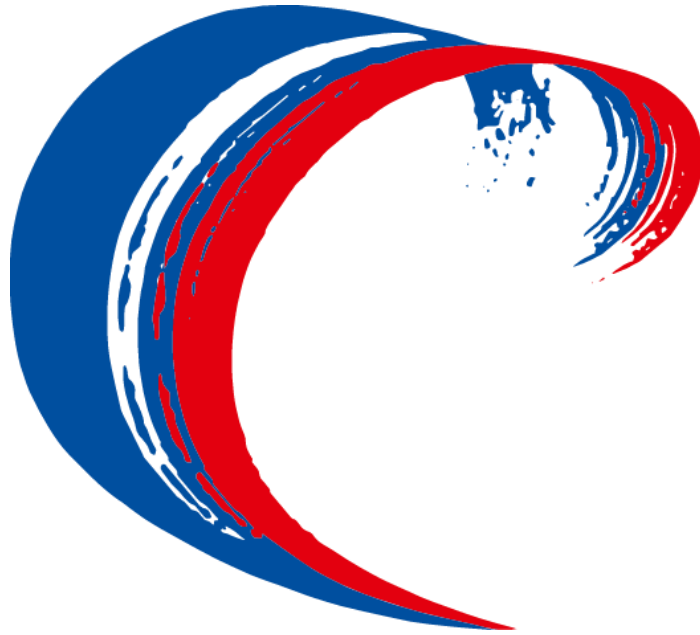


4. Zwischenbericht zur weinbaulichen Beratung der Kooperationsbetriebe



BERICHTSJAHR 2024

BERATUNG & BERICHTERSTELLUNG

Aleksandra Frank

E-Mail: aleksandra.frank@dlr.rlp.de

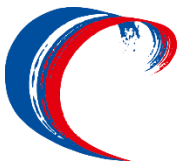
Festnetz: 06321 671-258

Mobil: 0172 - 5195448

Wasserschutzberatung RLP

DLR Rheinpfalz, Institut für Weinbau & Oenologie - Gruppe Weinbau

Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Situationsbeschreibung	3
2.1	Aktuelle Nitratgehalte in Brunnen und Grundwassermessstellen	3
2.2	Betriebe und Parzellen im Kooperationsprojekt.....	4
2.3	Klima und Witterung im Jahresverlauf 2024.....	4
3	Ergebnisse und Interpretation	8
3.1	Stickstoffdüngempfehlungen 2024	8
3.2	Bodennitratstickstoffgehalte im Spätherbst: „Herbst-N _{min} “ 2024.....	9
3.3	Bonitur der Bodenpflege zum Ende der Vegetationsphase 2024.....	14
3.4	Stickstoffbilanz 2024	17
4	Schlussfolgerungen und Ausblick	21

1 Einleitung

Die Stadtwerke Bad Dürkheim haben im Jahr 2019 mit ortsansässigen Winzern, Fachbehörden (SGD SÜD, LWK, LfU, LGB) und der **Wasserschutzberatung (WSB)** des DLR Rheinpfalz ein Kooperationsprojekt zum Grundwasserschutz ins Leben gerufen.

Übergeordnetes Ziel ist es, das Grundwasser im Einzugsgebiet des Brunnens im Bad Dürkheimer Bruch nachhaltig vor landwirtschaftlichen Einträgen zu schützen und gemeinsam Erkenntnisse zu gewinnen, inwiefern sich die aktuelle Landbewirtschaftung auf potentielle Nitratreinträge ins Grundwasser auswirkt. Vor dem Hintergrund des Kooperationsprojekts der Stadtwerke Bad Dürkheim gewinnt die rechtsverbindliche Umsetzung der Maßnahmen zum Nitrat- und Grundwasserschutz zunehmend an Bedeutung. So hat das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) mit Urteil vom 08. Oktober 2025 (Az. 10 C 1.25) die Bundesregierung verpflichtet, ein nationales Aktionsprogramm gemäß § 3a Abs. 1 Düngegesetz zu erstellen, welches die Vorgaben der Düngeverordnung übersteigt und wirksam den Eintrag von Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen in die Gewässer zu reduzieren hat. Ziel ist es, an allen Grundwassermessstellen den Grenzwert von 50 mg/l Nitrat dauerhaft einzuhalten, und damit den Schutz der Gewässer nachhaltig zu gewährleisten.

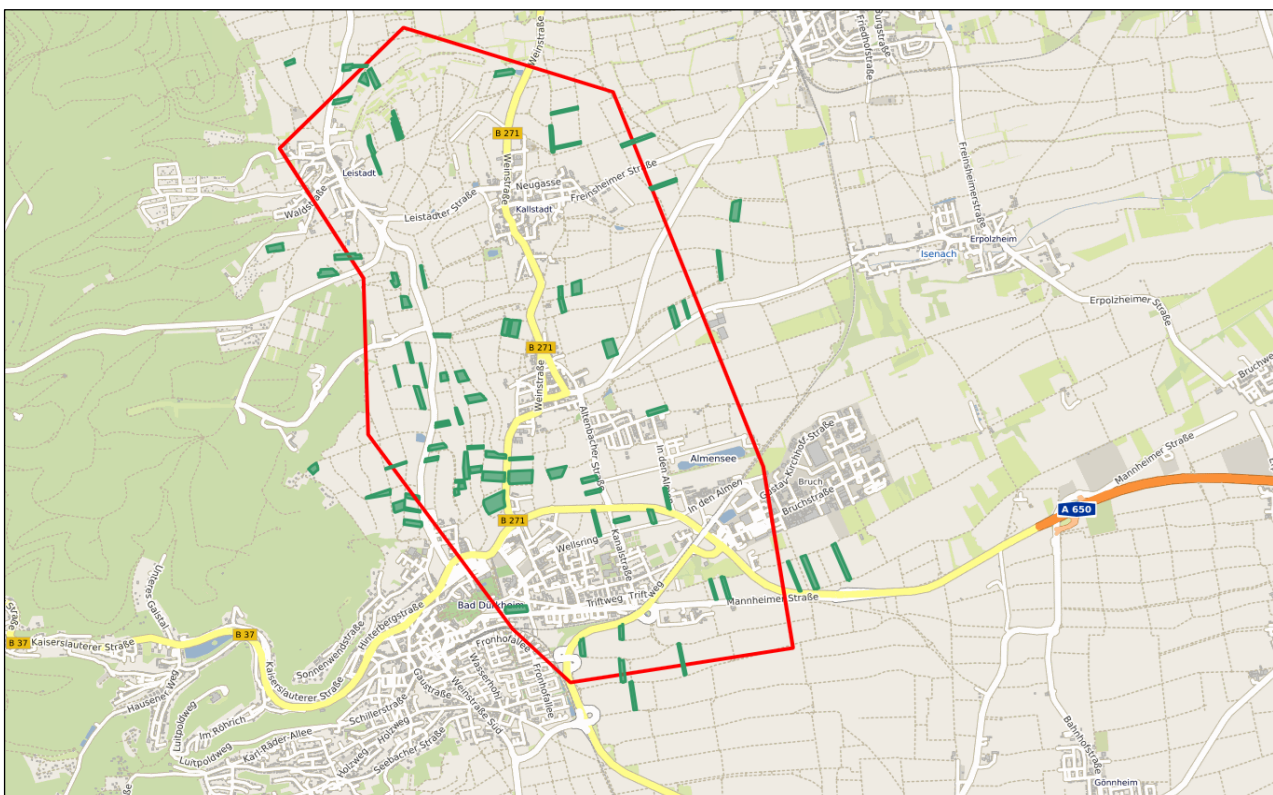
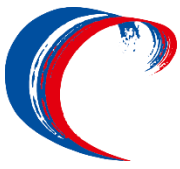


Abbildung 1: Wassereinzugsgebiet der Kooperation Bad Dürkheim (rote Umrandung), sowie alle weinbaulichen Kooperationsflächen (grün) (Quelle: GDA Wasser 2025).



Das gesamte Wassereinzugsgebiet der Kooperation umfasst ca. 1.100 Hektar und erstreckt sich über die Gemarkungen Leistadt im Norden, Kallstadt und Bad Dürkheim sowie Ungstein im Süden. Große Teile der Fläche werden im Weinbau intensiv genutzt. Hydrogeologische Untersuchungen belegen, dass der Tiefbrunnen „Bruch“ durch unterirdische Grundwasserströme mit Wasser aus diesem Einzugsgebiet gespeist wird. Abbildung 1 (Seite 2) zeigt das Wassereinzugsgebiet rot umrissen. Die weinbaulichen Kooperationsflächen sind grün markiert.

Es sei nochmals daraufhin hingewiesen, dass die Festlegung des in Abbildung 1 dargestellten Wassereinzugsgebietes in keinerlei Zusammenhang mit der Ausweisung eines möglichen Wasserschutzgebietes auf diesen Gemarkungen steht.

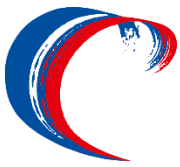
2 Situationsbeschreibung

2.1 Aktuelle Nitratgehalte in Brunnen und Grundwassermessstellen

Im Durchschnitt hat das von den Stadtwerken Bad Dürkheim gelieferte Trinkwasser einen Nitratgehalt von 11 mg/l im Osten bzw. 13 mg/l im Westen des Versorgungsgebietes und liegt damit weit unter dem von der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) geforderten Grenzwert von 50 mg/l (Stand Februar 2024).

Bei näherer Betrachtung des geförderten Rohwassers ergibt sich bei den im Stadtgebiet verteilten Brunnen ein heterogenes Bild. Der im Westen gelegene Brunnen Isenach hatte bei der Rohwasserprobenahme im Jahr 2024 einen Nitratgehalt von 8,7 mg/l, welcher auf seine geschützte Lage inmitten des Pfälzer Waldes zurückzuführen ist. Der sich weiter östlich anschließende Brunnen Fürth II entspricht mit Nitratgehalten von 50 mg/l im Jahr 2024 dem gesetzlichen Grenzwert. In den Vorjahren lagen die Messwerte dieses Brunnens noch zwischen 60 und 95 mg/l Nitrat, was zur Folge hatte, dass dieses Rohwasser mit weniger belastetem Wasser (Fürth I, Isenach) verschnitten werden musste, damit die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. Das aus dem weiter östlich gelegenen Tiefbrunnen Bruch (unterer Grundwasserleiter) geförderte Wasser hat 2024 einen Nitratgehalt von 28 mg/l, wobei bei einer erhöhten Wasserförderung in den Sommermonaten der Nitratgehalt sukzessive ansteigt. Es liegt die Vermutung nahe, dass in diesem Fall oberflächennahes Wasser, das höhere Nitratgehalte aufweist, dem Tiefbrunnen zufließt.

Im oberen Grundwasserleiter, dessen Nitratgehalte für die Bewertung der Gebietskulisse innerhalb der Landesdüngeverordnung 2022 (LDüV) herangezogen werden, ist eine Grundwassermessstelle etabliert (Nr. 1094A; 0,49 mg Nitrat/l am 31.01.2024). Gerade diese Grundwasserschicht ist im Hinblick auf Stoffeinträge besonders sensibel, da sie direkt an die bewirtschafteten oberflächennahen



Bereiche angrenzt. Es zeigt sich die Komplexität dieser Thematik, da bereits innerhalb des hydrologisch relativ kleinräumigen Stadtgebietes die Nitratkonzentration eine sehr große Spannweite aufweist.

