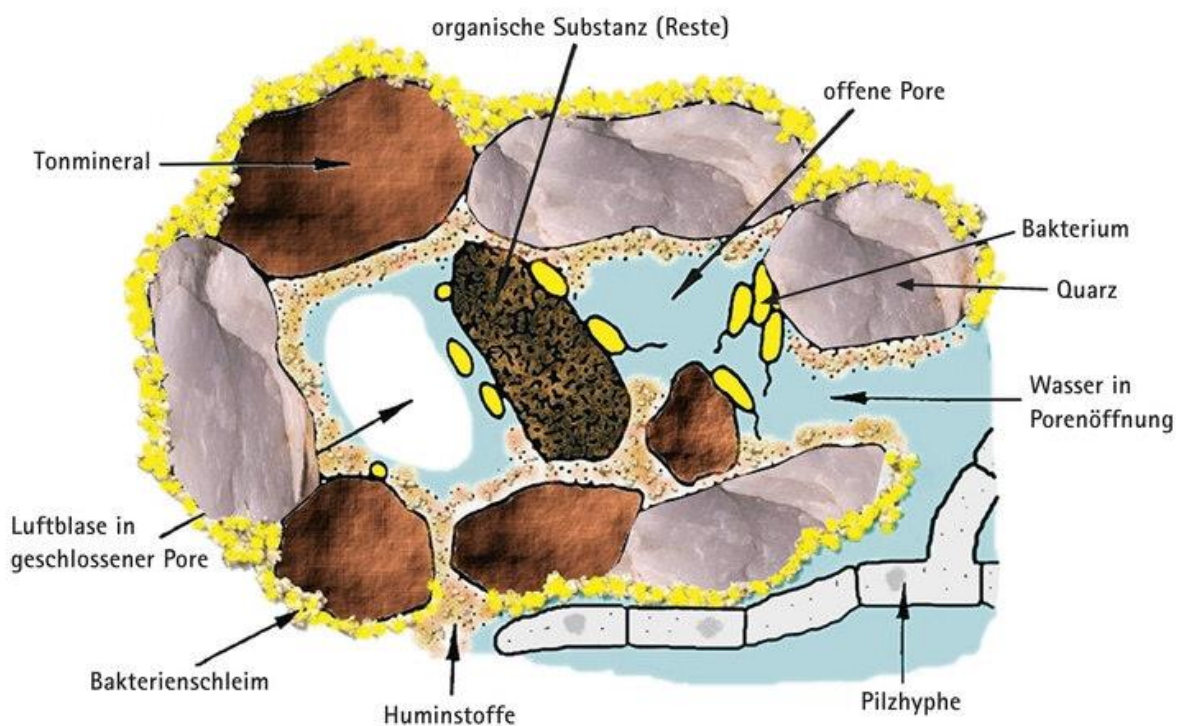


Abbildung 2 Schematischer Aufbau und Zusammensetzung eines Bodenkrümelns (Quelle: Paul & Clark, 1989 [5] verändert durch Beck, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/094487/index.php>, Stand: 01.03.2024)

3.2 Humusgehalt, C/N-Verhältnis und Mineralisation

Die größten Einflüsse auf den Humusgehalt haben die organische Düngung oder auch der Verbleib von Ernteresten, Holz und Laub sowie die Bewirtschaftung des Weinberges. Zudem wird der Humusgehalt durch die Bodenstruktur, Erosion, Nährstoffgehalte und deren Wechselwirkungen, aber auch durch die eigentliche Düngung maßgeblich beeinflusst. Der optimale Humusgehalt eines Bodens liegt laut Literatur für leichte und sandige Böden im Bereich zwischen 1,5-1,9 %, für mittelschwere Böden zwischen 1,8-2,4 % und für schwere Böden zwischen 2,0-2,9 % in den oberen 0-30 cm Bodenhorizont (Tabelle 2).

Stellt sich ein Gleichgewicht von Humusabbau und -aufbau ein, ist dies die optimale Strategie, um Humus im Boden langfristig zu erhalten. Das C/N - Verhältnis, das heißt das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff der abgestorbenen organischen Substanz, sagt je nach Verhältnis zueinander aus, wie schnell oder langsam der Humus durch Mikroorganismen zu pflanzenverfügbarem Stickstoff mineralisiert werden kann. Je enger das C/N-Verhältnis desto leichter kann die Mineralisation stattfinden. Hohe Humusabbauraten zeigen, dass die Böden sehr gut durchlüftet und meist durch Drainagen oder auch durch das Absenken des Grundwasserspiegels gekennzeichnet sind. Humusreiche Böden haben zumeist eine gehemmte biologische Aktivität und neigen zu Sauerstoffmangel.

Der Humusgehalt und das Bodenpflegesystem bestimmen die Mineralisierung und haben somit einen entscheidenden Einfluss auf die N-Versorgung von Reben. In Abhängigkeit von der Bodenart kann bei leichten Böden (S, IS) ab 2,5 % Humus, bei mittleren bis schweren Böden (sL, uL, tL, IT und T) ab 3 % Humus, bei steinhaltigen Böden größer 20 % Steinanteil ab 4,0 % Humus und bei extrem steinhaltigen Böden ab 7 % von einer Nachlieferung von 40 kg N/ha/Jahr ausgegangen werden. Damit wird bereits im Wesentlichen der Grundbedarf der Rebe abgedeckt. In Abhängigkeit von der Bodenpflege sind Abschläge (10-20 kg N/ha/Jahr) bei mechanischer Bearbeitung oder Zuschläge bei Einsaaten von 20-40 kg N/ha/Jahr möglich (Richtwerte: Forschungsring des Deutschen Weinbaus, Arbeitskreis Bodenkunde und Pflanzenernährung). Die Störung von Begrünungen oder der Umbruch, insbesondere von Leguminosenbeständen, können zu einer Reduktion der N-Düngung auf 0 kg/ha/Jahr führen.

Untersuchungen am DLR Rheinpfalz (Tabelle 2) zeigen das Potential der Stickstofffreisetzung aus Humus in Abhängigkeit der Mineralisationsrate für unterschiedliche Weinbergsböden.

Tabelle 2 Angestrebte und reale Humusgehalte im Oberboden (0-30 cm), Mineralisationsrate sowie daraus resultierende N-Gehalte in Abhängigkeit der Bodenart von 1880 Bodenproben Pfälzer Weinberge (nach Ziegler 2012)

	Bodenart		
	Leichte Böden (Sandböden)	Mittelschwere Böden (Lehm- und Schluff-böden)	Schwere Böden (Ton- und Mergelböden)
Angestrebter Humusgehalt im Oberboden [%]	1,5-1,9	1,8-2,4	2,0-2,9
Durchschnittlicher Humusgehalte [%]	1,5	1,95	2,2
Gesamt-N [kg/ha]	3900	5100	5700
Mineralisationsrate [%]	1-3	0,8-2,5	0,5-1,3
Mineralisierter N [kg/ha]	40-115	40-125	30-75

4. Rebenernährung

Im Allgemeinen beschreibt die Pflanzenernährungslehre die Versorgung der Pflanzen mit Makro- bzw. Mikronährstoffen. Dabei spielen ein Gleichgewicht aus Nährstoffentzug und -nachlieferung im Boden sowie bestimmte Verhältnisse der Nährstoffkonzentrationen zueinander eine zentrale Rolle. Als Makronährstoffe gelten die Elemente Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Calcium und Magnesium. Zu den Mikronährstoffen werden Chlor, Eisen, Kupfer, Zink, Mangan, Molybdän und Bor gezählt. Jedes einzelne Nährstoffelement übernimmt innerhalb der Rebe wichtige physiologische Stoffwechselfunktionen.

Der jeweilige elementspezifische Nährstoffbedarf und Versorgungszustand kann durch unterschiedliche physiologische Messmethoden ermittelt werden. Eine optimale Nährstoffversorgung ist die Grundlage für die Sicherstellung der Traubenqualität und die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegenüber pilzlichen und tierischen Schaderregern. Bei der Nährstoffaufnahme und dem Transport kommt insbesondere der Wurzel, der Unterlagsorte und dem Wasserhaushalt eine zentrale Bedeutung zu.

Im nachfolgenden Kapitel werden die Zusammenhänge der einzelnen Makro- und Mikronährstoffe innerhalb der Rebenernährung beschrieben und ihre Funktionen sowie Wechselwirkungen untereinander dargestellt. Weiterhin wird die Bedeutung der ausgewählten Unterlagsorten und Wurzeln erläutert.

4.1 Hauptnährstoffe (Makronährstoffe)

Die Rebe kann Nährstoffe sowohl über die Wurzeln als auch über das Blatt aufnehmen. In der Regel erfolgt die Aufnahme der Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Schwefel jedoch über die Wurzeln. Sind diese Nährstoffe nicht im Gleichgewicht, kommt es zu sogenannten Stoffwechselstörungen. Diese sind unter anderem Chlorose (Vergilbung der Blätter), Stiellähme sowie Traubenwelke. Entstehende Nährstoffmängel durch Entzüge, beispielsweise durch die Traubenernte, können durch organische bzw. anorganische Düngung oder standortangepasste Begrünungskonzepte nachgeliefert werden. Nachfolgend werden die Hauptnährstoffe auf ihre Funktion in der Rebe sowie die Folgen von Mangel oder Überschuss dargestellt.

4.1.1 Stickstoff (N)

Stickstoff hat eine zentrale Bedeutung für die Rebe. Das Element ist ein wichtiger Baustein von Nucleinsäuren, Aminosäuren, Enzymen und deren Coenzymen (z.B. ATP, NAD, NADP) und wird somit bei der Proteinbiosynthese für den Aufbau von pflanzlichem Eiweiß benötigt. Als Bestandteil im Chlorophyll ermöglicht Stickstoff die Energiegewinnung und Assimilation von Kohlenstoffverbindungen, insbesondere Zuckerverbindungen, bei der Photosynthese. [6] Stickstoff nimmt daher maßgeblich Einfluss auf die Vitalität und Wüchsigkeit der Rebe. Für die Weinbereitung ist eine gute N-Versorgung auch für die ausreichende Akkumulation von hefeverwertbarem Stickstoff (z.B. NH_4^+ , Arginin, Glutamin) in den Trauben und in der Folge für einen ungestörten Gärverlauf entscheidend [7]. Stickstoff beeinflusst somit insbesondere das vegetative Wachstum (Blatt- und Holzmasse), das Ertragsniveau und die Traubenqualität. Die Aufnahme von Stickstoff in die Rebe erfolgt über die Wurzeln überwiegend in Form von Ammonium (NH_4^+) oder Nitrat (NO_3^-). Typische Mangelsymptome sind gelbe

Blattaufhellungen (Chlorose), die zunächst an den älteren Blättern auftreten. [3,6] Ein Mangel an Stickstoff führt zu einem verringerten Wachstum mit dünnen Trieben, kurzen Internodien und schwach verzweigten Wurzeln sowie einer unzureichenden Holzreife. Fehlt der Rebe Stickstoff, ist auch das Beerenwachstum beeinträchtigt, wodurch die Traubenstruktur aufgrund kleinerer Beeren aufgelockert wird. In der Folge kommt es zu Ertragseinbußen. Bei Wassermangel ist die Stickstoffaufnahme in die Rebe entsprechend geringer.

Ein Überschuss an Stickstoff führt dagegen zu einem mastigen Wuchs mit sehr dicken Trieben und langen Internodienabständen. Obwohl die Neigung zum Verrieseln der Blüte mit einer Stickstoffübersversorgung zunimmt, werden die Trauben kompakter und das Gewebe der Reborgane wird zunehmend weicher. Dadurch erhöht sich das Befallsrisiko mit Fäulniserregern, wie beispielsweise der Befall mit *Botrytis cinerea*. Zudem werden weitere Pilzkrankungen und Stiellähme durch zu hohe N-Gaben gefördert. In der Folge kommt es zu erheblichen Ertrags- und Qualitätseinbußen durch eine unzureichende Reifeentwicklung der Beeren. [7,8]

Ausgehend von einem jährlichen Ertragsniveau von 10 t Trauben/ha wird von einem Stickstoffbedarf von 50 kg N/ha und Jahr ausgegangen [3].

4.1.2 Phosphor (P)

Phosphor wird als wasserlösliches Phosphat über die Rebwurzeln aus der Bodenlösung aufgenommen. In Form von Phospholipiden ist das Element wichtiger Bestandteil von Membranen, kommt in Nukleinsäuren vor und spielt bei der Energieübertragung (Phosphorylierungsreaktionen) innerhalb der pflanzlichen Zelle eine entscheidende Rolle. [6] Phosphor wird zudem für die Blüten- und Fruchtbildung benötigt und nimmt daher erheblichen Einfluss auf das Ertragsniveau [7]. Bei einem P-Mangel verfärben sich die Blattränder rötlich bis braun [9]. Das Wachstum ist gehemmt, es kommt zu einer schwachen Wurzelbildung, einer schlechten Holzreife und die Blüte und Traubenreife werden verzögert [10]. Bei einem Phosphat-Überschuss kommt es zu einem frühen Vegetationsabschluss, Kümmerwuchs und Kleinblättrigkeit sowie einem abfallenden Ertrag bis zur Ertragslosigkeit. In Kalkböden kann es außerdem zu einer verstärkten Chlorose kommen.

Obwohl im Boden meistens genügend Phosphor vorhanden ist, kann dieser nicht immer von der Rebe genutzt werden. Um die Verfügbarkeit des Phosphors für die Rebe zu verbessern, muss der pH-Wert mitberücksichtigt werden. So wird auf sauren Böden durch eine Aufkalkung die P-Verfügbarkeit bereits wesentlich verbessert.

Da im Boden nur ein geringer Gehalt an wasserlöslichem Phosphat vorliegt, wird Phosphor selten in die tieferen Bodenschichten und in das Grundwasser verfrachtet. Jedoch kann durch Erosionsvorgänge Feinerde in Gewässer gespült werden, wo der an die Bodenpartikel gebundene Phosphor gelöst wird und das Pflanzen- und Algenwachstum im Gewässer stark anregt. Die Zersetzung der abgestorbenen Pflanzen- und Algenmasse führt zu einem erhöhten Sauerstoffverbrauch, was sich negativ auf die im Gewässer lebenden Tiere und Organismen auswirkt. [8]

4.1.3 Schwefel (S)

Schwefel ist lebensnotwendiger Pflanzennährstoff, der zum Aufbau primärer und sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, v.a. Aminosäuren, Proteine und Enzyme, benötigt wird.

Bei einer unzureichenden Schwefel-Ernährung ist daher die Proteinbiosynthese behindert. Schwefelmangelercheinungen zeigen sich durch ein gehemmtes Wachstum und „Starrtracht“ mit kleinen Blättern, deren Blattspreiten durch blassgrüne bis gelbe Verfärbungen gekennzeichnet sind. Tritt S-Mangel auf, ist die N-Ausnutzung gehemmt. [7]

4.1.4 Kalium (K)

Kalium hat eine entscheidende Funktion bei der Regulierung der Stomata (Spaltöffnungen) und steuert dadurch den Turgor (osmotischen Druck) der pflanzlichen Zellen, insbesondere der Blätter. Als Stützelement der Cuticula und Zellwände fördert Kalium zusätzlich die Gewebestabilität, wodurch u.a. die Anfälligkeit gegenüber Pilzkrankungen (z.B. *Oidium*, *Botrytis*) reduziert wird. Zudem fungiert Kalium bei der Aktivierung zahlreicher Enzyme, ist somit an der Bildung von Assimilaten beteiligt und reguliert deren Transport innerhalb der Rebe. Eine gute K-Versorgung begünstigt außerdem die Phenolbildung. [7] Hohe Kaliumkonzentrationen innerhalb der Zellen begünstigen die Wasseraufnahme und fördern das Wachstum durch Zellteilung sowie -streckung. Zusätzlich wird der Gefrierpunkt gesenkt und im Gegenzug die Frostresistenz gesteigert.

Bei einem K-Mangel können die Spaltöffnungen nicht richtig schließen, wodurch die Wasserverdunstung (Transpiration) über die Blätter erhöht und der Turgor verringert wird. In der Folge besteht eine geringere Dürre-resistenz. [10] Starker K-Mangel verhindert das Beerenwachstum und verzögert die Reife. Die Beeren bleiben klein und sind sensorisch unreif-sauer. Bei einem Kalium-Überschuss in Verbindung mit einem Magnesium- und Calcium-Mangel kann es zu einer erhöhten Anfälligkeit für Stiel-lähme kommen. Zur Gewährleistung einer guten Rebengesundheit und hohen Traubenqualität ist das Verhältnis von Kalium zu Magnesium ($K_2O: Mg$) entscheidend. Idealerweise sollte ein Verhältnis von 2-2,5 zu 1 vorliegen. Ein engeres Verhältnis kann zu Bittertönen im Wein führen. Während sich eine Kalium-Unterversorgung an jüngeren Blättern durch wellige Deformationen, öliges Glänzen („Lackflecken“) und ein Rollen der Blattränder mit anschließender Bildung von Nekrosen äußert, treten an älteren Blättern dunkelviolette oder dunkelbraune bis schwarze Verfärbung auf. [3,7]

4.1.5 Calcium (Ca)

Als Bestandteil der Mittellamellen erfüllt Calcium eine wichtige Funktion beim Aufbau und der Stabilisierung von Zellwänden, Zellmembranen und Protoplasten. Insbesondere für das Wurzelwachstum ist Calcium von zentraler Bedeutung. Zudem trägt Calcium zur Verbesserung der Bodenstruktur bei, nimmt Einfluss auf die Humusdynamik und reguliert die Verfügbarkeit von Nähr- sowie Schadstoffen im Boden. Ein sehr niedriger Calcium-Gehalt im Boden bedeutet, dass dieser einen sehr niedrigen pH-Wert hat und dementsprechend sauer ist. Dennoch ist oft genügend Calcium für die Rebe vorhanden, sodass die Schadsymptome auf den zu niedrigen pH-Gehalt zurückzuführen sind (Säureschäden). Das Blatt weist braune und gelbe Verfärbungen mit Nekrosen an den Blatträndern auf. Ca-Mangel kommt selten aber wenn vor allem auf humusarmen, stark sauren Kies- oder Granitverwitterungsböden vor. Eine entsprechende Ca-Düngung verfolgt das Ziel der pH-Anhebung. Im Fall von einer Überversorgung im Boden kann die Aufnahme von Magnesium oder Kalium beeinträchtigt werden. Als Bestandteil des

Kalksteins (CaCO_3) kann bei einem hohen Gehalt die Ausbildung von Chlorose begünstigt werden. [6,7,10]

4.1.6 Magnesium (Mg)

Magnesium ist ein wichtiger Baustein für das Chlorophyll und somit essentiell für die Photosynthese und die daraus resultierende Kohlenhydratassimilation. Zudem ist das Element an der Aktivierung von Enzymen von Stoffwechselreaktionen (Phosphorylierung, Proteinbiosynthese) beteiligt. In sauren Böden wird Magnesium leicht ausgewaschen. Hohe Gehalte an Wasserstoff-, Calcium-, Kalium- und Ammonium-Ionen im Boden fördern Mg-Mangel zusätzlich. Typische Symptome einer Unterversorgung sind chlorotische Aufhellungen zwischen den Blattadern (Interkostalchlorose) sowie Nekrosen und Stiehlähme der Trauben. [7,10] Mg-Übersorgung kann die Aufnahme von Kalium behindern und zu Kaliummangel führen [9]. Das Idealverhältnis der beiden Nährstoffe liegt bei 2-2,5 K_2O : 1 Mg.

4.2 Spurenelemente (Mikronährstoffe)

Auch Mikronährstoffe haben im Stoffwechsel eine Vielzahl lebenswichtiger Funktionen. Durch Mangel oder die vollständige Abwesenheit ist ein normales vegetatives Wachstum und die Reproduktion der Rebe gestört. Aufgrund der geringen erforderlichen Nährstoffmenge kann ein Mangel besonders gut durch Blattdüngemaßnahmen behoben werden. [11]

4.2.1 Bor (B)

Bor erfüllt wichtige Funktionen bei der Protein- sowie Nukleinsäuresynthese, beim Transport von Kohlenhydraten und ist am Energiestoffwechsel beteiligt. Zudem ist Bor für die Befruchtung und somit für die Blütefestigkeit der Rebe unerlässlich. Eine gestörte Bor-Aufnahme kann starke Verrieselung an Gescheinen auslösen und den Ertrag dadurch stark beeinträchtigen. Durch die Beteiligung am Aufbau der Zellwände (Borat-Ester) trägt Bor außerdem zur Stabilisierung der Zellwände bei. Der Entzug von Bor liegt bei ca. 200 g/ha bei einem jährlichen Traubenertrag von 10 t/ha. Auf ton- und humusarmen Standorten kann Bor gut aus der Bodenlösung aufgenommen werden, da das Spurenelement größtenteils in gelöster Form vorliegt. Nachteilig wirkt sich die hohe Löslichkeit im Boden durch schnelle Auswaschung aus. Typische Symptome an Blättern weißer Rebsorten sind durch marmorierte, mosaikartige Aufhellungen gekennzeichnet. An Rotweinsorten zeigen sich rötliche Verfärbungen an den Blatträndern sowie in den Interkostalfeldern und grün gesäumte Blattadern mit anschließender Nekrosenbildung. Starker Bor-Mangel führt zum Absterben der Triebspitzen bzw. ganzer Triebe. In der Folge wird die Geiztriebbildung aus Sommeraugen verstärkt. Sterben deren Triebspitzen ebenfalls, entsteht ein besenartiger bis buschiger Wuchs. Weitere Symptome sind verkürzte, zickzackförmige Internodien mit verdickten Knoten, aufgerissene Stiele, Verkräuselung der Blätter und das Absterben von Ranken. Hohe B-Konzentrationen beeinträchtigen das Längen- und Dickenwachstum der Triebe, fördern die Geiztriebbildung, führen zu löffelartigen, nach unten gewölbten Deformation an jungen Blättern und haben einen gestörten Blüteverlauf zur Folge. In der Praxis können die Mangel- und Überschusserscheinungen oft verwechselt werden. [7,8]

4.2.2 Chlor (Cl)

Chlor dient dem elektrostatischen Ausgleich und kann als einwertiges Anion (Cl⁻) osmotische Funktionen, wie z.B. die Plasmaquellung im pflanzlichen Gewebe regulieren. Durch Sättigung positiver Bindungsstellen sorgen Cl⁻-Anionen für eine funktionsfähige Struktur der Proteine im Photosystem II und ermöglichen die photosynthetische Wasserspaltung [6]. Das Element wird von der Rebe nur in sehr geringen Mengen benötigt, sodass ein Mangel nicht bekannt ist. Zu hohe Cl-Konzentrationen auf trockenen Standorten in Kombination mit Bewässerung oder chloridhaltige Blattdünger können zu Verbrennungsschäden führen. [7]

4.2.3 Eisen (Fe)

Das Spurenelement Eisen ist für die Bildung von Chlorophyll essentiell und wird daher für die Photosynthese benötigt. Außerdem ist Eisen an der Zellatmung und Proteinbiosynthese beteiligt. In der Regel ist Fe-Oxid, Fe-Phosphat oder Fe-Carbonat in ausreichenden Mengen im Boden vorhanden, allerdings können erst durch reduzierende Wurzelausscheidung aufnehmbare Fe²⁺-Kationen für die Rebe verfügbar gemacht werden. Auf stark verdichteten Standorten und Kalkböden mit ausgeprägter Protonenpufferung wird die Reduktion von Fe³⁺ zu Fe²⁺ verhindert, wodurch Fe-Mangelbedingte Chlorose entsteht. Mangelsymptome zeigen sich durch Vergilbung der Blätter mit scharf abgegrenztem grünem Saum um die Blattadern. Zu hohe Schwermetallgehalte, insbesondere von Kupfer, können ebenfalls zu Fe-Mangel führen. Langfristig ist eine Auflockerung und damit einhergehend eine bessere Durchlüftung des Bodens anzustreben. [7,10]

4.2.4 Kupfer (Cu)

Als Bestandteil von Enzymen (Laccase, Phenoloxidase, Ascorbinsäureoxidase) wirkt Kupfer an zahlreichen Oxidationsreaktionen mit. Über Enzymbeteiligung werden viele Stoffwechselreaktionen (z.B. Photosynthese, Zellatmung, Ligninsynthese) durch Kupfer ermöglicht. Als Bestandteil der Superoxiddismutase wirkt Kupfer auch an der Neutralisation von toxischen Sauerstoffradikalen mit und reduziert somit oxidativen Stress. [6] Durch die jahrzehntelange unsachgemäße Verwendung von Kupfer zur Bekämpfung von *Plasmopora viticola* (Falscher Mehltau) wurden hohe Kupfermengen im Boden angereichert. Daher kommt Cu-Mangel eine untergeordnete Bedeutung zu. Mit Kupfer überversorgte Böden können Cu-induzierten Fe-Mangel und in der Folge chlorotische Blattaufhellungen verursachen. Eine Überkonzentration von Kupfer im Boden kann zudem an jungen Reben Wurzelschädigungen bewirken und hat negative Auswirkungen auf das Bodenedaphon (Mikroorganismen, Bodentiere v.a. Regenwürmer). Mit zunehmendem Tongehalt steigt auch der Cu-Gehalt. Auf humusreichen Standorten kann das Schwermetall im Humus fixiert werden. [7,10]

4.2.5 Mangan (Mn)

Mangan spielt eine entscheidende Rolle beim Elektronentransport im Photosystem II der Photosynthese und ist daher an der Assimilation von Kohlenhydraten beteiligt. Zudem besitzt Mangan eine stimulierende Wirkung auf die Enzymaktivität, insbesondere von Phosphotransferasen, Decarboxylasen und Dehydrogenasen. Wie Kupfer wirkt Mangan

als Bestandteil der Superoxiddismutase an der Neutralisation von toxischen Sauerstoffradikalen mit und reduziert somit oxidativen Stress. [6] Der Entzug durch die Rebe liegt bei ca. 80 bis 160 g/ha/Jahr. Mit zunehmendem pH-Wert des Bodens (alkalische Böden) und anhaltenden Trockenphasen nimmt die Verfügbarkeit von Mangan für die Rebe ab. Bei niedrigen pH-Werten (stark saure Böden) kommt es aufgrund der guten Löslichkeit zu Auswaschungen und damit zu Mangelercheinungen für die Rebe. An den Blättern zeigen sich blassgrüne bis gelbliche, mosaik- bzw. netzartige Verfärbungen in den Interkostalfeldern. Bei einem starken Mangel kann es zu einem gehemmten Wuchs und Beeinträchtigung der Reife kommen. [3,7]

4.2.6 Molybdän (Mo)

Molybdän kann von der Rebe als Molybdat aufgenommen werden und wird als Cofaktor von Enzymen für den Stickstoff-Stoffwechsel der Rebe benötigt. Als Bestandteil der Nitratreduktase ist Molybdän an der Elektronenübertragung bei der Reduktion von Nitrat zu Nitrit beteiligt. Nitrit wird weiter zu Ammonium reduziert und steht der Synthese von Aminosäuren zur Verfügung, die wiederum den Aufbau von Proteinen ermöglichen. Molybdän kommt auch in dem Enzym Nitrogenase vor, das die Reduktion von molekularem Stickstoff (N_2) zu Nitrat (NO_3^-) katalysiert und dadurch Leguminosen zur biologischen Stickstofffixierung befähigt. [6] Scheinbar verbessert eine Blattdüngung mit Ammoniummolybdat den Beerenansatz. Auf sauren Böden ist die Löslichkeit von Molybdän und somit die Verfügbarkeit am geringsten. Mo-Mangelercheinungen können mit N-Mangelsymptomen verwechselt werden. [3,7]

