HOCHSCHULE
WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Umweltingenieurwesen

Verbund-Forschungsvorhaben:

Evaluation der Einführung eines Wassermanagementsystems für Weinberge im Trinkwasserschutzgebiet Volkach/ Astheim

-

Projektbereich II:

Bodenökologie, Quantifizierung und Qualität des Oberflächenabflusses und dessen Lagerung

Abschlussbericht

Autoren: Dipl.-Ing.(FH) Björn Haller
Prof. Dr. Wilhelm Pyka
Prof. Dr. Rudolf Huth

Projektpartner:	**B.T.W. - Büro für Technik und Management im Weinbau; Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau - Fachzentrum Analytik; NTBB Systemtechnik GmbH; VINAQUA Volkach e.G.**
Förderung durch:	**Landwirtschaftliche Rentenbank**
Förderkennzeichen:	**Z20051**
Fachliche Begleitung durch:	**Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)**
Förderkennzeichen:	**511-06.01.-28LR40-002**
Laufzeit des Vorhabens:	**07.05.2010 bis 30.04.2013**
Abgabedatum:	**30.04.2013**

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis II
Abbildungsverzeichnis III
Tabellenverzeichnis VI
1 Einleitung 1
2 Standort Volkacher Kirchberg 3
3 Untersuchungsbereiche und -methoden 5
3.1 Untersuchung der Wasserqualität in den Puffer- und Speicherbecken 5
3.2 Quantitative und qualitative Bestimmung des Oberflächenabflusses 7
3.3 Bodenqualität und Stoffflüsse in der ungesättigten Bodenzone 9
3.3.1 Tiefenhorizontierte Untersuchung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der ungesättigten Bodenzone 9
3.3.2 Untersuchung des Bodengefüges 11
3.3.3 Bestimmung des Bodenwasserrückhaltevermögens 12
3.3.4 Bodenerosionsuntersuchungen durch künstliche Beregnung der Untersuchungsfläche 13
3.3.5 Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit 14
3.3.6 Vegetationsaufnahme 15
4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse 16
4.1 Untersuchung der Wasserqualität in den Puffer- und Speicherbecken 16
4.2 Quantitative und qualitative Bestimmung des Oberflächenabflusses 18
4.3 Bodenqualität und Stoffflüsse in der ungesättigten Bodenzone 23
4.3.1 Tiefenhorizontierte Untersuchung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der ungesättigten Bodenzone 23
4.3.2 Untersuchung des Bodengefüges 25
4.3.3 Bestimmung des Bodenwasserrückhaltevermögens 26
4.3.4 Bodenerosionsuntersuchungen durch künstliche Beregnung der Untersuchungsfläche 28
4.3.5 Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit 30
4.3.6 Vegetationsaufnahme 31
5 Zusammenfassende Diskussion 37
6 Literatur 40
7 Anhang 44