2.2 Betriebe und Parzellen im Kooperationsprojekt

Im Jahr 2024 nahmen 20 Weinbaubetriebe an der Zusammenarbeit teil. Ein Betrieb ist im Jahr 2023 auf Grund der Betriebsaufgabe ausgeschieden. Eine Fläche des ausgeschiedenen Betriebes konnte, im Zuge der Neuaufnahme eines weiteren Betriebes, in der Kooperation gehalten werden.

Zehn Betriebe haben ihren Sitz in Bad Dürkheim, vier in Ungstein, drei in Leistadt, zwei in Kallstadt und einer in Wachenheim. Insgesamt bewirtschaften diese eine weinbaulich genutzte Kooperationsfläche von 37,4 Hektar, die sich auf 85 Einzelparzellen verteilt.

Der Großteil der Betriebe arbeitet nach einem integrierten Produktionssystem. Sechs Betriebe wirtschaften nach den Richtlinien des ökologischen Weinbaus, bei denen der Einsatz synthetisch hergestellter mineralischer Düngemittel ausgeschlossen ist.

Das aktualisierte kooperationsspezifische Projektkennblatt steht auf der Homepage der Wasser-
schutzberatung Rheinland-Pfalz zum Download bereit:

<https://www.wasserschutzberatung.rlp.de/Wasserschutz/Aktuelles/KooperationenzumGewaeserschutz>.

2.3 Klima und Witterung im Jahresverlauf 2024

Das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturen und somit der Stickstoffkreislauf werden maßgeblich durch das Witterungsgeschehen während der Vegetationsperiode beeinflusst. Sämtliche bodenbiologischen Prozesse, die unter anderem die Freisetzung vorhandener Nährstoffe steuern, sind temperatur- und feuchtigkeitsabhängig. Organische und mineralische Düngemittel werden bei fehlender Bodenfeuchte nur eingeschränkt umgesetzt und somit den Pflanzen verzögert zur Verfügung gestellt. Die Mineralisation im Boden, das heißt die Umwandlung organisch gebundenen Stickstoffs in pflanzenverfügbare Formen wie Ammonium und Nitrat, erfolgt dann möglicherweise nicht mehr zur Hauptbedarfszeit der Kulturpflanze, in diesem Fall der Rebe, sondern später im Jahr, wodurch die Gefahr der Nitratauswaschung ins Grundwasser steigt.

Bezogen auf die gebietsspezifische Jahressumme fielen in Bad Dürkheim 2024 insgesamt 660 mm Niederschlag, das sind 86 mm mehr als im vieljährigen Mittel und 115mm mehr als im Vorjahr. Prägend war insbesondere der sehr feuchte Mai und Oktober mit 116 mm bzw. 95 mm Niederschlag (siehe Abbildung 2, Seite 5). Die ausreichende Bodenfeuchte führte zu einer kontinuierlichen Freisetzung von Nitrat, wodurch die Reben in ihrer Hauptbedarfszeit Mai bis Juli genügend Nitrat auf-

nehmen, Biomasse bilden und in den Holzkörper einlagern konnten. Gleichzeitig stellte die feucht-warme Witterung 2024 eine große Herausforderung für die Betriebe dar, da sie zu einem erhöhten Befallsdruck mit Echtem und Falschem Mehltau führte.

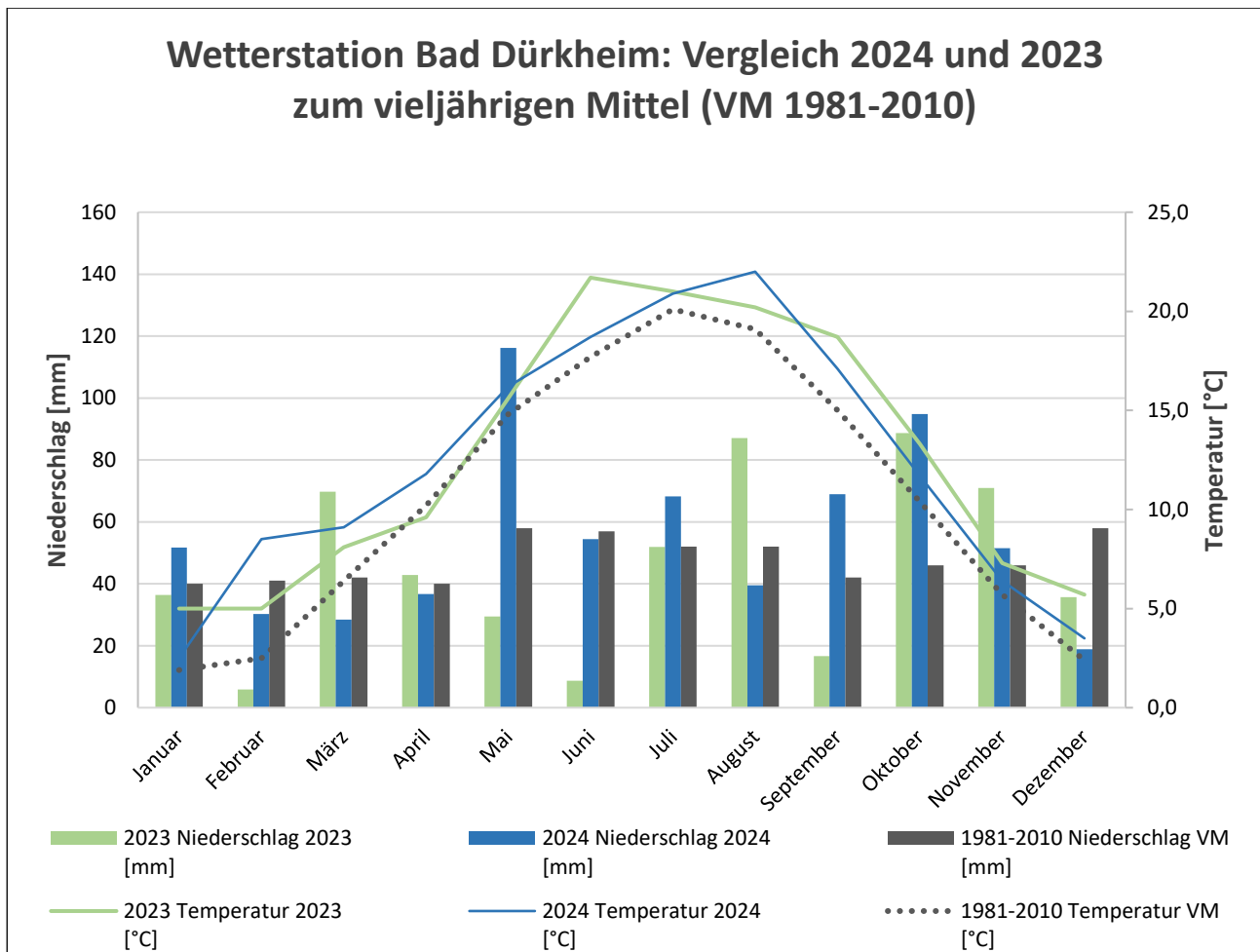


Abbildung 2: Monatsmittel der Niederschlagsmengen [mm] und Lufttemperaturen [°C] in 200 cm Höhe der Jahre 2024 und 2023 im Vergleich zum vieljährigen Mittel (VM) der Station Bad Dürkheim (Quellen: Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz und DWD 2025).

Bei Betrachtung der klimatischen Veränderungen in der Vorderpfalz in Abbildung 3 auf Seite 6 wird deutlich, dass anhand der ab den 1990iger Jahre eng aufeinanderfolgenden zu warmen Jahresmitteltemperaturen (rote Balken) zukünftig mit einer Verstärkung der Mineralisationsrate aufgrund steigender Temperaturen (bei entsprechender Bodenfeuchte) zu rechnen ist. Dargestellt ist die Abweichung der mittleren Jahrestemperatur relativ zur Referenzperiode 1881 bis 1910 sowie der geglättete Verlauf der Temperaturabweichung. Farblich markiert, sind die oberen und unteren zehn Prozent der Abweichungen als rote und blaue Balken.

Im Beobachtungszeitraum von 1995 bis 2024 ist die mittlere Jahrestemperatur um +1,8 °C gegenüber dem Referenzzeitraum 1881 bis 1910 gestiegen. Dieses Szenario wird sich nach aktuellem Stand der Forschung mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zukunft verstärken.

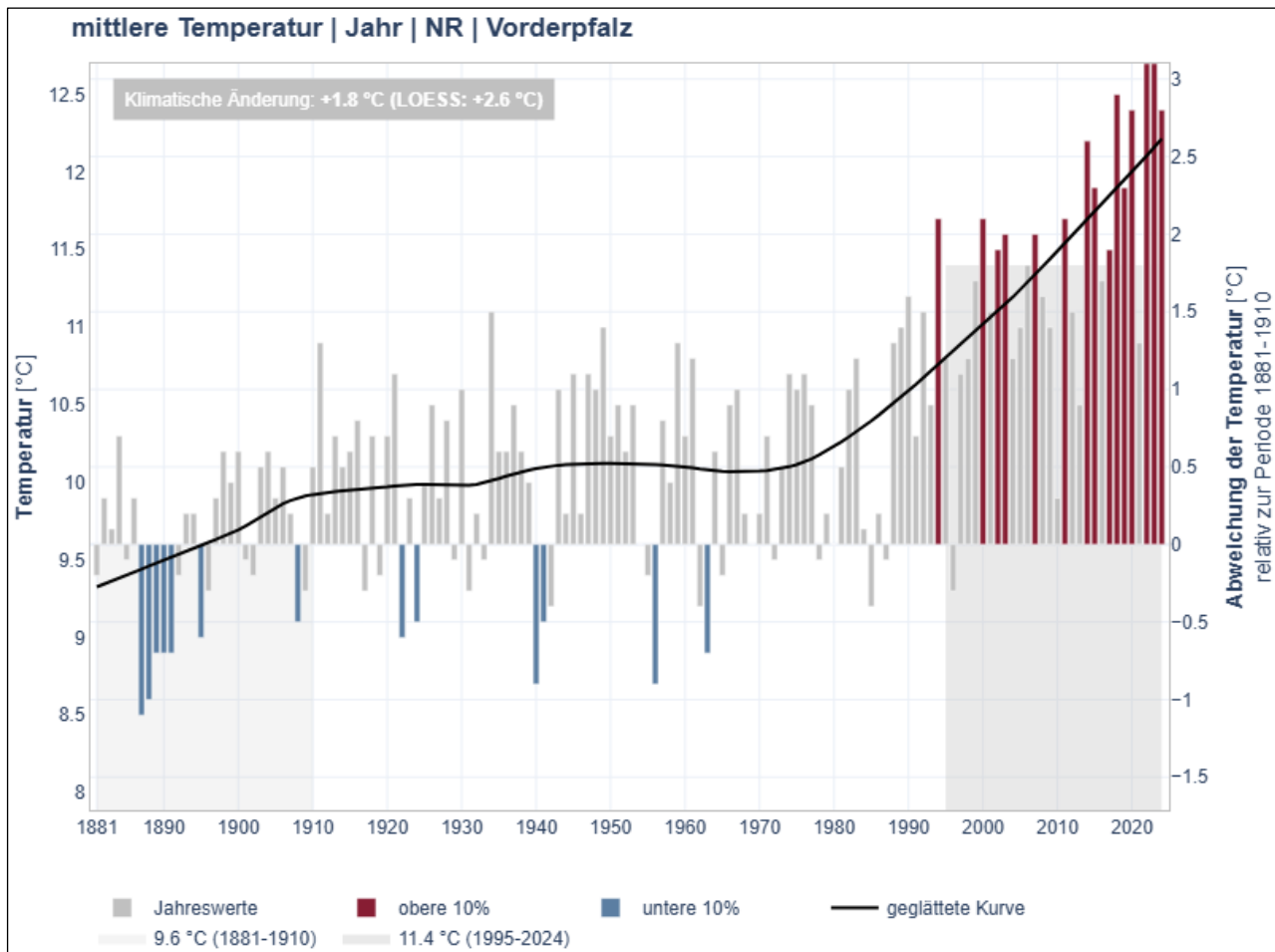


Abbildung 3: Entwicklung der Abweichung der mittleren Jahrestemperatur in der Region Vorderpfalz von 1881 bis 2024, bezogen auf 1881 bis 1910. Gezeigt sind die geglättete Kurve der Jahresabweichungen nach LOESS sowie die farblich markierten unteren (blau) und oberen (rot) 10 % der Jahresmittelwerte (Quelle: Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz).