4.2.7 Zink (Zn)

Zink fördert die Wuchsstoffbildung durch Synthese der Aminosäure Tryptophan, die als Vorstufe von Auxinen gilt. Als Enzymaktivator nimmt Zink Einfluss auf die Proteinbiosynthese und ist an der Chlorophyllbildung beteiligt. [10] Wie Kupfer und Mangan wirkt auch Zink als Bestandteil der Superoxiddismutase oxidativen Stress entgegen [6]. Der Zink-Gehalt im Boden ist stark pH-Wert abhängig. Je saurer der Boden ist, desto höher ist der Anteil an gelösten Zink-Ionen. Auf Böden mit hohem Kalk- und Phosphor-Gehalt wird die Zink-Aufnahme beeinträchtigt, wodurch Mangelercheinungen auftreten können. Der Entzug der Rebe liegt bei 80 bis 200 g/ha/Jahr. Zink-Mangel führt zu einer gestörten Blüte- und Traubenentwicklung. Symptome zeigen sich durch eingeschränktes Beerenwachstum und mangelhaft verholzte Stielgerüste. Die Blätter weisen geraffte, asymmetrische Blattspreiten mit scharf gezähnten Rändern auf, sind länglicher geformt und haben weit geöffnete Stielbuchten. Es kann zu einer starken Zunahme der Stiellähme und einem hohen Ertragsausfall kommen. [3,7]

4.3 Wurzel und Unterlage

Die Rebwurzeln dienen einerseits der Verankerung im Boden, andererseits versorgen sie die Rebe über die Aufnahme lebensnotwendiger Nährstoffe und Wasser aus dem Boden. Als Speicherorgan für Reservestoffe (photosynthetische Assimilate) erfüllen die Wurzeln zusätzlich eine wichtige Funktion als Energiequelle. Ist noch keine oder eine zu geringe photosynthetisch-aktive Blattfläche vorhanden, können im Bedarfsfall Reservestoffe mobilisiert werden. Während die Aufnahme von Wasser, aufgrund des positiven

Wurzeldruckes, verursacht durch osmotisch wirksame Substanzen (z.B. Zucker und Mineralstoffe) in den Wurzelzellen, ohne zusätzlichen Energiebedarf erfolgt, muss die Rebe für die Nährstoffaufnahme aus dem Boden Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) aufbringen. Der weitere Transport sowie die Verteilung von Wasser und Nährstoffen innerhalb des Rebstockes, wird durch die Leitbahnen (Tracheiden) in den Xylem-Leitbündeln ermöglicht. Treibende Kraft ist hierfür vor allem der von den Spaltöffnungen (Stomata) erzeugte Unterdruck bei der Transpiration (Transpirationssog oder negatives Wasserpotenzial). Der Transport von Assimilaten (Zuckerverbindungen) erfolgt dagegen in den Siebröhren der Phloem-Leitbündel. [3]

Je nach Struktur sowie Anordnung im Boden wird zwischen Fuß- und Seitenwurzeln unterschieden (Abbildung 3). Fußwurzeln befinden sich am Ende der Unterlage und können den Boden mehrere Meter tief aber auch seitlich durchwurzeln. In gelockerten und leichten Bodenschichten können die unteren Wurzelteile bis zu 10 Meter in die Tiefe eindringen. Diese Fähigkeit ist besonders für die Nährstoff- und Wasserversorgung während langanhaltenden Trockenphasen von großem Vorteil. Seitenwurzeln werden aus der Unterlagenmitte gebildet und können Wasser sowie Nährstoffe besonders effektiv in der Breite (horizontal) in oberen Bodenschichten aufnehmen. Auf diese Weise werden die vorhandenen und eindringenden Bodenressourcen (Nährstoffe und Wasser) insbesondere bei geringen Niederschlagsmengen auf trockenen Böden effizient genutzt. Das Wurzelwerk knapp unter der oberen Erdschicht ist für das Aufnehmen von Tau und Reif verantwortlich. Die eigentliche Wasser- und Nährstoffaufnahme erfolgt über die Wurzelhaare sehr feiner Wurzeln, den sogenannten Faserwurzeln. [3]

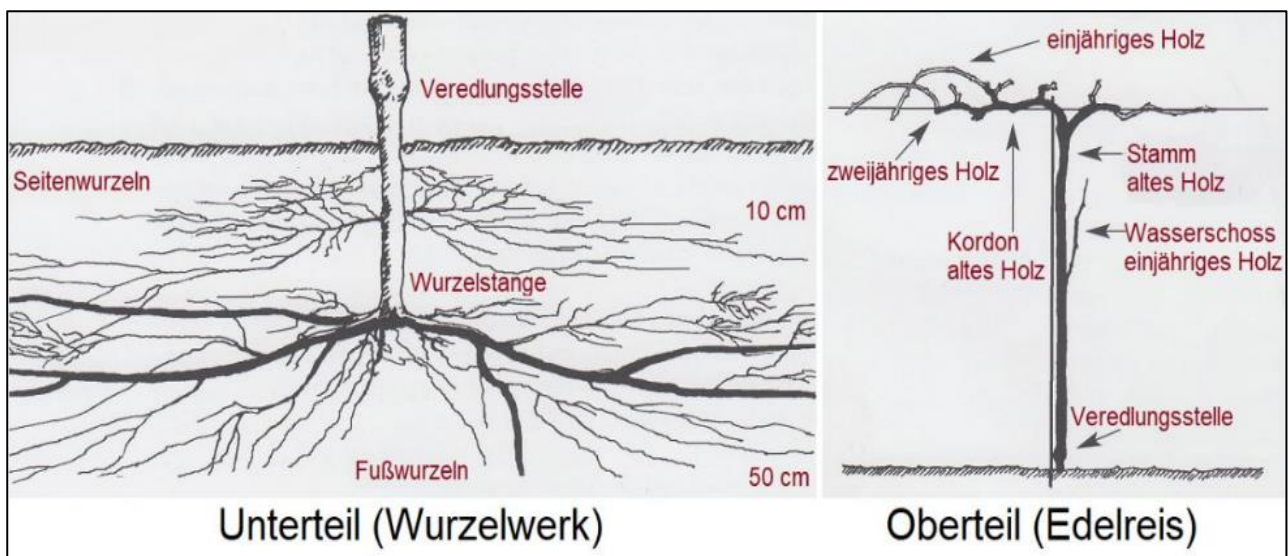


Abbildung 3 Schematischer Aufbau der Rebe bestehend aus unterirdisch wurzelbildender Unterlage (links) und oberirdisch ertragsbildendem Edelreis (Quelle: <https://glossar.wein.plus/rebstock> , Stand: 01.08.2023; K. Bauer, 2002 [21])

Als Antwort auf die massive Verbreitung der Reblaus im 19. Jahrhundert in Europa wurde die Pfropfrebe in den europäischen Weinbau eingeführt. Die Kombination von Abkömmlingen amerikanischer Wildreben (Unterlagen) und Europäerreben (Edelreiser) durch Pfropfung ermöglichte die Fortführung des Weinbaus unter Existenz der Reblaus. Neben der Reblautoleranz unterschiedlicher Wildreben spielen im heutigen Weinbau vor allem vielfältige pflanzenphysiologische Eigenschaften bei der Auswahl von Unterlagsreben eine wichtige Rolle. Als Wurzelfunktion hat die Unterlage der Pfropfrebe

maßgeblichen Einfluss auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Edelreiser und steuert dadurch die Vitalität des Rebstockes. Unterlagen besitzen unterschiedliche Anforderungen an bestimmte Bodenparameter, wie beispielsweise pH-Wert, Bodendichte, Wasserverfügbarkeit, Nährstoffangebot und Kalkgehalt. Auf durchlässigeren, nährstoffärmeren Böden eignen sich eher starkwüchsige Unterlagen, während schwachwüchsige Unterlagen besser für tiefgründige, fruchtbare Böden geeignet sind. Daraus lassen sich wiederum differenzierte Eigenschaften wie beispielsweise Staunässe- sowie Chloroseanfälligkeit oder Trockentoleranz ableiten (Tabelle 3 & 4). Aus diesem Grund müssen bei der Wahl der geeigneten Unterlage Standortfaktoren und Wüchsigkeit berücksichtigt werden. Zur Vermeidung von Ertrags- und Qualitätsverlusten ist zudem die Kompatibilität von Unterlage und Edelreiser zu prüfen. Dabei ist die Wüchsigkeit sowohl der gewählten Unterlage, als auch des Edelreises entscheidend. Starkwüchsige Edelreissorten sind mit schwach- bis mittelstarkwüchsigen Unterlagen kompatibel, schwachwüchsige Edelreiser sollten hingegen mit mittel- bis starkwüchsigen Unterlagen kombiniert werden. [12] In den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 sind die in der Weinbaupraxis am häufigsten verwendeten Unterlagen mit entsprechenden Wuchseigenschaften und Standortanforderungen dargestellt. Zusätzlich bietet der webbasierte „Weinbaustandort-Viewer-Hessen“ des HLNUG Empfehlungen für eine standortbezogene Unterlagewahl.

Tabelle 3 Wüchsigkeit von Unterlagsreben und Toleranz gegenüber abiotischen Faktoren (Trockenheit, Nässe, Verdichtung & Chlorose) sowie Einfluss auf den Traubenreifezeitpunkt. (nach Schmid et al. 2019 [12])

	Wuchs	Traubenreife	Trockentoleranz	Eignung für feuchte Böden	Eignung für kompakte Böden	Chlorosetoleranz
Kober 5BB	stark	spät	mittel	mittel	mittel	mittel
SO4	mittel	mittel	mittel	gut	mittel	gut
125 AA	sehr stark	spät	mittel	mittel	mittel	mittel
Börner	mittel - stark	mittel	sehr gut	schlecht	mittel	mittel
110 Richter	sehr stark	spät	gut	mittel	gut	gut
1103 Paulsen	stark	spät	sehr gut	mittel	gut	gut
5C	mittel-stark	mittel	mittel	schlecht	mittel	mittel
161-49C	schwach-mittel	spät	gut	schlecht	sehr gut	gut
8 B Gm	mittel-stark	mittel	mittel	schlecht	mittel	gut
3309 C	schwach-mittel	spät	mittel	schlecht	schlecht	Schlecht

Tabelle 4 Standortanforderungen und Bodeneignung für praxisübliche Unterlagen im Weinbau (nach Schmid et al. 2019 [12])

Unterlage	Anforderungen an Standort- und Bodenbeschaffenheiten
Kober 5BB	sensibel auf trockenen, flachgründigen, sehr warmen Böden; nicht geeignet für blühempfindliche Sorten auf fruchtbaren und triebigen Böden
SO4	möglichst Engpflanzungen; Mg-Werte müssen gut sein; fördert den Fruchtansatz bei gleichzeitig gezügeltem Triebwuchs; für hohe Stockbelastungen zu schwach
125 AA	für alle Standorte außer schwächere, flachgründige, verdichtete Standorte; gut bei weiten Standräumen; Holzreife gut
Börner	hohe Reblausresistenz; gute Toleranz gegenüber Nematoden; gute Trockentoleranz auf leicht erwärmbaren und durchlässigen Verwitterungsböden; gute Kalkverträglichkeit in trockenen Lagen; vollresistent gegenüber Reblaus an Blatt und Wurzel aufgrund von Nekrosereaktion; chloroseempfindlich auf schweren, verdichteten, kalkhaltigen Ton-Lehmböden
110 Richter	sehr wüchsige Sorte, fördert sowohl Fruchtansatz als auch Triebwüchsigkeit; langer Vegetationszyklus, verzögert die Trauben- und Holzausreifung; Anbau vor allem im Mittelmeerraum
1103 Paulsen	für stielhämefällige Sorten; verzögerte Reife und erhöhte Säure; gute Trockenresistenz; verträgt keine Staunässe; gut auf tiefgründigen, kalkreichen Tonböden; gute Kalkverträglichkeit auf schwachen, trockenen Böden; verzögert die Trauben- und Holzausreifung
5C	für leicht erwärmbare, tiefgründige, mittlere, leichte Böden; sensibel bei kühlen, nassen Böden (Chlorosegefahr z.B. mit Weißburgunder)
161-49C	gut auf kalkreichen, humosen, fruchtbaren Böden; sensibel auf schweren, kompakten, tonigen Böden bei Trockenheit; Kompatibilitätsprobleme bei diversen Ertragsrebsorten
8 B Gm	gute Trockentoleranz, Kalkverträglichkeit; gut auf trockenen und warmen Böden
3309 C	fruchtbare, tiefgründige, (Verwitterungs-) Böden mit guter Humus- und ausgewogener Wasserversorgung; sensibel auf trockenen, kalkhaltigen, verdichteten, staunassen Böden; gut für blühempfindliche Sorten

Um die richtige Wahl der Unterlage abschließend treffen zu können, ist es notwendig, die Versorgung des Bodens mit den jeweiligen Nährstoffen zu kennen.

4.4 Entnahme und Behandlung von Bodenproben

Das Ziel aller Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen im Weinberg ist es, einen ausgewogenen Versorgungsgrad an Nährstoffen zu gewährleisten. Der Boden sollte in seiner Fruchtbarkeit und in seinem strukturellen Aufbau erhalten und nach Möglichkeit verbessert werden. Damit die Nährstoffversorgung der Reben bedarfsgerecht stattfinden kann, muss der Versorgungszustand bekannt sein. Dazu sind die Weinbergsböden in regelmäßigen Abständen auf ihre Nährstoffversorgung zu untersuchen und deren Zustand zu bewerten. Dabei wird, in Abhängigkeit der Bodenhorizonte, zwischen Unter- (30-60 cm) und Oberboden (0-30 cm) differenziert. Während die meisten Parameter (pH-Wert und Nährstoffe) in beiden Bodenschichten analysiert werden, wird das Spurenelement Bor- und der Humusgehalt (organischer Anteil im Boden) nur im Oberboden bestimmt. Nachfolgend wird die Vorgehensweise bei Bodenuntersuchungen beschrieben.

4.4.1 Standard-Bodenuntersuchung

Die Standard-Bodenuntersuchung umfasst die Parameter pH-Wert, Phosphat-, Kalium- sowie Magnesiumgehalt. Diese Gehalte werden sowohl für den Oberboden (0-30 cm) als auch für den Unterboden (30-60 cm) ermittelt. Abweichend zur Nmin-Gehaltsbestimmung erfolgt die Entnahme nur im Hauptwurzelschicht bis 60 cm, nicht im Bereich 60-90 cm.

4.4.2 Nmin-Untersuchung

Die Untersuchung des Nmin-Gehaltes im Boden, das heißt die Untersuchung des aktuell mineralisierten pflanzenverfügbaren Gehaltes an Stickstoff, erfolgt im Frühjahr oder im Herbst. Die Ergebnisse werden jeweils zu unterschiedlichen Beurteilungen herangezogen. So gilt die Untersuchung des Nmin-Gehaltes vor dem Austrieb der Reben im April/Mai als Frühjahrs-Nmin-Gehalt. Der ermittelte Wert ist Grundlage der Stickstoffbedarfsermittlung (siehe Kapitel 9). Hat die Probenentnahme das Ziel, das Nitrat-Auswaschungsrisiko im Weinberg zu ermitteln, wird dies mit dem Herbst-Nmin-Wert untersucht. Beim Nmin-Wert im Herbst geht es darum, die Menge an Nitrat zu ermitteln, welche bedingt durch die jahreszeitliche Entwicklung von den Reben nicht mehr und von den Begrünpflanzen in der Rebzeile nur in sehr geringen Mengen aufgenommen wird. Es gilt zu analysieren, wie viel Nitrat in die tieferen Bodenschichten, also auch ins Grundwasser, verlagert werden kann. [13]

4.4.3 Probenahme - Nmin

Eine sachgemäß durchgeführte Probenahme ist Grundvoraussetzung für korrekte Analyseergebnisse bezüglich der Nmin-Werte. Dies bedeutet, dass die Vorgaben zur Anzahl der Einstiche, zur Probentiefe sowie zum sachgerechten Transport und zur Lagerung der Proben ebenso wie die Vorgaben zur Dokumentation genau eingehalten werden müssen. Die Probenahme sollte durch sachkundige und qualifizierte Personen erfolgen.

PROBENAHRME-GERÄTE

Zu verwenden ist der Pürckhauer-Bohrstock, auch N_{\min} -Bohrstock genannt. Benötigt wird zudem ein Hammer zum Einschlagen des Bohrstockes sowie zur Unterstützung ein Spaten, falls ein Durchdringen aufgrund des Wurzelwerkes nicht möglich ist. Ebenfalls ist es wichtig, einen Probenahmebehälter, beispielsweise einen kleinen Eimer, jeweils einen für jede Bodentiefe, sowie Aufbewahrungsgefäße, einen Stift, beziehungsweise Selbstklebeetiketten mitzuführen.

Das Vorhandensein einer Kühlbox mit mindestens drei Kühllakkus ist zur Vermeidung einer weiteren Mineralisation der Probe bei hohen Temperaturen notwendig. [14]

ENTNAHMETIEFE

Die Bodenproben sind sowohl für die im Frühjahr als auch für die im Herbst zu ziehenden Proben aus 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Tiefe zu entnehmen. [14]

DURCHFÜHRUNG

Pro Parzelle oder Bewirtschaftungseinheit ist eine repräsentative Bodenprobe erforderlich. Hierzu sind 15-20 Einstiche über eine Fläche von 1 ha notwendig. Das Bodenmaterial aus den jeweiligen Probentiefen (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) wird innerhalb der einzelnen Bodenhorizont zu einer Mischprobe vereinigt. Wichtig ist, dass die Proben nur im mittleren Bereich der Fläche zu entnehmen sind. Es dürfen keine Einstiche auf dem Vorgewende oder Reihenanfang gezogen werden. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass bei alternierender Bodenbearbeitung die Probenentnahme auf allen Gassentypen erfolgen muss. Die entnommene Bodenmenge je Probentiefe wird im Weinberg im Probenahmebehälter (Eimer) vorsichtig vermischt und etwaige Steine und Wurzeln entfernt. Dann wird eine Teilmenge von ca. 500 g in Plastiktüten gefüllt, welche unbedingt eindeutig, lesbar und wasserfest beschriftet werden müssen. Eine gründliche Homogenisierung sollte erst im Labor vorgenommen werden, da eine vorherige heftige mechanische Bearbeitung der Proben zu erheblichen Mineralisierungsschüben führen kann, die das Ergebnis verfälschen. [15]

Das Probenahmeprotokoll hat folgende Angaben zu enthalten [16]:

- Datum
- Flächennummer
- Beprobungstiefe
- Besonderheiten, wie z. B. Düngung, Bodenbearbeitung; Begrünung

Die Probentüten müssen sofort in einer vorgekühlten, sauberen, mit drei Kühllakkus versehenen Box verstaut und spätestens bis zum nächsten Tag im Labor abgegeben werden. Die lückenlose Kühlkette bis zur Analyse muss zwingend eingehalten werden, damit keine weitere Mineralisierung stattfinden kann.

Die Übergabe oder der Versand der Proben ist im Vorfeld mit dem beauftragten Labor abzustimmen. Falls möglich, sollten die Proben direkt nach der Entnahme aus dem Weinberg dem Labor übergeben werden.

Im Labor sind die Proben zeitnah zu analysieren. Ist dies nicht möglich, sind die Proben bis zu ihrer Verarbeitung in Gefrierschränken bei -18°C zwischenzulagern.

Sollen die Proben an das Labor versendet werden (nur in Ausnahmefällen), muss die Verpackung sicher und stabil und dem gewählten Versandweg angepasst sein. Die wasserdichten Transportbehälter zur Weiterleitung an das Labor müssen vor Gebrauch immer sauber, trocken und bereits gekühlt sein.

In der Regel ist Ammonium für die Rebe wenig pflanzenphysiologisch verfügbar, da das Kation entweder an Tonminerale gebunden vorliegt oder der Nitrifikation zu Nitrat unterliegt. Daher wird für die Bestimmung des N_{\min} -Wertes nur der Nitratgehalt der Böden berücksichtigt. Es gibt allerdings Ausnahmen, die mit einer unmittelbar vorhergehenden Aufbringung organischer Düngemittel in Verbindung zu bringen sind. Grundsätzlich sollte eine Probenahme nicht nach einer organischen Düngung erfolgen.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend sind folgende wichtige, grundsätzliche Punkte unerlässlich für eine sachgerechte Probenahme [16]:

1. repräsentatives Muster der zu beprobenden Fläche
2. ausreichende Anzahl an Einstichen, ca. 15-20 Einstiche / ha
3. Kühlkette muss unbedingt eingehalten werden, auch beim Transport zum Labor und bei der Übergabe
4. exakte Bezeichnung der Proben zur späteren Zuordnung
5. unverzügliche Analyse
6. oder kühlen der Proben bei 5°C

Liegen die Analyseergebnisse vor, ist der nächste Schritt die Interpretation der Ergebnisse und die Ableitung von möglichen Handlungsfeldern. Das Dezernat Weinbau, Eltville leistet Hilfestellung bei der Durchführung und Auswertung von Bodenanalysen und empfiehlt im Bedarfsfall Düngemaßnahmen.

5. Wasserhaushalt der Reben

Wasser ist der Hauptbestandteil aller lebenden Zellen. Pflanzen bestehen zu 80-95 % aus Wasser. Es ist für alle lebensnotwendigen Prozesse in der Pflanze entscheidend, da es unter anderem Transportmittel, Bestandteil des Stoffwechsels und Stabilitätsfaktor ist. Die Entwicklung der Pflanze hängt davon ab, wie geregelt Wasseraufnahme, Wassertransport und Wasserabgabe erfolgen können [17].

Der Wasserbedarf während der Vegetationszeit einer Rebe variiert je nach klimatischen Standortfaktoren zwischen 400 bis 900 Liter pro Quadratmeter [18]. In Abhängigkeit des Ertragsniveaus und der Pflanzdichte können Reben allerdings auch mit deutlich weniger Wasser (ca. 200 L/m²) auskommen [19].

Für die benötigten jährlichen Niederschlagsmengen eines Rebflächenstandortes sind vor allem das Wasserspeichervermögen des Bodens und die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationszeit entscheidend. Im Idealfall sorgen ergiebige Niederschläge über die Wintermonate auf Böden mit guter Speicherkapazität für einen aufgefüllten Bodenwasservorrat und reduzieren dadurch das Wasserstressrisiko während Trockenphasenperioden in der Vegetationszeit. Je intensiver und tiefer der Boden durchwurzelt ist, desto besser kann die Rebe Bodenwasser aus tieferen Bodenschichten

fördern. Wieviel Wasser eine Rebe benötigt, hängt auch von der Laubwanddimension ab. Je größer die Gesamtblattfläche, desto mehr Wasser wird über die Stomata verdunstet. Zusätzlich unterscheiden sich Rebsorten hinsichtlich ihrer Transpirationsrate bei abnehmender Wasserversorgung. Die Verdunstung von Bodenwasser (Evaporation) ist ein weiterer wichtiger Faktor, der den Wasserhaushalt der Rebe beeinflusst. Zur Reduzierung der Evaporation sollten zu hohe Bodentemperaturen vermieden und ein geeignetes Bodenbearbeitungsmanagement umgesetzt werden (siehe Kapitel 6). [18,19] In der nachfolgenden Tabelle 5 sind klimatische Mindestansprüche der Rebe dargestellt.

Tabelle 5 Klimatische Mindestansprüche der Rebe (nach Redl et al. 1996)

Parameter	Minimum-/Optimum-Wert
Vegetationsdauer [Tage] (rebsortenabhängig)	180-240
Minimum-Temperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	8,5-9
Optimum-Temperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	11-16
Minimum-Temperatur (Juli-Durchschnitt) [°C]	18
Minimum-Temperatur Blütezeit [°C] (Tag & Nacht)	15
Minimum-Temperatursumme in Vegetationszeit [°C]	2900
Sonnenscheindauer/Jahr [h]	1300
Sonnenscheindauer/ Jahr [h]	1700-2000
Minimum-Niederschlag/Jahr [mm]	400

Grundsätzlich sind folgende Teilprozesse für den Wasserhaushalt einer Pflanze maßgebend:

- Niederschlag und Wasserspeicherung in der Wurzelzone
- Aufnahme von Wasser aus dem Boden (über die Wurzeln)
- Wassertransport (im Stamm)
- Wasserabgabe an die Atmosphäre (über die Blätter)

Neben diesen Komponenten ist festzuhalten, dass die Wahl der Unterlage die erste Entscheidungsgrundlage bezüglich des möglichen zukünftigen Wasserstress legt.

98 % des Wassers, welches die Rebe benötigt, wird über die Verdunstung der Blätter dem Rebstock entzogen. Die Rebe ist in der Lage ihre Wassernutzungseffizienz, insbesondere über die photosynthetische Aktivität oder die stomatale Regulierung der Spaltöffnungen, zu verbessern (Abbildung 4). Die Rebe reguliert bei Wasserstress zunächst das Wachstum der Sekundärtriebe und später bei erhöhter Stresssituation die Primärtriebe. Das Beerenwachstum sowie die Anzahl der Trauben werden entsprechend verringert.

Abscisinsäure ist ein Phytohormon, das als Gegenspieler zu anderen Phytohormonen, wie den Auxinen, Gibberellinen und Cytokininen wirkt. Abscisinsäure hemmt bei den verschiedenen Pflanzen das Wachstum und die Samenkeimung, löst die Samenruhe aus und fördert den Blatt- und Fruchtfall. In der Pflanze erfüllt Abscisinsäure die Funktion

eines Stresshormons, das in Reaktion auf verschiedene stresserzeugende Umweltfaktoren (Kälte, Trockenheit, Salzstress) gebildet wird.