Abkürzungsverzeichnis

ρ	Dichte
ρ_d	Lagerungsdichte bzw. Trockenrohdichte
C	Chamerophyt
CO_2	molekularer Kohlenstoffdioxid
D	Dispersitätszahl
DMS	N,N-Dimethylsulfamid
F	Feuchtezahl
FK	Feldkapazität
G	Geophyt
GF	Geröllfang
GPV	Gesamtporenvolumen
H	Hemikryptophyt
Hn	Horizont, n $\triangleq$ Laufindex
K	hydraulische Leitfähigkeit [m/s]
li	Liane
LF	Lebensformtyp
LK	Luftkapazität
m	Masse
M	Molare Masse
MID	magnetisch-induktiver Durchflussmesser
N	Stickstoffzahl oder Nanophanerophyt
nFK	nutzbare Feldkapazität
NH_4-N	Ammonium-Stickstoff
NO_3-N	Nitrat-Stickstoff
O_2	molekularer Sauerstoff
P	Phanerophyt
p.a.	lat. pro analysi, zur Analyse
PB-S	Pufferbecken Süd
pF	Saugspannung
R	Reaktionszahl
RG	Rebgasse
RZ	Rebzeile
SB-O	Speicherbecken Ost
SB-W	Speicherbecken West
T	Therophyt
TOC	total organic carbon (Gesamter organischer Kohlenstoff)
TS	Trockensubstanz
TW	Totwasser
uGOK	unter Geländeoberkante
V	Volumen
Vol	Volumen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Ausschnitt des Gesamtlageplans in Anhang 1 mit der Grenze des Projektgebietes (rote Umrandung) und den Monitoringflächen (orange markierte Flächen) 4
Abb. 3.1: Abflussmesseinrichtung in Schacht KL11 8
Abb. 3.2: Referenzmesssystem bestehend aus Aufstaurohr und Durchflussmessgerät (MID) 8
Abb. 3.3: Schema der Probenahme 10
Abb. 3.4: Profilgrube im Bereich 9 der alten Bewirtschaftungsweise (links) und im Bereich 7 der neuen Bewirtschaftungsweise (rechts) 12
Abb. 3.5: Untersuchte Rebgassen der alten (links) und neuen (rechts) Bewirtschaftung . 13
Abb. 3.6: Regensimulator für Erosionstests (verändert nach EIJKELKAMP 2005) 14
Abb. 3.7: Versuchsaufbau zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit 15
Abb. 4.1: Verlauf der pH-Werte in den Wasserbecken in den Jahren 2011 (links) und 2012 (rechts) 16
Abb. 4.2: Verlauf der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den Wasserbecken in den Jahren 2011 (links) und 2012 (rechts) 16
Abb. 4.3: Algenbewuchs am Beckenrand im Pufferbecken Süd 17
Abb. 4.4: geleertes Pufferbecken Süd 17
Abb. 4.5: Jahresverlauf der monatlichen Summenwerte des Oberflächenabflusses an der Messstelle KL11 in 2011 19
Abb. 4.6: Aufzeichnung der Abflussdaten Q [L/s] über die Zeit t [min] am 05.06.2011 (Winterzeit) 19
Abb. 4.7: Verschütteter Messschacht KL11 20
Abb. 4.8: Jahresverlauf der monatlichen Summenwerte des Oberflächenabflusses an der Messstelle KL11 in 2012 20
Abb. 4.9: Körnungslinien von Bodenproben aus den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd 22
Abb. 4.10: Jahresverlauf der Monatssummenwerte des Niederschlags am Volkacher Kirchberg im Jahr 2012. Gesamtjahresniederschlag: 553 mm. Aufgenommen an der Wettermessstation am Volkacher Kirchberg 23
Abb. 4.11: Sickerwasseranfall bei leicht und schwer durchlässigen Böden bezogen auf die Niederschlagsmenge im Jahresverlauf (Rohmann & Sontheimer, 1985) 24
Abb. 4.12: Graphische Darstellung der mittleren Porenanteile und des Festsubstanzanteils in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise 27
Abb. 4.13: Graphische Darstellung der Kennwerte der Wasserbindung in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise 28
Abb. 4.14: Oberflächenabflussverlauf in Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftung bei 22° Hangneigung und künstlicher Beregnung 29
Abb. 4.15: Bodenabtragsverlauf in Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftung bei 22° Hangneigung und künstlicher Beregnung 30
Abb. 4.16: Werte der hydraulischen Leitfähigkeit K in Abhängigkeit der Tiefe aus zwei Untersuchungspunkten in der unbegrünten Rebgasse (Rebzeile 25/ 26) 30
Abb. 4.17: Werte der hydraulischen Leitfähigkeit K in Abhängigkeit der Tiefe aus zwei Untersuchungspunkten in der begrünten Rebgasse (Rebzeile 34/ 35) 31
Abb. 4.18: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder 31

Abb. 4.19: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling 32
Abb. 4.20: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner 32
Abb. 4.21: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder 33
Abb. 4.22: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling 33
Abb. 4.23: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner 33
Abb. 4.24: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder 34
Abb. 4.25: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling 34
Abb. 4.26: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner 34
Abb. 4.27: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder 35
Abb. 4.28: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling 35
Abb. 4.29: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner 35
Abb. 4.30: Vorkommen von Leguminosen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder 36
Abb. 7.1: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010 49
Abb. 7.2: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010 49
Abb. 7.3: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010 50
Abb. 7.4: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der

Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011 50
Abb. 7.5: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011 51
Abb. 7.6: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011 51
Abb. 7.7: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011 52
Abb. 7.8: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011 52
Abb. 7.9: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011 53
Abb. 7.10: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012 53
Abb. 7.11: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012 54
Abb. 7.12: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012 54

