

## Produktivität und Ressourcenschutz durch eine nachhaltige Bodenpflege gewährleisten

DLR Rheinpfalz, Institut für Weinbau und Oenologie, Dr. Claudia Huth

---

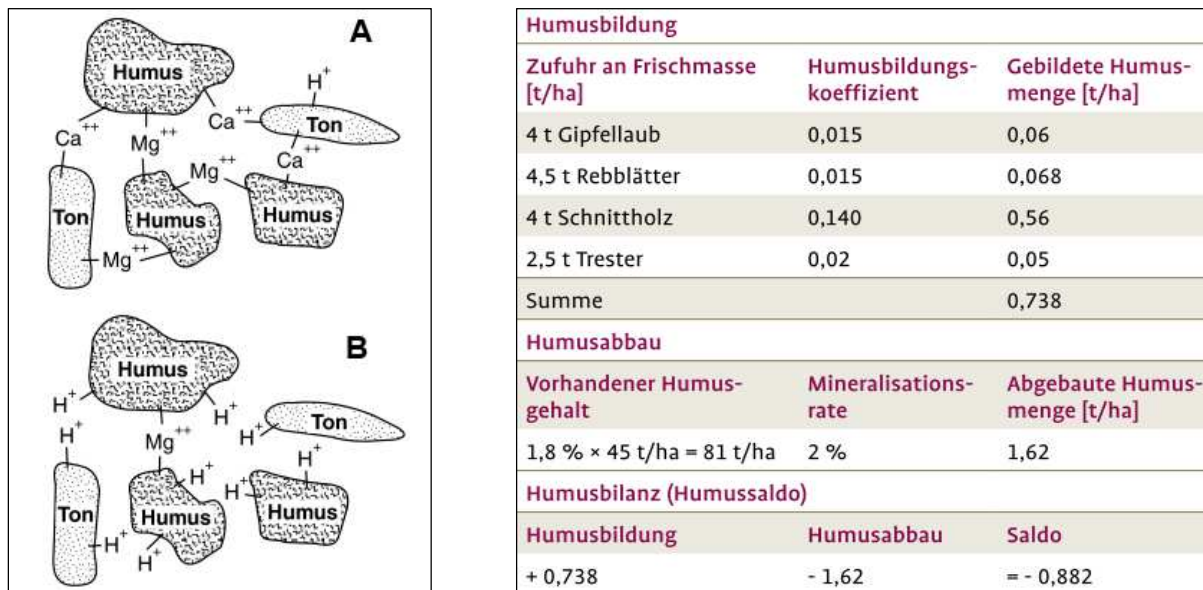
Nur eine ausreichende Wasserversorgung der Rebe sichert durch Photosynthese und Nährstoffaufnahme sämtliche Wachstums- und Stoffwechselprozesse und damit die angestrebten Erträge und Traubenqualitäten. Durch klimatisch bedingte Veränderungen, wie ausgeprägte Trockenphasen während der Vegetationsperiode mit bereits stark abnehmenden Monatsniederschlagsmengen, ist die kontinuierliche Wasserverfügbarkeit gerade auf Standorten mit leichten und skelettreichen Böden gegenwärtig und zukünftig oft nicht mehr gegeben. Laut Klimaprognosen ist zukünftig von einer hohen Variabilität hinsichtlich der Niederschlagsverteilung auszugehen. Tendenziell steigen die Regenmengen innerhalb der Wintermonate an. Durch höhere Transpirations- wie Evaporationsraten über Sommer ist in der Summe aber dennoch von einem geringeren Wasserangebot während der Vegetationsperiode auszugehen. Als Ausweg bleibt dann oftmals nur noch die Bewässerung. Jedoch steht die Wasserentnahme aus den Grundwasserreserven durch die abnehmenden Grundwasserneubildungsraten derzeit bereits in Konkurrenz mit anderen Nutzungsansprüchen, wie der Wasserversorgung der Bevölkerung, oder den Wasserqualitätszielen. Deshalb sollten zunächst Maßnahmen zur Sicherung der Wasserversorgung über die Verbesserung der Bodenstruktur mit angepasstem Humusgehalt, der Unterlagenwahl, der Anlagengestaltung sowie des Bodenpflegesystems mit Begrünungsmanagement und Bodenbearbeitung umgesetzt werden. Aufgrund der Komplexität beschränkt sich der folgende Beitrag auf die Bodenstruktur und Bodenpflegesystem.