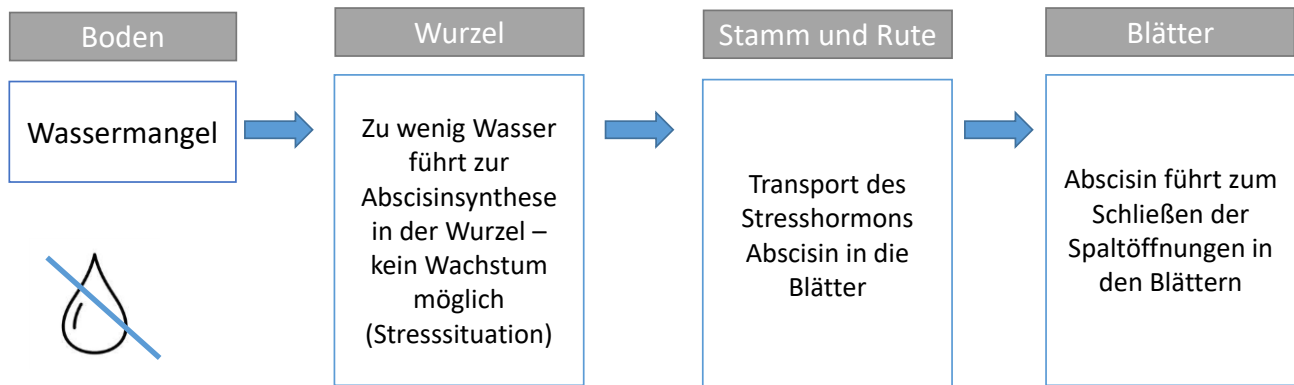


Abbildung 4 Schematische Darstellung einer ausgewählten Reaktion von Pflanzen auf Wassermangel im Boden (Quelle: Philips-Universität, Marburg; LVWO Weinsberg, <https://lwo.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Fachinformationen/Reaktion+der+Rebe+auf+ein+differenziertes+Wasserangebot> , Stand: 01.03.2024, verändert durch Veronica Ullrich, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024)

5.1 Nutzbare Feldkapazität:

Die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern und bei Bedarf an die Pflanzen abzugeben, stellt eine der wichtigsten Bodenfunktionen für den Weinbau dar. Dieses pflanzenverfügbare Wasser wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet. Über den webbasierten Weinbaustandort-Viewer-Hessen des Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) kann die nutzbare Feldkapazität für einzelne Weinbergflächen abgerufen werden.

5.2 Wasserpotential

Das Wasserpotential Ψ (psi) ist eine Messgröße der Wasserverfügbarkeit eines wasserhaltigen Systems oder ein Maß für das Bestreben eines Systems, Wasser abzugeben. Je höher das Wasserpotential des Bodens, desto größer ist die Tendenz Wasser an die Wurzeln abzugeben.

Mögliche Folgen von hohem Wasserstress und damit verbundenen steigenden Temperaturen:

- Eine Reduktion des vegetativen Wachstums
- Eine geringere Entwicklung der Sekundärtriebe (Ernte des nächsten Jahres; Primärtriebe Ernte des jetzigen Jahres)
- Ein starker und früher Wassermangel führt zu einer Heterogenität des Knospenbruchs und vermindert die Fruchtbarkeit latenter Knospen an den sich entwickelnden Primärtrieben
- Veränderung der Entwicklung der Blütenstände und der Blüten im nächsten Jahr
- Eine Abnahme des Beerenvolumens (ab dem Beginn der Fruchtentwicklung bis zur Veraison und Vollreife), die den Ertrag zwar verringert, aber die Qualität verbessern kann

- Ein erhöhtes Risiko des Wasserrückflusses von den Früchten zu den Blättern, insbesondere bei Wassermangel und hitzebedingten Einschränkungen, welches zum Schrumpfen der Beeren führt (das Schrumpfen findet im Allgemeinen nach der Zuckeranreicherung und am Ende der Vollreife statt).

6. Bodenpflege

Unter dem Begriff Bodenpflege werden alle Maßnahmen zusammengefasst, die die Stickstoffdynamik im Zeitraum ab dem Vegetationsbeginn bis zum nächsten Frühjahr beeinflussen. Das Primärziel einer gewässerschonenden Bodenpflege ist das Erreichen möglichst geringer Reststickstoffgehalte zu Vegetationsende. Eine nachhaltige Bodenpflege umfasst neben der mechanischen Bodenbearbeitung die Einbeziehung standortgerechter Begrünungsmaßnahmen. Ebenso werden auch die Möglichkeiten der Lagerung und Nutzung von Trester sowie Kompost berücksichtigt.

6.1 Begrünung

Die Begrünung ist ein wichtiges Bewirtschaftungsinstrument zur Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und übernimmt eine Vielzahl von Funktionen im Ökosystem Weinberg. Durch ein standortgerechtes Begrünungsmanagement (Wahl der Begrünungsform und Begrünungspflanzen) können die Bodeneigenschaften gezielt gesteuert werden. Auf diese Weise wird ein gewässerschonender Weinbau gewährleistet, Erträge nachhaltig gesichert und die Traubenqualität optimiert. Neben der reinen Befahrbarkeit der Weinbergsgassen und somit der Ermöglichung der Mechanisierung, erfüllt die Begrünung vor allem folgende wichtige Funktionen:

- Fixierung überschüssiger Nitratmengen / Auswaschungsschutz
- Erosionsschutz
- Steuerung der Nährstoff- sowie Wasserbilanz
- Optimierung der Bodenstruktur / Auflockerung durch Wurzelbildung
- Förderung des Gasaustausches durch Porenbildung der Wurzeln
- Humusbildung / Steigerung bzw. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
- Reduzierung der Verschlammung / Stabilisierung der Bodenaggregate durch Bildung von Ton-Humus-Komplexen
- Reduzierung der Evaporation & Erhalt des Edaphons (Bodenleben) durch Vermeidung zu hoher Bodentemperaturen
- Förderung der Biodiversität
- sowie Förderung des Edaphons / Steigerung des Bodenlebens.

Inwieweit eine Begrünung in der Praxis in jeder oder in jeder zweiten Gasse erfolgt und ob einjährige oder mehrjährige Begrünungspflanzen berücksichtigt werden sollen, ist von den Produktionszielen, den Standortbedingungen (Topographie, Hangneigung, Standortklima/ Niederschlagsmengen) sowie Bodenverhältnissen (Bodenart, pH-Wert, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit) abhängig. Die Begrünung sollte das Wachstum und die Entwicklung der Reben, durch zu starke Wasser- und Nährstoffkonkurrenz, nicht behindern. In Abhängigkeit vom Standortklima liegt der Wasserbedarf der Rebe zwischen 400-900 L/m² [18]. Der Mehrbedarf an Wasser durch Begrünung im Vergleich

zu offen bewirtschafteten Gassen, kann je nach Begrünungsmanagement bis zu 120 Litern Wasser pro Quadratmeter betragen [20]. Auf sehr trockenen Standorten bzw. in sehr trockenen Jahren kann daher eine zu intensive Begrünung zu Ertragseinbußen mit negativen Auswirkung auf die Traubenqualität führen. Zur Vermeidung von Nährstoff- bzw. Wasserkonkurrenz ist ein gutes Begrünungsmanagement unter Berücksichtigung des Bedarfsrhythmus der Rebe daher notwendig. Geeignete Maßnahmen umfassen beispielsweise das Mähen, Mulchen, Walzen, Unterfahren mit dem Flügelschargrubber oder das Umbrechen mit der Kreiselegge sowie Fräse. [20,21] Ein standortangepasstes Begrünungsmanagement kann jedoch auch die Nährstoff- und Wasserversorgung der Rebe durch Biomassebildung sowie Porenbildung der Begrünungswurzeln verbessern. Zusätzlich tragen die abgestorbenen Wurzeln aufgrund ihres weiten C/N-Verhältnisses zur Bildung von stabilen Humusformen bei [22] und dienen als Nahrungsquelle für das Edaphon (Bodenleben) [23]. Auf diese Weise wird das Wasserspeichervermögen des Bodens gezielt optimiert. In Tabelle 6 sind maßgebliche Anforderungen mit den damit zusammenhängenden, angestrebten Zielen an eine Begrünung dargestellt.

Tabelle 6 Anforderungen und damit verbundene angestrebte Ziele an Begrünungen bzw. Begrünungspflanzen im Weinbau (nach Bauer et al. 2004 [20])

Anforderung an Begrünungen	Angestrebte Ziele einer Begrünung
Ausbildung großer Wurzel- und Sprossmassen, hohe organische Trockenmasseleistung	Verbesserung der Bodeneigenschaften: Erhöhung des Humusgehaltes und des Porenvolumens, dadurch Verbesserung des Gasaustausches, der Infiltration von Regenwasser und Steigerung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens
Stickstoffzehrend, gutes Regenerationsvermögen nach Bodenpflegemaßnahmen	Nährstofffixierung, Verhinderung von Nitratauswaschungen
Stickstoffsammelnd/Bindung von Luftstickstoff (Leguminosen)	Erhalt bzw. Steigerung der Bodenfruchtbarkeit
Niedriger Nährstoff- und Wasserbedarf	Vermeidung von Konkurrenz/ abiotischem Stress
Förderung des Edaphons (Bodenlebens) v.a. Bodenfauna z.B. Regenwürmer	Verbesserung der Bodengare/Bodenstruktur durch Verwertung organischer Substanz und Porenbildung, Steigerung des Infiltrationsvermögens
Positive Effekte auf Mikroorganismen (Bakterien Pilze, v.a. Rhizobien/Knöllchenbakterien und Mykorrhizapilze)	Gewährleistung der Nährstoffverfügbarkeit (Humusbildung/Mineralisierung) und Verbesserung der Phosphorversorgung und Bodenwassernutzung (Mykorrhizierung der Rebwurzeln)
Hohe Pflanzenvielfalt mit hohem Blütenangebot und unterschiedlichen Blütezeiträumen	Steigerung der Biodiversität/Insektenförderung
Gute Oberflächenabdeckung	Reduzierung der Wind- und Wassererosion, Befahrbarkeit der Gassen
Kein zu hoher Wuchs	Verhinderung negativer Effekte auf das Mikroklima
Gute Beschattungseigenschaften	Reduzierung der Bodentemperatur und Evaporation
Ausscheidung von Wurzelexsudaten	Förderung des Edaphons (Bodenleben)
Nützlingsfördernd	Reduzierung des Schädlingsbefalls und somit reduzierter Pflanzenschutzmitteleinsatz

6.2 Begrünungsformen

Im Weinbau wird zwischen den zwei Hauptbegrünungsformen Teilzeit- und Dauerbegrünung (Kurzzeit- und Langzeitbegrünung) unterschieden [24]. Während der Boden bei der Teilzeitbegrünung im Vegetationsverlauf umgebrochen wird und eine erneute Einsaat oder natürliches Aufwachsen von Begrünungspflanzen erfolgt, findet in dauerbegrüntem Gassen in der Regel für 3-5 Jahre keine Bodenbearbeitung statt [25]. Die Teilzeitbegrünung untergliedert sich je nach Aussaatzeitpunkt während der Vegetation und verwendeter Begrünungspflanzen wiederum in die Winterbegrünung, die Frühjahrs-/ Sommerbegrünung, die Spätsommer-/Herbstbegrünung und die sogenannte Rotationsbegrünung. Eine frühere Aussaat hat auch eine höhere organische Trockenmasseleistung zur Folge. In der Praxis des deutschen Weinbaues ist die Rotationsbegrünung, bei der jährlich abwechselnd jede zweite Gasse über den Sommer offengehalten und in derselben über den Winter eine Begrünungseinsaat erfolgt, weitverbreitet. Allgemein betrachtet erfolgt die Teilzeitbegrünung auf allen Standorten wo eine Dauerbegrünung aufgrund der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz nicht möglich ist [24]. Wichtige Entscheidungskriterien bei der Auswahl der geeigneten Begrünungsform sowie der Verwendung der Begrünungspflanzen sind prinzipiell folgende Standortbedingungen:

- Boden: Entscheidend ist die Bodenart, die Tiefgründigkeit (leichte vs. schwere Böden), der Humusgehalt und die Bodenstruktur.
- Klimatische Standortfaktoren, insbesondere durchschnittliche Niederschlags- und Temperaturbedingungen, die Niederschlagsverteilung sowie die Dauer von Trockenperioden entscheiden maßgeblich das Begrünungsmanagement.
- Eine starke Hangneigung birgt das Risiko von Wind- und Wassererosion. Zusätzlich haben steile, sonnenexponierte Südhänge einen höheren Wasserverbrauch/Wasserverdunstungsrate aufgrund der intensiveren Sonneneinstrahlung.

Da aktive Begrünungen in südexponierten Steillagen eine starke Wasserkonkurrenz durch Verdunstung darstellen können, ist eine frühe Bearbeitung unter Berücksichtigung des Erosionsschutzes durch beispielsweise Mulchen notwendig [26]. Ist das Mulchen der Begrünung in Steillagen nicht möglich, sollten nicht-überwinternde (leicht abfrierende) Begrünungspflanzen verwendet werden [24]. Hat die Begrünungspflanze eine hohe oberirdische Wuchsleistung, muss bei drohender Frostgefahr die Begrünung kurzgehalten werden, um das Risiko von Frostschäden zu minimieren.

6.2.1 Herbst- Winterbegrünung

Um die Auswaschung von Nitrat und Erosion weitestgehend zu verhindern, sollte in den offen gehaltenen Rebzeilen und in Flächen, in denen keine Dauerbegrünung vorhanden ist, im Winterhalbjahr eine ganzflächige Begrünung durch Einsaat oder durch Aufkommenlassen der natürlichen Begrünung ab Mitte Juli bis Anfang September vorgenommen werden. Eine zu späte Einsaat in Kombination mit einer Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung während der Reifezeit der Trauben, kann zu einer unnötigen Stickstoffversorgung der Rebe führen, wodurch kompakte Trauben gefördert und die Fäulnisgefahr erhöht wird. Je später der Aussaatzeitpunkt (z.B. nach der

Weinlese), desto schnellwüchsigeren Eigenschaften sollten die Begrünungspflanzen haben. [27] Die Fixierung von Nitratstickstoff ist insbesondere in Junganlagen wichtig, da durch das vorangegangene Rigolen im Pflanzjahr und im darauffolgenden Jahr ein starker Nitratschub entsteht [20]. Der Anteil der Leguminosen sollte sowohl bei einer Dauer- als auch bei einer Winterbegrünung 50 % nicht übersteigen. Die Herbst-/Winterbegrünung steht zeitlich nicht in direkter Nährstoff- und Wasserkonkurrenz zur Rebe, allerdings kann es in trockenen Jahren zu Problemen beim Auflaufen der Begrünungsaussaat kommen [21,24]. Zur Nitratfixierung können leicht abfrierende Begrünungspflanzen eingesät werden, während frostfeste Pflanzen den Biomasseaufbau, das Bodenporenvolumen durch Wurzelwachstum und die Artenvielfalt begünstigen [28]. Zwischen Mitte September und Ende März darf keine Bodenbearbeitung vorgenommen werden, mit Ausnahme einer reinen Spurlockerung bei abgetrocknetem Boden in extremen Einzelfällen nach Vollerntereinsatz sowie zum Anhäufeln von Jungpflanzen zum Zwecke des Frostschutzes. Die Spurlockerung und damit die Beseitigung von Bodenverdichtung, sollte mit tiefreichenden Werkzeugen, z.B. mit einem Parapflug oder Tiefengrubber durchgeführt werden. Um eine unnötige Nährstofffreisetzung durch Mineralisation zu vermeiden, darf die Humusschicht dabei nicht vergraben werden. [25,29]

6.2.2 Frühjahrs-/Sommerbegrünung

Die Einsaat der Frühjahrs-/Sommerbegrünung erfolgt Ende März bis Anfang Juni. Insbesondere lichtkeimende bzw. lichtbedürftige Pflanzen werden durch zu geringe oder noch nicht vollständig entwickelte Laubwände und dem geringen Schattenwurf begünstigt [27]. Die Erfolgchancen für das Auflaufen der Begrünung sind durch die am Standort verfügbaren Bodenwasservorräte bzw. Niederschlagsmengen limitiert. Problematisch zu bewerten ist in diesem Kontext eine zunehmend beobachtete Frühjahrstrockenheit. Da der Bedarf an Wasser und Nährstoffen der Reben im Verlauf der Vegetationszeit zunimmt und ein Bedarfshöhepunkt zur Blüte erreicht wird, kann aufgrund der Bedarfsüberschneidung eine starke Konkurrenz durch die Begrünung entstehen. Zudem ist die Ausprägung der organischen Biomasse, insbesondere der Wurzelmasse in trockenen Jahren stark reduziert, wodurch der Beitrag zur Verbesserung der Bodenstruktur ebenfalls abgeschwächt wird. Um die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz zu verringern, empfiehlt es sich die Begrünung rechtzeitig umzubrechen. Das Umbrechen sollte jedoch erst nach der Samenbildung erfolgen, um auch einjährige Pflanzen dauerhaft im Weinberg zu etablieren [27]. Ein zu spätes Umbrechen im August kann zu einer starken Nitratmobilisierung führen, die durch sofortige Neueinsaat aufgefangen werden muss. [20,24]

6.3 Begrünungspflanzen und Gemenge

Begrünungspflanzen haben vielfältige, unterschiedliche Eigenschaften und sollten daher in Abhängigkeit der gewünschten Funktion sowie den Standortfaktoren ausgewählt werden. Wichtige Eigenschaften sind beispielsweise die Biomassebildung, die Wurzelbildung, das Durchwurzelungsvermögen, Blüheigenschaften, Frostfestigkeit, Jährigkeit, der Nährstoff- und Wasserbedarf sowie die Fähigkeit Luftstickstoff zu sammeln (Tabelle 7). Da in der Regel mehr als ein einzelnes Ziel verfolgt wird und Reinsaaten in der Praxis nicht immer den gewünschten Erfolg erzielen sowie aus ökologischer Sicht die Artenvielfalt gefördert werden sollte, empfiehlt es sich handelsfertige

Begrünungsmischungen zu beziehen oder standortspezifisch für den eigenen Betrieb zu mischen/mischen zu lassen. Regionalsaatmischungen enthalten an die Region angepasste Begrünungspflanzen, die gezielt die regionale Artenvielfalt und Insektenfauna fördern. Für eine längere und am Standort gut etablierte Begrünung sollte das Gemenge aus einsommerigen und über- sowie mehrjährigen Pflanzenarten zusammengesetzt sein. Schnellwachsende Arten sorgen zusätzlich für eine gute Schattengare und fördern somit auch langsamwachsende Begrünungspflanzen [27]. Zusätzlich fördern Begrünungen mit hohem Kräuteranteil die Mykorrhizierung der Rebwurzeln und optimieren somit die Phosphor- und Wasserversorgung [30]. Je nach Begrünungsform unterscheidet man zwischen mehrjährigem Gemenge für eine Dauerbegrünung, Meliorationsgemenge (vorwiegend einjährig) für die Teilzeitbegrünung über Winter oder Sommer sowie Umbaugemenge (Aussaart im Frühjahr und Umbruch im folgenden Frühjahr) für die Kombination aus Teilzeit- und Dauerbegrünung. [25] Im Handel erhältliche mehrjährige Begrünungsmischungen für die Dauerbegrünung sind beispielsweise die sogenannte

- Regio-Saatgut Rheingauer Flower Line (regionales Saatgut)
- Wolff-Mischung für Standorte mit > 800 mm/Jahr Niederschläge mit Luzerne
- Wolff-Mischung für Standorte mit < 500 mm/Jahr Niederschläge ohne Luzerne
- Mischung nach Rummel für Standorte mit > 600 mm/Jahr Niederschläge
- Dr.-Hofmann-Mischung für trockenen Standorte
- Rebenfit-Mischung für sowohl trockene als auch feuchte Standorte
- Landsberger Gemenge für leichte bis schwere Böden

Tabelle 7 Unterschiedliche Begrünungsgemenge mit Eignung zur Begrünungsform und Standort (nach Bauer et al. 2004 [20]; Kauer & Fader, 2015 [25]; Hillebrand et al. 1995 [24]; nach HGU-Projekte AmBiTo & BioQuis)

Begrünungsgemenge	Zusammensetzung	Geeignete Begrünungsform	Bodeneignung	Saatzeit
Regio-Saatgut Rheingau - Weinbergsgasse	Kräuter (30 %), Gräser (70 %)	Mehrjährige Begrünung	Angepasst an Rheingauer Bodenverhältnisse	Februar - Mai, August - November
Regio-Saatgut Rheingau - Wegesrand	Kräuter (65 %), Gräser (35 %)	Mehrjährige Begrünung	Säume und Wegränder im Rheingau	Februar - Mai, August - November
Regio-Saatgut Rheingau - Grünflächen	Kräuter (30 %), Gräser (70 %)	Mehrjährige Begrünung	Terrassen, Böschungen und Brachen im Rheingau	Februar - Mai, August - November
Wolff-Mischung mit Luzerne	Winterwicke (20 %), Esparssette (15 %), Bienenweidenmischung (10 %), Würzfuttermischung (10 %), Kleearten (35 %), Luzerne (7,5 %), Phacelia (2,5 %)	Mehrjährige Begrünung, Dauerbegrünung	Normale Standorte, leichte bis mittelschwere Böden	April - Mitte August
Wolff-Mischung ohne Luzerne	Winterwicke (20 %), Esparssette (15 %), Bienenweidenmischung (10 %), Würzfuttermischung (10 %), Kleearten (35 %), Phacelia (2,5 %)	Mehrjährige Begrünung, Dauerbegrünung	Trockene Standorte	April - Mitte August

Begrünungsgemeuge	Zusammensetzung	Geeignete Begrünungsform	Bodeneignung	Saatzeit
Mischung nach Rummel	Kleearten (59 %), Luzerne (28 %), Bienenweidemischung (8 %), Würzfuttermischung (5 %)	Mehrjährige Begrünung, Dauerbegrünung	Normale Standorte, leichte bis mittelschwere Böden	April - Mitte August
Dr. Hofmann-Mischung	Artenreiche Mischung	mehrfährig	Trockene Standorte	Frühjahr oder Spätsommer/Herbst
Rebenfit-Mischung	Ohne Gräser, viel Leguminosen (Inkarnatklée, Weiß- & Gelbklee)	überjährig	Trockene und feuchte Standorte	Frühjahr oder Spätsommer
Landsberger Gemenge	Winterwicke (50 %), Welsches Weidelgras (25 %), Inkarnatklée (25%)	Winter- und Rotationsbegrünung; zweijährige Begrünung in Jungfeldern und Ertragsanlagen	Leichte bis schwere Böden	August
Meliorations-gemenge	Platterbse (20 %), Sommerwicke (30 %), Buchweizen (24 %), Phacelia (4 %), Alexandrinerklée (20 %), Senf (2 %)	Sommerbegrünung in Jungfeldern und Ertragsanlagen	Normale Standorte, keine Trockenstandorte	Frühjahr
Nitratfanggemenge	Einjähriges Weidelgras (70 %), Ölrettich (12,5 %), Winterraps (12,5 %), Futtermalven (Kulturmalven) (5 %)	Winterbegrünung in Jungfeldern und Ertragsanlagen	Mittelschwere bis schwere Böden	August
Wicke-Roggen-Gemenge	Roggen (57 %), Winterwicke (43 %)	Winterbegrünung, Einleitung für Dauerbegrünung	Alle Böden	August/ Spätsommer/Herbst
Magerrasen für Steillagen (nach Dr. B. Husse)	Schafschwingel (25 %), Horstrotschwingel (20 %), Wiesenrispe (40 %), Rotes Straußgras (15 %)	Dauerbegrünung	Leichte Böden in Steillage	Frühjahr oder Spätsommer
Gräser-Gemenge	Deutsches Weidelgras (20 %), Wiesenrispe 80 %)	Dauerbegrünung	Tiefgründige Böden	Frühjahr oder Spätsommer
Steinbodeneinsaat (nach Dr. B. Husse)	Schafschwingel (25 %), Hörtlicher Schwingel (20 %), Wiesenrispe (40 %), Rotes Straußgras (15 %)	Dauerbegrünung	Skelettreiche Böden in Steillage	Frühjahr oder Spätsommer
Klee-Gras-Gemenge I	Bokharaklee (6,5 %), Deutsches Weidelgras (3,5 %), Gelbklee (6,5 %), Hornschotenklée (6,5 %), Horstrotschwingel (10 %), Inkarnatklée (6,5 %), Weißklée (27 %), Wiesenrispe (33,5 %)	Dauerbegrünung	leichtere Böden	Frühjahr oder Spätsommer
Klee-Gras-Gemenge II	Bokharaklee (3,5 %), Deutsches Weidelgras (10 %), Gelbklee (3,5 %), Luzerne (10 %), Rotklée (6,5 %), Weißklée (26,5 %), Wiesenrisp (40 %)	Dauerbegrünung	Mittelschwer und schwere Böden	Frühjahr oder Spätsommer
Gemenge für Jungfelder	Buchweizen (50 %), Gelbsenf (20 %), Phacelia (10 %) und Weißklée (20 %)	Sommer	Leichte bis mittlere Böden	Sommer
Gemenge für Brache (einjährig)	Bokharaklee (gelb- oder weißblühender Steinklee) (43 %), Futtermalve (8,5 %), Ölrettich (28,5 %), Phacelia (20 %)	Teilzeitbegrünung	Alle Böden	Frühjahr oder Spätsommer

Begrünungsgemeinde	Zusammensetzung	Geeignete Begrünungsform	Bodeneignung	Saatzeit
Gemeinde für Brache (mehrjährig)	Futtermalve (7 %), Luzerne (50 %), Ölrettich (16,5 %), Rotklee (16,5 %), Sonnenblumen (10 %)	Dauerbegrünung	Alle Böden	Frühjahr oder Spätsommer

Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt empfohlene Anteile von wichtigen Pflanzenfamilien/Begrünungspflanzen in Begrünungsmischungen in Abhängigkeit der Begrünungsform. In Tabelle 9 sind die vielfältigen Eigenschaften wichtiger Begrünungspflanzen dargestellt.