Es ist zudem davon auszugehen, dass zukünftig mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität in der Sickerwasserperiode gerechnet werden kann, wobei der Grad der Zunahme voraussichtlich deutlich hinter der Größenordnung des Temperaturanstiegs zurückbleibt.

Abbildung 4 (Seite 7) zeigt die Veränderung der Niederschläge für den Landkreis Bad Dürkheim in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar im Beobachtungszeitraum 1882 bis 2025 bezogen auf die Referenzperiode 1882 bis 1911. Die Winterniederschläge sind von 1996 bis 2025 um

31 mm im Vergleich zur Referenzperiode gestiegen. Die geglättete Kurve der Niederschlagveränderung verdeutlicht die Entwicklung.

Die Effekte der steigenden Temperaturen und des erhöhten Bodenfeuchteaufkommens verstärken sich gegenseitig und führen dazu, dass die Gefahr der Nitratauswaschung ins Grundwasser zukünftig deutlich zunehmen kann.

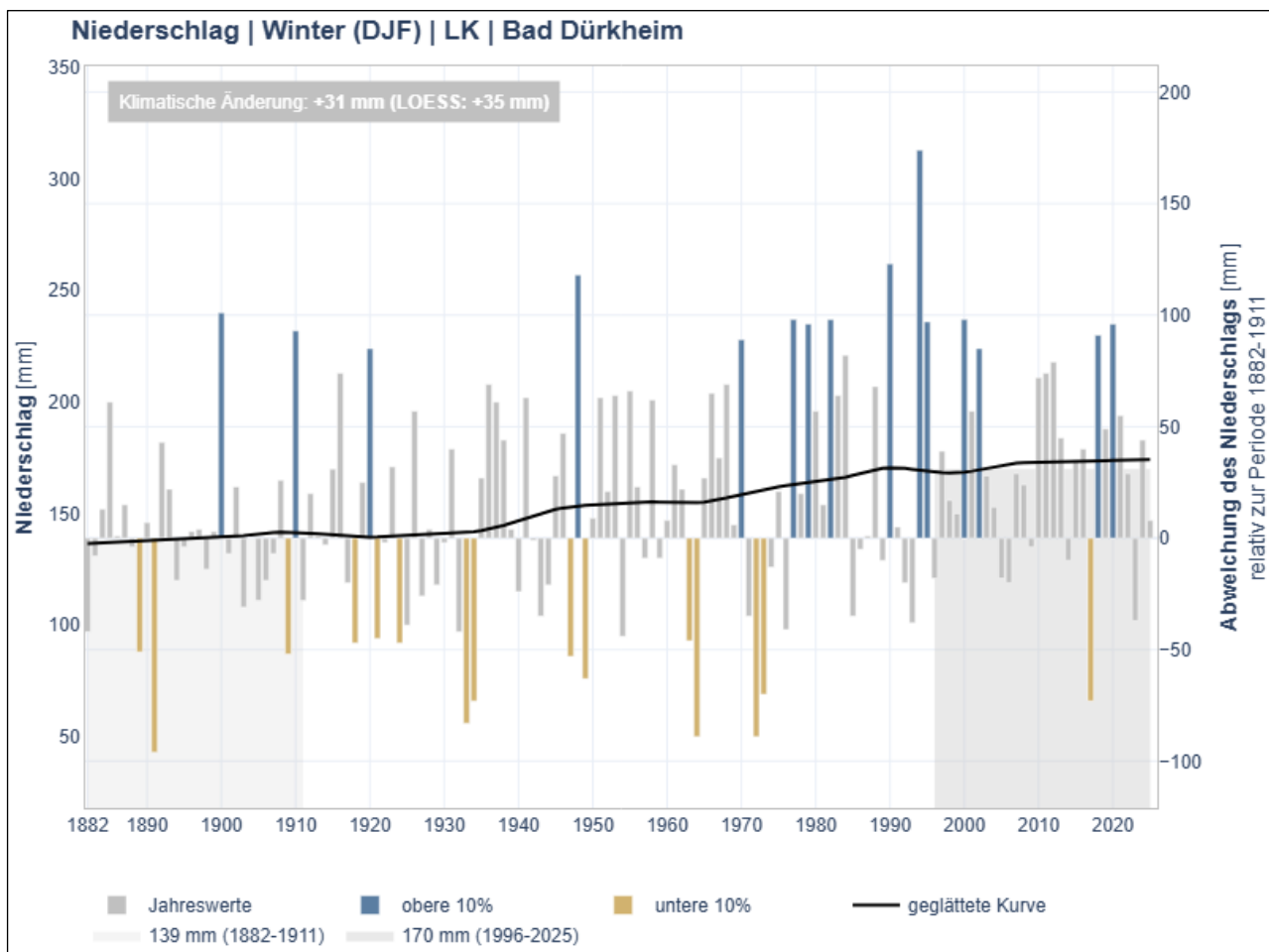


Abbildung 4: Klimatische Änderung des mittleren Winterniederschlags der Monate Dezember, Januar und Februar der Wetterstation Bad Dürkheim im Zeitraum 1882 bis 2025. Zu erkennen sind die geglättete Kurve der Jahresabweichungen nach LOESS sowie die farblich markierten unteren (gelb) und oberen (blau) 10 % der Werte (Quelle: Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz).

3 Ergebnisse und Interpretation

3.1 Stickstoffdüngempfehlungen 2024

Die Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs erfolgt für jede Fläche nach dem weinbauspezifischen N-Schätzrahmen, welcher für den Weinbau bundesweite Gültigkeit besitzt und die Anforderungen der aktuellen Gesetzgebung (Düngeverordnung (DüV) 2020) umsetzt. Basis dafür sind die betrieblichen Angaben zur geplanten Bewirtschaftung sowie des im Rahmen der Grundnährstoffanalyse erhobenen bodenartspezifischen Humusgehaltes. Je nach angestrebtem Ertragsniveau, Wüchsigkeit der Reben und dem etablierten Bodenpflegesystem ergeben sich durch Zu- und Abschläge zum Basisdüngedarf von 40 kg N/ha, ein N-Düngedarf und damit die nachzuführende N-Düngemenge.

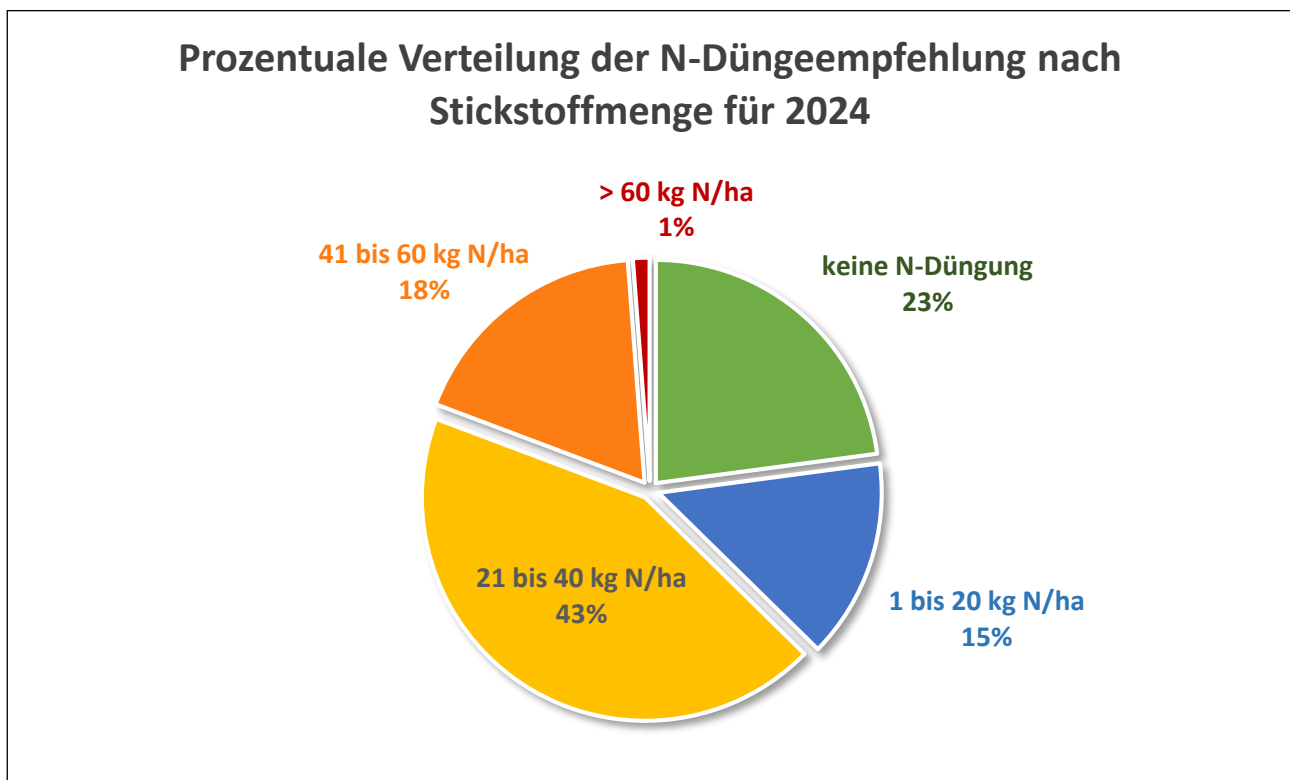
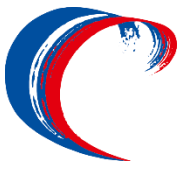


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Stickstoffdüngemenge [kg N/ha] in der N-Düngempfehlung 2024 [n = 83].

Wie das Kreisdiagramm in Abbildung 5 zeigt, bestand bei 23 Prozent der Kooperationsflächen (n = 19) im Jahr 2024 kein N-Düngedarf. In diese Kategorie fallen beispielsweise neu gepflanzte Weinberge oder Anlagen in den ersten Standjahren, die durch Nitratschübe aus der früheren Pflanzfeldvorbereitung ausreichend mit Stickstoff versorgt sind. Dies trifft auf drei Kooperationsflächen zu. Zehn Anlagen wiesen einen erhöhten Humusgehalt der Versorgungsstufe D bis E auf und sind



ohne N-Düngeempfehlung gelistet. In diesen Anlagen wird durch Bodenbearbeitung und somit verstärkte mikrobielle Zersetzung des Humus die Boden-Stickstoffversorgung sichergestellt. Gleiches gilt für vier Anlagen mit durchgeführtem Umbruch einer Dauerbegrünung. Bei drei Anlagen wurde aufgrund starker Wüchsigkeit der Dauerkultur empfohlen, auf eine Düngung zu verzichten.