### BODENSTRUKTUR

Fruchtbarer Boden ist neben Wasser ein schützenswertes Allgemeingut und eine nur bedingt erneuerbare Ressource, die das Fundament für eine ertragreiche und nachhaltige Landwirtschaft bildet. Die „Steine“ des Fundaments und damit die Quelle der Bodenfruchtbarkeit bilden die **Ton-Humus-Komplexe (THK)**. Diese Alleskönner in punkto Wasser- und Nährstoffspeicherung sowie biologischer, chemischer und physikalischer Bodenverbesserung bestehen aus negativ geladenen Huminstoffen und Tonmineralen, die durch mehrwertige Kationen über die Aktivität und Stoffwechselprozesse von Bodentieren (z. B. Regenwürmer) miteinander verbunden werden (Abbildung 1, Zeichnung A). Die THK werden als stabile Bodenkrümel sichtbar und bilden in ihrer Gesamtheit die in der Landwirtschaft anzustrebende Krümelstruktur. Da die Bildung und Erhaltung der THK maßgeblich von der Bodenart, dem Boden-pH-Wert, dem Humusgehalt sowie einer intakten Bodenfauna und -flora abhängig ist, werden diese bodenkundlichen Grundlagen für das weitere Verständnis im folgenden Abschnitt kurz erörtert.

Die **Bodenart** ist die mineralische Bodensubstanz, die hinsichtlich ihrer Korngrößen in vier Hauptbodenarten unterschieden wird: Sand = große Körnung, Schluff = mittelgroße Körnung, Ton = kleine Körnung, Lehm = Gemisch aus 1/3 Sand + 1/3 Schluff + 1/3 Ton. Aufgrund der unterschiedlich großen Mineralkörner ergeben sich zwischen diesen auch unterschiedlich große Porenräume (Groporen, Mittelporen, Feinporen). Diese haben einen wesentlichen Einfluss auf die Wasserspeicherung, Durchlüftung, Erwärmung und damit die biologische Aktivität und den Humusgehalt (ANHANG: Tabelle „Bodenarten bestimmen Bodeneigenschaften“). Mittelschwere Lehm- und Schluffböden sind die fruchtbarsten Böden mit der höchsten Anzahl an THK, weil die Bodenorganismen hier optimale Lebensbedingungen vorfinden. Einerseits ist durch die zahlenmäßig überwiegenden Mittelporen auch in niederschlagsarmen Monaten eine ausreichende Bodendurchfeuchtung aufgrund der guten Wasserhaltefähigkeit gegeben, andererseits sorgen die vorhandenen Groporen für optimale Durchlüftung und Erwärmung.

Dadurch kann tote Biomasse durchgängig mineralisiert und zum Aufbau von Huminsäuren, welche die Dauerhumusfraktion am THK bilden, genutzt werden. Leichte Sandböden und schwere Tonböden weisen eine geringe Anzahl an THK auf, da die Bodentiere hier – zumindest zeitweise – schlechtere Lebensbedingungen vorfinden. Sandböden zeigen durch ihr hohes Grobporenvolumen zwar eine sehr gute Erwärmung und Durchlüftung, sind aber daher gerade in den Sommermonaten durch ein sehr schlechtes Wasserspeichervermögen gekennzeichnet. Dies führt zu einer stark geminderten Aktivität der Bodenorganismen und damit oft zum Erliegen der Mineralisation und der Bildung von Dauerhumus. Das gleiche Phänomen kann auch in Tonböden während Trockenphasen auftreten. Zudem weisen Tonböden durch das hohe Feinporenvolumen und damit die geringe Anzahl vorhandener Grob- und Mittelporen oftmals eine schlechte Durchlüftung (und im Frühjahr schlechte Erwärmung) und Staunässe auf. Dadurch entsteht ein sauerstoffarmes Milieu, in welchem die Bodenorganismen nicht überleben können und die Wurzeln absterben.