Tabelle 8 Prozentualer Anteil von Begrünungspflanzen in Begrünungsmischungen in Abhängigkeit der Begrünungsform (nach Kauer & Fader 2015 [25])

Begrünungspflanzen	Anteil in Dauerbegrünung [%]	Anteil in Winterbegrünung
Getreide	0-5	40-70
Gräser	Nach Bedarf	Nach Bedarf
Kräuterpflanzen	5-10	0-5
Kreuzblütler	5-10	10-20
Leguminosen	40-75	20-40
Sonstige	10-15	10-15

Tabelle 9 Funktion von Begrünungspflanzen und Eignung für mögliche Begrünungsformen im Weinbau (nach Hillebrand et al. 1995 [24]; Bauer et al. 2004 [20]; Ziegler 2017 [31], Ladach 2018 [27] & 2022 [28]; Müller et al. 2008 [3])

Pflanzenfamilie/ Pflanzenart	Eigenschaften	Funktion	Eignung (Begrünungs- form)	Aussaatzeit- punkt & - menge
Kreuzblütler	Schnelle Entwicklung, tiefe Durchwurzelung , hoher Wasser- und Stickstoffbedarf, stickstoffzehrend, bienenfreundlich, geringe Fahrfestigkeit, ungünstig für Mykorrhizierung der Rebwurzeln	Biomassebildung , Nitratkonservierung/Verhinderung der Nitratauswaschung, , Reduzierung von Bodenverdichtung , Bodenauflockerung, Blütenangebot für Bienen		
Winterfest				
Winterraps	Schnelle, hohe Biomassebildung, intensives Wurzelwerk	Gründüngung, Verhinderung der Nitratauswaschung	Teilzeit	Juli-August 7-13 kg/ha
Winterrüben	Starke Pfahlwurzel, tiefwurzelnd , überwinternd, Blüte im Frühjahr, N-zehrend	Biomassebildner, Gründüngung, Verhinderung der Nitratauswaschung, Bodenauflockerung	Teilzeit	Frühjahr oder August 7-13 kg/ha
Nicht frostfest				
Leindotter	Schnellkeimend, trockenunempfindlich	Schattengarebildner	Dauerhaft	März-Mai 5-7 kg/ha

Pflanzenfamilie/ Pflanzenart	Eigenschaften	Funktion	Eignung (Begrünungs- form)	Aussaatzeit- punkt & - menge
Ölrettich	raschwüchsig, tiefwurzeln, hohe Massebildung, nicht überwinternd, chlorosemindernd, Trockenkeimer, N-zehrend	Biomassebildner, Reduzierung von Bodenverdichtung, Bodenauflockerung , Gründüngung, Verhinderung der Nitratauswaschung	Teilzeit	Juli-September 12-16 kg/ha
Senf / Gelbsenf	Einsömmerig, raschwüchsig, hohe oberirdische Biomasse, tiefwurzeln, frostempfindlich, geringes Regenerationsvermögen, Trockenkeimer, N-zehrend	Gründüngung, Biomassebildner, Verhinderung der Nitratauswaschung, Bodenauflockerung	Dauerhaft	März-Mai Juli-September 15-20 kg/ha
Sommerraps	Meist flachwurzeln, abfrierend	Gründüngung, Verhinderung der Nitratauswaschung	Teilzeit	Frühjahr oder Mitte August 7-13 kg/ha
Süßgräser	Meist frostfest, flachwurzeln, gute Fahrfestigkeit, Blüten nicht bienenanziehend	Verbesserung der Befahrbarkeit der Gassen, Nahrungsquelle für Bodenpilze (weiteres C/N-Verhältnis: 12-18:1)		
Einjährig				
Einjähriges Weidelgras	Schnellwüchsig, hohe Biomassebildung, intensives Wurzelwerk, überwinternd, stark wasserzehrend	Biomassebildung & Verbesserung der Befahrbarkeit	Teilzeit Winter- & Sommer	Frühjahr oder Juli/August 20-30 kg/ha
Welsches Weidelgras	Obergras, Schnellwüchsig, hohe Biomassebildung, intensives Wurzelwerk, überwinternd, stark wasserzehrend, überjährig	Biomassebildung & Verbesserung der Befahrbarkeit	Winter- & Sommer, Dauerhaft	Frühjahr oder Juli/August 20-30 kg/ha
Mehrjährig				
Deutsches Weidelgras	Untergras, liebt nährstoffreiche Böden, ausdauernd, trittfest, mitteltiefwurzeln,	Bodenbedeckung	Dauerhaft	März-Mai oder Juli-September 30-40 kg/ha
Rotes Straußgras	Früh austreibend, spät blühend	Bodenbedeckung	Dauerhaft	April-Mai, August-September
Rotschwingel	Untergras, flachwurzeln, geringer Nährstoff- und Feuchtigkeitsbedarf	Befahrbarkeit, Bodenbedeckung	Dauerhaft	März-Mai oder Juli-August 15-20 kg/ha
Schafschwingel	Dürre- und winterfest, niedrig wachsend, konkurrenzschwach	Befahrbarkeit, Bodenbedeckung	Dauerhaft	April-Mai, August-September
Wiesenrispe	Untergras, flach wurzeln, trittfest, verträgt Trockenheit	Befahrbarkeit, Bodenbedeckung	Dauerhaft	März-Mai oder Juli-August 30 kg/ha
Getreidearten:	Gutes Auflaufvermögen, gute Massebildung, intensives Wurzelwerk, hoher Wasserbedarf	Biomassebildung, Stützfrucht für Leguminosen , Gründüngung, Verhinderung der Nitratauswaschung	Teilzeit	August-September, August-September, Juli-August

Pflanzenfamilie/ Pflanzenart	Eigenschaften	Funktion	Eignung (Begrünungs- form)	Aussaatzeit- punkt & - menge
Hafer/Rauhafer	Leicht abfrierend, feinwurzelnd, hoher Wasserbedarf	Garebildner	Teilzeit	Spätsommer oder Herbst
Weizen	hoher Wasserverbrauch	Erosionsschutz	Winter	August- September 65-98 kg/ha
Wintergerste	feinwurzelnd	Garebildner, Erosionsschutz, Bodenbedeckung	Winter	August- September 65-98 kg/ha
Winterroggen	Feinwurzelnd, hoher Wasserverbrauch im Frühjahr, für alle Böden	Garebildner, Erosionsschutz	Teilzeit Winter	August- September 65-98 kg/ha
Leguminosen	Symbiose mit Rhizobien (Knöllchenbakterien), vorwiegend Pfahlwurzler, geringe Fahrfestigkeit, bienenanziehend	Luftstickstoffbindung/N-Sammlung : 50-100 kg Reinstickstoff je ha, Förderung der Artenvielfalt/ Nützlinge, intensive Wurzelbildung , Nahrungsquelle für Bodenbakterien (enges C/N-Verhältnis: 6-8:1)		
Winterfest				
Pannonische Wicke	Stark verzweigtes Wurzelwerk, hoher Feinwurzelanteil, schnelle & dichte Bodenbedeckung	N-Sammlung, Bodenauflockerung, Erosionsvermeidung	Teilzeit über Sommer und/oder Winter	April- September 40-60 kg/ha
Wintererbse	Tiefwurzelnd, frostfest bis -12°C	N-Sammlung	Teilzeit über Winter	August- September 150 kg/ha
Winterwicke	Überjährig, tiefwurzelnd, hohe Biomassebildung	N-Sammlung, Bodenauflockerung,	Teilzeit über Winter	August- September 50-80 kg/ha
Nicht frostfest				
Ackerbohne	Kräftige Pfahlwurzel, einjährig	N-Sammlung	Teilzeit Sommer	Frühjahr oder Juli/August 100-130 kg/ha
Futtererbse	Einsömmerig, schnellwachsend, niedrigwachsend, kurze Pfahlwurzel erhöhter Wasserbedarf;	N-Sammlung	Teilzeit Sommer, Dauerhaft	März-Juni 120-160 kg/ha
Platterbse	Frostempfindlich, nicht winterfest, einjährig, tiefwurzelnd, starke Pfahlwurzel, niedrig wachsend	Reduzierung von Bodenverdichtung, Bodenauflockerung, N-Sammlung	Teilzeit	Zeitiges Frühjahr oder Juli- August 91-104 kg/ha
Lupinen/Bitterlupinen (Blau-, Gelb-, Weißlupine)	Tiefwurzelnd, starke Pfahlwurzel, einsömmerig, abfrierend, leichte Böden	Reduzierung von Bodenverdichtung, Bodenauflockerung, N-Sammlung, Phosphat-Mobilisator	Teilzeit Sommer-Herbst, Dauerhaft	Frühjahr oder Juli/August 100-140 kg/ha
Sommerwicke	tiefwurzelnd	N-Sammlung, Bodenauflockerung	Teilzeit Sommer-oder Herbst	Zeitiges Frühjahr oder Juli/August 52-98 kg/ha

Pflanzenfamilie/ Pflanzenart	Eigenschaften	Funktion	Eignung (Begrünungs- form)	Aussaatzeit- punkt & - menge
Kleearten:	feinwurzelnd	Garebildner, Guter Erosionsschutz, Förderung der Artenvielfalt/Nützlingsförderung, N-Sammlung	Dauerhaft	
Einjährige Kleearten:				
Alexandrinerklee	Raschwüchsig, einsömmerig, abfrierend, intensives Wurzelwerk, mittlere Böden	N-Sammlung	Teilzeit- und Dauerhaft	Frühjahr oder Juli/August 20-26 kg/ha
Erdklee	Wenig frostempfindlich, niedrig wachsend, feinwurzelnd	N-Sammlung	Teilzeit- und Dauerhaft	Frühjahr oder Juli/August 16-23 kg/ha
Persischer Klee	Nicht überwinternd	N-Sammlung	Teilzeit	Frühjahr-Sommer 10-13 kg/ha
Schwedenklee	Flachwurzelnd, winterfest	N-Sammlung	Winter- & Sommer	Frühjahr oder Juli/August 6-9 kg/ha
Zweijährige Kleearten:				
Bokharaklee (Steinklee)	Tiefwurzelnd, überjährig, trockenheitsresistent, anspruchslos	Gute Meliorationspflanze	Dauerhaft	März-Mai, Juli-August 25 kg/ha
Gelbklee	Tiefgehende Pfahlwurzel, trockenresistent	N-Sammlung, Bodenauflockerung	Dauerhaft	April-Mai, August-September 15-30 kg/ha
Inkarnatklee	Raschwüchsig, überjährig, mitteltiefwurzelnd, kräftige Pfahlwurzel, mittlere bis leichte Böden	N-Sammlung, Bodenauflockerung	Teilzeit- und Dauerhaft	März-Mai oder Juli-September 15-23 kg/ha
Mehrfährige Kleearten:				
Espарsette	Trockenheitsresistent, kalktolerant	Geeignet für Weinberge mit Kalkchlorose	Mehrfährig, dauerhaft	April-Mai, August-September 80-160 kg/ha
Hornklee	Niedrig wachsend, ausgeprägte Pfahlwurzel, geringer Nährstoffbedarf, trocken tolerant	N-Sammlung Bodenauflockerung	Dauerhaft	April-Mai, August-September 15-30 kg/ha
Luzerne	Tiefwurzelnd, Hoher Wasserbedarf	Hummelweide	Dauerhaft	März-Mai oder Juli-September 25 kg/ha
Rot-/Wiesenklee	tiefwurzelnd	Förderung der Biodiversität & Bodengare	Dauerhaft	Frühjahr 11-15 kg/ha
Weißklee	Alle Böden, trittverträglich, bodendeckend	Förderung der Biodiversität & Bodengare	Dauerhaft	März-Mai oder Juli-September 10-15 kg/ha

Pflanzenfamilie/ Pflanzenart	Eigenschaften	Funktion	Eignung (Begrünungs- form)	Aussaatzeit- punkt & - menge
Sonstige Begrünungspflanzen		Biomassebildung, Steigerung der Biodiversität, Arten-und Blütenvielfalt		
Gräser und Kräuter	Mykorrhizierung der Rebwurzeln	Steigerung der Wasserverfügbarkeit		
Blühende Kräuter: Echte Kamille, kleiner Wiesenknopf, Kümmel, Schafgabe, Spitzwegerich, Wegwarte, Wilde Möhre	Förderung der Biodiversität, Gute Bodenbeschattung, einjährig, zweijährig und mehrjährig	Evaporationsschutz, Befahrbarkeit der Gassen, Steigerung der Arten-und Blütenvielfalt	Dauerhaft	April-Mai, August- September
Kleiner Wiesenknopf	Mehrjährig, trockene Standorte	Bienenweide	Dauerhaft	März-Mai oder Juli- August 20 kg/ha
Wilde Möhre	Überjährig, überwintert, anspruchlos	Steigerung der Biodiversität, Nahrungsgrundlage für vielfältige Insekten	Dauerhaft	Juli- September 10 kg/ha
Buchweizen	Einsömmerig, Schnellwachsend, abfrierend, anspruchslos	Schattengarebildner, Bienenweide	Sommer oder Herbst, Dauerhaft	März-Mai oder Juli- August 26-52 kg/ha
Phacelia	Stark bienenanziehend, schnellkeimend, einsömmerig, raschwüchsig, feinwurzelnd, tiefwurzelnd, abfrierend, trockenheitsresistent, trittempfindlich	Schattengarebildner, Bienenförderung	Sommer oder Herbst, Dauerhaft	März-Mai oder Juli- September 7-12 kg/ha
Futtermalve	Überjährig, starke Pfahlwurzel, tiefwurzelnd, erhöhter Nährstoff- und Wasserbedarf	Bodenauflockerung, Bodenstrukturverbesserung	Winter- & Sommer, Dauerhaft	März-Mai oder Juli- August 7-10 kg/ha
Sonnenblume	Tiefwurzelnd, hoher Wasserverbrauch	Bodenauflockerung, Aufschluss von Kalium	Teilzeit Sommer	k.A.
Ramtillkraut (Korbblütler)	Leicht abfrierend, schnellkeimend, feinwurzelnd, intensive Durchwurzelung, geringer Wasser- und Nährstoffbedarf, unkrautunterdrückend	Biomassebildner, Garebildner, Gründüngung	Sommer	Bis Anfang/Mitte August, 10 kg/ha

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt mögliche Begrünungsmanagement-Strategien in Abhängigkeit wichtiger Standortfaktoren und Ziele.

Tabelle 10 Standortangepasste Begrünungsstrategien mit unterschiedlichen Zielen und Eignung von Begrünungspflanzen (nach Kauer & Fader 2015 [25]; Müller 2008 [3]; Bauer et al. 2004 [20])

Standortfaktoren	Ziel	Geeignete Begrünungsform	Geeignete Begrünungspflanzen	Gemeenge
Schwere, tiefgründige Böden (tonig, lehmige Böden), nährstoffreich, erhöhter Humusanteil, hohes Wasserspeichervermögen, Niederschlagsmengen >600 mm	Tiefe Bodendurchwurzelung, Tiefenauflockerung, Stickstoff- und Nitratfixierung/Reduzierung, Erosionsschutz, (Dauerhumusaufbau)	Ganzflächige Dauerbegrünung	Kreuzblütler, keine Leguminosen! Nitratfangpflanzen: Ölrettich, Senf/Gelbsenf Roggen Futtermalven, Gräser, Weidelgras	Grasmischungen, vielartige tiefwurzelnde Mischungen, mehrjährige, winterfeste Mischungen
Mittelschwere Böden (sandige Lehme, lehmige Sande), fruchtbar, normale Humusgehalte (2-4%), Niederschlagsmengen 400-600 mm	Stickstoff- und Nitratfixierung über Winter, Gründüngung, Erhalt der Fruchtbarkeit, Humuserhalt	Dauerbegrünung jeder 2. Gasse, offenhalten einer Gasse im Sommer, Winterbegrünung	Gräser, Weidelgras, Ölrettich, Winterraps Futtermalven, Kräuterpflanzen, Inkarnatklie, Gelbsenf, Roggen	Meliorationsgemeenge, Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung Bodenfruchtbarkeit & -struktur
Leichte, flachgründige Böden (Sandböden, skelettreiche Böden), nährstoffarm, niedriger Humusanteil (< 1,5%), Niederschlagsmengen 400 mm	N-Zuführung, Verhinderung Erosion über Wintermonate, Gründüngung, Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Humusaufbau, Verbesserung der Bodenstruktur	Ganzflächige Winterbegrünung, ganzflächige Bodenbearbeitung im Sommer	Leguminosen Inkarnatklie, Bokharaklee (Steinklee), Lupine, Winterwicke, Welsches Weidelgras	primär abfrierende Gemeenge (Reduzierung der Wasserkonkurrenz im Frühjahr)

6.4 Begrünungsmanagement

Auf flachgründigen, leichten Standorten mit geringem Wasserspeichervermögen sollten Begrünungspflanzen mit leicht abfrierenden Eigenschaften für eine Herbst-/ Winterbegrünung ab Beginn des Traubenschlusses in den offenen Gassen eingesät werden, um die Wasserkonkurrenz im Frühjahr zu reduzieren. Bei sehr starker Konkurrenz kann eine Begrünung über Sommer auch als streifenförmige Teilbreite in den Gassen erfolgen. Zum Beispiel kann bei einer Zeilenbreite von zwei Metern ein 1-Meter-breiter Begrünungsstreifen in der Gassenmitte angelegt werden. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass bei einer zu späten Einsaat nach dem Weichwerden der Beeren Stickstoffschübe zu erhöhter Traubenfäulnisgefahr führen können. Auf tiefgründigen Böden mit gutem Wasserspeichervermögen dagegen sollten überwiegend frostfeste und tiefwurzelnde Begrünungspflanzen, die das Infiltrationsvermögen mit Regenwasser verbessern, ausgewählt werden. [28] Auf niederschlagsreichen (sehr nassen) Standorten mit schweren Böden sind Begrünungspflanzen mit hohem Wasserverbrauch und tiefwurzelnden Eigenschaften geeigneter, um Staunässe und Verdichtungen vorzubeugen. So wird die Nährstoffversorgung der Reben verbessert und die Chloroseanfälligkeit verringert [3].

6.4.1 Fahrgassenbegrünung

Im Regelfall ist in der Ertragsanlage mindestens jede zweite Gasse ganzjährig zu begrünen. Nur in Kleinstterrassen mit reiner Handarbeit sind hier Ausnahmen möglich. Als Begrünungspflanzen eignen sich Grasmischungen oder Gras-/Klee-Mischungen, falls ein erhöhter Stickstoffbedarf besteht.

6.4.2 Brachebegrünung

Eine Brachebegrünung dient grundsätzlich der Beseitigung von Bodenverdichtung (Sackungs- und Einlagerungsverdichtung, Fahrspurverdichtung) und dem Wiederherstellen der Bodenfruchtbarkeit. Bei der Wahl geeigneter Begrünungspflanzen bzw. Mischungen sollten daher tiefwurzelnde Pflanzen wie Steinklee, Malve und Rotklee verwendet werden. Schnellwachsende Pflanzenarten wie Buchweizen, Phacelia und Senf sorgen zudem für eine schnelle Oberflächenabdeckung und begrenzen die Nährstoffauswaschung bei gleichzeitiger Biomassebildung. Für eine gemäßigte Stickstoffnachlieferung durch Bindung des Luftstickstoffes sollte der Anteil an Leguminosen (Kleearten, Wicken, Erbsen) auf ein Drittel begrenzt sein. Ein tiefergehender Umbruch nach der Brache ist aufgrund zu starker Nährstofffreisetzung und Auswaschungsgefahr zu unterlassen. Zur Schonung der sich ansiedelnden Nützlingspopulation sollte auf das Mulchen mit Kreisel- oder Schlegelmulcher verzichtet und stattdessen auf das Mähen der Begrünung gesetzt werden. [22]

6.4.3 Jungfeldbegrünung

In Jungfeldern sollte die Einsaat von Begrünungspflanzen auf 60-65 % der Gassenbreite limitiert werden, um die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz im Unterstockbereich gering zu halten. Auf leichten bis mittelschweren Böden eignet sich eine Mischung aus Buchweizen (50 %), Gelbsenf (20 %), Phacelia (10 %) und Weißklee (20 %) als Sommereinsaat in jeder 2. Gasse. Vorteile des Gemenges sind eine geringe Nährstoff- und Wasserkonkurrenz und N-sammelnde Eigenschaften durch den Weißklee. Nachteilig wirkt sich die geringere Fahrfestigkeit aus. Befinden sich Jungfelder in Wasserschutzgebieten, ist in den ersten beiden Wintern auf Leguminosen völlig zu verzichten (www.vitipendium.de, Bodenpflegemaßnahmen in Wasserschutzgebieten, Stand: 01.08.2023).

6.4.4 Praxisempfehlungen für das Begrünungsmanagement

Begrünungseinsaaten sollten prinzipiell mit vielartigen Begrünungspflanzen erfolgen und maximal 50 % Leguminosenanteil in der Mischung haben. Dadurch wird die Biodiversität gesteigert und die übermäßige Stickstoffsammlung am Standort begrenzt. In Wasserschutzgebieten ist die Reinsaat von Leguminosen zu unterlassen. Der Leguminosenanteil sollte unter 30 % liegen, um die Nitratbelastung der Gewässer zu reduzieren [27]. Die Verwendung von regionalem Saatgut ist durch eine gute klimatische Standortanpassung zu bevorzugen. Bei zu hohem Aufwuchs ist die Begrünung vorzugsweise durch Mähen oder Walzen zu pflegen. Gegen Winterende (Januar oder Februar) kann die Begrünung im Hinblick auf das Abfrieren und zur Optimierung der anschließenden Einarbeitung im März des Umbruchjahres unterstützend gewalzt werden.

6.5 Bodenbearbeitung

Aus Sicht des Boden- bzw. Gewässerschutzes sollte eine Bodenbearbeitung (Offenhalten des Bodens) prinzipiell nur bei starker Nährstoff- bzw. Wasserkonkurrenz durchgeführt werden. Zur Eindämmung von Wasserverlusten durch Verdunstung (Bodenevaporation) sollten daher die Bodenkapillare auf trockenen und leichten Böden durch eine

entsprechende flache Bodenlockerung gebrochen werden. Eine zu häufige Bodenbearbeitung erhöht Stickstofffreisetzung durch Mineralisation und hat eine Abnahme des Humusgehaltes zur Folge, was langfristig negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur hat. Eine Bearbeitung von zu feuchtem Boden ist wegen des erhöhten Bodenverdichtungsrisiko zu unterlassen. Da Bodenbearbeitung immer auch Nährstoffmobilisierung bedeutet, müssen die Zeitpunkte der Bearbeitung dem Nährstoffbedarf der Rebe angepasst sein. Zur Vermeidung von Nitratauswaschung und einer übermäßigen Stickstoffübersorgung der Rebe, wodurch der Schadpilzbefall mit z.B. *Botrytis cinerea* erhöht wird, ist daher die Bodenbearbeitung ab spätestens Mitte August zu beenden. Ebenfalls sollte bei mechanischer Traubenvollernterlese zur Gewährleistung der Befahrbarkeit der Gassen ab Ende Juli keine weitere Bearbeitung der Gassenmitte erfolgen. [20]

6.5.1 Bodenbearbeitung in begrünten Gassen

Die Bearbeitung begrünter Gassen ermöglicht eine Bodenauflockerung und Mobilisierung von Nährstoffen durch Mineralisation der aufgebauten organischen Masse umgebrochener Begrünpflanzen. Zudem kann durch eine Begrünpflanzstörung das Mikroklima bei zu hohem Aufwuchs verbessert und eine zu starke Nährstoff- sowie Wasserkonkurrenz unterbunden werden. Die Intensität der Bearbeitung und die Witterungsverhältnisse (Temperatur und ausreichend Bodenfeuchtigkeit) bestimmen hierbei den Grad der Mineralisation und somit die Menge an freigesetzten Nährstoffen. Intensive Bodenbearbeitung sollte daher nur bei entsprechendem Bedarf erfolgen. Eine Begrünpflanzstörung im Frühjahr kann eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung gewährleisten und ist dem Rhythmus der Rebe gut angepasst. Flaches unterfahren (in 15-20 cm Tiefe) mit breiten Flügelscharen (30-60 cm) trennt Wurzeln oberflächennah ab und sorgen für eine gezielte Bewuchsunterbrechung. Alternativ können Fräsen oder Kreiseleggen eingesetzt werden. Je nach gewünschter Intensität der Bewuchsstörung muss die Fahrgeschwindigkeit und Drehzahl angepasst werden. Im Vergleich mit der Bearbeitung in offenen Zeilen sollte für eine moderate Störung die Fahrgeschwindigkeit erhöht und die Drehzahl verringert werden. Durch das Unterfahren der Begrünpflanzung mit flach angewinkelten Flügel- oder Schmalscharen kann eine Lockerung des begrünten Oberbodens ohne Umbrechen erfolgen. So wird eine zu intensive Nährstofffreisetzung vermieden. Ein vorweglaufendes Scheibensech und eine nachlaufende Walze können zusätzlich zur Ebnung eingesetzt werden. Auf diese Weise wird auch das Sickern von Regenwasser in den Unterboden durch die entstehenden Erdrillen ermöglicht. Sogenannte Mulchbodenlockerer sind zusätzlich mit einem Kastendüngerstreuer ausgestattet und ermöglichen dadurch bei Bedarf auch eine notwendige Düngung. Die Arbeiten sollten nur bei ausreichender Bodenfeuchte durchgeführt werden, um das Einziehen der Zinken zu gewährleisten. Auf stark steinigen Böden ist das Unterfahren mit Scharen nicht geeignet, da ansonsten größere Steine an die Oberfläche befördert werden, die dann eine nachfolgende Begrünpflanzpflege erschweren. Ist nur eine flache Bodenlockerung und Bewuchsstörung erwünscht, kann dies mit einer Scheibenegge, Spatenrollegge oder Rollhacke durchgeführt werden. Eine intensive Bewuchsstörung wird mit 7-12 km/h Fahrgeschwindigkeit erzielt.

Bei zu hohem Wuchs können Begrünpflanzungen alternativ zum Mulchen gewalzt werden. Das Walzen soll die Pflanzenstängel abknicken anstatt zu zertrennen. Auf diese Weise soll eine Samenausbildung und die Etablierung der Begrünpflanzung in der Fläche ermöglicht werden. Gleichzeitig bietet die langsam verrottende Begrünpflanzauflage einen guten

Verdunstungs- und Erosionsschutz und verbessert die Wasseraufnahme (Infiltrationsfähigkeit). Ist eine Tiefenlockerung aufgrund starker Spurverdichtung notwendig, kann zur Behebung ein Parapflug eingesetzt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Arbeiten nur bei abgetrocknetem Boden und außerhalb der Vegetationszeit erfolgen sollten! Zur anschließenden Begradigung kann eine Kreiselegge oder Rauwalze eingesetzt werden. [32]

6.5.2 Belassen von Schnittholz auf der Fläche

Mit dem Rebschnitt fallen jährlich je nach Schnittsystem und Nährstoffversorgung der Reben 20-50 dt/ha organische Masse als Schnittholz an. Wird das Schnittholz gehäckselt und verbleibt als organische Masse im Weinberg, erfüllt es bei der Dauerhumusbildung wichtige Funktionen für den Weinbergsboden und kann in den Nährstoffkreislauf der Reben wieder zurückgeführt werden. Durch die Rückführung des Schnittholzes in den Boden wird u.a. ein Teilausgleich für den jährlichen Humusabbau geschaffen. Zusätzlich leistet das Schnittholz einen wesentlichen Beitrag zum Erosionsschutz. [3]

6.5.3 Bodenabdeckung mit organischen Materialien

Die Abdeckung des Bodens mit organischem Material stellt insbesondere auf trockenen, niederschlagsarmen Standorten sowie im schwer mechanisierbaren Steillagenweinbau eine Alternative zur Begrünung dar. Angestrebte Ziele sind vor allem die Schonung des Bodenwasserhaushaltes und die Reduzierung von Bodenerosion. Die Bodenabdeckung vermeidet zu hohe Bodentemperaturen, schützt in der Folge Bodenorganismen und minimiert Bodenwasserverluste durch Verdunstung (Evaporation). Zudem kann die Aufprallgeschwindigkeit von Regentropfen gemindert und die Infiltration des Bodens mit Regenwasser verbessert werden. Die Gefahr von Erosion verringert sich dadurch. Eine lückenlose Bodenabdeckung kann außerdem den unerwünschten Begrünungsaufwuchs (u.a. auch im Unterstockbereich) unterdrücken, wodurch wiederum die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz sowie langfristig der Arbeitsaufwand für die Bodenbearbeitung reduziert wird. Durch die Bodenabdeckung steigt insbesondere in Steillagen die Abrutschgefahr bei der mechanischen Bearbeitung und das Risiko von Bodenverdichtung. Daher sollte für die Verbesserung der Mechanisierung/Befahrbarkeit eine Begrünung in jeder zweiten Gasse berücksichtigt werden. Stroh ist insbesondere aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses und der damit einhergehenden langsamen Verrottungszeit ein geeignetes und kostengünstiges Abdeckmaterial, das gleichzeitig den Aufbau von Dauerhumus fördert. Trotzdem ist zu berücksichtigen, dass die feuchtigkeitskonservierende Strohabdeckung die Mineralisation begünstigt wodurch die Nitratgehalte im Boden steigen können. Um eine geschlossene Abdeckschicht zu erreichen sind ca. 7-8 t Stroh je Hektar notwendig. [20] Da die Zufuhr von organischem Material mit einer Nährstoffzufuhr einhergeht, sind die gesetzlichen Düngeobergrenzen der jeweiligen Nährstoffe nach geltender DüV einzuhalten. Voraussetzung für die Bemessungsgrundlage maximaler Ausbringungsmengen ist daher die Kenntnis tatsächlicher Nährstoffgehalte entsprechender Abdeckmaterialien. Werden wesentliche Nährstoffgaben mit der Ausbringung an Stickstoff (50 kg/ha/a) sowie Phosphat (30 kg/ha/a) überschritten, muss eine Nährstoffanalyse des Bodens durchgeführt und eine Düngebedarfsermittlung erstellt werden. Ergänzend ist die Anwendung zu dokumentieren. In bestimmten Fällen gibt es Ausnahmeregelungen zur Befreiung von der Bedarfsermittlung und Dokumentationspflicht (siehe Kapitel 8). Außerdem ist

generell auf die Schadstofffreiheit des Abdeckmaterials zu achten. Auch Grüngut-/Holzhäcksel sowie Rindenmulch eignen sich prinzipiell als Abdeckmaterial. Die Beschaffenheit des Materials sollte idealerweise möglichst grob und überwiegend verholzt sein um eine langsame Verrottung zu erzielen und eine unnötige Nährstofffreisetzung zu vermeiden. [3] Der Einsatz von Grüngut-/Holzhäcksel unterliegt zusätzlich der Bioabfallverordnung (BioAbfV), wonach seit 2012 eine vorherige Behandlungs- und Untersuchungspflicht besteht. Demnach muss Grüngut-/Holzhäcksel (wie auch alle anderen Bioabfälle, z.B. grüne Tonne, Lebensmittelreste, etc.) in zugelassenen Bioabfallbehandlungsanlagen durch gezielte und überwachte hygienisierende Maßnahmen (i.d.R. Kompostierung) behandelt, mehrfach jährlich (in Abhängigkeit der jährlichen Behandlungsmenge, aber mindestens viermal) auf seuchen- und phytohygienische Parameter, auf Schwermetalle und Fremdstoffe wie Glas, Metall, Kunststoffe und Steine untersucht und die Analyseergebnisse den Behörden vorgelegt werden. Das Material muss hinreichend zerkleinert und abgesiebt sein, so dass es keine Stücke > 40 mm enthält. Über eine ergänzende Regelung aus der Düngemittelverordnung ist überdies gefordert, dass mindestens 90 % der Materialmasse einen Siebdurchgang ≤ 20 mm aufweist, es sei denn, es handelt sich bei dem Material nicht um Düngemittel, sondern um Bodenhilfsstoffe oder Kultursubstrate, deren spezieller Anwendungszweck eine gröbere Struktur erfordert. In diesem Fall hat der Behandlungsbetrieb aber dem Anwender Hinweise zur sachgerechten Anwendung, sowie die Anteile, die den Siebdurchgang von 20 mm überschreiten, anzugeben.