15 Prozent der Kooperationsflächen ($n = 12$) erhielten 2024 eine Stickstoffdüngempfehlung von bis zu 20 kg N/ha. 36 Flächen (43 Prozent) liegen im Bereich von 20 bis 40 kg N/ha. Auf 18 Prozent der Flächen durften Stickstoffmengen zwischen 41 und 60 kg N/ha ausgebracht werden ($n = 15$). Bei einer Fläche (1 Prozent) wurde eine hohe N-Düngemenge von 70 kg N/ha empfohlen, da bei der vorangegangenen Bonitur eine sehr schwache Rebenwüchsigkeit mit N-Mangelsymptomen wie hellgelben Blättern, dünnen Trieben und sehr geringem Ertrag festgestellt wurde und damit eine schlechte Reservestoffeinlagerung vorlag.

Die mittlere Stickstoffdüngempfehlung 2024 über alle Kooperationsflächen lag bei 27 kg N/ha und entspricht damit dem regionaltypischen Durchschnitt der ausgebrachten Stickstoffmengen.

3.2 Bodennitratstickstoffgehalte im Spätherbst: „Herbst-N_{min}“ 2024

Im Rahmen der Wasserschutzkooperation wurde im November 2024 in jeder Kooperationsfläche der sogenannte „Herbst-N_{min}-Wert“ ermittelt. Dabei wurde in jeder Fläche eine Mischprobe aus neun Einzelproben gezogen. Drei davon stammen aus dauerbegrüntem Gassen, drei aus den über Sommer offenen Gassen, die ab Herbst teilzeitbegrünt waren, und drei aus dem Unterstockbereich. Die Proben wurden jeweils in den Bodenschichten von 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm sowie 60 bis 90 cm separat entnommen und analysiert.

Der im Labor bestimmte Herbst-N_{min}-Wert beschreibt den Gehalt an pflanzenverfügbarem, mineralisiertem Stickstoff, den sogenannten Nitrat-Stickstoff, in der Wurzelzone von 0 bis 90 cm Tiefe. Idealerweise ist dieser Wert möglichst gering. Zu diesem Zeitpunkt sollten Reben und Begrünungspflanzen die Boden-Nitratvorräte durch ihr Wachstum größtenteils verbraucht haben. Höhere Nitratkonzentrationen im Boden sind kritisch, da das leicht wasserlösliche Nitrat mit winterlichen Niederschlägen schnell in tiefere Bodenschichten und letztlich ins Grundwasser gelangen kann.

Der Herbst-N_{min}-Wert wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen Witterung, Standortbedingungen, Bodenpflege, Düngung und die vorhandene Standortflora. Dadurch ist die Auswertung und Interpretation der Werte sehr komplex. Langfristige Datenreihen ermöglichen es jedoch, Trends zu erkennen und den Einfluss außergewöhnlicher Witterungsjahre besser zu verstehen.

Die Probenahme erfolgte zwischen dem 25. November und 4. Dezember 2024 durch die Firma BOLAP aus Speyer. Der Zeitpunkt lag organisatorisch relativ spät, da normalerweise in diesem Zeitraum stärkere Winterniederschläge auftreten können, die zu intensiver Sickerwasserbildung führen kann. Dieses Phänomen trat im Jahr 2024 nur in begrenztem Umfang auf, wie Abbildung 2 auf

Seite 5 zeigt. Aufgrund des Klimawandels ist in Zukunft jedoch mit einer Zunahme solcher Sickerwasserperioden zu rechnen (siehe Abbildung 4, Seite 7). Deshalb wurde die aktuelle Probenahme 2025 auf Anfang November vorverlegt, um die Bodenverhältnisse am Ende der Vegetationsphase noch genauer abzubilden.

Ein erhöhtes Auswaschungsrisiko bestand im November 2024 wegen der moderaten Regenmengen nicht. Daher befand sich der Großteil des im Jahr 2024 umgesetzten Nitrates noch in den oberen Bodenschichten von 0 bis 60 cm. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Vorjahren mit ähnlichen Wertentwicklungen ist davon auszugehen, dass die Beratungsempfehlungen umgesetzt wurden und der Einfluss der späten Probenahme vernachlässigbar ist.

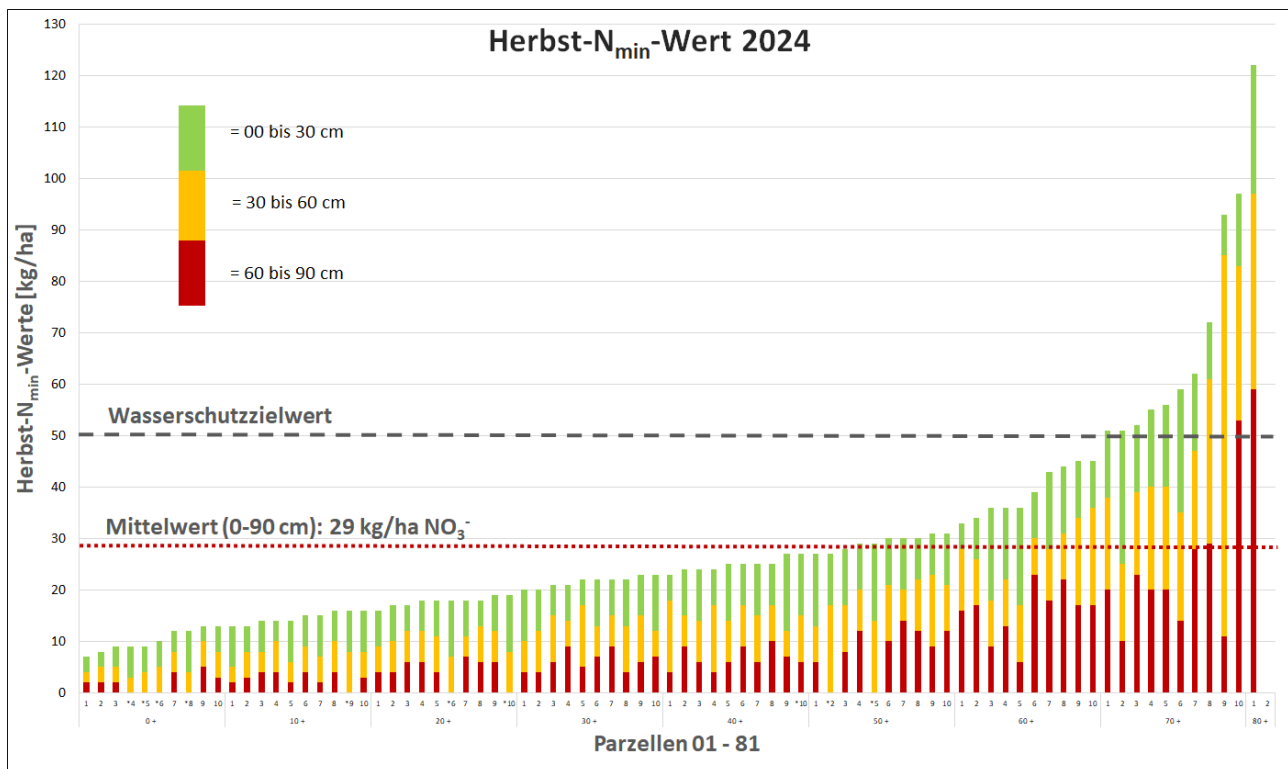
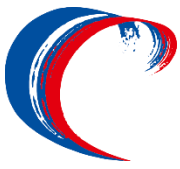


Abbildung 6: Herbst- N_{\min} -Werte sämtlicher Parzellen [n = 81] im Kooperationsgebiet nach ansteigendem Gehalt für das Jahr 2024. Die drei Bodenhorizonte sind in grün [0 bis 30 cm], gelb [30 bis 60 cm] und rot [60 bis 90 cm] dargestellt. *Keine Beprobung im Horizont 60 bis 90 cm möglich.

Das Balkendiagramm der Abbildung 6 zeigt die Nitratgehalte [kg/ha] sämtlicher Kooperationsparzellen, aufgeteilt auf die drei Bodenhorizonte 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm sowie 60 bis 90 cm für das Jahr 2024, sortiert nach steigendem Gesamtnitratgehalt. Die Ampelfarben rot, gelb und grün in den Balken veranschaulichen die Bewertung der Werte. Die Nitratmengen in der obersten Bodenschicht von 0 bis 30 cm können in der Regel von den Pflanzen aufgenommen werden, wodurch das Auswa-



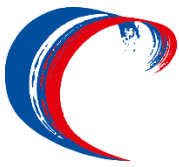
schungspotenzial gering ist. Diese Werte werden mit grünen Balkensegmenten dargestellt. Im darunterliegenden Horizont von 30 bis 60 cm nehmen Wurzeltiefen und -dichten ab, die Nitrataufnahme ist dort geringer, weshalb die Auswaschungsgefahr steigt. Diese Werte sind als orange Balkenteile eingefärbt. Im tiefsten Horizont von 60 bis 90 cm steigt das Auswaschungsrisiko erheblich, da die Wurzeln der meisten Begrünungspflanzen nicht mehr so tief reichen. Diese Werte werden deshalb als rote Balkenabschnitte dargestellt.

Um das Risiko der Nitratauswaschung möglichst gering zu halten, sind Werte unter 50 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar anzustreben. Dieser Wert ist als „Wasserschutz-Zielwert“ in Abbildung 6 (Seite 10) markiert. Er basiert auf der Annahme, dass bei durchschnittlichen Standort- und Wetterbedingungen sowie Nitratkonzentrationen unterhalb dieses Werts die Nitratbelastung im Sickerwasser den gesetzlichen Grenzwert von 50 mg/l Nitrat in der Trinkwasserverordnung nicht überschreitet.

Die durchschnittlichen Messwerte des Jahres 2024 für Nitrat-Stickstoff belaufen sich auf 29 kg/ha über sämtliche Bodenhorizonte hinweg und liegen somit signifikant unterhalb des Wasserschutz-Zielwertes.

Die Parzelle mit der höchsten Gesamtkonzentration von 122 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar überschreitet diesen Grenzwert auch im auswaschungsrelevanten unteren Bodenhorizont, wo eine Konzentration von 59 kg Stickstoff pro Hektar detektiert wurde. Obwohl die Düngung bedarfsgerecht erfolgte, die Ertragsziele erreicht wurden und eine Herbst-Winterbegrünung etabliert wurde, konnte keine adäquate Aufnahme des überschüssigen Nitrat-Stickstoffs vor dem Auftreten der Sickerwasserperiode stattfinden. Eine mögliche Ursache hierfür ist die verzögerte Aussaat der Herbst-Winterbegrünung, die zu einem unvollständigen Aufgang und einer daraus resultierenden geringen Biomasseentwicklung führte. Eine weitere Ursache liegt in der im Jahre 2020 erfolgten Pflanzfeldvorbereitung. In der Weinbaukooperation Maikammer konnte belegt werden, dass sich die Mineralisationsschübe im Zuge der Rodung mit Pflanzfeldvorbereitung noch bis ins achte Standjahr fortsetzen können. Dieser Faktor spielt auch bei sechs weiteren Parzellen, welchen den Wasserschutzzielwert überschreiten, die entscheidende Rolle.

Andere Flächen mit Nitratwerten über 50 kg pro Hektar wiesen eine unzureichende Bodendeckung der Herbst-Winter-Begrünung auf. Die Flächen wiesen im Vorjahr Werte von zum Teil unter 50 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar auf, was auf eine wetterbedingte Verlagerung der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückzuführen ist. Die Monate September und Oktober 2024 waren durch starke Regenereignisse mit insgesamt über 80 Litern pro Quadratmeter geprägt (siehe Abbildung 2, Seite 5). Dies erschwerte den Bewirtschaftern den optimalen Zeitpunkt für die Saatbettvorbereitung und Aussaat zu finden. Infolgedessen war das Auflaufen der Herbst-Winter-Begrünung aufgrund der geringen Durchwurzelung des Ober- und Unterbodens sowie den Bedeckungsgrad des Oberbodens nicht in allen Parzellen optimal.