**Abbildung 1:** Bildung von Ton-Humus-Komplexen durch die hohe Anzahl zweiwertiger Kationen wie Mg<sup>2+</sup> und Ca<sup>2+</sup> (**Zeichnung A links**) sowie die schlechte Vernetzung von Ton- und Humusteilchen bei stark versauerten Böden (**Zeichnung B links**). Humusbilanz eines Weinbergsbodens (**Tabelle rechts**). (Quelle: MÜLLER et al. 2019).

Der **Boden-pH-Wert** hat großen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit und stellt die Kittsubstanz für die Bodenkrümel dar. Er wird von der Bodenart und damit von der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsgesteins bestimmt. Sandböden prägen aufgrund ihres hohen Quarzanteils (Siliciumoxid) einen sauren pH-Wert von 5 bis 6 aus, der die Nährstoffverfügbarkeit von N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K, Mg und S ohne regelmäßige Auf- bzw. Erhaltungskalkung einschränkt (ANHANG: Tabellen „Nährstoffgehaltsklassen“ & „Nährstoffbemessung“). Bei sauren pH-Werten bilden sich zudem weniger stabile Bodenkrümel, weil keine/wenige Calcium-Ionen vorhanden sind, welche die Ton- und Humusteilchen zum THK verbinden (Abbildung 1, Zeichnung B). Schluffböden weisen als Löss-Verwitterungsprodukte höhere Calcium-Gehalte als Sandböden auf und bilden pH-Werte von 6 bis 7, wodurch eine optimale Hauptnährstoffverfügbarkeit und Krümelstruktur gegeben ist. Tonböden, die aus stark Calciumoxid-haltigen Muschelkalk und Mergel entstanden sind, führen zu pH-Werten von 7,5 bis 8. Grundsätzlich gelten Tonböden und Böden mit Lehmfraktionen durch ihre Tonminerale, die durch ihren „Sandwich-Aufbau“ mit den negativ geladenen „Brötchen-Schichten“ eine riesige Oberfläche für die Wasser- und Nährstoffspeicherung bilden, als sehr fruchtbar.



















Da der **Humusgehalt** generell von der Bodenart abhängig ist und gerade in der Dauerkultur Weinbau durch die Art- und Weise des Bodenpflegesystems stark beeinflusst werden kann, sollte dieser Parameter mindestens alle drei bis sechs Jahre mittels Grundnährstoffanalyse untersucht werden (ANHANG: Tabellen „Nährstoffgehaltsklassen“ & „Nährstoffbemessung“). Humus (lateinisch hūmus „Erde, Erdboden“) bezeichnet die tote organische pflanzliche und tierische Biomasse, die aus organischen Kohlenstoff-Verbindungen ( $C_{org}$ ) wie Zuckern (Glucose, Cellulose), Fetten, Eiweißen, Pigmenten (Chlorophyll) und Holzsubstanzen (Lignin) besteht. Allerdings lässt die Angabe des Humusgehalts ( $C_{org} \times 1,72$ ) keine Unterscheidung in Nähr- und Dauerhumus zu, da beide Humusformen aus toter C-Biomasse durch Mineralisation (Nährhumus) und Humifizierung (Dauerhumus) hervorgehen. Im Weinbau hat die Unterscheidung der beiden Humusformen jedoch entscheidenden Einfluss auf die Bodenverbesserung, die Stickstoff- und Humusnachfuhr sowie die Gestaltung des Bodenpflegesystems (Tabelle 1):

**Tabelle 1:** Eigenschaften von Nähr- und Dauerhumus (Quelle: MÜLLER et al. 2019).

<b>NÄHRHUMUS</b>	<b>DAUERHUMUS (Huminstoffe)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tote organische Substanz, die <u>rasch abgebaut</u> wird:</b> Blattgewebe, Fruchtfleisch, unverholzte Wurzeln, Rasenmulch, tierische Ausscheidungen, tote Bodenorganismen</li> <li>• <b>Nahrungsgrundlage &amp; Lebensraum der meisten Bodenorganismen</b> = ist Voraussetzung für die biologische Aktivität im Boden</li> <li>• <b>Liefert die Bausteine für den Aufbau von Huminstoffen (Dauerhumus)</b></li> <li>• <b>Mineralisation von Nährhumus liefert Pflanzen Haupt- und Mikronährstoffe</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tote organische Substanz, die <u>langsam abgebaut</u> wird:</b> Blattrippen, Kerne, Rappen, Schnittholz, generell alle verholzten Pflanzenteile</li> <li>• <b>Speichert Wasser bis zum 5-Fachen seines Eigengewichts!</b></li> <li>• <b>Huminstoffe</b> bilden neben den Tonmineralen einen weiteren <b>Nährstoffspeicher im Boden!</b></li> <li>• <b>Bildung der Krümelstruktur</b> durch Ton-Humus-Komplexe</li> <li>• <b>Dunkle Farbe</b> der Huminstoffe führt zur <b>Bodenerwärmung</b></li> <li>• <b>Schafft in Tonböden Grobporen zur Verbesserung des Gasaustauschs</b></li> </ul>