Der Anwender des Materials hat bei der erstmaligen Aufbringung eine Bodenuntersuchung auf Schwermetalle und pH-Wert durchzuführen und das Untersuchungsergebnis der Landwirtschaftsbehörde des zuständigen Landkreises vorzulegen. Die Bodenuntersuchungspflicht entfällt, sofern das Aufbringungsmaterial aus einer gütegesicherten Behandlungsanlage stammt und ein entsprechender Befreiungsbescheid durch die landwirtschaftliche Fachbehörde (RP Kassel) vorliegt. Abgabe und Annahme (Ausbringungsfläche) des Grüngut-/Holzhäckselkomposts ist in einem vorgefertigten Lieferscheinformular zu dokumentieren und Kopien davon allen Beteiligten inkl. den Überwachungsbehörden zur Verfügung zu stellen. Bei Vorhandensein o.g. Befreiung entfällt auch die Lieferscheinpflicht.

In Abhängigkeit spezifischer Schwermetallgehalte ist eine maximale Ausbringungsmenge von 20-30 t Trockenmaterial je Hektar innerhalb von drei Jahren einzuhalten. Plastisch ausgedrückt entspricht die Höchstmenge einer einmaligen Auflagestärke von ca. 1-2 cm in drei Jahren. Weist das Ausbringungsmaterial außergewöhnlich niedrige Schwermetallgehalte auf, können bei den zuständigen Behörden höhere Ausbringungsmengen beantragt werden. Durchschnittliche Nährstoffgehalte unterschiedlicher Abdeckmaterialien und Schwermetallgrenzwerte sind Tabelle 11 und Tabelle 16 zu entnehmen. Bei der Ausbringung müssen laut neuer DüV die geltenden Sperrfristen für Kompost und Festmist eingehalten werden.

Tabelle 11 Nährstoffanteile und -gehalte unterschiedlicher Abdeckmaterialien in Gewichtsprozent [Gew.-%] und Kilogramm je Tonne [kg/t] Abdeckmaterial (nach Bauer et al. 2004 [20])

Abdeckmaterial	N [Gew.-%]	N [kg/t]	P ₂ O ₅ [Gew.-%]	P ₂ O ₅ [kg/t]	K ₂ O [Gew.-%]	K ₂ O [kg/t]	MgO [Gew.-%]	MgO [kg/t]
Rindenmulch	0,25	2,5	0,1	1	0,2	2	0,1	1
Stroh	0,4	4	0,2	2	1	10	0,1	1

6.5.4 Anlage Erosionsschutzstreifen, Sedimentfangstreifen, Blühstreifen etc.

Eine Anlage von Erosionsschutzstreifen sollte in oberflächenabflussgefährdeten Lagen (Hang- und Steillagen), d.h. in Weinbergsflächen mit Gefälle, ggf. auch bei Lagen mit sehr großen Hanglängen, angelegt werden. Besonders betroffen sind feinsandig-schluffige Böden mit Hanglängen über 30-40 Metern. Ziel ist die Reduzierung der Fließgeschwindigkeit von Oberflächenwasser nach Niederschlägen. Dadurch wird die Infiltration von Wasser in den Boden auf den Erosionsschutzstreifen erhöht und ein Sedimentrückhalt (Auffangen und Ablagern mitgeführter Bodenpartikel) ermöglicht. Die alleinige Anlage eines Schutzstreifens am Hangfuß ist in den meisten Fällen nicht ausreichend. Zum Schutz der Gewässer müsste die Streifenbreite mindestens 20 Meter betragen. Wichtig ist die Anlage eines Erosionsschutzstreifens am oberen Hang (oberes Drittel), um die Abfließenergie bereits am Ursprungsort so gering wie möglich zu halten. Bei sehr großen Hanglängen kann es notwendig sein, mehrere Erosionsschutzstreifen anzulegen. Die Schutzstreifen sollten eine Breite von mindestens 9-10 Metern aufweisen. Besonders erosionsvermindernd sind Gräser mit einer entsprechend hohen Aussaatmenge. Durch die Kombination mit Blühpflanzen (z.B. Phacelia-Arten, Ringelblume, Wilde Möhre) kann der Nutzen für Insekten (Stichwort Biodiversität) zusätzlich gesteigert werden, allerdings lässt die Erosionsschutzwirkung mit zunehmenden Anteil insbesondere bei großen Hanglängen nach. [33]

7. Querterrassierung in Steillagen

Die Querterrassierung im Steillagenweinbau ermöglicht die Mechanisierung im Direktzug, wodurch eine ökonomisch effizientere Traubenproduktion im Vergleich zu Seilzuglagen gewährleistet werden kann. Im Vergleich zu Seilzuglagen in Falllinie können die Arbeits- und Maschinenkosten um ein Drittel gesenkt werden [34]. Neben den ökonomischen Vorteilen bietet die Anlage von Terrassen vor allem aber auch ökologische Vorteile. So kann durch die Querterrassierung das Infiltrationsvermögen der Böden für Regenwasser gesteigert und somit das Erosionsrisiko vermindert werden. Eine artenreiche Begrünung der Böschungen sowie Gassen kann zudem zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität beitragen. Insbesondere für die Insektenfauna wird ein wichtiger Lebensraum geschaffen. Zusätzlich leistet die Querterrassierung einen großen Beitrag für den Erhalt der Kulturlandschaft im Steillagenweinbau. Mit dem zunehmenden Auftreten von klimatischen Extremwetterereignissen wie beispielsweise Hitzewellen mit Rekordtemperaturen während der Vegetationszeit steigt auch die Gefahr von Ertragsausfällen und Qualitätseinbußen durch z.B. Sonnenbrandschädigungen an den Blättern und Trauben. Durch die Ost-West-Auszeilung der Reben in südexponierten Steilhanglagen kann das Mikroklima in der Traubenzone gezielt gesteuert und übermäßige Tagestemperaturextreme in der Traubenzone verhindert werden. Das Sonnenbrandrisiko wird reduziert und die Sortentypizität erhalten. [35] Nachteilig wirkt sich die erhöhte Austrocknungsgefahr des Bodens aufgrund der entstehenden großen Fläche der Böschungskante aus. Durch einen größeren Pflanzabstand der Reben von der Böschungskante kann dem Austrocknungsrisiko entgegengewirkt werden. [36] Damit sich die Reben im Jungfeld gut entwickeln können ist ein Bewässerungssystem empfehlenswert.

Die Realisierung bzw. Neuanlage von Terrassen erfordert eine größerer zusammenhängende Weinbergsfläche und wird durch die Besitzverhältnisse kleinerer

Teilparzellen erschwert. Fördermöglichkeiten bestehen über das „Hessische Förderungs- und Entwicklungsprogramm Wein“. Im Rahmen der Umstrukturierung und Umstellung der Rebfläche können somit Fördergelder/Zuschüsse für die Neuanlage von Querterrassen bis zu 26.000 Euro je Hektar beantragt werden. Bei Flurbereinigungsmaßnahmen wird um den anteiligen Förderbetrag aus der Flurbereinigung gekürzt. Werden PIWI - Rebsorten angepflanzt erhöht sich die Förderung um 2.000 Euro je Hektar. Zusätzlich können Fördergelder für die Einrichtung von Weinbergsmauern und die Installation von Bewässerungssystemen in Anspruch genommen werden. Findet die Neuanlage im Rahmen der Flurbereinigung statt, wird um den anteiligen Förderbetrag aus der Flurbereinigung gekürzt. Förderanträge müssen bis zum 31. August des Jahres, das der Umsetzung vorausgeht, eingereicht werden. Alternativ können über das Steillagenförderungsprogramm "HALM 2" Bewirtschaftungszuschüsse beantragt werden. Die Kosten für die Konstruktion von Querterrassen belaufen sich schätzungsweise auf 45.000 Euro/ha [34]. Für die Einrichtung der Terrassen entstehen schätzungsweise Mehrkosten von 25.000 Euro je Hektar im Vergleich für die Neuanlage in Falllinie [34]. Die Kosten für die Baustelleneinrichtung und Schiebung der Terrassen belaufen sich in den meisten Verfahren (laut Praxisbeispielen an der Mosel und der Ortenau) auf ca. 19.000 bis 21.000 Euro/ha [36]. Unter Berücksichtigung von entsprechenden Förderprogrammen und den möglichen Subventionen kann sich die Anlage von Querterrassen im Weinbau für die Winzer oder Winzerinnen durchaus lohnen.

8. Düngegesetz und Düngeverordnung

Das Düngegesetz (DüngG) hat den Zweck die Ernährung von Nutzpflanzen sicherzustellen, die Fruchtbarkeit des Bodens, insbesondere den standort- und nutzungstypischen Humusgehalt, zu erhalten oder nachhaltig zu verbessern, Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln sowie Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen können, einen nachhaltigen und ressourceneffizienten Umgang mit Nährstoffen bei der landwirtschaftlichen Erzeugung sicherzustellen, insbesondere Nährstoffverluste in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden und Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaft oder der Europäischen Union, die Sachbereiche dieses Gesetzes, insbesondere über den Verkehr mit oder die Anwendung von Düngemitteln betreffen, umzusetzen oder durchzuführen.

Die DüV regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und das Vermindern von stofflichen Risiken durch die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln.

Mit der DüV werden insbesondere Anwendungsbestimmungen, Anwendungsbeschränkungen sowie Anwendungsverbote für stickstoff- und phosphathaltige Düngemittel formuliert und Vorgaben zur Nährstoffbedarfsermittlung sowie Dokumentation gemacht.

8.1 Allgemeine gesetzliche Rahmenbedingungen zur Düngung in Hessen

Die in der Düngeverordnung gesetzlich verankerten Rahmenbedingungen für Düngemaßnahmen werden in Hessen durch die hessische Ausführungsverordnung zur Düngeverordnung (AVDüV), die in 2022 überarbeitet und mit Stand 01. Dezember 2022 in Kraft getreten ist, ergänzt. Hierin werden Vorschriften zur Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln für Hessen definiert, die sich insbesondere aus § 13a der Düngeverordnung ergeben.

Im Speziellen werden Vorgaben zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten Gebieten (rote Gebiete) und eutrophierte Gebiete (gelbe Gebiete) gemacht. Als methodische Grundlage für die Ausweisung dieser Gebiete, dient die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und mit Phosphor belasteten (eutrophierten) Gebieten (AVV GeA vom 10.08.2022).

Mit der AVDüV werden die Gebiete in Hessen rechtsverbindlich ausgewiesen und die dort bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen geltenden abweichenden Anforderungen festgeschrieben.

Rebflächen, die in einem roten und/oder gelben Gebiet liegen, sind über den webbasierten Geobox-Viewer einsehbar (<https://geobox-i.de/GBV-HE/>). Über die Aktivierung des Layers (Kästchen) „Düngeverordnung“ werden die Gebiete rot und/oder gelb im Viewer hervorgehoben. Betriebsinhaber, die einen Gemeinsamen Antrag im Rahmen der Flächenförderung stellen, können Informationen zu Nitrat belasteten oder mit Phosphat eutrophierten Flächen sowie Schutzgebiete auch über das Agrarportal Hessen abrufen (<https://agrarportal-hessen.de>).

Ein Großteil der weinbaulich genutzten Flächen liegt in einem mit Nitrat belasteten Gebiet. Im Anbaugebiet Hessische Bergstraße kommt in den Gemarkungen Groß-Umstadt und Roßdorf noch ein gelbes Gebiet hinzu. In diesen Regionen wird im Geobox-Viewer ein rotes über einem gelb liegenden Gebiet ausgewiesen.

Befinden sich Weinberge in diesen ausgewiesenen (belasteten) Gebieten, sind bestimmte Auflagen zu erfüllen. Nachfolgend werden die gesetzlichen Regelungen in Nitrat und Phosphor unbelasteten sowie belasteten Gebieten erläutert.

8.2 Regelungen für unbelastete Gebiete

In Nitrat unbelasteten Gebieten liegt die Belastung der Grundwasserkörper unterhalb des in der Grundwasserverordnung festgehaltenen Schwellenwertes von 50 mg/l. Zudem darf keine Nitratkonzentration von 37,5 mg/l mit steigender Tendenz vorliegen.

Als Phosphor unbelastet gelten hydrologische Einzugsgebiete oder Teileinzugsgebiete von Oberflächenwasserkörpern, bei denen keine Eutrophierung durch signifikante Nährstoffeinträge, insbesondere Phosphat, aus landwirtschaftlichen Quellen nachgewiesen wurde. Zudem dürfen die Werte für den guten ökologischen Zustand für Orthophosphat-Phosphor nach Anlage 7 Nummer 2.1.2 der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373) oder für Gesamtphosphor nach Anlage 7 Nummer 2.2 der OGewV nicht überschritten werden. Außerdem dürfen die biologischen Qualitätskomponenten Makrophyten und Phythobenthos oder Phytoplankton der Oberflächenwasserkörper nach Anlage 4 der OGewV nicht schlechter als in die Klasse guter Zustand eingestuft sein.

In Bezug auf Düngemaßnahmen in unbelasteten Gebieten müssen die nachfolgenden Bestimmungen eingehalten werden, sofern auf Rebflächen wesentliche

Nährstoffmengen für Stickstoff und/oder Phosphat überschritten werden. Als wesentliche Nährstoffmengen gelten Düngegaben größer 50 kg Stickstoff und größer 30 kg Phosphat je Hektar und Jahr.

ERMITTLUNG DES DÜNGEBEDARFS FÜR STICKSTOFF UND PHOSPHAT

- a. Vor dem Aufbringen von wesentlichen Nährstoffmengen an Stickstoff (> 50 kg N/ha/a) oder Phosphat (> 30 kg N/ha/a) mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln hat der Betriebsinhaber den Düngbedarf für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit zu ermitteln (DüV: § 3 Abs. 2 Satz 1 nach den Vorgaben in § 4 (ertragsabhängiger N-Bedarfswert, im Boden verfügbare N-Menge, -Deposition, -Nachlieferung, etc.)).
- b. Im Fall von Phosphat muss die Bedarfsermittlung erst ab einer Schlaggröße von 1 ha erfolgen (DüV: § 3 Abs. 2 Satz 2). Bodenproben müssen min. alle 6 Jahre vorliegen.
- c. Die N-Bedarfsermittlung kann durch Untersuchung repräsentativer Proben oder nach Empfehlung der nach Landesrecht zuständigen Stelle oder einer von dieser empfohlenen Beratungseinrichtung durch Übernahme der Ergebnisse der Untersuchungen vergleichbarer Standorte oder durch Anwendung von Berechnungs- und Schätzverfahren, die auf fachspezifischen Erkenntnissen beruhen, durchgeführt werden (DüV: § 4 Abs. 4 Nr. 1).
- d. Die tatsächliche Düngung darf den ermittelten Düngbedarf nicht überschreiten, Teilgaben sind zulässig (DüV: § 3 Abs. 3 Satz 2).
- e. Eine Überschreitung des ermittelten Düngedarfs ist nur zulässig, wenn auf Grund nachträglich eintretender Umstände, insbesondere Bestandsentwicklung oder Witterungsereignisse, ein höherer Düngbedarf besteht. Der N-Mehrbedarf ist neu zu ermitteln und auf 10 % zu beschränken. (DüV: § 3 Abs. 3 Satz 1 & 3)
- f. Vor dem Aufbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln müssen deren Gehalte an Gesamtstickstoff, verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff und der Gesamt-P-Gehalt bekannt sein (DüV: § 3 Abs. 4).

DOKUMENTATION DES DÜNGEBEDARFS

Der ermittelte Düngbedarf muss vor dem jeweiligen Aufbringen von wesentlichen Nährstoffmengen mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln aufgezeichnet werden. Dabei sind folgende Parameter zu dokumentieren:

1. der ermittelte Düngbedarf einschließlich der Berechnung (DüV: § 10 Abs. 1 Nr. 1)

2. im Fall der Überschreitung die Gründe für den höheren Düngbedarf (DüV: § 10 Abs. 1 Nr. 1)
3. die Werte an Gesamtstickstoff, verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphat aufgebrachtener Düngemittel sowie Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate oder Pflanzenhilfsmittel einschließlich der zu ihrer Ermittlung angewendeten Verfahren (DüV: § 10 Abs. 1 Nr. 2)
4. die im Boden verfügbaren ermittelten Nährstoffmengen einschließlich der zu ihrer Ermittlung angewendeten Verfahren (DüV: § 10 Abs. 1 Nr. 3)
5. Spätestens zwei Tage nach jeder Düngungsmaßnahme sind folgende Angaben über die Düngungsmaßnahme aufzuzeichnen (DüV: § 10 Abs. 2 Nr. 1 bis 4):
 - a. eindeutige Bezeichnung des Schlags, der Bewirtschaftungseinheit.
 - b. Größe des Schlags, der Bewirtschaftungseinheit.
 - c. Art und Menge des aufgebrauchten Stoffes.
 - d. die aufgebrauchte Menge an Gesamtstickstoff und Phosphat, bei organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln neben der Menge an Gesamtstickstoff auch die Menge an verfügbarem Stickstoff.
 - e. Der ermittelte Düngbedarf ist bis zum Ablauf des 31. März des der Düngbedarfsermittlung folgenden Kalenderjahres zu einer jährlichen betrieblichen Gesamtsumme des Düngedarfs zusammenzufassen. Folgende Angaben sind obligatorisch (DüV: § 10 Abs. 2 Satz 3):
 - I. Eindeutige Bezeichnung des Betriebes
 - II. Gesamtfläche des Betriebes in Hektar
 - III. Beginn und Ende des Düngjahres
 - IV. Datum der Erstellung
 - V. Gesamtbetrieblicher Düngbedarf:
 1. Stickstoff (in kg N)
 2. Phosphat (in kg P₂O₅)

8.3 Regelungen für mit Nitrat belastete (rote) Gebiete

Die nachfolgende Zusammenstellung ist ein Auszug aus den Vorgaben nach § 13a der Düngeverordnung für die Düngung von Flächen, die in einem roten Gebiet liegen. Es werden nur für den Weinbau in Hessen relevante Punkte beschrieben.

REGELUNG 1 - REDUZIERUNG DES DÜNGEBEDARFS

Die Gesamtsumme der Düngbedarfsermittlungen für Stickstoff aller Schläge bzw. Bewirtschaftungseinheiten ist um 20 % zu reduzieren. Der Wert darf im Rahmen der Düngemaßnahmen nicht überschritten werden. (DüV: § 13a Abs. 2 Nr. 1)

REGELUNG 2 - SCHLAGBEZOGENE N-OBERGRENZE

Die Summe des Gesamtstickstoffs aus organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, einschließlich Wirtschaftsdüngern, die auf Schläge oder Bewirtschaftungseinheiten in den mit Nitrat belasteten ausgewiesenen Gebieten aufgebracht wird, darf die Menge von 170 kg je Hektar und Jahr nicht überschreiten. (DüV: § 13a Abs. 2 Nr. 2)

REGELUNG 3 - GÄRRÜCKSTÄNDE AUS BIOGASANLAGEN

Das Aufbringen von Wirtschaftsdüngern sowie von organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, bei denen es sich um Gärreste aus dem Betrieb einer Biogasanlage handelt, darf nur erfolgen, wenn vor dem Aufbringen die Gehalte dieser Düngemittel an Gesamtstickstoff, verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphat:

- a. auf Grund vorgeschriebener Kennzeichnung dem Betriebsinhaber bekannt sind,
- b. auf der Grundlage von Daten der nach Landesrecht zuständigen Stelle vom Betriebsinhaber ermittelt oder
- c. auf der Grundlage von wissenschaftlich anerkannter Messmethoden vom Betriebsinhaber oder in dessen Auftrag festgestellt worden sind.

Die Feststellungen dürfen nicht älter als zwei Jahre sein. Bei der Ausbringung sind mindestens 95 % des ermittelten Gesamtstickstoffs anzurechnen. (§ 3 Abs. 2 und 3 AVDüV mit Bezug auf § 13a Abs. 3 Satz 3 Nr. 9 DüV)

AUSNAHME FÜR REGELUNG 1 UND 2:

Betriebe, die im Durchschnitt der Flächen, die in mit Nitrat belasteten ausgewiesenen Gebieten liegen, nicht mehr als 160 kg Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr und davon nicht mehr als 80 kg Gesamtstickstoff aus mineralischen Düngemitteln aufbringen.

Die weiteren Regelungen in den ausgewiesenen Gebieten, die hauptsächlich die landwirtschaftlichen Flächen betreffen, sind auf der Seite des Landesbetriebs Landwirtschaft (LLH) zusammengefasst (https://llh.hessen.de/pflanze/boden-und-duengung/duengeverordnung/neue-regelungen-fuer-die-duengung-avduev-und-duev/#_ftnref1)

8.4 Regelungen für mit Phosphor belastete (gelbe) Gebiete

Zum Zwecke der Reduzierung der landwirtschaftlichen Phosphoreinträge in Gewässern in Phosphor belasteten bzw. eutrophierten (gelben) Gebieten werden ergänzende Regelungen auf Grundlage der Düngeverordnung (§ 13a Abs. 3 Satz 3 Nr. 1 und 4 DüV) in der Hessischen Ausführungsverordnung (§ 3 AVDüV) zur Düngeverordnung vorgeschrieben. Nachfolgend sind die wichtigsten Regelungen zusammengefasst.

REGELUNG 1 - GÄRRÜCKSTÄNDE AUS BIOGASANLAGEN

Das Aufbringen von Wirtschaftsdüngern sowie von organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, bei denen es sich um Gärrückstände aus dem Betrieb einer Biogasanlage handelt, darf nur erfolgen, wenn vor dem Aufbringen die Gehalte dieser Düngemittel an Gesamtstickstoff, verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphat:

- a. auf Grund vorgeschriebener Kennzeichnung dem Betriebsinhaber bekannt sind,
- b. auf der Grundlage von Daten der nach Landesrecht zuständigen Stelle vom Betriebsinhaber ermittelt oder
- c. auf der Grundlage von wissenschaftlich anerkannter Messmethoden vom Betriebsinhaber oder in dessen Auftrag festgestellt worden sind.

Die Feststellungen dürfen nicht älter als zwei Jahre sein. (§ 3 Abs. 2 und 3 AVDüV mit Bezug auf § 13a Abs. 3 Satz 3 Nr. 9 DüV)

REGELUNG 2: Es gelten, abweichend von § 5 Abs. 1-3 DüV, erhöhte Abstände zu Oberflächengewässern bei der Anwendung von stickstoff- und phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln, die nachfolgend dargestellt bzw. erläutert sind.



Abstand zur Böschungsoberkante	Hangneigung	Anforderungen
5 m	Bis 5 % auf den ersten 20 m ab Böschungsoberkante	Aufbringungsverbot von stickstoff- und phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln
10 m	Durchschnittlich mindestens 10 % auf den ersten 20 m ab Böschungsoberkante	Ausbringungsverbot von stickstoff- und phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln

Abbildung 5 Gewässerabstände in belasteten Gebieten nach § 13a Abs. 3 Nr. 4 DüV, Quelle: Veronica Ullrich, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).

8.5 Allgemeine Anwendungsbeschränkungen und Sperrfristen

Prinzipiell darf das Aufbringen von stickstoff- oder phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nicht erfolgen, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist. Davon abweichend dürfen Kalkdünger mit einem Gehalt von weniger als 2 % Phosphat auf gefrorenen Boden aufgebracht werden, sofern ein Abschwemmen in oberirdische Gewässer oder auf benachbarte Flächen ausgeschlossen werden kann. Allgemein ist beim Aufbringen von stickstoff- oder phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln ein direkter Eintrag und ein Abschwemmen von Nährstoffen in oberirdische Gewässer zu vermeiden. Zudem ist zu gewährleisten, dass kein direkter Eintrag und kein Abschwemmen von Nährstoffen auf benachbarte Flächen, insbesondere in schützenswerte natürliche Lebensräume, erfolgt. (DüV: § 5 Abs. 1-3)

Neben den verschärften Sperrfristen für die Aufbringung von Düngemitteln mit wesentlichem Gehalt an Stickstoff im Ackerbau und für Grünland, darf Festmist von Huftieren oder Klautieren oder Komposte in der Zeit vom 1. Dezember bis zum Ablauf des 15. Januar auf Rebflächen nicht aufgebracht werden. In diesem Zeitraum gilt ebenfalls ein Ausbringverbot für Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an Phosphat (> 0,5 %) (DüV: § 6 Abs. 8 Satz 2 & 3). In belasteten (roten und gelben) Gebieten gilt ein zeitlich verschärftes Ausbringverbot, für die in den beiden vorangestellten Sätzen definierten Düngemittel, im Zeitraum vom 1. November bis zum Ablauf des 31. Januar (DüV: § 13a Abs. 2 Nr. 4).