In Abbildung 7 sind die Nitratwerte der einzelnen Messflächen, gruppiert nach dem jeweiligen Betrieb, anonymisiert dargestellt. Um die Werte einzuordnen, ist der Mittelwert aller Flächen (rote Linie) und der Wasserschutz-Zielwert (grüne Linie) eingezeichnet.

Positiv zu bewerten ist, dass bis auf zwei Betriebe, alle den Wasserschutz-Zielwert erreicht haben. Von einem Betrieb wurde der Zielwert um lediglich 4 kg/ha Nitrat-Stickstoff überschritten. Auch hier sind die erhöhten Werte auf die witterungsbedingt erschwerte Bodenvorbereitung vor der Sickerwasserperiode zurückzuführen und dem damit einhergehendem unzureichenden Deckungsgrad der Herbst-Winter-Begrünung und somit verringerter Kapazität zur Aufnahme überschüssiger Nährstoffe vor dem Auftreten der Sickerwasserperiode.

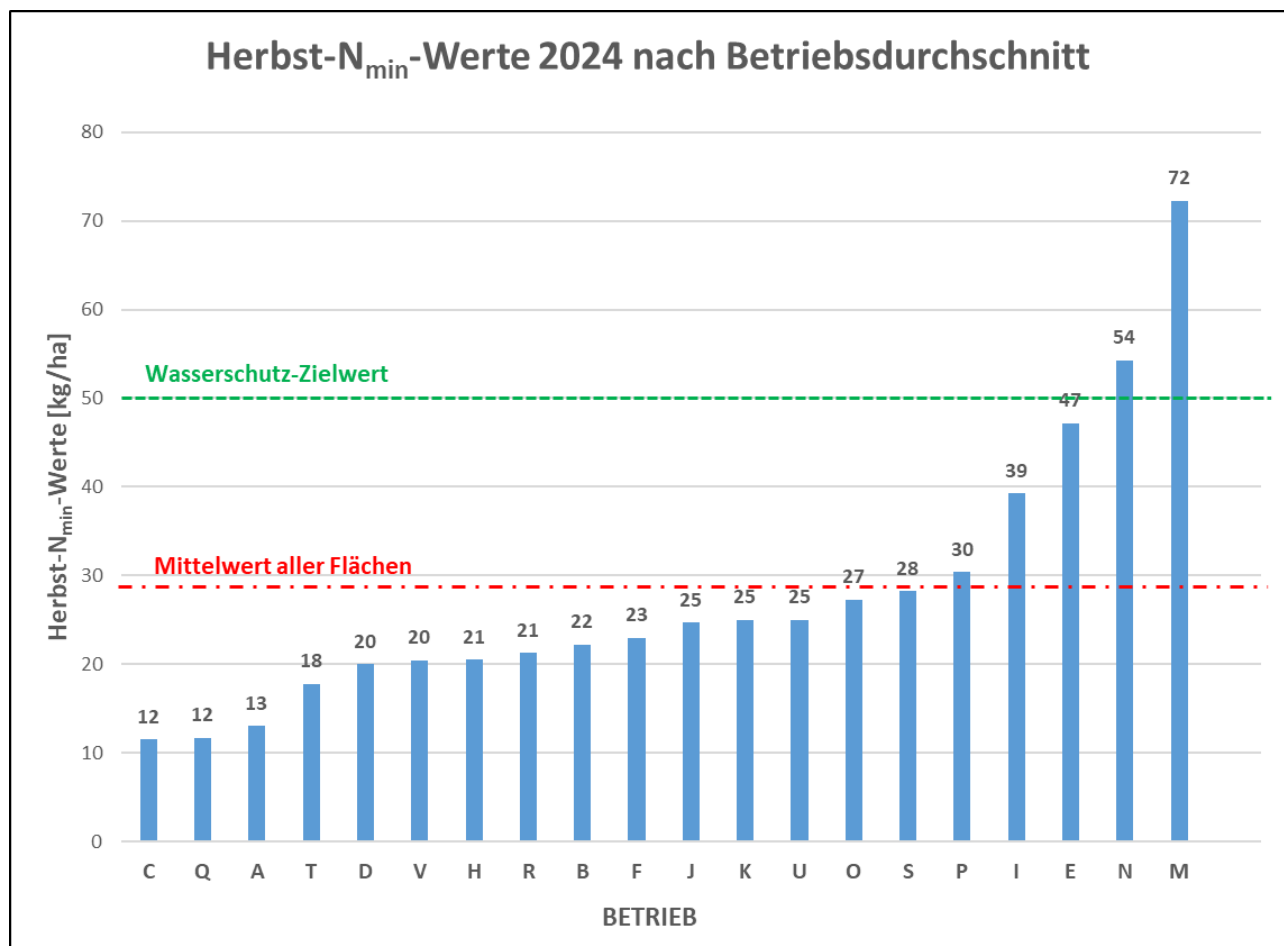
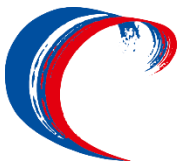


Abbildung 7: Betriebsdurchschnitt des Herbst-N_{min}-Wertes in kg/ha aller Betriebe der Kooperation für das Jahr 2024 und die Bodentiefe 0 bis 90 cm.

Um die Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen der Wasserschutzberatung nachzuweisen, werden im Balkendiagramm auf Seite 13 (Abbildung 8) die Jahresmittel der Herbst-N_{min}-Werte als



Summe, sowie aufgeschlüsselt auf die drei Bodenhorizonte, über die gesamte Laufzeit der Kooperation aufgezeigt.

Die Verteilung der Nitratgehalte auf die drei Bodenhorizonte zeigt im Regelfall (regionale, typische Niederschlagsverteilung) folgende Verteilung: Ungefähr die Hälfte des Nitrates befindet sich im 0 bis 30 cm Bodenhorizont, ein Drittel im 30 bis 60 cm Horizont und mit deutlichem Abstand die geringsten Nitratgehalte werden im 60 bis 90 cm Bodenhorizont gemessen.

Zum Beginn der Zusammenarbeit 2020 lag der Mittelwert über alle Bodenhorizonte bei 68 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar. In den Folgejahren reduzierte sich der Mittelwert allmählich auf 29 kg pro Hektar. Der Wert von 2024 liegt somit deutlich unter dem Wasserschutz-Zielwert und wird als sehr gut bewertet. Besonders die Reduzierung des Nitratgehalts in der auswaschungsgefährdetsten tiefsten Schicht belegt die Wirksamkeit der empfohlenen Maßnahmen.

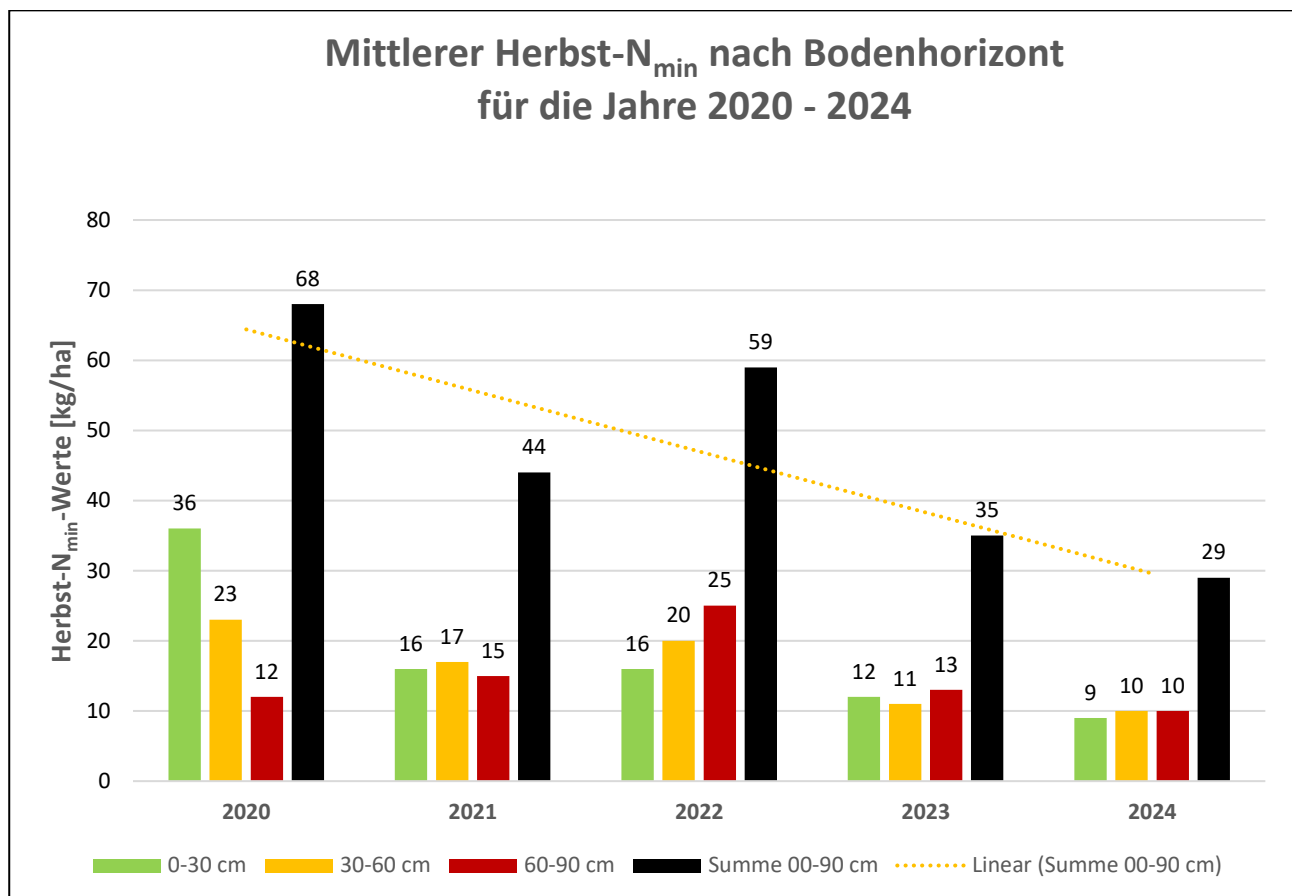
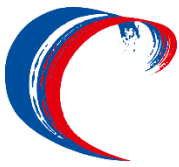


Abbildung 8: Mittlerer Herbst- N_{\min} -Wert der Kooperationsflächen als Summe (schwarz), nach Bodenhorizont (grün für 0 bis 30 cm, gelb für 30 bis 60 cm und rot für 60 bis 90 cm) und als lineare Trendlinie (gepunktet) für die Jahre 2022 bis 2024.



3.3 Bonitur der Bodenpflege zum Ende der Vegetationsphase 2024

Das in einer Region übliche Bodenpflegesystem orientiert sich in erster Linie am langjährigen Mittel der Niederschläge. In Anbaugebieten mit einer jährlichen Niederschlagssumme von 700 mm und mehr können die Rebanlagen in beiden Gassen sowie im Unterstockbereich problemlos ganzflächig begrünt werden, ohne dass Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser entsteht. In der Region um Bad Dürkheim mit jährlichen Niederschlagsmengen zwischen 400 und 650 mm hat sich hingegen ein System etabliert, bei dem jeweils eine Gasse während der Vegetationsperiode regelmäßig bearbeitet und somit offengehalten wird.