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Anforderungen an die Wasserqualität hinsichtlich einer Bewässerungsnutzung (PATZWAHL 2007) 5
Tab. 3.2: Übersicht der Laboranalyseparameter mit Einheit und Untersuchungsmethode 6
Tab. 4.1: Übersicht der Ergebnisse aus den Feststoffuntersuchungen der Proben aus den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd..... 21
Tab. 4.2: Gehalte an Nitrat-N im untersten Bodenhorizont (61-90 cm uGOK) an den Stichtagsbeprobungen Herbst und Frühjahr 2010 bis 2012 24
Tab. 4.3: Kumulierte Gehalte des Nitrat-N in allen Bodenhorizonten an den Stichtagsbeprobungen Herbst und Frühjahr 2010 bis 2012 25
Tab. 4.4: Darstellung der Gesamtbewertung jeder Probe aus dem jeweiligen Horizont und Bewirtschaftungsweise 26
Tab. 4.5: Übersicht der mittleren Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Beprobungstiefe..... 26
Tab. 4.6: Übersicht der mittleren Porenanteile und des Festsubstanzanteils in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise 27
Tab. 4.7: Übersicht der Ergebnisse aus den Bodenerosionsmessungen durch künstliche Beregnung. Angegeben sind die Mittelwerte aus mehreren Versuchsdurchläufen pro Untersuchungspunkt 29
Tab. 7.1: Gesamtübersicht der Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen..... 47
Tab. 7.2: Gesamtübersicht der Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen im November 2010..... 48
Tab. 7.3: Gesamtartenliste der Vegetationsaufnahme vom 02. Juli 2012..... 55

1 Einleitung

In der Weinberganlage Volkacher Kirchberg, im Raum Unterfranken, wurde im Frühjahr 2010 von der Fernwasserversorgung Franken und der Bewässerungsgenossenschaft VINAQUA Volkach e. G. ein Wassermanagementsystem in Betrieb genommen. Hintergrund dieser Inbetriebnahme ist, dass die Fernwasserversorgung Franken unterhalb des Weinbergs eine Trinkwasserentnahmestelle unterhält und die Weinberganlage im Einzugsbereich dieser Entnahmestelle liegt. Rund 35 ha dieser Fläche liegen in der Wasserschutzzone III. Durch diese Gegebenheiten stellt die Weinberganlage durch einen Eintrag von Nitrat ins Grundwasser und den abfließenden Oberflächenabfluss in die Wasserschutzzone II und I eine Gefährdung des Trinkwassers dar. Weiterhin war in der Vergangenheit der nahe gelegene Siedlungsbereich der Stadt Volkach, der sich unterhalb der Weinbergfläche befindet, bei starken Niederschlagsereignissen vom abfließenden Oberflächenabfluss stark betroffen. Aus Gründen des Grundwasser-, Boden- und Hochwasserschutzes wurde die Idee aufgegriffen, ein Wassermanagementsystem in der Weinberganlage einzuführen. Hierzu wurden Abschläge unterhalb des Weinbergs installiert, über welche der abfließende Oberflächenabfluss aufgefangen und einem unterhalb des Weinbergs gelegenen Sammelbecken zugeführt wird. Das aufbereitete und gespeicherte Wasser wird bei Wasserbedarf über eine Tropfbewässerungsanlage den Rebflächen wieder zugeführt. Weiterhin wurde zur Verringerung des Eintrags von Nitrat in das Grundwasser und zur Verringerung der Bodenerosion und der daraus folgenden Degradation der Weinbergböden, die bis dato angewandte Bewirtschaftungsweise der Rebgassen verändert. Bei der bisherigen Bewirtschaftungsweise wurde lediglich jede zweite Rebgasse begrünt. Dies wird durch eine Begrünung jeder Rebgasse sowie einer zusätzlichen Bewässerung geändert. Die zusätzliche Bewässerung dient dabei der besseren Wasserversorgung der Rebstöcke zur Sicherstellung des Traubenertrags und der Qualität des produzierten Weins sowie der Förderung einer Dauerbegrünung in den Rebgassen. (PATZWAHL 2010)

In Zusammenarbeit mit der B.T.W. - Büro für Technik und Management im Weinbau, dem Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim, der NTBB Systemtechnik GmbH und der VINAQUA Volkach e.G. wurde von der Fakultät Umweltingenieurwesen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf die Einführung dieses Wassermanagementsystems über eine Dauer von drei Jahren wissenschaftlich begleitet.