8.6 Befreiung von der Dokumentationspflicht und der Verpflichtung der Erstellung einer Düngebedarfsermittlung

Für Flächen, die unter § 10 Abs. 3 Nr. 1 und 2 der DüV genannt werden sowie im Falle von Phosphat für Schläge, die kleiner als ein Hektar sind, besteht vor dem Aufbringen von wesentlichen Nährstoffmengen mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln keine Verpflichtung zur Ermittlung und Aufzeichnung des Düngebedarfs. Zudem sind Betriebe mit weinbaulich genutzten Flächen unter folgenden Bedingung von der Düngebedarfsermittlung und Dokumentationspflicht in Hessen befreit:

IN NICHT BELASTETEN (N) UND NICHT EUTROPHIERTEN (P) GEBIETEN:

Weinbaubetriebe, die

- a. abzüglich von Flächen nach § 10 Abs. 3 Nr. 1 und 2 weniger als 30 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche bewirtschaften,
- b. max. 3 ha Reben, Gemüse, Hopfen oder Erdbeeren anbauen,
- c. einen jährlichen Nährstoffanfall aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft von max. 110 kg Gesamt-N/ha aufweisen und
- d. auf die Übernahme und Aufbringung von betriebsfremden Wirtschaftsdüngern sowie organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, bei denen es sich um Gärrückstände aus dem Betrieb einer Biogasanlage handelt, verzichten.

IN BELASTETEN (N) ODER EUTROPHIERTEN (P) GEBIETEN:

Weinbaubetriebe, die

- a. abzüglich von Flächen nach § 10 Abs. 3 Nr. 1 und 2 weniger als 10 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche bewirtschaften,
- b. max. 1 ha Reben, Gemüse, Hopfen oder Erdbeeren anbauen,
- c. einen jährlichen Nährstoffanfall aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft von max. 500 kg Stickstoff je Betrieb aufweisen und
- d. auf Übernahme und Aufbringung von betriebsfremden Wirtschaftsdüngern sowie organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, bei denen es sich um Gärrückstände aus dem Betrieb einer Biogasanlage handelt, verzichten.

8.7 Zusammenfassung DüV - Was müssen Weinbaubetriebe in Hessen beachten?

Betriebe, die auf keinem Schlag mehr als 50 kg Gesamtstickstoff oder 30 kg Phosphat je Hektar im Jahr aufbringen, sind von der Erstellung einer Düngebedarfsermittlung befreit. Darüber hinaus gelten die Bestimmungen nicht für Weinbaubetriebe, die höchstens 3 ha Reben außerhalb der belasteten und eutrophierten Gebiete bewirtschaften und keine außerhalb des Betriebes angefallenen Wirtschaftsdünger, Gärreste oder Festmist in ihren Betrieb aufnehmen. Liegen die bewirtschafteten Flächen in einem eutrophierten oder mit nitratbelastetem Gebiet, reduziert sich die Befreiung zur Aufzeichnungspflicht auf Betriebe, die nicht mehr als 1 Hektar Rebfläche bewirtschaften (Abbildung 6 und 7). Weinbaubetriebe mit ergänzender Landwirtschaft, müssen die zusätzlichen Anforderungen des § 13a Abs. 3 Nr. 9 und Abs. 7 Nr. 1 der DüV erfüllen (siehe Kapitel 8.6)

Treffen die Ausnahmen zur Befreiung der Aufzeichnungspflicht nicht zu und es soll über 50 kg N und 30 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr gedüngt werden, sind die nachfolgenden Punkte zu beachten:

- a. Düngebedarfsermittlung für Stickstoff bei einer Düngung über 50 kg Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr.
- b. Der errechnete Düngebedarf darf nicht überschritten werden, sofern kein nachträglicher Düngebedarf festgestellt wird.
- c. Die Stickstoff-Düngebedarfswerte für Schläge oder Bewirtschaftungseinheiten, die in den nach AVDüV mit Nitrat belasteten Gebieten liegen, sind bis zum 31. März des aktuellen Jahres zu addieren und aufzuzeichnen. Die Summe ist um 20 % zu vermindern. Dieser Wert darf mit den Düngungsmaßnahmen auf allen Flächen in den Gebieten nicht überschritten werden. Diese Regelung gilt jedoch nicht, wenn auf allen Flächen des Betriebes in dem Gebiet im Durchschnitt nicht mehr als 160 kg Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr und davon nicht mehr als 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr aus mineralischen Düngemitteln aufgebracht werden.



Abbildung 6 Gesetzliche Regelungen zu Stickstoff-Düngemaßnahmen in mit Nitrat unbelasteten (grün) und belasteten (rot) Gebieten im hessischen Weinbau nach Vorgaben der Dünge-VO (DüV) und Ausführungsverordnung zur Dünge-VO (AVDüV) (Quelle: Jan Schäfer, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).

- d. Düngedarfsermittlung für Phosphat bei einer Düngung über 30 kg Phosphat je Hektar und Jahr. Gilt nur für Schläge > 1 ha.
- e. Für die Düngedarfsermittlung muss Kenntnis über die im Boden vorhandene Phosphatmenge vorliegen. Dafür müssen mindestens alle 6 Jahre schlagbezogenen Bodenproben auf die Phosphatgehalte analysiert werden.



Abbildung 7 Gesetzliche Regelungen zu Phosphor-Düngemaßnahmen in mit Phosphor unbelasteten (grün) und belasteten (rot) Gebieten im hessischen Weinbau nach Vorgaben der Dünge-VO (DüV) und Ausführungsverordnung zur Dünge-VO (AVDüV) (Quelle: Jan Schäfer, Regierungspräsidium Darmstadt, 2024).

- f. Bei Aufbringung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln müssen deren Gehalte an Gesamtstickstoff, Phosphor und bei organischen Stoffen auch der verfügbare Stickstoffgehalt oder der Ammoniumgehalt bekannt und aufgezeichnet sein. Eine tabellarische Übersicht über Nährstoffgehalte organischer Düngemittel ist Tabelle 17 zu entnehmen.
- g. Jede Düngungsmaßnahme ist spätestens zwei Tage nach der Durchführung mit folgenden Angaben aufzuzeichnen:
- Bezeichnung und Größe des Schläges oder der Bewirtschaftungseinheit
 - Art und Menge des aufgebrauchten Stoffes
 - Menge an Gesamtstickstoff und Phosphat
 - bei organischen Düngemitteln auch die verfügbare Stickstoffmenge
- h. Spätestens zum 31. März des Folgejahres ist der ermittelte Düngedarf der Schläge und Bewirtschaftungseinheiten getrennt nach Stickstoff und Phosphat zu einer jährlichen betrieblichen Gesamtsumme zusammenzufassen und aufzuzeichnen.

- i. Ebenfalls bis spätestens zum 31. März des Folgejahres sind die aufgebrauchten Nährstoffmengen zu einer jährlichen betrieblichen Gesamtsumme zusammenzufassen und aufzuzeichnen. Bei der Erfassung sind Vorlagen zu nutzen, die auf Basis der Anlage 5 (Stoffstrombilanz) der DüV nach Düngestoffgruppen und Zufuhren unterscheiden.
- j. Unabhängig von den vorstehenden Aufzeichnungsverpflichtungen gelten bei der Zufuhr von Stoffen auf Basis von Fleischmehl, Knochenmehl und Fleischknochenmehl immer gesonderte Aufzeichnungspflichten.
- k. Bodenzustand: Stickstoff- oder phosphorhaltige Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel dürfen nicht auf gefrorene, schneebedeckte, überschwemmte oder wassergesättigte Böden aufgebracht werden.
- l. Sperrfrist: Düngemittel mit einem Phosphatgehalt über 0,5 % und Festmist von Huf- oder Klautieren oder Kompost dürfen in der Zeit vom 1. Dezember bis zum Ablauf des 15. Januar und in belasteten Gebieten vom 1. November bis zum Ablauf des 31. Januar nicht aufgebracht werden. Dies ist insbesondere bei der Ausbringung von Trester zu beachten.

Alle vorgenannten Aufzeichnungen sind 7 Jahre aufzubewahren!

9. Düngung im Weinbau

Um eine optimale Vitalität der Reben mit ausreichender Wuchskraft, zufriedenstellenden Erträgen und einer guten Traubenqualität zu gewährleisten ist eine gute Nährstoffversorgung der Böden notwendig. Neben zahlreichen Mikronährstoffen, die für viele wichtige Stoffwechselforgänge der Rebe essenziell sind, spielen hierbei insbesondere die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium eine entscheidende Rolle (siehe Kapitel 4). Da mit dem Traubenertrag dem Weinbergsboden jährlich Nährstoffe entzogen werden, kann in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsform (Bodenpflegemaßnahmen, Begrünungsmanagement) und dem Humusanteil im Boden ein entsprechender Düngebedarf zur Erhaltungsdüngung bestehen. Dieser kann durch Zufuhr organischer oder/und anorganisch-mineralischer Düngemittel erfolgen. In jedem Fall sollte vor einer entsprechenden Düngemaßnahme der Nährstoffbedarf für die jeweiligen Rebflächen durch Bodenprobenanalysen ermittelt werden. Bei Überschreitung wesentlicher Düngemengen von Stickstoff ($> 50 \text{ kg N/ha/a}$) und Phosphat ($> 30 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha/a}$) ist die Bedarfsermittlung für diese Nährstoffe verpflichtend. Voraussetzung für eine Düngebedarfsermittlung ist die Kenntnis über die jährliche Aufnahme einzelner Nährstoffe der Rebe aus dem Boden (Nährstoffbedarf) und einem gewissen Nährstoffentzug durch den Traubenertrag (Tabelle 12). Berücksichtigt man die Rückführung der Trester sowie Trub und Hefe, reduzieren sich die Nährstoffverluste auf ein Minimum. Entscheidend für eine Düngergabe bzw. Düngebedarf ist daher der Nährstoff-Versorgungszustand des Bodens.

Tabelle 12 Jährlicher Nährstoffbedarf von Reben und Nährstoffentzüge [kg/ha] bei mittleren Erträgen und Minimierung der Verluste durch Rückführung von Trester, Trub- und Heferückständen (nach Schaller und Löhnertz in Müller et al. 2008 [3]; Müller et al. 2000 [37])

Nährstoff	Aufnahme durch Rebe pro Jahr	Davon in Blatt und Holz	Entzug durch Traubenertrag	Entzug bei Tresterückführung	Entzug bei Rückführung von Trub und Hefe
N	50-70	20-30	25-35	5-10	Ca. 2
K ₂ O	50-90	15-30	30-60	12-24	Ca. 6
P ₂ O ₅	11-23	2-8	8-13	3-5	Ca. 2
MgO	14-20	8-15	4-5	3	Ca. 1
CaO	50-70	45-60	5-10	5	Ca. 2

Neben der Bodenanalyse sollte auch eine optische Beurteilung der Nährstoffversorgung der Rebe als ergänzende Entscheidungsgrundlage für eine Düngemaßnahme erfolgen. Hierbei sollte insbesondere auf Anzeichen von Über- bzw. Unterversorgung geachtet werden. Mangelerscheinungen einzelner Nährstoffe können beispielsweise an typischen Symptomen, z.B. Verfärbungen der Blätter oder an einem Rückgang der Wuchskraft (Kümmertriebe) festgestellt werden (siehe Kapitel 4). Als Grundlage für geeignete Düngemittel und Düngemengen müssen die aus Bodenproben analysierten Werte für Bodenart, pH-Wert sowie Nährstoff- und Humusgehalte herangezogen werden. Oftmals kann auf humusreichen Standorten mit ausreichender Wasserversorgung durch ein gutes Bodenbearbeitungs- oder/und Begrünungskonzept, mit beispielsweise Leguminosen, auf eine zusätzliche Stickstoff-Düngung mit anorganisch-mineralischen Düngemitteln jedoch verzichtet werden. [3] Allein durch eine Begrünung mit Leguminosen, abhängig vom begrüneten Flächenanteil (Begrünungsausführung) und dem prozentualen Anteil innerhalb der Begrünung (Deckungsgrad), kann jährlich zwischen 10-80 kg N/ha gebunden werden (Tabelle 13). Berücksichtigt man zusätzlich die durch Mineralisation freigesetzte Menge Stickstoff aus dem Humusanteil, kann der Stickstoffbedarf der Rebe bereits abgedeckt sein (siehe Kapitel 3.2 Tabelle 2).

Tabelle 13 Stickstofffixierung durch Leguminosen in Abhängigkeit des prozentualen Deckungsgrades in der Begrünung und der Begrünungsausführung in der Rebfläche (Ziegler 2011 [38])

Stickstofffixierung durch Leguminosen [kg N/ha]			
Deckungsgrad von Leguminosen in der Begrünung [%]	Jede 2. Gasse	Jede Gasse	Ganzflächig
10	3	6	8
20	6	13	16
30	10	19	24
40	13	26	32
50	16	32	40
60	19	38	48
70	22	45	56
80	26	51	64
90	29	58	72
100	32	64	80

9.1 Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs

Die Rebe hat bei einer normalen Bodenbeschaffenheit und einer Ernte von jährlich 10 t/ha Trauben einen N-Grundbedarf von 50 kg N/ha/a. Durch den Verbleib von Rebholz im Weinberg sowie der Rückführung von Trester oder weiterem organischem Material wird der N-Entzug durch die Ernte und somit der N-Düngerbedarf zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit vermindert. Die hessische Officialberatung empfiehlt eine Begrenzung der N-Düngegaben auf maximal 50 kg N/ha/a. Werden dennoch wesentliche N-Düngemengen (> 50 kg N/ha/a) überschritten, muss vorab der N-Düngerbedarf, z.B. durch den N-Düngerbedarfsrechner des Regierungspräsidiums Darmstadt, Dezernat V 51.2 Weinbau, ermittelt werden. Dem Berechnungsverfahren liegen vom Ertragsniveau abhängige N-Grundbedarfswerte, Standortparameter und Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie die im Frühjahr ermittelten Boden-N_{min}-Werte zugrunde. In Abhängigkeit der Wüchsigkeit, Bodenart, Humusversorgung und des Bodenbearbeitungs- und Begrünungsmanagements erfolgen entsprechende Zu- bzw. Abschläge. Die Werte für den Frühjahrs-N_{min} werden gebietsweise durch das Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat V 51.2 Weinbau bereitgestellt. Alternativ können zur Ermittlung der erforderlichen N_{min}-Gehalte für betriebseigene Schläge oder Bewirtschaftungseinheiten Bodenanalysen auf Grundlage anerkannter wissenschaftlicher Messmethoden vorgenommen werden. Im Zuge der N-Düngerbedarfsermittlung werden die Düngemaßnahmen nach den Vorgaben der aktuellen DüV gleichzeitig dokumentiert. Der auf MS-Excel basierende N-Düngerbedarfsrechner wird jährlich aktualisiert und steht auf der Homepage des Regierungspräsidiums Darmstadt, Dezernat V 51.2 Weinbau zur Verfügung.

9.2 Ermittlung des Nährstoffdüngedarfs

Ob und in welchem Umfang Düngemaßnahmen auf einer Rebfläche erforderlich sind, muss durch die Differenz von Ist- und Sollwerten der jeweiligen Nährstoffgehalte im Boden ermittelt werden. Dazu wird eine Bodenanalyse über die vorhandenen Nährstoffgehalte durchgeführt und mit angestrebten Idealversorgungszuständen der angestrebten Versorgungsstufe C verglichen (Tabelle 14). Eine entsprechende Kategorisierung erfolgt in fünf unterschiedliche Nährstoffversorgungsstufen (A-E), wobei Versorgungsstufe A als sehr niedrig und E als sehr hoch eingestuft sind. Das Verhältnis von Kalium zu Magnesium im Boden sollte 2-2,5:1 betragen. Ein weiteres oder engeres Verhältnis kann jeweils zum Auftreten eines Mangels von Magnesium bzw. Kalium führen, obwohl der Boden in der Versorgung im oberen Bereich von C (d.h. im Optimum) liegt. Sollte es im Laufe der Saison zu einem Mangel kommen, ist eine Blattdüngergabe des jeweiligen Nährstoffs empfehlenswert. Bei den Gehaltstufen D, E und dem oberen Bereich von C kann eine Düngungsmaßnahme bis zur nächsten Bodenuntersuchung in 4-6 Jahren ausgesetzt werden. Der pH-Wert von Weinbergsböden sollte bei pH 6,5 liegen.

Tabelle 14 Nährstoffgehalte und pH-Werte für spezifische Versorgungsstufen in Abhängigkeit der Bodenart. Versorgungsstufen: A=sehr niedrig, B=niedrig; C=mittel; D=hoch; E=sehr hoch (nach Müller et al. 2000 [37];nach KOG WRRL)

Bodenparameter/ Nährstoff	Versorgungsstufe	Nährstoffgehalt [mg/100 g Boden] in Abhängigkeit der Bodenart		
		leicht	mittel/ alle Böden	schwer
Phosphor (P ₂ O ₅) [mg/100 g]	A		0-4	
	B		5-7	
	C		8-18	
	D		19-27	
	E		> 28	
Kalium (K ₂ O) [mg/100 g]	A	< 5	< 8	< 10
	B	5 - 9	8-14	10-19
	C	10-20	15-25	20-30
	D	21-30	26-38	31-45
	E	> 30	> 38	> 45
Magnesium (Mg) [mg/100 g]	A		< 5	
	B		5-9	
	C		10-15	
	D		16-22	
	E		> 22	
Bor (B) [mg/kg]	A		< 0,35	
	B		0,35-0,69	
	C		0,7-0,9	
	D		0,91-1,35	
	E		> 1,35	
pH-Wert	C	6,0-6,5	6,5-7,0	6,8-7,2

9.3 Organische Düngung (Humusdüngung)

Mit dem Begriff Humusdüngung ist im engeren Sinn die Zufuhr organischen Materials aus pflanzlichen oder tierischen Abfall- bzw. Reststoffen gemeint. Durch Abbau- bzw. Umwandlungsprozesse durch das Bodenleben (Makro- und Mikroorganismen) entsteht dabei sogenannter stabiler Dauerhumus und leicht abbaubaren Nährhumus. Eine bestimmte Gruppe an Mikroorganismen kann die organischen Verbindungen im Nährhumus wiederum zu anorganischen Nährstoffen mineralisieren, wodurch diese für die Rebe pflanzenverfügbar gemacht werden. Durch die Mineralisation des Humus können somit je nach Ausgangsmaterial erhebliche Mengen an wasserlöslichem Stickstoff (NH₄⁺, NO₃⁻) und Phosphor freigesetzt werden. Eine übermäßige Humusdüngung birgt daher auch die Gefahr von Nitratauswaschung ins Grundwasser und Phosphoreinträge in Oberflächengewässer durch eine zu schnelle Nährstofffreisetzung in Folge einer zu starken Mineralisation und Nitrifikation. Da die Geschwindigkeit der Umsetzung des Humus von vielen produktspezifischen (C/N-Verhältnis) sowie standort- und witterungsbedingten (Temperatur, Bodenfeuchte, Sauerstoff, pH-Wert) Einflussfaktoren abhängt, ist die Angabe für Ausbringungsmengen und Ausbringintervalle schwierig. Aus diesem Anlass werden durchschnittliche Parameter für die einzelnen Ausgangsmaterialien angenommen. Ein entscheidender Parameter ist die sogenannte Stickstofffreisetzungsrates (Tabelle 15). Diese besagt wieviel Stickstoff aus

dem jeweiligen Ausgangsmaterial/Humusdünger innerhalb eines bestimmten Zeitraumes freigesetzt wird. ([39]; [40]) Bei organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln sind für die Ausnutzung des Stickstoffs im Jahr des Aufbringens die Werte nach Anlage 3 der DüV, mindestens jedoch der ermittelte Gehalt an verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff, anzusetzen (Tabelle 15).

Tabelle 15 Gesetzliche Mindestwirksamkeit des Gesamtstickstoff organischer Dünger im zeitlichen Verlauf nach Aufbringung und entsprechende N-Freisetzungsraten aus der Praxis. (Werte nach DüV Anlage 3 (zu § 3 Absatz 5 Satz 1 Nummer 2); Kauer & Fader, 2015 [25])

Organischer Dünger	Mindestwirksamkeit des Gesamt-N nach Aufbringung und in Folgejahren [%]				N-Freisetzung [%]	
	Im Jahr der Ausbringung	Zweites Jahr	Drittes Jahr	Viertes Jahr	Nach Aufbringung	N-Verwertung innerhalb 3 Jahre
Bioabfallkompost	5	4	3	3	5	50
Grünschnitt	3	4	3	3	5	50
Trester	10	10	0	0	0-10	50
Most- & Hefetrub	80	10	0	0		75
Hühner-trockenkot	60					75
Hühnermist	30	10	0	0	75	k.A.
Pferde, Rinder-, Schaf- & Ziegenmist	25	10	0	0	50	k.A.

Neben den Möglichkeiten der Nährstoffnachlieferung durch eine Humusdüngung ist auch die Verbesserung bodenphysikalischer Eigenschaften hervorzuheben, die wiederum ebenfalls positiven Effekte für die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit hat. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die:

- Lockerung und Durchlüftung
- Steigerung des Infiltrationsvolumens für Niederschlagswasser
- Erhöhung der Wasserspeicherkapazität
- Stabilisierung des Bodengefüges/Erosionsschutz
- Reduzierung von Verschlammungs- und Verdichtungsrisiko

9.3.1 Wieviel Humus braucht mein Weinberg?

Abhängig von der Bodenart werden im Weinbau unterschiedliche Humusgehalte angestrebt. Leichte Böden sollten einen Wert von 1,5-1,9 %, mittelschwere Böden 1,8-2,4 % und schwere Böden 2,0-2,9 % aufweisen [38].

9.3.2 Wieviel Humus darf ich ausbringen?

Humusdünger unterliegen in der Regel den gesetzlichen Bestimmungen des Düngegesetzes, der Dünge-VO sowie Düngemittel-VO und der Bioabfall-VO. Während

Wirtschaftsdünger, zu denen auch Stroh, Trester sowie Hefe- und Entschleimungstrub zählen, nicht unter die Bioabfall-VO fallen, gelten beispielsweise für Biokomposte, Grünschnitt, Holzhäcksel und Rinde auch die Bestimmungen dieser Verordnung. Somit ist die Ausbringungsmenge der genannten Stoffe, je nach Grenzwerten für Schwermetalle (siehe Tabelle 16), auf 20-30 t Trockenmasse je Hektar für einen dreijährigen Turnus beschränkt. Gleichzeitig ist die Zufuhr von Humusdüngern durch die maximal zulässigen Nährstoffobergrenzen für Stickstoff und Phosphor geregelt. Mit der Ausbringung von Kompost dürfen im Betriebsschnitt maximal 510 kg N/ha innerhalb von 3 Jahren in nicht mit Nitrat belasteten Gebieten ausgebracht werden (DüV: § 6 Abs. 4 Satz 2). Allerdings sollte zur Vermeidung der N-Übersorgung die Humusgaben auf 300 kg N/ha für eine Dreijahresgabe begrenzt werden [38]. Im Rahmen der Kooperationsvereinbarung zwischen den Wasserwerksbetreibern und dem Rheingauer Weinbauverband zum Schutz des Grundwassers im Rheingau ist eine Begrenzung der Stickstoffzufuhr durch aufgebrauchte organische und organisch-mineralische Düngemittel auf 170 kg/ha innerhalb von 3 Jahren verschärft vereinbart worden. Maßgeblicher und limitierender Faktor für die Ausbringshöchstmenge für organische Humusdünger ist in der Regel jedoch sowohl der Phosphatgehalt (P_2O_5) im Boden sowie im organischen Düngeprodukt. Auf mit Phosphor übersorgten Böden darf nach geltender Düng-VO nur im gleichen Maße der Phosphat-Abfuhr nachgedüngt werden, wenn der Analysewert nach CAL-Methode über 20 mg P_2O_5 /100 g Boden beträgt. Bei einem jährlichen Traubenertrag von 14 t/ha entspricht dies einer Erhaltungsdüngung von maximal 10 kg P_2O_5 je Hektar und Jahr oder einer Dreijahresgabe von 30 kg/ha P_2O_5 . Ausgehend von einem durchschnittlichen Gehalt von 4,8 kg P_2O_5 je Tonne Frischmasse Bioabfallkompost dürften demnach maximal 6,3 t als Dreijahresgabe auf Phosphor-übersorgten Böden ausgebracht werden (Tabelle 17). Wird bei der Bemessungsgrundlage lediglich die maximale Ausbringungsmenge von 38-58 t Frischmasse (Ausbringungsmenge TM [t]:TM [%] *100= FM [t]) laut Bioabfall-VO herangezogen, würden somit 182-278 kg Phosphat nachgeliefert werden. Das Beispiel zeigt, wie wichtig die Informationen über Nährstoffgehalte, insbesondere von Phosphat im Boden und in den entsprechenden organischen Humusdüngern sind.

Tabelle 16 Schwermetallgrenzwerte in mg/kg Trockenmasse (TM) für Biokomposte, Grünschnitt, Holzhäcksel und Rinde sowie maximale Ausbringungsmengen in t TM/ha für ein Intervall von 3 Jahren gemäß Bioabfallverordnung (BioAbfV). Quelle: Umweltbundesamt, BioAbfV Stand 18.04.2022.

Grenzwerte für Schwermetalle [mg/kg Trockenmasse]	Gemäß BioAbfV § 6 Absatz 1 Satz 1	Gemäß BioAbfV § 6 Absatz 1 Satz 2
Blei	150	100
Cadmium	1,5	1,0
Chrom	100	70
Kupfer	100	70
Nickel	50	35
Quecksilber	1,0	0,7
Zink	400	300
Max. Ausbringungsmenge für 3 Jahre [t TM/ha]	20	30

9.3.3 Welche Humusdünger gibt es?

Zur Humusdüngung eignen sich unterschiedliche Substanzen, die sich in ihren Nährstoffgehalten, N/P- und C/N-Verhältnis sowie der N-Verfügbarkeit unterscheiden. Da die meisten Weinbergböden phosphorübersorgt sind, ist bei entsprechendem Stickstoffbedarf die Verwendung von organischen Humusdüngern mit weitem N/P-Verhältnis, wie z.B. Vinasse oder Haarmehlpellets, ratsam. Komposte und Festmiste sind dagegen durch erhöhte P-Gehalte charakterisiert. Bei Bezug kommerzieller Kompostpräparate ist es empfehlenswert auf zertifizierte, d.h. gütegesicherte Produkte der Hersteller zu achten. Das RAL-Gütesiegel des Deutschen Instituts für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (Abbildung 8) gewährleistet beispielsweise die Einhaltung der Anforderungen an die Güte von Kompost und Gärprodukten. Die Durchführung der Gütesicherungen dieser Warengruppen erfolgt durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK). Sie ist unabhängig, neutral und allein der Gütesicherung und der Förderung der guten fachlichen Praxis verpflichtet. Jedes Prüfzeugnis enthält die ordnungsgemäße düngemittelrechtliche Kennzeichnung, den Düngewert sowie die analytischen Nährstoffgehalte. Mit den Dokumenten der Gütesicherung wird die Einhaltung der düngemittel- und abfallrechtlichen Vorgaben vollständig ausgewiesen. [41] www.Kompost.de



Abbildung 8 RAL-Gütesiegel

Tabelle 17 Nährstoffgehalte von organischen Düngemitteln im Weinbau; A* = Kein Richtwert vorhanden, d.h. Analyse erforderlich; * Für die Berechnung der Ausbringungsmenge ist immer der Analysewert gemäß Lieferschein maßgeblich!