Gerade in Sandböden muss die Dauerhumusfraktion den Großteil der Wasser- und Nährstoffspeicherung übernehmen, da diese Bodenart keine/wenige Tonminerale enthält, welche diese Funktionen ebenfalls übernehmen. Jedoch gestaltet sich der Aufbau von Dauerhumus in leichten Böden am schwierigsten, da die gute Durchlüftung und Erwärmung bei ausreichender Bodenfeuchte die biologische Aktivität derart anregen, dass die abgestorbene Biomasse stark mineralisiert wird und dadurch viel Nähr- aber wenig Dauerhumus entsteht. Die Mineralisationsrate (Abbaurate organischer Biomasse in anorganische Haupt- und Mikronährstoffe) wird zudem noch gesteigert, je häufiger und je intensiver (z. B. Fräse) die Bodenlockerung erfolgt (Abbildung 2). Für den Erhalt bzw. die Nachführung von Dauerhumus sollte die Sommerbodenbearbeitung in der offen gehaltenen Gasse mit grob arbeitenden und möglichst nicht rotierenden Geräten (Scheibenegge, Grubber) auf ein bis zwei Arbeitsgänge (1 x Einarbeiten der Herbst-Winterbegrünung, 1 x Brechen der Kapillaren) reduziert werden. Außerdem sollte bei der externen Zufuhr von Komposten, Misten und Trestern darauf geachtet werden, dass diese Präparate auch für den Dauerhumusaufbau geeignet sind. Dauerhumus besteht aus Huminstoffen, deren Grundgerüst aus verholzten Pflanzenteilen (Cellulose, Lignin) gebildet wird. Deshalb kann als Entscheidungshilfe zur Produktauswahl das C/N-Verhältnis herangezogen werden (ANHANG: „C/N-Verhältnis als Entscheidungshilfe für die N-Düngung, Humusaufbau und Bodenabdeckung“).

Das C/N-Verhältnis beschreibt das Massenverhältnis (Gewichtsanteile) von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) in Biomasse oder im Boden. Je weiter das C/N-Verhältnis, desto höher der C-Anteil, desto langsamer zersetzt sich die Biomasse. Bei einem sehr weiten C/N-Verhältnis von 60 bis 100:1 (Stroh, Holzhäcksel) kann es zu einer „N-Festlegung“ kommen, da die zersetzenden Mikroorganismen zur Ernährung und Vermehrung Stickstoff aus dem Boden verbrauchen. Präparate mit einem C/N-Verhältnis von 20 bis 30:1 (Trester mit Rappen, Grünschnittkompost, Pferdemist mit Stroh) eignen sich optimal für den Dauerhumusaufbau. Hingegen sollten Präparate mit einem engen C/N-Verhältnis unter 20:1 (Trester ohne Rappen, Bioabfallkompost, Vinasse) als organische N-Dünger eingesetzt werden, da die Biomasse durch den geringeren C-Anteil schneller mineralisiert. Das anzustrebende C/N-Verhältnis für einen mittelschweren Ackerbauboden mit guter Nährstoffverfügbarkeit liegt bei 10 bis 12:1.

Fräse (nur Saatbettbereitung!)		Scheibenegge, Grubber ( Kreiselegge)	
 pulverisiert	Bodenstruktur	Krümelgefüge 	
 hoch	Erosion, Verdichtung, Verschlammung	gering 	
 gering	Biologische Aktivität (Populationsdichte, Diversität)	hoch 	
 hoch	Mineralisation (Nitrat-Auswaschung)	geringer 	
 hoch	Nährhumusproduktion (Nitrat-Schübe)	gering 	
 gering	Dauerhumusproduktion (Wasser- und Nährstoffspeicherung)	hoch 	

**Abbildung 2:** Einfluss der Intensität der Bodenbearbeitung auf Bodenstruktur, biologische Aktivität, Mineralisation und Nähr- und Dauerhumusproduktion (Quelle: HUTH 2019).