Die verschiedenen Aspekte bei der Einführung des Wassermanagementsystems, wie z. B. die Entwicklung eines Expertensystems zur Bewässerungssteuerung, eine Kosten/Nutzen-Analyse, die Überwachung des Weinertrags und der –qualität sowie die Änderung des Wasser- und Nährstoffflusses, der Bodenqualität im Zuge der Umstellung der Bewirtschaftungsweise in den Rebgassen wurden seitens der Projektpartner bearbeitet.

Im Fokus der Untersuchungen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Projektbereich II: „Bodenökologie, Quantifizierung und Qualität des Oberflächenabfluss und dessen Lagerung“) lagen drei Aspekte in Bezug auf die Umstellung der Bewirtschaftungsweise der Rebflächen und der Einführung des Bewässerungssystems. Zum einen war dies die Erfassung der Veränderungen aus bodenökologischer Sicht im Zuge der Umstellung der Bewirtschaftungsweise. Die sich daraus ergebenden Änderungen hinsichtlich der Bodenerosion und des Wasser- und Nährstoffffluss wurden durch Untersuchungen des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrags bei künstlicher Beregnung, des Bodengefüges, der hydraulischen Leitfähigkeit, des Wasserrückhaltevermögens und der tiefenhorizontierten Bestimmung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff ermittelt. Diese Untersuchungen wurden in ausgewählten Anbauflächen der Rebsorten Riesling, Silvaner und Spätburgunder durchgeführt.

Hinsichtlich der Einführung des Bewässerungssystems lag ein Schwerpunkt in der Quantifizierung und der Bestimmung der Zusammensetzung des Oberflächenabflusses. Hierbei wird der Oberflächenabfluss eines Teilareals (ca. 20 ha) der Weinbergfläche über

Sediment- und Geröllfänge aufgefangen und einem unterhalb des Weinbergs gelegenen Speicherbecken zugeführt. In der Zulaufleitung des Beckens wurde der Abfluss durch eine Wehrmessung quantitativ ermittelt und mittels automatischem Probenehmer ereignisproportional Wasserproben entnommen. Die Wasserproben wurden auf die Parameter Stickstoff, Phosphor, organischer Kohlenstoff, Schwermetalle, Pestizide und deren Metabolite untersucht. Aus den ermittelten Daten wurden Aussagen zur zeitlichen Dynamik und qualitativen Beschaffenheit des Oberflächenabflusses getroffen.
Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Analyse der qualitativen Beschaffenheit des Wassers in den drei Speicherbecken. Das für die Bewässerung der Rebflächen verwendete Wasser unterliegt bestimmten Anforderungen bezüglich Parameter wie z. B. dem pH-Wert, Salzgehalt, Schwermetallgehalt und der Gesamthärte. Darüber hinaus wurde durch eine 4-6 wöchige Beprobung der Becken und der Analyse der Proben auf verschiedene Parameter, wie pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Nährstoffgehalte (N-/P-Fraktionen) und Chlorophyll-a (Algengehalt), das Problem des vermehrten Algenwachstums, vor allem im Pufferbecken Süd, genauer untersucht. Aus den hieraus gewonnenen Informationen wurden Aussagen hinsichtlich einer möglichen Algenproblematik getroffen und die Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Bewässerungswasser eingeschätzt.