	Nährstoffgehalt in der Frischemasse (FM) [kg/t bzw. kg/m ³]								
	Einheit	Gesamt-N	NH ₄ -N	Verfügbare-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Jährliche Ausbringungsmenge [t/ha bzw. m ³ /ha] für Gabe 50 kg N/ha	Darin enthaltende P-Fracht [kg P ₂ O ₅ /ha]	Jährliche Ausbringungsmenge [t/ha bzw. m ³ /ha] für max. 10 kg P ₂ O ₅ /ha
Reststoffe aus Weinbereitung									
Trester ¹ (40 % TM) (1 m ³ = 0,58 t)	kg/t	7,4	0,2	0,7	2,3	7,8	6,8	15,6	4,3
	kg/m ³ ≥	4,3	0,1	0,4	1,3	4,5	11,6	15,1	7,7
Mosttrub flüssig (1 m ³ = 1 t)	kg/m ³ ≥	5,0	A*	A*	0,3	3,0	10,0	3,0	33,3
Weinhefe ⁸ (30% TM) (1 m ³ = 1 t)	kg/m ³ ≥	53,3		0,6	3,0	12,0	0,94	2,8	3,3
Schlempe ohne Hefe ⁹	kg/m ³ ≥	0,2		A*	0,2	0,7	250		
Filtrationskieselgur ² (40 % TM)	kg/t	6,4	2,6		1,0	6,0	7,8	7,8	10
Sonstige Humusdünger									
Streuweise ⁷ (87 % TM)	kg/t	11,0	n.n.	n.n.	4,0	15,6	4,5	18,0	2,5
Stroh (90 % TM)	kg/t	5,0	n.n.	n.n.	3,0	14,0	10	30,0	3,3

	Nährstoffgehalt in der Frischmasse (FM) [kg/t bzw. kg/m ³]								
	Einheit	Gesamt-N	NH ₄ -N	Verfügbare-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Jährliche Ausbringung [t/ha bzw. m ³ /ha] für Gabe 50 kg N/ha	Darin enthaltende P-Fracht [kg P ₂ O ₅ /ha]	Jährliche Ausbringung [t/ha bzw. m ³ /ha] für max. 10 kg P ₂ O ₅ /ha
Kompost									
Grünschnittkompost ⁴ (64 % TM)	kg/t	6,5*		0,4	3,2*	6*	7,7	24,6	3,1
Bioabfallkompost ⁴ (52 % TM)	kg/t	9*		1,0	4,8*	8,1*	5,6	26,9	2,1
Holzhäcksel ⁵ > 40 mm	kg/t	4*	n.n.	n.n.	1*	3*	12,5	12,5	10
Tresterkompost ¹⁰	kg/t	12*			5*		4,2	21	2
Festmist									
Rindermist ⁶ (25 % TM)	kg/t	6,5		1,6	4,0	11,0	7,7	30,8	2,5
Schweinemist ⁶ (25 % TM)	kg/t	9,8		2,9	8,2	6,9	5,1	41,8	1,2
Schafmist ⁶ (25 % TM)	kg/t	5,5		1,4	3,2	13,3	9,1	29,1	3,1
Pferdemist ⁶ (25 % TM)	kg/t	5,0		1,3	3,8	12,6	10	38	2,6
Hühnermist ³ (50 % TM)	kg/t	22,0		11,4	18,0	16,0	2,3	41,4	0,6
Sonstige organische Dünger									
Haarmehlpellets	kg/t	140							
Vinasse	kg/t	52			5		0,96	4,8	2

Quellen: 1 Fischer, A 1983; Ziegler, B. 1990; Kluge, R., M. Riedel u. D. Rupp, 2006; 2 VDLUFA (Hrsg.) Stickstoff- und Siliziumdüngewirkung von Filtrationskieselgur bei Getreide, Schriftreihe 40, Kongressband 1995, S.37-940; 3 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Basisdaten für die Ermittlung des Düngedarfs und für die Umsetzung der Düngeverordnung, März 2007; 4 ISA-Ingenieurbüro für Sekundärrohstoffe und Abfallwirtschaft Dr. R. Gottschall; Veranstaltung „Komposteinsatz in der Landwirtschaft“, RGK Südwest & DLR Rheinpfalz, 13.09.2017; 5 Dr. D. Rupp & R. Fox, LVWO Weinsberg; 6 LTZ Augustenberg (Hrsg.): Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 35 Düngeverordnung; 7 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2018; 8 RPDA Dez. V 51.2, 2018 unveröffentlicht; 9 DLR Rheinpfalz, 2018 unveröffentlicht; 10 Müller, ddw 10/2018;

9.3.4 Berechnung von Humusdüngemengen

Maßgeblich bei der Berechnung der Humusdüngemenge sind sinnvolle jährliche Stickstoffmengen, die durch eine Bedarfsermittlung bestimmt werden sollten und die verfügbaren Stickstoffgehalte des jeweiligen Produktes. Da Humusgaben üblicherweise im Dreijahresturnus verabreicht werden, kann der jährliche ermittelte Bedarf mit dem Faktor 3 multipliziert werden. Im nachfolgenden Beispiel wird von einem jährlichen Stickstoffbedarf von 50 kg N/ha ausgegangen.

$$\text{Humusdüngermenge [t/ha]} = \frac{\text{Sinnvolle jährliche N – Menge [kg/ha]} * 3 \text{ Jahre}}{\text{Nutzbare N – Gehalt des Produktes [kg/t]}}$$

Beispiel: Bioabfallkompost mit 9 kg N/t in der Frischmasse (FM) und einer angenommenen N-Ausnutzungsrate von 50 % d.h. 4,5 kg verfügbarer Stickstoff /t. Die Trockenmasse (TM) beträgt 52 %.

$$33,3 \text{ t Bioabfallkompost/ha} = \frac{50 \text{ kg N/ha} * 3 \text{ Jahre}}{4,5 \text{ kg N/t}}$$

In dem vorangegangenen Beispiel wurde eine Ausbringungsmenge von 33,3 t Bioabfallkompost als Frischmasse ermittelt. Bei einem Trockenmasseanteil von 52 % entspricht dies einer Ausbringungsmenge von 17,3 t/ha TM ($33,3 \text{ t/ha FM} * 0,52 = 17,3 \text{ t/ha TM}$). Somit wird die maximal zulässige Ausbringungsmenge von 20-30 t/ ha TM nach Bioabfall-VO eingehalten.

9.4 Tresterverbringung

Trester, der nach der Ernte bei der Verarbeitung der Trauben entsteht, weist einen wesentlichen Nährstoffgehalt an Stickstoff (1,5 % N in der TM) und Phosphat (0,5 % P₂O₅ in der TM) auf. Somit handelt es sich hierbei grundsätzlich um einen Wirtschaftsdünger pflanzlicher Herkunft (§ 2 Satz 1 Nr. 2 b Düngegesetz). Unter bestimmten Voraussetzungen können Trester allerdings als Ernterückstand betrachtet werden. Dieser Sachverhalt bietet die zwei nachfolgenden Möglichkeiten der Tresterverbringung.

MÖGLICHKEIT 1: TRESTERVERBRINGUNG ALS ERNTERÜCKSTAND

Die Aufbringung von Trester als Ernterückstand muss zeitnah, möglichst innerhalb von 5 Tagen und auf die entnommene Fläche erfolgen. Ist die Tresterverbringung entsprechend umgesetzt, ist die Dokumentation als Düngemaßnahme gemäß DüV befreit. Hier muss nur im Herbstbuch vermerkt werden, dass auf allen Flächen des Betriebes der Trester gleichmäßig zurückgeführt wird.

MÖGLICHKEIT 2: TRESTERVERBRINGUNG ALS WIRTSCHAFTSDÜNGER

Wird Trester nicht zeitnahe, d.h. innerhalb von 5 Tagen nach dem Abpressen aufgebracht, handelt es sich nach Definition des Düngegesetzes um einen Wirtschaftsdünger. Aus diesem Grund sind die nachfolgenden gesetzlichen Vorgaben einzuhalten:

1. Die Aufbringung von Düngemitteln darf grundsätzlich nicht erfolgen, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt oder schneebedeckt ist.
2. Die Tresterverbringung darf ausschließlich auf den begrüneten Gassen erfolgen.
3. Aufgrund seines wesentlichen Phosphatgehaltes von 0,5 % P₂O₅ in der Trockenmasse darf Trester vom 1. Dezember bis zum Ablauf des 15. Januar nicht aufgebracht werden.

Wichtig!

Zusätzlich gilt ein zeitlich verschärftes Ausbringverbot für kompostierte Trester in belasteten (roten und gelben) Gebieten im Zeitraum vom 1. November bis 31. Januar (DüV: § 13a Abs. 2 Nr. 4).

Für die Aufbringung sind spätestens 2 Tage nach Düngung folgende Daten aufzuzeichnen:

1. Eindeutige Bezeichnung und Größe des Schlags oder der Bewirtschaftungseinheit
2. Art und Menge des aufgebrauchten Stoffes
3. Menge an Gesamt-N und Gesamt-P₂O₅ pro Schlag bzw. Bewirtschaftungseinheit
4. Bei organischen und organisch-mineralischen Düngern zusätzlich die Menge an verfügbarem Stickstoff pro Schlag oder der Bewirtschaftungseinheit

DOKUMENTATION DER MÖGLICHKEIT 2

Wird mit einer jährlichen Trestergabe maximal 50 kg N/ha ausgebracht, muss der N-Bedarf für die entsprechende Fläche nicht ermittelt werden. Unter der Annahme von 7,4 Kilogramm Stickstoff je Tonne frischem Trester würde dies einer Menge von 6,8 t bzw. 11,6 m³ Trester je Hektar entsprechen (Tabelle 17). Bei Schlägen ab 1 ha ist zusätzlich auf das Phosphat zu achten. Auf hochversorgten Phosphat-Flächen, d.h. > 20 mg P₂O₅/100 g Boden ermittelt nach CAL-Methode, darf nur die Phosphat-Abfuhr (10 kg P₂O₅/ha/a) zurückgeführt werden. Bei einem Phosphatgehalt von 2,3 Kilogramm Phosphat je Tonne frischem Trester dürften demnach max. 4,3 t bzw. 7,7 m³ Trester je Hektar und Jahr ausgebracht werden (Tabelle 17). Bei der jährlichen Gabe müssen gemäß der DüV die Nährstoffgehalte des aufgebrauchten Tresters dokumentiert werden. Hierfür können Sie entweder die Richtwerte aus Tabelle 17 bzw. 18 entnehmen oder eine eigene Tresteranalyse bei der WRRL Beratung Hochschule Geisenheim University machen lassen.

Tabelle 18 Richtwerte für Nährstoffgehalte im Traubentrester in Kilogramm je Tonne bzw. Kubikmeter Trester nach Kluge et al. 2006 [42]. (FM = Frischmasse, TM = Trockenmasse)

Richtwert Nährstoffgehalt Trester							
Gehalt in FM	Einheit	Gesamt N	NH ₄ -N	verfügbarer N-Gehalt im 1. Jahr = 10-15 %	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Trester (41 % TM)	kg / t	7,4	0,2	0,7-1,1	2,3	7,8	0,5
Trester (1 t FM = 1,7 m ³)	kg / m ³	4,3	0,1	0,4-0,6	1,3	4,5	0,3

Im Rahmen der Kooperationsvereinbarung zwischen den Wasserwerksbetreibern und dem Rheingauer Weinbauverband (KOOP) gilt zudem eine Obergrenze von 170 kg N/ha innerhalb von drei Jahren für alle aufgebrauchten organischen und organisch-mineralischen Düngemittel einschließlich Gärrückstände und Wirtschaftsdünger tierischer oder pflanzlicher Herkunft. Dazu zählt auch Trester!

HINWEISE ZUR TRESTERLAGERUNG

Aus phytosanitären Gründen sollte auf eine Zwischenlagerung in der Nähe von noch nicht abgeernteten und spätreifenden Sorten verzichtet werden. Zudem muss berücksichtigt werden, dass das Tresterlager einen potenziellen Nährboden z.B. für Drosophila-Arten (*Drosophila suzukii* - Kirschessigfliege) bietet. Diese können Krankheitserreger (z.B. Essigbakterien) auf die in den angrenzenden Parzellen reifenden Trauben übertragen und in der Folge zu deren Verderb führen.

Dem zwischengelagerten Trester kann grundsätzlich auch der anfallende Mosttrub bzw. die Hefe zugegeben werden. Dies gilt jedoch nicht für kieselgurhaltige Kellereiabfälle. Diese dürfen gemäß der DüV (§ 7 Abs. 3) nur frisch aufgebracht und direkt in den Boden eingearbeitet werden. (Bitte achten Sie auf die KOOP-Vereinbarung, hier ist eine Bodenbearbeitung erst ab Mitte März möglich.) Eine Zwischenlagerung kieselgurhaltiger Kellereiabfälle ist verboten. Die Lagerung von Trester ist für maximal 6 Monate zulässig.

GEWÄSSERABSTÄNDE FÜR DEN EINSATZ UND DIE LAGERUNG

Auf den ersten 4 Meter ab Böschungsoberkante am Gewässer ist der Einsatz und die Lagerung von Düngemitteln nach den Vorgaben des Hessischen Wassergesetzes verboten. In mit Phosphor belasteten (eutrophierten) Gebieten erweitert sich das P₂O₅-Düngungs-/Anwendungsverbot auf 5 Meter ab Böschungsoberkante.

Bei einer Hangneigung ab 10 % darf in eutrophierten Gebieten auf den ersten 10 Metern ab Böschungsoberkante kein stickstoff- und phosphorhaltiger Dünger eingesetzt werden.

Wenn in den ersten 20 Metern ab Böschungsoberkante die Hangneigung $\geq 10\%$ ist, muss auch in den nicht gefährdeten Gebieten ein Abstand von mind. 5 Metern eingehalten werden. Liegt die Hangneigung in den ersten 30 Metern ab Böschungsoberkante bei $\geq 15\%$, so gilt für alle stickstoff- und phosphorhaltigen Düngemittel das Düngeverbot von 10 Metern ab Böschungsoberkante.



Abbildung 9 Unsachgemäße Lagerung von Trester und kieselgurhaltiger Kellereiabfälle (links) und optimale Verteilung in der Fläche (rechts) (Quelle: Regierungspräsidium Darmstadt, 2024)

Tabelle 19 Anforderungen an die ordnungsgemäße Zwischenlagerung von Trester außerhalb der Betriebsstätte (RPDA Merkblatt: Leitfaden Ordnungsgemäße Zwischenlagerung von Wirtschaftsgütern im Außenbereich! Stand August 2022)

Anforderungen an die Tresterzwischenlagerung	
Verbote	<ul style="list-style-type: none"> in der Zone I (Fassungsbereich) und Zone II (engere Zone) von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten (geregelt in der jeweils gültigen Wasserschutz- oder Heilquellenschutzgebietsverordnung) Überschwemmungsgebiete (§ 78 a WHG) auf Gewässerrandstreifen in einem Bereich von 4 m ab der Böschungsoberkante (§ 23 Abs. 2 Nr. 1 WHG) auf bekannten Fortpflanzungs- und Ruhestätten europäisch geschützter Arten i.S.d. Vogelschutzrichtlinie und des Anhangs IV der FFH-RL (insbesondere Feldflurarten wie Feldhamster, Kiebitz oder Rebhuhn) (§ 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG)
ungeeignete Standorte	<ul style="list-style-type: none"> auf staunassen und wassererosionsgefährdeten Flächen ist die Zwischenlagerung im Regelfall ausgeschlossen (§32 und §48 WHG) bei Grundwasserständen zur Geländeoberkante von weniger als 1 m in Senken und Geländevertiefungen, wenn der Grundwasserflurabstand weniger als 1,5 m beträgt im Bereich von Drainage-Leitungen auf klüftigem und durchlässigem Untergrund ohne ausreichende Dichtschicht, (z.B. Sandböden, wasserwirtschaftlich sensible Gebiete) im Nationalpark, in Natur- und Landschaftsschutzgebieten, Naturdenkmalen, Nationalen Naturmonumenten und anderen geschützten Landschaftsbestandteilen (HAGBNatSchG) je nach örtlicher Schutzgebietsverordnung (siehe https://geobox-i.de/GBV-HE/) in gesetzlich geschützten Biotopen entsprechend dem Landes- und Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG, HAGBNatSchG), weitergehende Bestimmungen sind zu beachten, (siehe https://geobox-i.de/GBV-HE/) auf natürlich mageren, nährstoffarmen Standorten und Sonderstandorten wie FFH-Lebensraumtypen Flächen für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen Wegeparzellen

Anforderungen an die Tresterzwischenlagerung	
Geeignete Standorte	<ul style="list-style-type: none"> • nur auf bewirtschafteter, landwirtschaftlicher Nutzfläche (Acker oder ausnahmsweise kurzfristig Grünland, soweit Grünlandeigenschaft nicht beeinträchtigt und Weinbaulich genutzten Flächen (auch Weinbaubrachten)) • der Lagerplatz ist spätestens nach einem halben Jahr zu räumen und eine erneute Zwischenlagerung am gleichen Standort wird frühestens nach fünf Jahren empfohlen • tonhaltige, undurchlässige Standorte sind zu bevorzugen • auf stark durchlässigen Böden sollte eine Unterflursicherung (siehe Punkt - Anlage Miete) vorgenommen werden
Empfohlene Mindestabstände	<ul style="list-style-type: none"> • 100 m - zu öffentlichen und privaten Trinkwassergewinnungsanlagen • 50 m - zu oberirdischen Gewässern und sonst. Vorflutern mit wasserwirtschaftlicher Bedeutung (siehe https://geobox-i.de/GBV-HE/) • 20 m - zu Gewässern ohne wasserwirtschaftlicher Bedeutung
Voraussetzungen an den Trester	<ul style="list-style-type: none"> • der Trockensubstanzgehalt der Trester sollte mindestens 30 % betragen, um eine Sickersaftbildung weitgehend zu vermeiden
Anlage Miete	<ul style="list-style-type: none"> • sollte die Lagerung nur auf hängigen Flächen möglich sein, sind Vorkehrungen gegen Durchsickern von Niederschlägen am Mietenfuß und oberflächiges Abfließen von Sickersäften zu treffen, z.B. indem vor der bergseitigen Fläche des Tresterlagers eine Entwässerungsmulde gezogen wird. Damit kann bei Starkregenereignissen das Niederschlagswasser vom Hang und von der bergseitigen Abdeckung des Tresterlagers abgeleitet werden • die zwischengelagerte Menge hat in einer sinnvollen Relation zu den damit zu düngenden, in der Nähe liegenden Flächen zu stehen • empfehlenswert bei flachgründigen und/oder leichten Böden; geeignet sind grundsätzlich Tonminerale, bei Trester auch Stroh • bei Verwendung von Tonmineralen sind beim Abräumen des Tresterlagers die oberen 5 bis 10 cm der Unterflursicherung mit aufzunehmen und aufzubringen
Bewirtschaftung nach der Tresterlagerung	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbearbeitung nur dann, wenn unmittelbar nach Räumung des Lagerplatzes eine pflanzenbauliche oder weinbauliche Nutzung (kein Anbau von Leguminosen) erfolgt • hier ist die Einsatz von N-zehrenden Pflanzen wie z.B. Ölrettich, Senf, Raps, Buchweizen, Gras-Arten vorzusehen • keine Stickstoffdüngung im Bereich des geräumten Lagerplatzes im Folgejahr
Zwischenlagerdauer	<ul style="list-style-type: none"> • möglichst kurz • höchstens 5 Tage bei der Verwendung als Ernterest • höchstens 6 Monate, wenn der Trester an der Betriebsstätte vorgerottet oder kompostiert wurde

9.5 Mineralische Düngung

Mineralische Stickstoffdünger werden unter Energieverbrauch (1 kg N = 1 L Erdöl) synthetisch aus Luftstickstoff gewonnen. Prinzipiell unterscheidet man zwischen Ammonium- und Nitratdünger. Letztere sind aufgrund ihrer besseren Mobilität im Boden schneller wirksam. [6] Wasserlösliches Nitrat (NO_3^-) wird wegen seiner negativen Ladung nicht an Bodenpartikel (Ton-Humus-Komplexe) gebunden und kann von den Wurzeln ohne weitere Umwandlungsprozesse direkt aus der Bodenlösung aufgenommen

werden. Bei niederschlagsreicher Witterung und wasserdurchlässigen Bodenverhältnissen besteht daher die Gefahr der Auswaschung ins Grundwasser. Aufgrund der positiven Ladung können Ammonium-Ionen (NH_4^+) an Ton-Humusteilchen angelagert und bedingt festgehalten werden. Freies Ammonium kann je nach biologischer Aktivität im Boden in einem Zeitraum von 1-4 Wochen zu Nitrat umgewandelt werden. [3]

Eine mineralische N-Düngung bei Reben sollte auf 50 kg N/ha in einer Gabe begrenzt werden. Der optimale Zeitraum für eine mineralische Düngung liegt zwischen Austrieb und Blüte. Nachblüte Gaben sind aufgrund der immer häufigeren Frühsommertrockenheit in Folge des Klimawandels nicht empfehlenswert. Bei Bedarf kann im Nachblütebereich eine Blattdüngung erfolgen. Daher ist die Empfehlung an die Betriebe sich hierfür im Rahmen des ermittelten N-Bedarfs 5-10 kg N/ha freizuhalten. Der prozentuale N-Gehalt sowie produktspezifische Eigenschaften und Einsatzzeitpunkte unterschiedlicher mineralischer Dünger können der nachfolgenden Tabelle 20 entnommen werden. Bei mineralischen Düngemitteln sind für die Ausnutzung des Stickstoffs die darin enthaltenen Stickstoffmengen im Jahr des Aufbringens in voller Höhe anzusetzen.

Tabelle 20 Eigenschaften und Einsatzzeitpunkte mineralischer N-Düngemittel im Weinbau. (nach Müller, 2008 [3]; Schubert, 2018 [6])

Mineralische N-Dünger	N-Gehalt [%]	Eigenschaften	Einsatzzeitpunkt
Ammoniumdünger			
Ammoniumsulfat (Ammonsulfat; schwefelsaures Ammoniak)	21	Mittelfristig wirkend, stark versauernd, Zugabe von Nitrifikationshemmer nötig	Ab Austrieb-Ende Mai
Nitratdünger			
Kalksalpeter (Calciumnitrat)	15,5-16	Schnell wirkend, stark hygroskopisch, alkalisch	Ab Blüteende-Schrotkorngröße
Natronsalpeter (Chilesalpeter, Natriumnitrat)	16	Schnell wirkend	Ab Blüteende-Schrotkorngröße
Ammoniumnitratdünger			
Ammoniumnitrat	35	Schnell und mittelfristig wirkend, hoher N-Anteil, Explosionsgefahr	
Kalkammonsalpeter (Ammoniumnitrat+Kalk)	26-27,5	Schnell und mittelfristig wirkend, nicht versauernd, keine Explosionsgefahr	Ab Austrieb-Schrotkorngröße
Ammonsulfatsalpeter (Ammoniumsulfat x Ammoniumnitrat)	26	Mittelfristig und geringer Anteil, kurzfristig wirkend Versauernd	Ab Austrieb-Ende Mai
Amiddünger (langsame Wirkung bei Bodendüngung)			
Harnstoff	46	Relativ langsam wirkend, stark versauernd, Einsatz überwiegend als Blattdünger	Zu Bedarfshöhepunkte
Kalkstickstoff	20-22	Sehr langsam wirkend, alkalisch, Kontakt mit Rebe vermeiden!	4-6 Wochen vor Austrieb

9.6 Düngung im ökologischen Weinbau

Düngung im ökologischen Weinbau bedeutet nicht primär Ersatz von Nährstoffen. Es wird nicht nach Entzug gedüngt, sondern es werden Bedingungen für einen vitalen Boden mit aktiven Bodenlebewesen geschaffen, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und aufzubauen. [43]

Ein wichtiges Ziel im Öko-Weinbau ist es, die natürliche Fruchtbarkeit und biologische Aktivität zu erhalten oder durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Eine Maßnahme ist zum Beispiel die Einsaat von Gründüngungen, insbesondere mit Leguminosen und Tiefwurzlern. Da eine ausreichende Nährstoffversorgung allein durch Gründüngung und Begrünungsmanagement in der Regel nicht gewährleistet werden kann, dürfen auch Düngemittel eingesetzt werden. Welche zulässig sind, wird durch die EU-Öko-Verordnung sowie die Richtlinien der Anbauverbände geregelt. Darüber hinaus sind die Anwendungsbestimmungen der Düngeverordnung zu beachten.

9.6.1 Wirtschaftsdünger

Wichtige Düngemittel sind die Wirtschaftsdünger, wobei in erster Linie Pferdemist aus Reitställen sowie getrockneter Hühnermist aus extensiver Bodenhaltung für den Weinbau in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht. In der Mehrzahl der Betriebe wird der Pferdemist als „tierische“ Komponente in der eigenen Kompostbereitung eingesetzt.

Für die Ausbringung aller Wirtschaftsdünger gilt eine Obergrenze von 170 Kilogramm Gesamtstickstoff je Hektar und Jahr im Betriebsdurchschnitt (bei den Anbauverbänden weniger). Wird Stallmist zugekauft, ist darauf zu achten, dass die Tiere extensiv gehalten wurden (max. zwei Großvieheinheiten je Hektar). Eine Öko-Haltung der Tiere, von denen der Mist stammt, ist nicht vorgeschrieben.

Tabelle 21 Nährstoffgehalte [kg/t] und Freisetzungsraten [%] verschiedener Wirtschaftsdünger (nach Kauer und Fader, 2015 [25])

Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern [kg/t]						
	TS (%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N-Freisetzung im ersten Jahr [%]
Rindermist	25	6	4	8	1	50
Pferdemist	30	4,5	3	8	1	50
Schafsmist	30	8	3	7	2	50
Hühnermist	45	24	18	17	5	75

9.6.2 Eigene Komposte

Bei den betriebseigenen Komposten handelt es sich zum einen um Wirtschaftsdünger in Form von Stallmistkomposten, zum anderen um Erdkomposte und kompostierte Ernterückstände. Als wichtigster Ernterückstand und Bestandteil eines Kompostes ist der Trester zu nennen. Hinzu kommen noch aus der Weinbereitung die Kellereiabfälle wie Hefe-Kieselgurtrub. Die Ernterückstände werden über eine Flächenkompostierung oder eine Haufenkompostierung aufbereitet.