## BODENPFLEGESYSTEM

Die Jahresniederschlagsmenge bestimmt entscheidend die Form des Bodenpflegesystems. Während jährliche Niederschlagsmengen von 700 bis 900 mm eine Ganzjahresbegrünung in allen Gassen erlauben, sollte in Regionen mit 400 bis 650 mm Jahresniederschlag über Sommer nur jede zweite Gasse in der Rebanlage begrünt sein, da sonst die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz zur Rebe zu hoch ist. Jedoch gilt dieser Beratungsgrundsatz nur, wenn während der Vegetationsphase ausreichend Niederschläge vorhanden sind. Da jedoch seit 2014 (Ausnahme 2016) in den rheinland-pfälzischen Weinbauregionen ausgeprägte Sommertrockenphasen auftreten, gilt das oben genannte „Patentrezept“ nicht mehr! Zukünftig sollte sich die Gestaltung des Bodenpflegesystems noch stärker an Wetterprognosen und den parzellenscharfen Boden- und Standortbedingungen orientieren.

**Bodenbearbeitung:** Da die Dauerhumusfraktion einer der Hauptwasserspeicher des Bodens ist, sollte die Bodenbearbeitung in Intensität und Häufigkeit reduziert werden, um den Dauerhumusabbau sowie Bodenschädigungen (Erosion, Verschlammung, Verdichtung) zu verhindern und damit die Lebensbedingungen der Bodenorganismen zu verbessern (Abbildung 2).

Das im Sommer 2018 auf Extremstandorten vereinzelt praktizierte Bodenpflegesystem der „komplett unbegrüntem offenen Ertragsanlage“ wird nur im ersten Jahr von einer besseren Wüchsigkeit geprägt sein, weil hohe Mengen an Dauerhumus zu Nährhumus abgebaut wurden. Bereits im zweiten Jahr wird der anfängliche Enthusiasmus von langfristig auftretenden und in den Folgejahren schwer sanierbaren Bodenschädigungen abgelöst (Abbildung 2). Ferner ist bekannt, dass Bodenerwärmung und -abkühlung direkt von der Sonnenstrahlung abhängen. Folglich erwärmen sich offene Böden im Vergleich zu begrüntem und damit beschatteten Oberflächen schneller und kühlen sich auch schneller ab. Demzufolge weisen vegetationsfreie Böden eine höhere Wasserverdunstung (Evaporation) auf und trocknen damit schneller aus. Eine Feldstudie aus Österreich (Burgenland) im Trockenjahr 2004 hat gezeigt, dass die Wasserverdunstung auf einer vegetationslosen, bearbeiteten Schwarzbrache mit  $133 \text{ mm/m}^2$  höher war als in Zwischenfruchtbeständen mit Phacelia ( $108 \text{ mm/m}^2$ , Winterwicke  $100 \text{ mm/m}^2$ , Grünroggen  $126 \text{ mm/m}^2$ , die zusätzlich noch Wasser für ihr Wachstum (= Transpiration) verbrauchen (BODNER 2005).