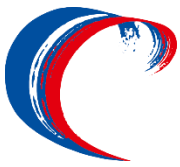
Durch diese Bearbeitung soll der sogenannte Beikrautdruck, also die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz durch spontan auftretende Vegetation, möglichst geringgehalten werden, um Wasserstress bei den Reben zu vermeiden. Allerdings erwärmen sich unbedeckte Böden im Sommer stark, was die Aktivität der Bodenorganismen und damit die Humusbildung sowie Nährstofffreisetzung deutlich reduziert. Zudem führen Starkregenereignisse in den Sommermonaten zunehmend zu Erosion und Verschlämmung der offenen Gassen, wodurch die Infiltrationsleistung abnimmt und der Unterboden schlechter durchfeuchtet wird.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes sollte in über Sommer offen gehaltenen Gassen spätestens Ende Juli oder Anfang August eine Herbst-Winter-Begrünung eingesät werden. Alternativ sollte die natürlich aufkeimende Standortflora erhalten bleiben und nicht durch späte Bodenbearbeitung beseitigt werden. Jede Bearbeitung des Bodens regt bei ausreichender Bodenfeuchte eine unerwünschte Stickstoffmineralisation an. Dabei wird organisch gebundener Stickstoff in pflanzenverfügbare Formen wie Ammonium und Nitrat umgewandelt, die ein hohes Auswaschungsrisiko aufweisen. Überschüssiger Nitrat-Stickstoff sollte daher idealerweise in der Biomasse gezielt eingesäter Begrünungspflanzen gebunden und so vor Auswaschung geschützt werden.

Es werden zwei unterschiedliche Bodenpflegesysteme unterschieden: 1.) beide Gassen sind dauerhaft und ganzjährig begrünt, 2.) eine Gasse ist dauerhaft und ganzjährig begrünt, die zweite Gasse ist mit eingesäten Pflanzen oder Spontanflora ab August bis April teizeitbegrünt, die über Sommer abgewalzt oder eingearbeitet wird (= offen).

Die zwei Bodenpflegesysteme werden in folgende vier Kategorien unterteilt:

- **„Dauerbegrünung“** umfasst Anlagen, in denen in beiden Gassen über mehrere Jahre eine Grasdauerbegrünung etabliert ist.
- **„Einsaat“** umfasst Anlagen, in denen jede zweite Gasse über Sommer offengehalten und ab Ende Juni/Juli/Anfang August mit einer Herbst-Winter-Begrünung eingesät wird.
- **„Naturbegrünung“** umfasst Anlagen, in denen jede zweite Gasse über Sommer offengehalten und ab Ende Juni/Juli/Anfang August die Standortflora natürlich aufwachsen kann.



- „Offen“ umfasst Anlagen, in denen jede zweite Gasse über Sommer offengehalten und ab Ende Juni/Juli/Anfang August aus verschiedenen Gründen KEINE Herbst-Winter-Begrünung eingesät werden bzw. keine Standortflora aufwachsen konnte.

In Abbildung 9 sind die durchschnittlichen Herbst- N_{\min} -Werte in Abhängigkeit der Bodenpflegekategorie dargestellt. Positiv zu bewerten ist, dass sämtliche Parzellen nach Abschluss der Weinbausaison ganzflächig begrünt waren. Daher entfällt die Kategorie „Offen“ im unten dargestellten Diagramm.

Anhand der Balkenlängen wird deutlich, die Nitratwerte in den dauerbegrünten Parzellen (beide Gassen) mit 19 kg pro Hektar Nitrat-Stickstoff am niedrigsten sind. Die Kooperationsflächen, in denen anstatt der Einsaat in jeder zweiten Gasse die Standortflora (= Naturbegrünung) aufwachsen konnte, weisen mit durchschnittlich 25 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar Werte deutlich unterhalb des Wasserschutz-Zielwertes auf. Trotz teilweise zu später Aussaatzeitpunkte mit daraus resultierender geringerer Biomassebildung hat die ausgewählte Herbst-Winterbegrünung „Cool Seasons“ im Vergleich zur aufgewachsenen Standortflora mit durchschnittlich 32 kg Nitrat-Stickstoff pro Hektar eine vergleichbare Menge an Nitrat aufnehmen können.

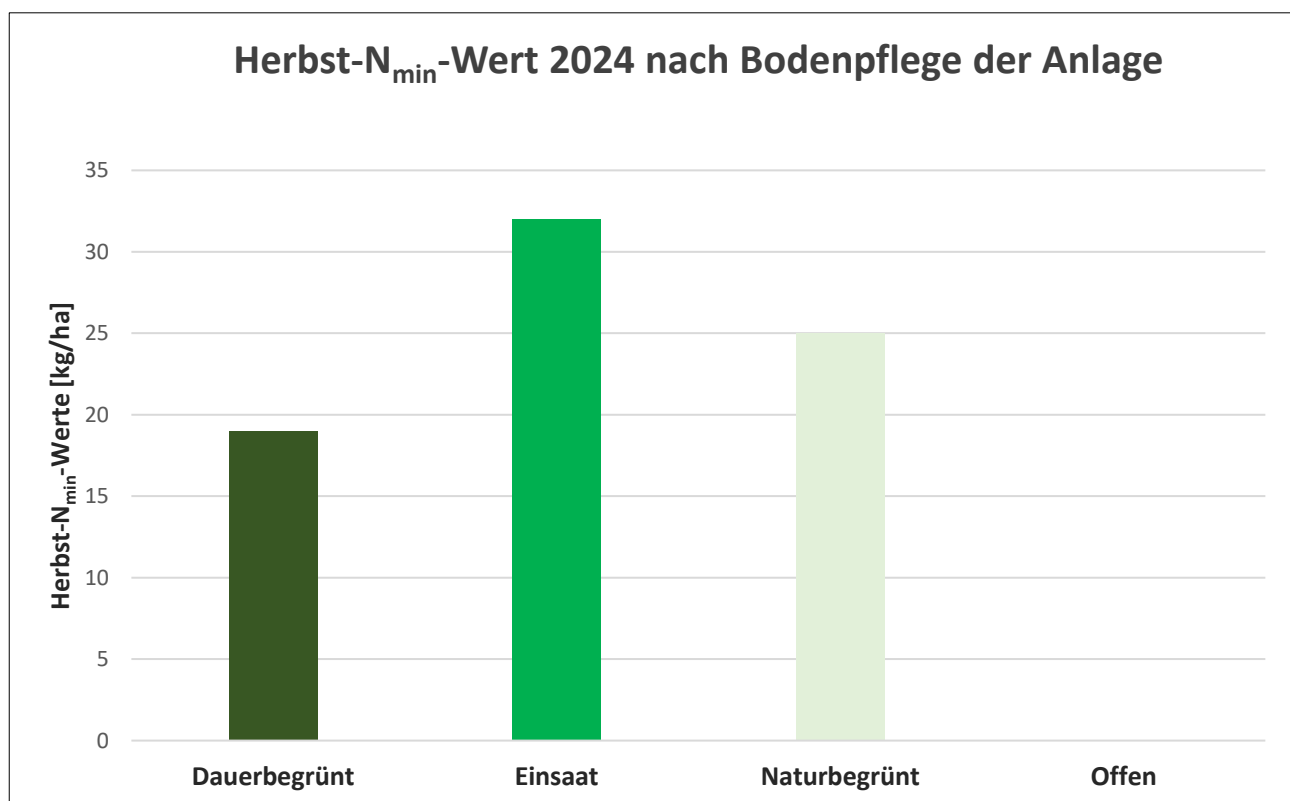


Abbildung 9: Durchschnittliche Herbst- N_{\min} -Werte nach Kategorie der Bodenpflege für das Jahr 2024 und die Bodentiefe 0 bis 90 cm.

Bei der Auswahl der Pflanzenmischungen für Herbst-Winter-Begrünungen sollten Arten mit schnellem und massigem Aufwuchs dominieren, die als sogenannte „Nitrat-Fangpflanzen“ (N-Catcher) große Mengen an Nitrat in ihrer Biomasse binden und damit effektiv vor Auswaschung schützen. Solche Einsaaten sind insbesondere in Jungfeldern und auf gerodeten Standorten unverzichtbar.

Die Verteilung der unterschiedlichen Bodenpflegearten innerhalb der Kooperationsflächen zeigt Abbildung 10. Wie bereits beschrieben, waren 100 Prozent der Flächen zum Ende der Vegetationsperiode 2024 begrünt. Das Angebot zur Bereitstellung von Herbst-Winter-Begrünungsmischungen wurde von einem Großteil der Betriebe (62 Prozent) angenommen und umgesetzt. 28 Prozent der Kooperationsflächen wiesen eine Naturbegrünung und ein kleinerer Anteil eine Dauerbegrünung (10 Prozent) auf.

Sowohl wirtschaftliche als auch witterungsbedingte Faktoren erschweren es manchen Betrieben, die Einsaat einer Herbst-Winter-Begrünung jährlich durchzuführen und lassen stattdessen die Standortflora aufkommen. Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen ist die Entwicklung jedoch sehr positiv: Im Vergleich zum Vorjahr, in dem nur 35 Prozent der Flächen mit Herbst-Winter-Begrünung versehen waren, konnte dieser Anteil im Jahr 2024 fast verdoppelt werden.

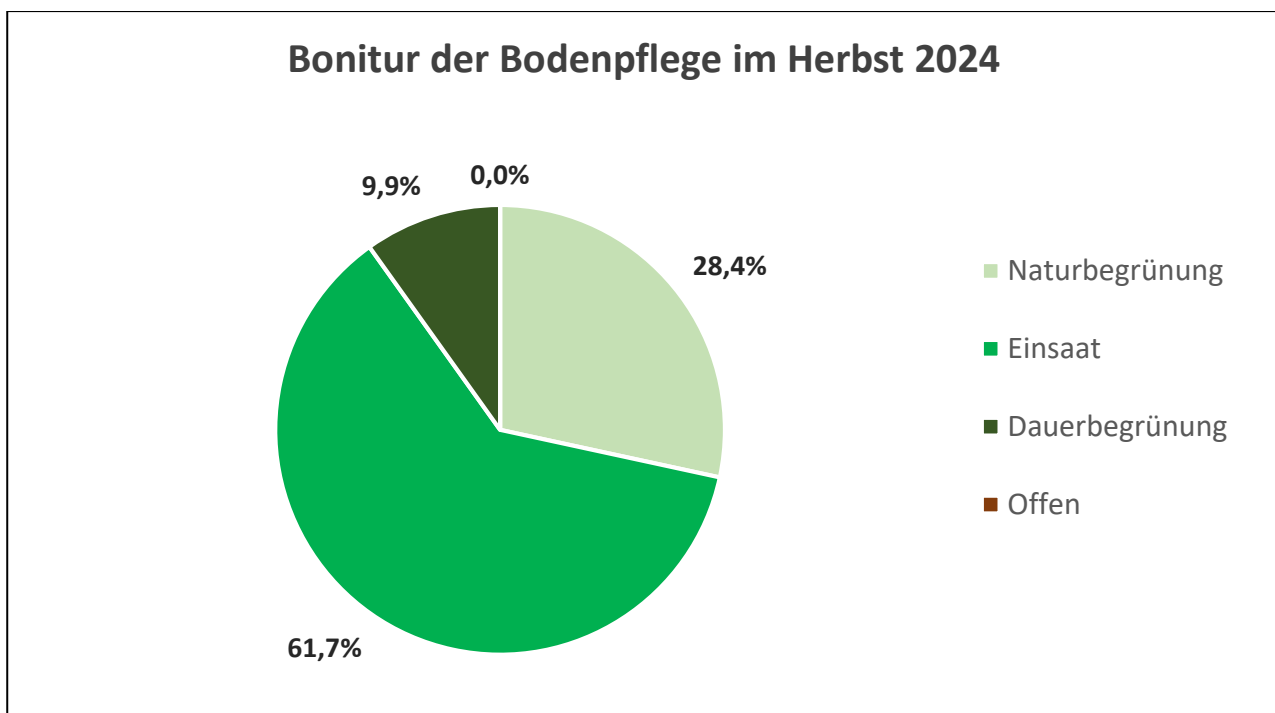
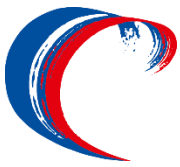


Abbildung 10: Prozentualer Anteil der Bodenpflege-Kategorien „Naturbegrünung“, „Einsaat“, „Dauerbegrünung“ und nicht begrünter Bereichen („Offen“) in den Kooperationsparzellen im Jahr 2024.