2 Standort Volkacher Kirchberg

Die Weinberganlage Volkacher Kirchberg liegt nordwestlich, am Rande der Stadt Volkach in der Region Unterfranken. Die Weinbergfläche des Projektes beträgt rund 35 ha, wobei davon circa 31 ha Rebflächen sind. Wie bereits in Kapitel 1 dargestellt, liegt die Fläche im Einzugsgebiet, d. h. in der Wasserschutzzone III, der Trinkwasserentnahmestellen der Fernwasserversorgung Franken. Im Anhang 1 ist ein Gesamtlageplan des Projektgebietes enthalten.
Unterhalb des Weinbergs befindet sich das Sammelbecken „Pufferbecken Süd“, in dem der vom Weinberg abfließende Oberflächenabfluss gesammelt wird. Von dort aus wird das gesammelte Wasser in die zwei nördlich, oberhalb des Weinbergs gelegenen „Speicherbecken Ost“ und „Speicherbecken West“ gefördert. Das Speicherwasser wird über eine Tropfbewässerungsanlage zur Bewässerung der Rebflächen verwendet.
Die Messeinrichtung zur Ermittlung der Menge und der Zusammensetzung des Oberflächenabfluss wurde im Kanalschacht KL11 südlich des Geröllfangs „Am Joppen 2“ installiert. Dort fließen die von den Geröllfängen „Am Joppen 1“, „Am Joppen 2“ und „Am Model“ aufgefangenen Oberflächenabflüsse ab. An dieser Messstelle wurde ebenso ein automatischer Probenehmer zur Beprobung des Abflusses installiert.
Die Weinberganlage ist in mehrere Teilflächen mit entsprechenden Flurnummern unterteilt. Im Projektgebiet wurden für verschiedene Rebsorten und Hanglagen drei Monitoringflächen eingerichtet. Die Monitoringflächen „Silvaner“, „Spätburgunder“ und „Riesling“ sind in Abb. 2.1 mit den Nummern „1“, „2“ und „3“ versehen. Die entsprechenden Flurnummern lauten 1585, 1638 und 1627/ 1628.
Das Projektgebiet befindet sich bezogen auf den geologischen Untergrund in den südlichen und westlichen Hangbereichen im Oberen Muschelkalk. Im oberen, ebenen Bereich des Weinbergs bilden Bereiche des Unteren Keupers (Untere Tonstein-Gelbkalkschichten/ Werksandstein/ Obere Tonstein-Gelbkalkschichten mit Oberem Sandstein) sowie Auflagen von Löß und Lößlehm die geologische Ausgangsformation (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1983).
Der dort vorherrschende Bodentyp ist der Rigosol (R/C-Profil). Dieser ist gekennzeichnet durch eine Bodenbearbeitung bis in eine Tiefe von mindestens 1 m. Dabei wurden die unterschiedlichen Bodenhorizonte durchmischt. Somit liegt eine Differenzierung des Bodens in unterschiedliche Horizonte nicht vor. In der am Hang gelegenen Monitoringfläche „Spätburgunder“ liegen sandige bis schluffige Lehme bis zu einer Tiefe von rund 1 m unter Geländeoberkante (uGOK) vor. In der Fläche „Riesling“ liegen im unteren Hangbereich sandige Lehme vor, im oberen Hangbereich sandig bis sandig, tonige Lehme.
In den oberen Horizonten der Silvanerfläche liegen bis zu einer Tiefe von 60 cm uGOK schluffig bis tonige Lehme, im Bereich von 61 bis 90 cm uGOK sandig bis schluffige Lehme vor.