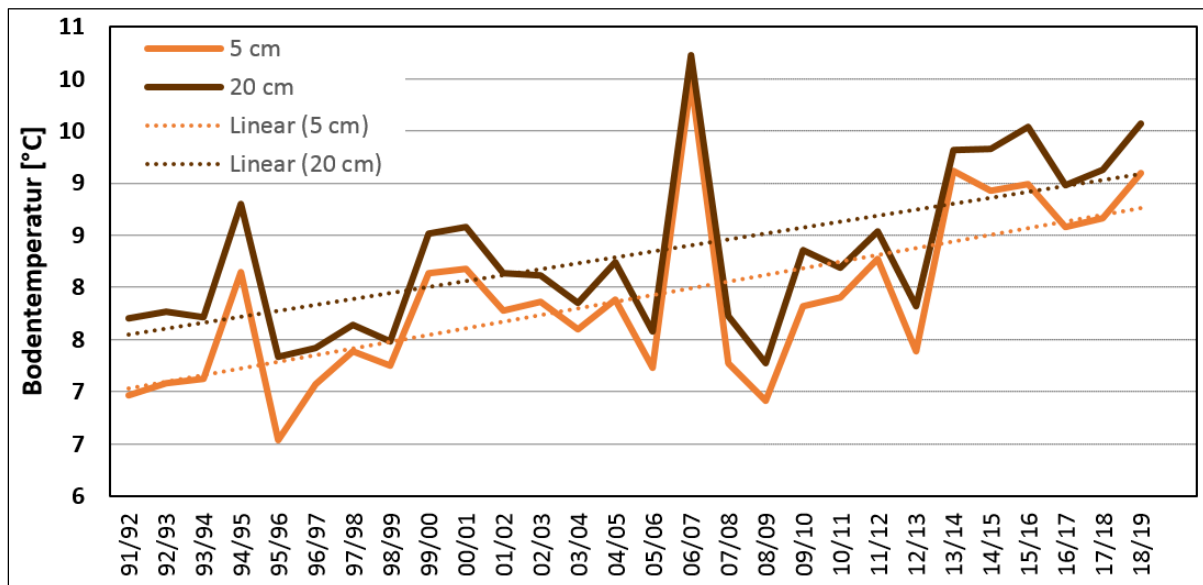
**Herbst-/Winterbegrünung:** Besonders in Ertragsanlagen, in denen über Sommer jede zweite Gasse offen gehalten wird, liefern Teilzeitbegrünungen den Hauptteil der „Humusproduktion vor Ort“, denn die Humusnachführung mittels Reblaub, Rebholz und Trester reicht nicht aus, um dauerhaft eine positive Humusbilanz zu erzeugen (Abbildung 1, Tabelle rechts). Da es für den Dauerhumusaufbau verholzte Pflanzenmasse mit einem weiteren C/N-Verhältnis ab 20:1 bedarf (z. B. Gelbsenf 25:1, Inkarnatklie 21:1, Luzerneheu 25:1, Roggenstroh 82:1), sollten die Zwischenfrüchte im Frühjahr solange wie möglich stehen bleiben. Insbesondere bei frost- oder trockenstressgefährdeten Anlagen auf leichten Böden bietet sich das Walzen als erster Arbeitsschritt vor dem Einarbeiten an. Die so erzeugte strohige Mulchschicht sollte in einem zweiten Arbeitsschritt vier Wochen vor der Reblüte grob eingearbeitet werden. Die sich daran anschließende Art und Weise der Sommerbodenlockerung entscheidet über die zukünftig verfügbare Humusform. Klar ist, je weniger Dauerhumus durch häufige und intensive Bodenbearbeitung jährlich mineralisiert wird, desto weniger muss ersetzt werden. Dies ist insbesondere auf Schlägen ab 1 ha mit Phosphat-Übersorgung ( $> 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g Boden}$ ) zu überdenken, da hier die Ausbringungsmengen für organische Präparate zum Dauerhumusaufbau gemäß DüV 2017 durch die geringe Phosphat-Abfuhr ( $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ ) beschränkt sind.

Gegenwärtig und zukünftig wird zudem der Erhalt der Bodenkrümelstruktur maßgeblich von der Etablierung einer Zwischenfrucht bzw. artenreicher Dauerbegrünungen abhängig sein, denn die Frostgare zur Bildung der Krümelstruktur wird es durch den Klimawandel voraussichtlich nicht mehr geben. Beispielsweise hat die Auswertung der mittleren Bodentemperaturen von September bis April in 5 und 20 cm Tiefe von 1991/1992 bis 2018/2019 in Neustadt-Mußbach ergeben, dass in diesem Zeitraum die Bodentemperaturen über Winter um durchschnittlich 2 bis 3 °C angestiegen sind (Abbildung 3). Durch die Erwärmung und die gute Durchfeuchtung laufen Mineralisation und Nitrat-Freisetzung fast durchgängig von September bis April in der Ruhephase der Rebe ab. Nur die Teilzeitbegrünungen bzw. die Standortflora sind in der Lage, die freiwerdenden Haupt- und Mikronährstoffe über Winter, durch den Aufbau von ober- und unterirdischer Biomasse, zu konservieren und nach Einarbeitung im Frühjahr der Hauptkultur wieder zur Verfügung zu stellen.