3.4 Stickstoffbilanz 2024

Ein zentraler Parameter zur Bewertung einer grundwasserschonenden Bewirtschaftung ist die Stickstoffbilanz (N-Bilanz). Sie wird rückblickend für das jeweilige Bewirtschaftungsjahr berechnet und ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Stickstoffzufuhren über mineralische und organische Düngung mit den Stickstoffabfuhr über die geernteten Trauben. Der Stickstoffentzug durch die Ernte wird mit 2,5 Kilogramm Stickstoff pro Tonne Trauben angesetzt.

Eine positive Bilanz bedeutet, dass die Stickstoffzufuhr eines Betriebes größer als die Stickstoffabfuhr war, während eine negative Bilanz darauf hinweist, dass mehr Stickstoff über die Ernte entzogen als zugeführt wurde. Im Idealfall ist die Bilanz über mehrere Jahre ausgeglichen, was bedeutet, dass Zufuhren und Abfuhr im Gleichgewicht stehen. Die für diese flächengenaue Bilanzierung erforderlichen Daten zu Düngung und Erträgen wurden von den Betrieben über elektronische Erhebungsbögen bereitgestellt.

Das Balkendiagramm der Abbildung 11 zeigt die N-Bilanzen sämtlicher Kooperationsflächen sowie den Mittelwert der N-Bilanz für das Jahr 2024. Von insgesamt 81 ausgewerteten Kooperationsflächen (nur Ertragsanlagen berücksichtigt) im Jahr 2024 wiesen 54 Parzellen eine ausgeglichene oder negative N-Bilanz auf und haben somit keine Stickstoffüberschüsse produziert. Diese Flächen können als grundwasserschonend bewirtschaftet eingestuft werden.

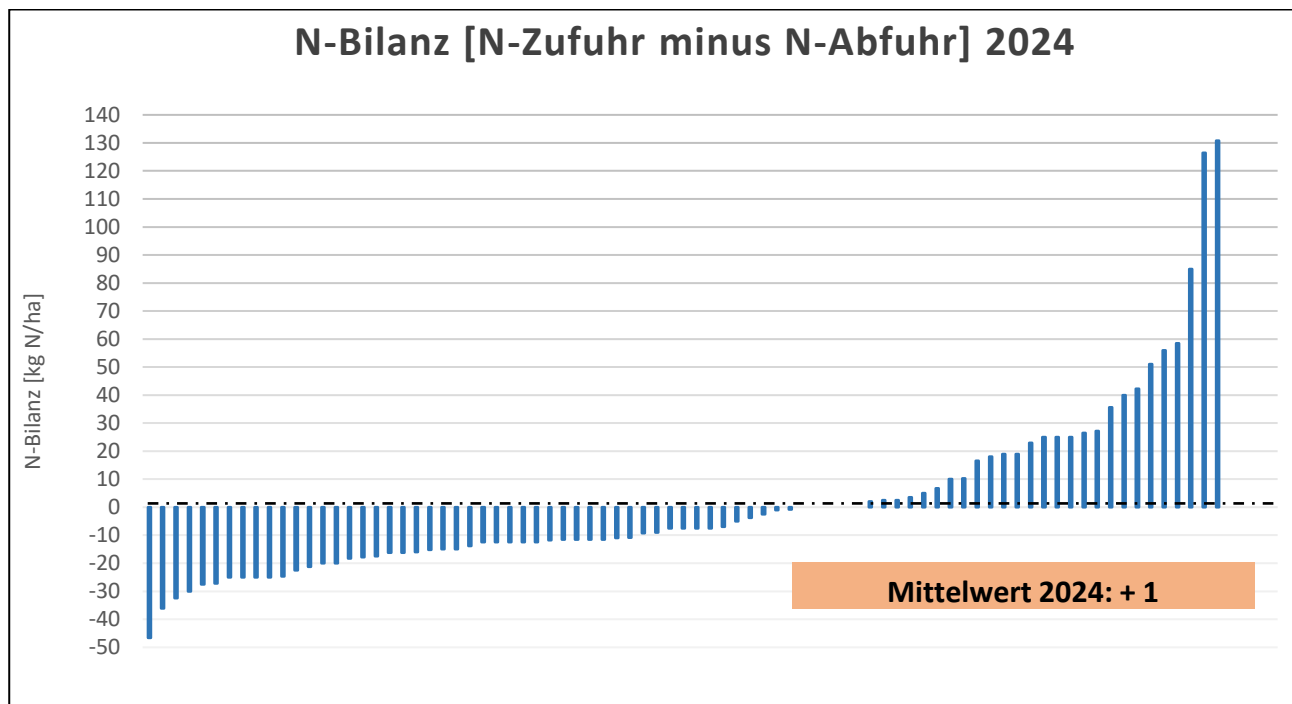
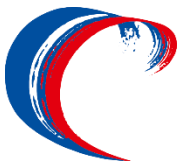


Abbildung 11: N-Bilanz [N-Zufuhr minus N-Abfuhr] und Mittelwert in kg/ha N für das Jahr 2024 sämtlicher Kooperationsflächen [n = 81].



Negative Bilanzen wurden für Flächen berechnet, die 2024 gar nicht oder nur sehr gering mit Stickstoff gedüngt wurden, wodurch die Stickstoffzufuhr deutlich geringer war als die Stickstoffabfuhr über die geernteten Trauben. Besonders die Flächen mit den negativsten Salden zwischen - 25 und - 50 Kilogramm Stickstoff pro Hektar erzielten Traubenerträge von über 10.000 Kilogramm pro Hektar.

Bei 27 Parzellen wurde eine positive Stickstoffbilanz festgestellt, die Werte reichen von +2 bis +131 Kilogramm Stickstoff pro Hektar. Positive Bilanzen über 30 Kilogramm Stickstoff pro Hektar sind in der Regel auf die Ausbringung organischer oder mineralischer Düngemittel wie Trester, Grünschnittkompost, Pferdemist oder Kalkammonsalpeter (KAS) zurückzuführen.

Zwei Flächen weisen besonders hohe Werte von 127 bzw. 131 Kilogramm Stickstoff pro Hektar auf. Hier wurde aufgrund der zum Teil schwachen Wüchsigkeit der Rebanlagen eine Dreijahresgabe mit Grünschnittkompost ausgebracht, dessen N-Fracht, durch die Vorratsgabe für drei Jahre, die Seite der N-Einfuhr im Ausbringjahr 2024 im Vergleich zur N-Abfuhr 2024 stark erhöht hat. Gleichzeitig ist in beiden Flächen ein stark bis sehr stark unterdurchschnittliches Ertragsniveau erzielt worden, welches den positiven Saldo der Flächen weiter erhöht. Dieser rechnerische Saldo spiegelt sich nicht unmittelbar in den Herbst-N_{min}-Werten wider. In den betroffenen Flächen wurden im Herbst 2024 Nitrat-Stickstoffgehalte von 39 bzw. 16 Kilogramm pro Hektar gemessen, was insbesondere im letzten Fall auf eine leichte Unterversorgung der Reben hinweist. Zudem wurde eine Begrünung der Flächen gewährleistet, welches überschüssiges Nitrat in ihrer Biomasse gebunden hat. Ob es in den Folgejahren infolge der Mineralisation der organischen Substanz aus der Dreijahresdüngung zu einer erhöhten Nitratfreisetzung kommt, bleibt zu beobachten, wird jedoch aufgrund der bisher guten fachlichen Praxis des Betriebes als geringes Risiko eingeschätzt.

In Abbildung 12 (Seite 19) ist die Entwicklung des mittleren N-Bilanzsaldos der gesamten Kooperation im Jahresvergleich 2019 bis 2024 aufgetragen.

Die Entwicklung der Bilanzsalden seit 2019 stellt ein aus Sicht des Wasserschutzes sehr positives Ergebnis dar. Seit Beginn der Kooperation ist der durchschnittliche Bilanzsaldo von + 23 auf + 1 Kilogramm Stickstoff pro Hektar gesunken. Es konnten die zuvor stark positiven Ausreißer einzelner Flächen deutlich verringert werden, wodurch sich die Gesamtbilanz weiter reduziert hat. Ursache hierfür ist, dass 2024 in vielen Flächen keine Düngung erfolgte und der Stickstoffentzug ausschließlich über die Traubenabfuhr stattfand.

Durch die flächenspezifische Beratung und Boniturbegleitung konnte gezeigt werden, dass insbesondere in Parzellen mit Teilzeitbegrünungen (Einsaat oder Naturbegrünung) und anschließender Bodenbearbeitung im Frühjahr auf zusätzliche Düngergaben verzichtet werden kann, ohne die Reben in ihrer N-Versorgung zu beeinträchtigen.

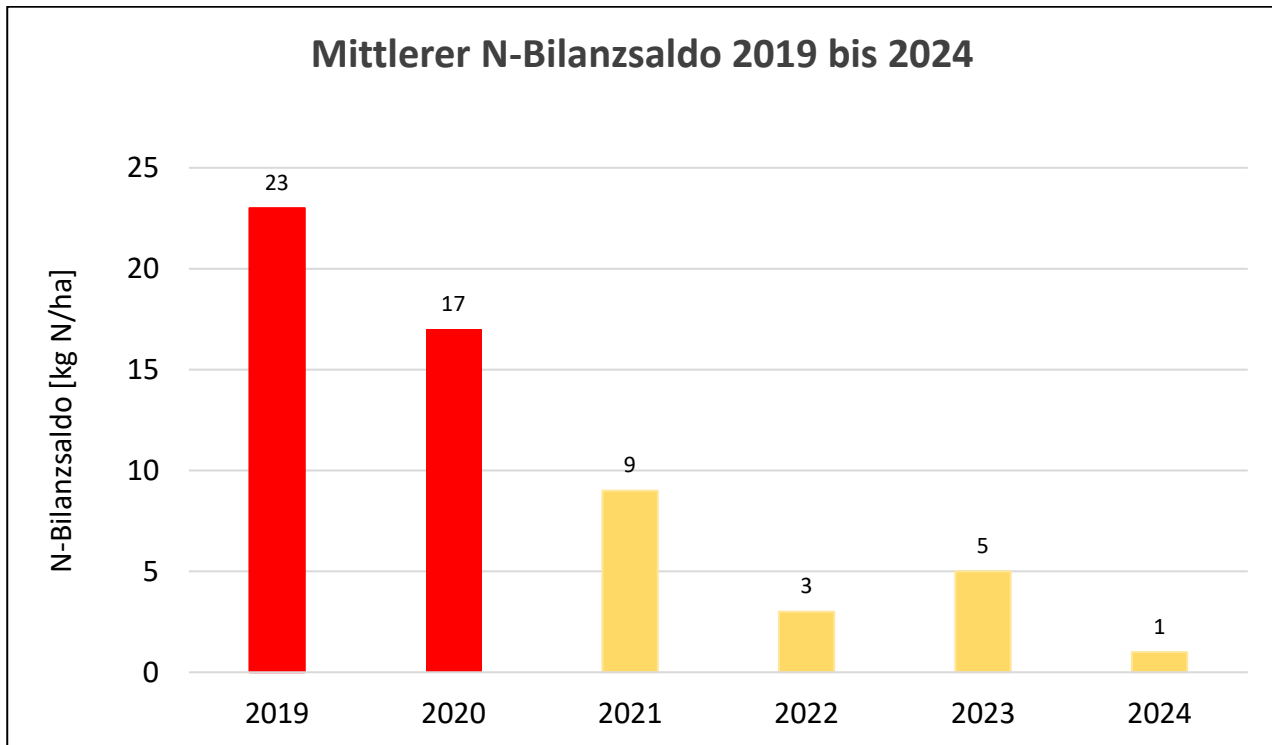


Abbildung 12: Mittlerer N-Bilanzsaldo der Kooperation [N-Zufuhr minus N-Abfuhr] in kg N/ha für die Jahre 2019 (n = 62), 2020 (n = 71), 2021 (n = 66), 2022 (n = 33), 2023 (n = 85) und 2024 (n = 81).