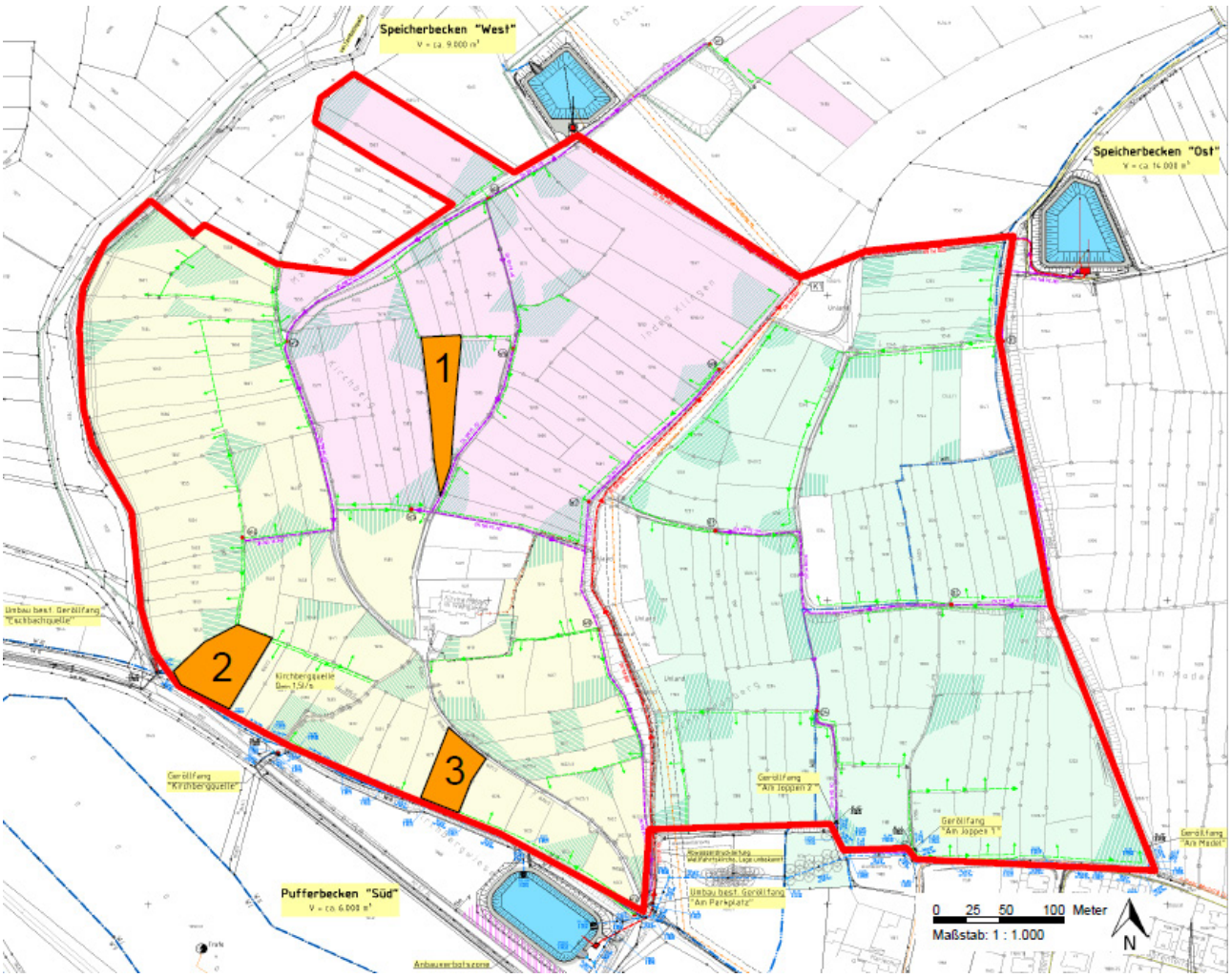


Abb. 2.1: Ausschnitt des Gesamtlageplans in Anhang 1 mit der Grenze des Projektgebietes (rote Umrandung) und den Monitoringflächen (orange markierte Flächen)

3 Untersuchungsbereiche und -methoden

Wie in Kap. 1 bereits beschrieben, unterteilt sich der Projektbereich „Bodenökologie, Quantifizierung und Qualität des Oberflächenabflusses und dessen Lagerung“ in drei Untersuchungsbereiche. Nachfolgend sind die jeweiligen Untersuchungskonzepte bzw. Methoden der Untersuchungen aufgeführt.

3.1 Untersuchung der Wasserqualität in den Puffer- und Speicherbecken

Im Vordergrund dieser Untersuchungen steht die Bestimmung der Wasserqualität in den Speicher- und Pufferbecken hinsichtlich einer Bewässerungsnutzung. Das Bewässerungswasser unterliegt Anforderungen, die anhand von bestimmten Parametern (beispielsweise: pH-Wert, Gesamthärte, Schwermetallgehalt) und zugehörigen Werten bzw. Wertebereichen definiert sind. Diese sind in Tab. 3.1 aufgeführt.

Tab. 3.1: Anforderungen an die Wasserqualität hinsichtlich einer Bewässerungsnutzung (PATZWAHL 2007)

Parameter	Einheit	Werte für eine problemlose Wassernutzung
Schwebstoffe	[ppm]	<50
ph-Wert	[-]	6-8
Härtegrad	[°dH]	<20
Gesamtsalzgehalt	[ppm]	<3.000
Elektrische Leitfähigkeit	[µS/cm]	<700
Anionen:		
Cl	[mg/L]	142
F	[µg/L]	1.000
Metalle:		
Al	[µg/L]	5.000
As	[µg/L]	100
B	[µg/L]	700
Be	[µg/L]	100
Cd	[µg/L]	10
Co	[µg/L]	50
Cr	[µg/L]	100
Cu	[µg/L]	200
Fe	[µg/L]	5.000
Li	[µg/L]	2.500
Mn	[µg/L]	200
Mo	[µg/L]	10
Na	[mg/L]	70
Ni	[µg/L]	200
Pd	[µg/L]	5.000
Se	[µg/L]	20
Zn	[µg/L]	2.000

Ein weiterer Punkt der Wasseranalysen besteht darin, durch eine kontinuierliche Aufnahme verschiedener Parameter, wie pH-Wert, Sauerstoff-, Chlorophyll-a-Gehalt und Gehalt an Algen und Cyanobakterien, das Problem des vermehrten Algenwachstums, vor allem im Pufferbecken Süd, genauer zu untersuchen und aus diesen Ergebnissen ein Lösungskonzept für eine mögliche Algenproblematik zu entwickeln.