9.6.3 Einsatz von Sekundärrohstoffdüngern

Neben den betriebseigenen Komposten kommt dem Einsatz von Sekundärrohstoffdüngern eine wichtige Rolle zu. Dabei handelt es sich um Produkte aus nicht landwirtschaftlichen Betrieben. Die am häufigsten in der Landwirtschaft verwendeten Sekundärrohstoffdünger sind Siedlungsabfälle, wie Grünschnittkompost aus kommunaler Entsorgung oder Bioabfallkompost.

Im ökologischen Weinbau kommen ausschließlich qualitätsgesicherte Komposte in Frage, die den hohen Anforderungen der EU-Öko-Verordnung entsprechen. Für verbandsgebundene Betriebe gelten meist noch strengere Regeln. Darüber hinaus sind die gesetzlichen Grundlagen der Düngeverordnung für das Ausbringen von Grünschnitt- oder Hausmüllkomposten zu beachten.

Tabelle 22 Nährstoffgehalte in Sekundärrohstoffdüngern in Kilogramm pro Tonne (nach Kauer und Fader, 2015 [25])

Nährstoffgehalte in wichtigen Sekundärrohstoffdüngern [kg/t]						
	TS [%]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N-Freisetzung im ersten Jahr [%]
Bioabfallkompost	60	9,5	4	7,5	4,5	50
Grünschnittkompost	60	4,5	2,5	5	3,5	50

9.6.4 Organische Handelsdünger

Neben den Humuslieferanten (Mist, Kompost) gibt es eine große Palette an stickstoffhaltigen organischen Düngern, die für den Spezial- und Sonderkulturbetrieb auch wirtschaftlich von Bedeutung sind. Bei der Anwendung sollte stets der hohe Anteil an leichtverwertbarem Stickstoff beachtet werden.

Tabelle 23 Nährstoffmengen [%] und Stickstofffreisetzung [%] organischer Handelsdünger im Jahr der Ausbringung (nach Kauer und Fader, 2015 [25])

Gebräuchliche organische Handelsdünger im ökologischen Weinbau				
	Nährstoffmenge [%]			N-Freisetzung im ersten Jahr [%]
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Rapsschrot	5,5	2,5	1	50 - 75
MaltaFlor	4,5	1,3	5,2	50 - 75
Vinasse	5,2	0,5	8,8	75
Hornspäne	14	k.A.	k.A.	50 - 75
Hornpellets	12	k.A.	k.A.	75
Haarmehlpellets	14	0,9	0,2	50 - 75
Horngries	14	k.A.	k.A.	75
Guano	11	3	1	75
Hühnertrockenkot, pelletiert (Bio-Herkunft)	3,6	2,8	2,2	75

9.6.5 Mineralische Ausgleichsdüngung

Reichen die aus der organischen Düngung zugeführten Nährstoffe (insbesondere die Spurenelemente) nicht aus, um eine harmonische Ernährung der Pflanze sicherzustellen, so kann dieser Mangel mit schwerlöslichen Mineralstoffen ausgeglichen werden. Die natürlichen Mineralstoffe enthalten die Nährelemente in meist sehr geringer Konzentration und in wasserunlöslicher Form. Erst der mikrobielle Aufschluss macht die darin enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar. In der folgenden Tabelle 24 sind gebräuchliche Mineraldünger für den ökologischen Weinbau mit ihren Gehalten an den wertbestimmenden Mineralstoffen aufgeführt.

Tabelle 24 Zusammensetzung gebräuchlicher Kalk- und Mineraldünger im Ökologischen Weinbau (nach Kauer und Fader, 2015 [25])

Dünger	Gehalte [%]
Kalke	
Algenkalk	53 % CaO, 12 % MgO
Hüttenkalk	47 % CaO, 10 % MgO, 33 % SiO ₂ , 3 % Mn
Carbokalk	48 % CaCO ₃
Kohlensaurer Kalk	45-53 % CaO
Muschelkalk	31-46 % CaO, 1,4-12 % MgO
Phosphor	
Weicherdiges Rohphosphat	25 % P ₂ O ₅
Rohphosphat mit kohlensaurem Magnesiumkalk	15 % P ₂ O ₅ , 46 % CaO, 7 % MgO
Rohphosphat mit Calciumcarbonat	17 % P ₂ O ₅ , 36 % CaO, 5 % MgO
Kalium	
Kaliumsulfat	52 % K ₂ O, 18 % S
Patentkali	30 % K ₂ O, 10 % MgO, 17 % S
Magnesium	
Bittersalz	16 % MgO, 13 % S
Kieserit, fein	27 % MgO, 22 % S
Bor (Borax)	11 % B
Eisenchelat	6-13 % Fe
Mangancarbonat	27 % Mn

Je feiner die Naturprodukte vermahlen sind, desto größer ist die Oberfläche für die biologisch-chemisch-physikalische Verwitterung. Die allmähliche Freisetzung der Nährstoffe entspricht damit den Anforderungen an einen kontinuierlichen Nährstoffeintrag.

10. Vegetationsbegleitende Messungen und Beratung zur angepassten Düngung

Unter "Vegetationsbegleitende Messungen/Beratung" werden die Maßnahmen verstanden, die in Ergänzung bzw. zur Konkretisierung der für die Berechnung der Düngeempfehlung getroffenen Annahmen der Düngungsoptimierung dienen. Sie erlauben keine Überschreitung der Obergrenze bei der Düngebedarfsermittlung nach Düngeverordnung. Das Ziel ist eine laufende Optimierung der anstehenden Düngegaben und Anpassung der Düngung im Vegetationsverlauf. Bei vegetationsbegleitenden Messungen (z.B. Nitratcheck, Chlorophyll-messungen etc.) sollen Ergebnisse von den Beratungskräften überprüft und ggf. gezielt auf ihre Aussagekraft hin interpretiert werden.

Genannte Verfahren sind nach hiesiger Einschätzung von untergeordneter Bedeutung im praktischen Weinbau und allenfalls als flankierende Maßnahmen anzusehen.

11. Erosionsschutz

Bodenerosion ist die Abtragung von sandigen, schluffigen und/oder tonigen Partikel sowie der Humusschicht des Oberbodens durch Wasser- (Wassererosion) oder Windkraft (Winderosion). Schätzungsweise gehen mit der Abtragung von 1 mm Boden 15 t/ha humus- und nährstoffreiches Substrat verloren [33]. Auf diese Weise verliert der Boden langfristig seine Fruchtbarkeit sowie sein Nährstoff- und Wasserspeichervermögen. Wichtige Nährstoffe werden dem Boden entzogen und können in angrenzende Oberflächengewässer verlagert werden. Dadurch kann es in der Folge insbesondere durch Phosphorverlagerung zur Eutrophierung/Nährstoffbelastung der Gewässer kommen. Zudem werden weitere wichtige Bodenfunktionen, wie beispielsweise die Fähigkeit Schadstoffe zurückzuhalten, zu binden bzw. abzubauen stark beeinträchtigt, wodurch die angrenzende Gewässerökologie stark gefährdet wird (www.umweltbundesamt.de, Stand: 24.10.2023). Entscheidende Einflussfaktoren die zu Bodenerosion führen sind Witterungsbedingungen (Niederschlag/Wind), topografische Standortbedingungen (Hangneigung, Hanglänge), die Bodenart (Korngrößenzusammensetzung) und das Bodenpflegemanagement (Bodenbearbeitung). Niederschlagsreiche Standorte mit großem Gefälle oder Lössböden mit hohem feinsandigem Schluffanteil sind beispielsweise im besonderen Maße erosionsgefährdet. [44] Grobsandige und steinige Böden dagegen sind aufgrund ihres besseren Infiltrationsvermögens weniger durch Wassererosion gefährdet [45]. Gesetzlich ist der Erosionsschutz im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) verankert. Vorsorgemaßnahmen zum Schutz von Bodenabtrag sind auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verpflichtend. Ziele und mögliche Maßnahmen zum Schutz vor Wasser- bzw. Winderosion sind unter anderem:

- Möglichst ganzjährige Bodenbedeckung (Einsaat von Zwischenbegrünung oder Abdeckungsmaterial) zur Verbesserung der Gefügestabilität
- Erhöhung der Infiltrationsfähigkeit des Bodens durch Durchwurzelung und hohen Humusanteil
- Hangparallele Bewirtschaftung (quer zum Gefälle)

- Angepasste Bodenbearbeitung: Vermeidung hangabwärts gerichteter Erosionsrinnen, Schaffung von Querrillen durch Walzen in den Gassen
- Reduzierung der Hanglänge
- Vermeidung von Bodenverdichtung und Verschlämmung durch zu häufige und intensive, fein krümelnde Bodenbearbeitung
- Anlegen von Erosionsbarrieren/Erosionsschutzstreifen (Hecken, Blühstreifen etc.)

Im Weinbau sind insbesondere offengehaltene Weinbergsböden in Hanglage stark erosionsgefährdet. Zum Erosionsschutz kann eine ganzjährige Bodenabdeckung durch Begrünungspflanzen oder geeignetes Abdeckungsmaterial einen wichtigen Beitrag leisten. Welche Form der Bodenabdeckung in Frage kommt ist vor allem von der Wasser- sowie der Nährstoffverfügbarkeit am Standort abhängig, da die Begrünung auch immer in direkter Konkurrenz mit den Reben steht. Klimatische Veränderungen mit immer stärker auftretenden Wetterextremereignissen wie z.B. Starkregen verstärken das Risiko für Wassererosion und deren Intensität, während lange Trockenperioden das Risiko von Winderosion erhöhen. Auch wenn mit geeigneten Abdeckungsstrategien erosionsreduzierende Maßnahmen ergriffen werden, besteht immer noch ein erhebliches Risiko von Bodenerosion bei unsachgerechter Bodenbearbeitung vor allem im Unterstockbereich. Zur Vermeidung sogenannter Erosionsrinnen ist hierbei die Wahl der Bearbeitungswerkzeuge und ihre Kombination maßgeblich. Durch eine Unterstockbodenbearbeitung mit Rollhacke in Kombination mit nachlaufender Fingerhacke können Erosionsrinnen verhindert werden. [46,47]

11.1 Erosionsschutz in Junganlagen

In Junganlagen besteht in der Regel ein erhöhtes Erosionsrisiko, da eine entsprechende Begrünung entweder noch nicht etabliert ist oder aufgrund der Wasser- und Nährstoffkonkurrenz nur in jeder zweiten Gasse in Frage kommt. Das Wurzelsystem der neugepflanzten Reben ist noch nicht stark genug ausgeprägt und die Reben im Boden nicht ausreichend verankert, wodurch die mechanische Unterstockbearbeitung erschwert ist. Eine mögliche alternative Maßnahme ist das Abdecken mit organischen Materialien mit weitem C/N-Verhältnis. Auf eine Tiefenwendung des Bodens sollte in jedem Fall verzichtet werden.

11.2 Erosionsschutz in Steillagen

Flachgründige, humus- und nährstoffärmere Böden der Hanglagen sind durch Bodenerosion besonders stark gefährdet, da eine bodenstabilisierende Begrünungseinsaat aus Gründen der Nährstoff- sowie Wasserkonkurrenz oftmals unterbleibt. Eine standortgerechte Begrünungseinsaat kann jedoch das Infiltrationsvermögen des Bodens erhöhen und den Verlust der Bodenfruchtbarkeit verringern (Abbildung 10). Positiv wirkt sich zudem ein größerer Steinanteil an der Bodenoberfläche aus, der die kinetische Energie von Regentropfen und die Geschwindigkeit hangabwärts fließender Wassermengen abbremst [45]. Probleme können vor allem durch die Unterstockbodenbearbeitung entstehen. Hierbei muss die Entstehung einer Erosionsrinne verhindert werden. Der Einsatz von Rollhacke und Fingerkralle erzielt dabei gute Ergebnisse, während auf den alleinigen Einsatz einer

Scheibe verzichtet werden sollte [48]. Als alternativer Erosionsschutz zur Begrünungseinsaat kann auf niederschlagsarmen, leichten Böden eine Abdeckung mit organischem Material (Stroh, Rindenmulch, Grüngut-/Holzhäcksel) erfolgen, wodurch ähnliche Effekte wie bei hohen Steinanteilen erzielt werden. Beim Einsatz von Stroh muss die erhöhte Rutschgefahr berücksichtigt werden. In Direktzuglagen ist daher auch eine Kombination aus begrünenden Zeilen zur Verbesserung der Befahrbarkeit im Wechsel mit geeignetem Abdeckungsmaterial, wie beispielsweise Rindenmulch in jeder zweiten Gasse, möglich. Als langfristige Strategie ist die Anlage von Querterrassen ein erfolgreiches Mittel zur Vermeidung von Bodenerosion. Zukünftig sollte dieser Aspekt bei Flurbereinigungsverfahren größere Beachtung erhalten.

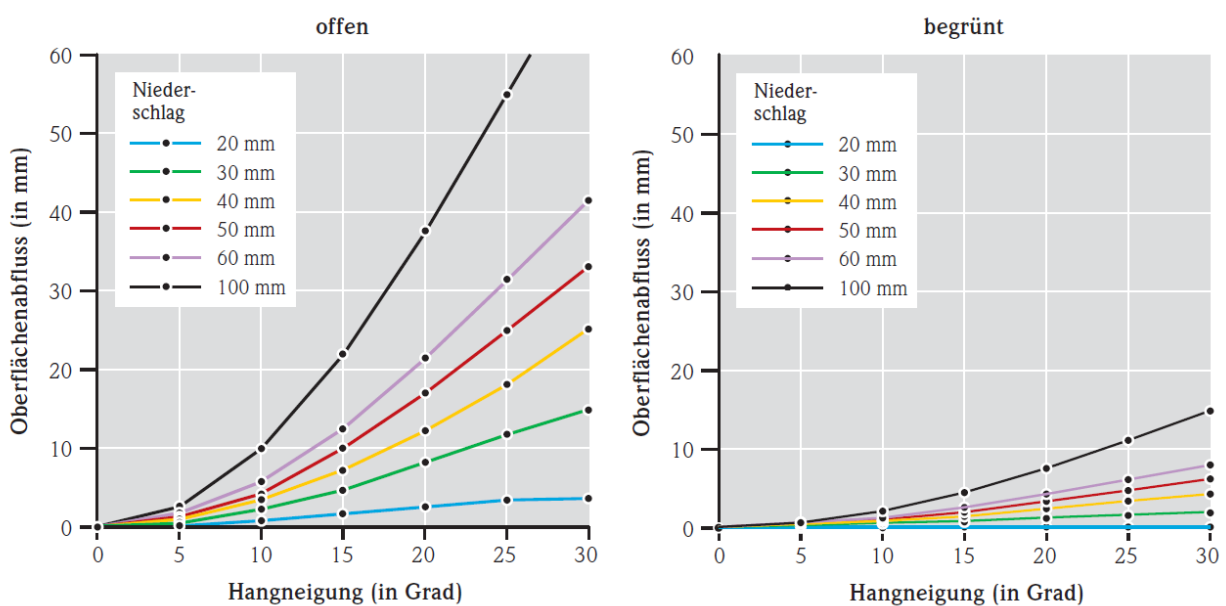


Abbildung 10 Oberflächenabfluss in Abhängigkeit der Hangneigung und der Niederschlagsmenge auf offen-gehaltenen Böden im Vergleich zu begrünenden Rebassen. (Birgit Hofmann, HLNUG, <https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/wbsa/texte/4-3-tstress.pdf>, Stand: 01.03.2024)

12. Tipps im Web - Weiterführende Information

Beratung Dezernat Weinbau, Regierungspräsidium Darmstadt (RPDA)	
Weinbau - Beratung	https://rp-darmstadt.hessen.de/umwelt-und-energie/landwirtschaft-fischerei-und-weinbau/weinbau/beratung
Weinbau - Weinbaukartei	https://rp-darmstadt.hessen.de/umwelt-und-energie/landwirtschaft-fischerei-und-weinbau/weinbau/weinbaukartei
Weinbau - Förderung	https://rp-darmstadt.hessen.de/umwelt-und-energie/landwirtschaft-fischerei-und-weinbau/weinbau/foerderung
Boden und Düngung	
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen	https://llh.hessen.de/pflanze/boden-und-duengung/
Vitipendium - Bodenpflege	https://vitipendium.de/Bodenpflege#Bodenpflegeverfahren
Organische Düngung	https://www.kompost.de/
FiBL - Forschungsinsitut für biologischen Landbau	https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/spezieller-pflanzenbau/weinbau/duengung/
FiBL - Forschungsinsitut für biologischen Landbau	FiBL-Betriebsmittelliste
Vitipendium - Begrünung	https://vitipendium.de/Begr%c3%bcnung
Umweltschutz / Naturschutz / Gewässerschutz	
Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	https://umwelt.hessen.de/
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)	https://www.hlnug.de/themen/wasser
Standort-Viewer	
HLNUG	https://www.hlnug.de/themen/geografische-informationssysteme/gis-anwendungen/gis-auskunftssysteme
BodenViewer Hessen	https://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de
Weinbaustandort-Viewer	https://weinbaustandort.hessen.de/mapapps/resources/apps/weinbaustandort/index.html?lang=de
GruSchu-Hessen	https://gruschu.hessen.de/mapapps/resources/apps/gruschu/index.html?lang=de
GeoBox-Viewer Hessen	https://geobox-i.de/GBV-HE/
Geoportal Hessen	https://www.geoportal.hessen.de/
Weinbaurelevante Gesetze	
Justizministerium Hessen	https://justizministerium.hessen.de/Buergerservice/Hessenrecht
Staatsanzeiger Hessen	https://www.staatsanzeiger-hessen.de/
Hessische Ausführungs-VO zum Weinrecht und zur Reblausbekämpfung	https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/bshe/document/jlr-WeinR_RebIBAVHEpELS
Düngegesetz (DüngG)	http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_ngg/gesamt.pdf
Düngeverordnung (DüV):	http://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html
Bioabfallverordnung (BioAbfV)	http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bioabfv/gesamt.pdf
Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)	https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BBodSchV.pdf

Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)	https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf
Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HAltBodSchG)	https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/bshe/document/jlr-AltLast_BodSchGHErahmen
Wasserhaushaltsgesetz - WHG	https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/WHG.pdf
Hessisches Wassergesetz (HWG)	https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/bshe/document/jlr-WasGHE2010V4P9
Verordnung zum Schutz des Grundwassers* (Grundwasserverordnung - GrwV)	https://www.gesetze-im-internet.de/grwv_2010/
WRRRL Internetseite zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie in Hessen	https://wrrl.hessen.de/mapapps/resources/apps/wrrl/index.html?lang=de
Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)	http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf
Pflanzenschutzgesetz - PflSchG	https://www.gesetze-im-internet.de/pflschg_2012/
Pflanzenschutzanwendungsverordnung (PflSchAnwV)	http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pflschanwv_1992/gesamt.pdf

13. Literaturverzeichnis

1. Amelung, W.; Blume, H.-P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretzschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*, 17., überarbeitete und ergänzte Auflage; Springer Spektrum: Berlin, 2018, ISBN 978-3-662-55870-6.
2. Böhm, P.; Friedrich, K.; Sabel, K.-J. *Die Weinbergsböden von Hessen*, 2. überarbeitete Auflage; Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Wiesbaden, 2022, ISBN 978-3-89531-618-0.
3. *Weinbau*; Müller, E. Dr., Ed., 3., vollst. neu bearb. Aufl.; Ulmer: Stuttgart, 2008, ISBN 978-3-8001-1241-8.
4. Hoppmann, D.; Schaller, K.; Stoll, M. *Terroir. Wetter, Klima und Boden im Weinbau*, 2., aktualisierte Auflage; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2017, ISBN 978-3-8001-0350-8.
5. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*; Paul, E.A., Ed., 3. ed.; Academic Press: Amsterdam, Heidelberg, 2007, ISBN 978-0-12-546807-7.
6. Schubert, S. *Pflanzenernährung*, 3., vollständig überarb. Auflage; Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart, 2018, ISBN 978-3-8252-4509-2.
7. *Farbatlas Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge an der Weinrebe: 242 Farbfotos*; Mohr, H.D., Ed.; Ulmer: Stuttgart, 2005, ISBN 3-8001-4148-5.
8. *Weinbau: 105 Tabellen*; Müller, E. Dr., Ed., 2. Aufl.; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 1999, ISBN 3-8001-1216-7.
9. Kadisch, E. *Der Winzer. Lehr- und Arbeitsbuch in 2 Bden*; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 1986, ISBN 3-8001-1212-4.
10. Finck, A. *Pflanzenernährung in Stichworten*, 5. Aufl.; Hirt in der Gebr.-Borntraeger-Verl.-Buchh: Berlin, Stuttgart, 1991, ISBN 3-443-03100-5.
11. Bundesarbeitskreis Düngung. *Spuren- und Sekundärnährstoffe im Pflanzenbau*.
12. Schmid, J.; Manty, F.; Lindner, B. *Geisenheimer Rebsorten und Klone*, 3rd ed.; Forschungsanst: Geisenheim, 2019, ISBN 978-3-934742-56-7.
13. Husslein, R. Stickstoff konservieren. *der deutsche weinbau* 2021.
14. Hillebrand, S. Verbesserung der Aussagekraft von Herbst-Nmin-Werten durch Optimierung des Probennahmetermins 2002.
15. Kuchenbuch, O.R.; Holz, J.; Buczko, U. Zusammenstellung und Bewertung von Probenahmeverfahren für den vorsorgenden und nachsorgenden Bodenschutz sowie die Abschätzung der Messunsicherheit für die Probennahme 2011.
16. Schaaf, H. Probenehmerschulung Boden (DüngeV und AbfklärV). *LUFA Nord-West* 2018.
17. Altmann, A. *Produktion von Beet- und Balkonpflanzen: Wachstumsfaktoren, Kulturverfahren, Sorten ; 35 Tabellen*; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2008, ISBN 978-3-8001-4887-5.
18. Patzwahl, W. *Wassermanagement und Bewässerung im Weinbau*, 1st ed.; Ulmer: Stuttgart, 2023, ISBN 978-3-8186-1271-9.
19. Niggli, C. Der Wasserhaushalt der Weinrebe. *Ithaka Journal* 2012, 71-74.
20. Bauer, K.; Fox, R.; Ziegler, B. *Moderne Bodenpflege im Weinbau: Ziele, Möglichkeiten, Massnahmen*; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2004, ISBN 3-8001-4608-8.
21. Bauer, K. *Weinbau*, 7., aktualisierte Aufl.; Österr. Agrarverl.: Leopoldsdorf, 2002, ISBN 3-7040-1765-5.
22. Ladach, M. Auszeit: Bodenfruchtbarkeit. *der deutsche weinbau* 2021, 28-31.

23. Ladach, M. Von Grund auf: Boden. *der deutsche weinbau* 2022, 24-27.
24. Hillebrand, W.; Schulze, G.; Walg, O. *Weinbau-Taschenbuch*, 10. Aufl.; Fachverl. Fraund: Wiesbaden, 1995, ISBN 3-921156-30-0.
25. Kauer, R.; Fader, B. *Praxis des ökologischen Weinbaus*, 2. Auflage; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Darmstadt, 2015, ISBN 978-3-941583-96-2.
26. Friedel, M. Dr.; Hofmann, M.; Loose, S. Prof. Dr. Wasserhaushalt zeitgemäß managen: Was lässt sich gegen Trockenstress tun? *Das Deutsche Weinmagazin* 2022, 13-17.
27. Ladach, M. Es grünt so grün...: Begrünungsmanagement. *der deutsche weinbau* 2018, 27-31.
28. Ladach, M. Begrünen und Stärken. *der deutsche weinbau* 2022, 50.
29. Müller, E. Dr. Anstatt aufs Gaspedal lieber Füße hochlegen: Bodenbearbeitung zum falschen Zeitpunkt. *Das Deutsche Weinmagazin* 2020, 24-27.
30. Rupp, D. Dr. Gemeinsam stark sein: Partner im Untergrund, Teil 2. *Das Deutsche Weinmagazin* 2017, 24-26.
31. Ziegler, B. Begrünungspflanzen für den Weinbau. *Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz* 2017.
32. Walg, O. Im Umbruch: Erosion und Nitratauswaschung. *der deutsche weinbau* 2017, 32-37.
33. Pecoroni, D.; Peter, M. *Anlage von Erosionsschutzstreifen: Bodenschutz in Hessen*, Stand: Februar 2021; Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Wiesbaden, 2021, ISBN 978-3-89274-426-9.
34. Strub, L.; Loose, S. Prof. Dr. Quer arbeiten, Kosten sparen: Querterrassen zur Steillagenbewirtschaftung. *der deutsche weinbau* 2021, 14-19.
35. Strack, T.; Stoll, M. Implication of Row Orientation Changes on Fruit Parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Riesling in Steep Slope Vineyards. *Foods* 2021, 10, doi:10.3390/foods10112682.
36. Porten, M.; Hermen, S. Quer lohnt: Anbautechnik Querterrassen. *der deutsche weinbau* 2022, 14-20.
37. Müller, E.; Schulze, G.; Walg, O. *Weinbau-Taschenbuch*, 11. Aufl.; Fachverl. Fraund: Mainz, 2000, ISBN 3-921156-42-4.
38. Ziegler, B. *Rebendüngung*, Neustadt an der Weinstraße, 2011.
39. Dunst, G. *Humusaufbau: Chance für Landwirtschaft und Klima*, 1. Auflage; Verein Ökoregion Kaindorf: Kaindorf, 2011, ISBN 978-3-9503088-0-8.
40. Müller, E. Dr. Optimale Humusversorgung - eine schwierige Gratwanderung. *DLR-RNH, 54. Kreuznacher Wintertagung* 2010, 15-20.
41. *Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau: Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis*; Möller, K.; Schultheiß, U., Eds.; KTBL: Darmstadt, 2014, ISBN 978-3-941583-89-4.
42. Kluge, R.; Riedel, M.; Rupp, D. Übersichtsuntersuchung von Traubentrestern auf maßgebende Inhaltsstoffe. *LUFA Augustenberg, WBI Freiburg, LVVO Weinsberg* 2006, 1-13.
43. Hofmann, U. *Biologischer Weinbau* 2014.
44. Biada, S.; Grewe, H.-C.; Kirmer, A. Dr.; Mann, S. Bodenerosion vermeiden - Biodiversität stärken: Wenn die Produktionsgrundlage schwindet. *DLG kompakt* 2022, 1-4.
45. Müller, E. Dr. Bodenpflege in Zeiten des Klimawandels. *der deutsche weinbau* 2019, 32-37.

46. Cropp, J.-H. *Praxishandbuch Bodenfruchtbarkeit. Humus verstehen / Direktsaat- und Mulchsysteme umsetzen / Klimakrise meistern*; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2021, ISBN 978-3-8186-1179-8.
47. Marzen, M. Dr.; Porten, M. Vom Winde verweht: Winderosion. *der deutsche weinbau* 2021, 34-38.
48. Porten, M. Dr.; Regnery, D.; Remke, A. Unterstockpflege und Erosion. *der deutsche weinbau* 2022, 31-35.

KONTAKTDATEN

Regierungspräsidium Darmstadt
Dezernat V 51.2 - Weinbau
Wallufer Straße 19
65343 Eltville
Servicetelefon: 06123 9058 20
E-Mail: weinbaudezernat@rpda.hessen.de

SERVICEZEITEN

montags bis donnerstags 8 bis 16:30 Uhr
freitags 8 bis 15 Uhr



WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

finden Sie unter <https://rp-darmstadt.hessen.de>