Die in Abbildung 11 (Seite 17) dargestellten N-Bilanzen wurden in Abbildung 13 auf Seite 20 einzelbetrieblich aufgeschlüsselt, um Unterschiede in der Bewirtschaftungsweise einzelner Betriebe sichtbar zu machen. Diese Darstellung ermöglicht eine gezielte Bewertung der Düngepraxis der jeweiligen Betriebe und unterstützt bei der Anpassung betrieblicher Strategien, falls N-Unter- oder N-Übersorgungen erkennbar werden. Der zunehmende Kostendruck im Weinbau verstärkt die Notwendigkeit eines wirtschaftlichen, effizienten und zugleich ressourcenschonenden Umgangs mit Düngemitteln und Bodenpflegemaßnahmen.

Das Spektrum der einzelbetrieblichen N-Bilanzen reicht von - 41 bis + 35 Kilogramm Stickstoff pro Hektar. Auffällig hohe Werte von bis zu 130 Kilogramm Stickstoff pro Hektar von einzelnen Parzellen, treten bei der gesamtbetrieblichen Betrachtung nicht mehr auf. Dies bestätigt, dass es sich überwiegend um Einzelfälle mit Dreijahresgaben organischer Dünger und nicht um die regelmäßige Überdüngung der Flächen durch einzelne Betriebe handelt.

Von den fünf Betrieben mit den höchsten Bilanzwerten verfolgen zwei Betriebe (N, E) zum Teil ein Produktionsziel mit Erträgen von über 14 Tonnen Trauben pro Hektar und sind zudem Rebschulen und daher auf die Produktion von Schnittholz angewiesen, woraus erhöhte Düngergaben resultieren. Letzteres erfordert, dass die Reservestoffe des Holzkörpers geschont werden, um die Ausbildung kräftiger, tragfähiger Triebe für die weitere Produktion sicherzustellen. Die bei beiden Betrie-

ben erzielten Erträge (N-Abfuhr) lagen zum Teil unter dem Produktionsziel mit der damit einhergehenden N-Zufuhr, was den sichtbaren Stickstoffüberschuss verursachte. Dieser konnte nicht vollständig von der Dauerkultur sowie der Spontan- bzw. Dauerbegrünung aufgenommen werden. In den Herbst-N_{min}-Untersuchungen zeigten sich insbesondere in den unteren Bodenhorizonten (60 bis 90 cm) erhöhte Nitrat-Stickstoffgehalte von bis zu 29 kg N/ha.

Bei Betrieben B, D und U wurde auf einem signifikanten Anteil der Nutzflächen eine Drei-Jahres-Vorratsdüngung mittels Grünschnittkompost appliziert. Die resultierende N-Fracht aus dieser Vorratsgabe führte zu einer erheblichen Steigerung der N-Einfuhr im Vergleich zur bilanzierten N-Abfuhr. Zum Teil konnten witterungsbedingt nicht in jeder Fläche die angestrebten Zielerträge erreicht werden. In der Folge lag die N-Zufuhr zusätzlich über der N-Abfuhr der geernteten Trauben, wodurch sich der beobachtete Stickstoffüberschuss ergab. Durch die Einsaat einer Herbst-Winter-Begrünung konnte ein Großteil des überschüssigen Stickstoffs vor einer Auswaschung während der Sickerwasserperiode bewahrt werden.

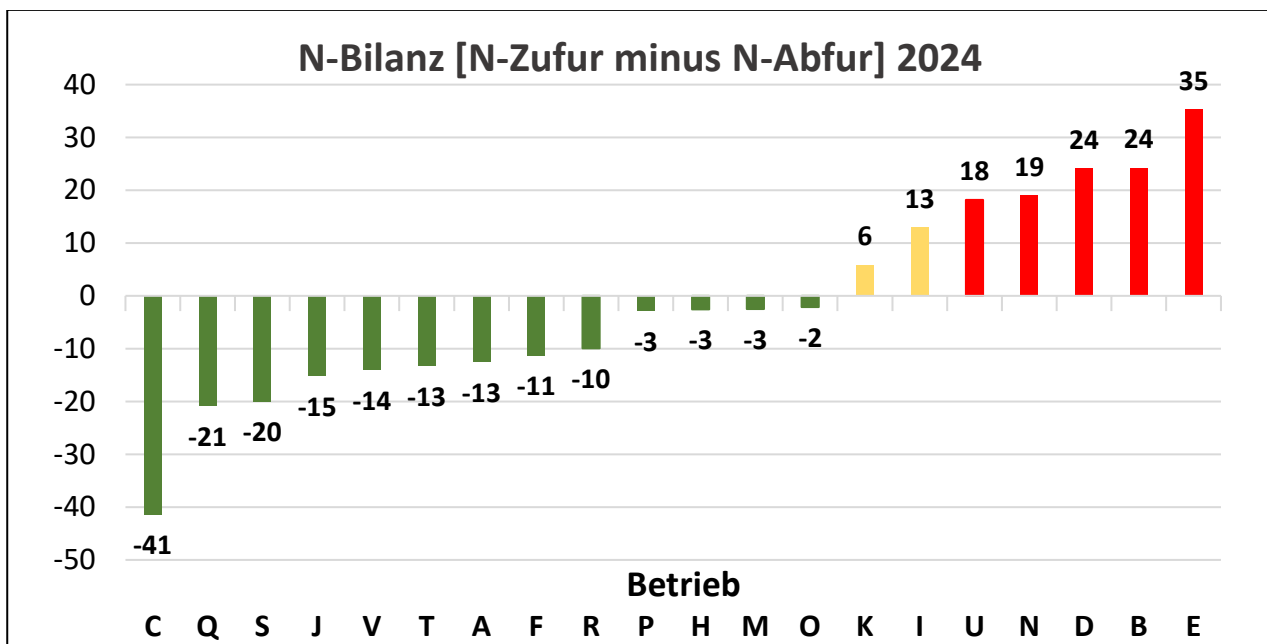
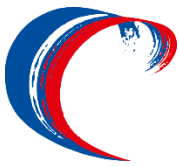


Abbildung 13: Chiffrierte Betriebsspezifische N-Bilanz in kg N/ha für 2024.

Für die kommenden Jahre ist bei diesen Betrieben verstärkt auf eine bedarfsangepasste Stickstoffdüngung zu achten, um derartige Überschüsse und damit einhergehende Risiken für das Grundwasser zu vermeiden.

Bei Betrachtung der restlichen Betriebe befindet sich die Kooperation auf einem sehr niedrigen Niveau, das ein geringes Risiko für Nitratverluste und Auswaschungen erkennen lässt. Der überwiegende Teil der Betriebe verzichtet vollständig auf Düngemaßnahmen und weist negative N-Bilanzen



auf. Diese Betriebe sichern die Nährstoffversorgung ihrer Reben über ein gezieltes Bodenpflegemanagement mit Teilzeit- und Dauerbegrünung sowie ressourcenschonender Bodenbearbeitung in den physiologisch wichtigen Versorgungsphasen der Rebe.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Insgesamt zeigt das Jahr 2024, dass die Kooperation erfolgreich zur Reduzierung potenzieller Nitratbelastungen des ersten Grundwasserkörpers beiträgt. Die bisherigen Entwicklungen belegen, dass durch gezielte Beratung in Form von angepasster Düngung und eines standortangepassten, betriebsspezifischen Bodenpflegesystems (Begrünungsmanagement & Bodenbearbeitung) eine nachhaltige und grundwasserschonende Bewirtschaftung im Weinbau dauerhaft erreichbar ist.

Für die kommenden Jahre ist vorgesehen, die Datengrundlage der Kooperation um einen weiteren wichtigen Parameter zu erweitern: das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis). Dieses Verhältnis beschreibt das Mengenverhältnis zwischen organisch gebundenem Kohlenstoff und Stickstoff im Boden und gibt Auskunft über die mikrobielle Aktivität sowie die Geschwindigkeit der organischen Substanzumsetzung.

Ein Boden-C/N-Verhältnis von 10 : 1 ist von zentraler Bedeutung für die Nährstoffdynamik im Boden. Bei einem zu engen C/N-Verhältnis (z.B. 4 : 1 bis 8 : 1) erfolgt die Mineralisation organischer Substanz sehr schnell, was zu einer erhöhten Freisetzung von Nitrat führen kann. Ein zu weites C/N-Verhältnis (z.B. 20 : 1 bis 80 : 1) hingegen kann zu einer Stickstofffestlegung im Boden und damit zu einer temporären Nährstoffverknappung für die Rebe führen. Durch die regelmäßige Erfassung dieses Parameters können künftig Rückschlüsse auf die Stabilität des organischen Bodenpools und auf das langfristige Nährstoffnachlieferungspotenzial gezogen werden. Dies ermöglicht eine noch präzisere Steuerung von Düngungs- und Begrünungsmaßnahmen im Sinne eines integrierten Gewässerschutzes.

Mit der geplanten Erweiterung des Monitorings um das C/N-Verhältnis wird die Grundlage für eine noch ganzheitlichere Bewertung der Bodenprozesse geschaffen, um auch künftig eine Balance zwischen produktivem Weinbau und effektivem Gewässerschutz sicherzustellen.

Als weitere Maßnahme wurde im Jahr 2025 für über acht Hektar der Kooperationsflächen Saatgut für eine Unterstockbegrünung ausgegeben. Dies trägt maßgeblich zur Reduzierung des Herbizideinsatzes bei und leistet somit einen wichtigen Beitrag zum Bodenschutz. Durch die Etablierung einer dauerhaften Vegetationsdecke unter den Rebstöcken und dem Wegfall einer chemischen und mechanischen Bearbeitung wird die Erosionsanfälligkeit der Flächen verringert und gleichzeitig die Infiltrationsrate des Niederschlagswassers erhöht. Damit wird nicht nur der Oberflächenabfluss reduziert, sondern auch die Wasserspeicherung im Boden verbessert, wodurch eine Stabilisierung des Wasserhaushaltes und eine Förderung der Bodenbiologie begünstigt werden.