**Dauerbegrünung:** Tiefes Mulchen von Grasdauerbegrünungen mit Schnitthöhen unter 10 cm fördert die Bildung von Wurzeln, Rhizomen und Halmen, wodurch Nährstoff- und Wasserverbrauch stark ansteigen. Je länger die Grashalme, desto besser wird der Boden beschattet und damit vor Austrocknung geschützt. Des Weiteren lassen sich Wasser- und Nährstoffkonkurrenz der Dauerbegrünung zur Rebe durch oberflächliche Begrünungsstörungen mit Kreisel- oder Scheibenegge reduzieren. Da diese Maßnahme gleichzeitig die Mineralisation in Gang



setzt, sollte die Störung von April bis Mai durchgeführt werden, sodass die mineralisierten N-Mengen von 20 bis 40 kg N/ha und Jahr der Rebe zur Vollblüte zur Verfügung stehen. In artenreichen Begrünungsmischungen hat sich das Walzen nicht nur zum natürlichen Erhalt der Bestände und zum Dauerhumusaufbau, sondern auch zur Verringerung der Transpiration und zur Bildung einer verdunstungshemmenden Streuschicht bewährt. Zum Walzen eignen sich sowohl die über den Landhandel angebotenen Mulchwalzen, Prismenwalzen und abgestellte Mulchgeräte (HUTH & WÖRTHMANN 2018). Zukünftig sollte auch bei der Auswahl der Begrünungspflanzen für Dauerbegrünungen deren **Transpirationskoeffizient (TK)** berücksichtigt werden. Dieser gibt an, wieviel Liter Wasser durch Transpiration an der Blattoberfläche als Wasserdampf abgegeben werden, um 1 kg Trockensubstanz (Erntemasse) zu erzeugen. Einen sehr hohen TK und damit sehr hohen Wasserverbrauch haben beispielsweise Leguminosen wie Rot- und Inkarnatklee (700 l/kg) und Luzerne (> 700 l/kg) (WINTER 2005). Deshalb sollten Mischungen mit hohem Luzerne-Anteil (z. B. RUMMEL, WOLFF) auf keinen Fall in Rebanlagen mit leichten Böden als Dauerbegrünung etabliert werden. Ferner ist zu überlegen, inwieweit C3-Pflanzen durch C4-Pflanzen ersetzt werden können. C4-Pflanzen (z. B. Hirse) weisen einen wesentlich niedrigeren TK auf und kommen dadurch sehr gut mit heißen und trockenen Standortbedingungen zurecht.



**Abbildung 3:** Entwicklung der mittleren Bodentemperaturen (September bis April) in 5 und 20 cm Tiefe von 1991/1992 bis 2018/2019 in Neustadt-Mußbach (Quelle: Agrarmeteorologie RLP 2019).

**Bodenabdeckungen:** Abdeckungen aus grobem organischem Material mit weitem C/N-Verhältnis von 80 bis 100:1 (Stroh, Holzhäcksel) konservieren die Bodenfeuchte, regulieren die Bodentemperatur, verbessern die Niederschlagsinfiltration und verhindern Verschlammung sowie Erosion. Langzeitversuche am DLR R-N-H haben gezeigt, dass eine Holzhäckselabdeckung in Steillagen meist zu einer besseren Wasserversorgung geführt hat als eine Tröpfchenbewässerung mit 10 bis 12 l/Rebe ab Mitte Juli (PRIOR 2008). Auch in Jungfeldern können derartige Abdeckungen zur Schonung der Wasservorräte sinnvoll sein (Achtung DüV 2017: Ausbringungsmenge ist auf maximal 120 kg Gesamt-N/ha für die Dreijahresgabe beschränkt!). Ein N-Mangel bei Jungreben in den ersten drei Standjahren durch eine N-zehrende Abdeckung, ist aufgrund der sehr hohen Boden-Nitrat-N-Gehalte von bis zu 500 kg/ha nicht zu befürchten.

Weitere Fragen zum Inhalt und zu den Literaturquellen beantwortet Ihnen die Autorin:  
Dr. Claudia Huth, Tel. 0 63 21/6 71-2 28, claudia.huth@dlr.rlp.de