Hierzu wurden alle 4 bis 6 Wochen von März bis Oktober bzw. November Wasserproben (Mischprobe aus 6 Einzelproben) mit einer Schöpfkelle entnommen und auf die folgenden Parameter untersucht.
Die Parameter Sauerstoffgehalt bzw. Sauerstoffsättigung, Redoxpotential, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit wurden direkt vor Ort mit den Elektroden *CellOx® 325*, *SenTix 41® TetraCon 325®* und *Sensolyt® Pt* der Firma *WTW* gemessen. Ebenso die Parameter Gesamtalgengehalt, Gehalt an Cyanobakterien und die Trübung mit der Algensonde *Algae Torch* der Firma *BBE Moldaenke*.
Die weiteren im Labor untersuchten Parameter sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tab. 3.2: Übersicht der Laboranalyseparameter mit Einheit und Untersuchungsmethode

Parameter	Einheit	Untersuchungsmethode
Säurekapazität	**[mmol/L]**	DIN 38405-D8/ analog DIN 38409-7
Carbonathärte	**[°dH]**	DIN 38405-D8
Gesamthärte	**[°dH]**	DIN EN ISO 11885
Härtebereich	**[-]**	DIN EN ISO 11885
Ammonium	**[mg/L]**	analog DIN 38406 E5
Chlorid	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1
Fluorid	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1
Gesamtphosphor	**[mg/L]**	DIN EN ISO 6878/ DIN EN ISO 11885
Nitrat	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1
Nitrit	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1
Ortho-Phosphat	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1/ DIN EN ISO 6878
Sulfat	**[mg/L]**	DIN EN ISO 10304-1
Metalle:		
Al	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
B	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Ca	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Cd	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Co	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Cr	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Cu	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Fe	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
K	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Mg	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Mn	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Na	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Ni	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
V	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885
Zn	**[mg/L]**	DIN EN ISO 11885

Zur Bestimmung des (Schwer-/) Metallgehaltes wurden die Wasserproben nach DIN EN ISO 15587-1 (2002) mit einen Königswasseraufschluss in der Mikrowelle *MLS 1200 mega* der Firma *MLS GmbH* 12 Minuten bei 700 W und 20 Minuten bei 300 W aufgeschlossen. Die aufgeschlossenen Wasserproben wurden im Anschluss nach DIN EN ISO 11885 (2009) mit einem induktiv gekoppelten Plasma-Atom-Emissionsspektrometer (ICP-OES) *Optima 3200 DV* der Firma *Perkin Elmer* auf ihren jeweiligen Gehalt untersucht.
Die Parameter Ortho-Phosphat und Gesamtphosphor wurden nach DIN EN ISO 6878 (2004) analysiert. Die Konzentration von Ammonium-Ionen wurde mit dem *Spectroquant® Ammonium-Test 14752* der Firma *Merck* analog DIN 38406 E5 bestimmt. Die photometrischen Bestimmungen wurden mit einem Photometer *Photolab® S12* bzw.

Photolab® 6100VIS der Firma *WTW* durchgeführt. Die Analyse der Anionen Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Ortho-Phosphat und Sulfat erfolgte nach DIN EN ISO 10304-1 (2009) und wurde mit dem Ionenchromatograph *DX 100 Ion Chromatograph* der Firma *Dionex* bzw. *ICS 1100* der Firma *Thermo Scientific* durchgeführt. Dabei wurde die Anionenaustauschersäule *Ion Pac AS12A 4x200 mm* und der Suppressor *ASRS Ultra II 4 mm* der Firma *Dionex* verwendet. Die Detektion des Analyten erfolgte mit einem Leitfähigkeitsdetektor. Als Eluent diente eine 2,7 mmol/L Natriumcarbonat-/ 0,3 mmol/L Natriumhydrogencarbonat-Lösung. Die Flussrate betrug 1,5 mL/min.

Weiterhin wurden Wasserproben zur Bestimmung des Chlorophyll-a- und Phaeopigment-Gehaltes durch das Analyselabor *Agrolab* untersucht. Wasserproben, die auf den Gehalt an Microcystin und Pflanzenschutzmittel bzw. deren Metabolite untersucht wurden, erfolgte durch das Analyselabor *Eurofins*. Außerdem wurde das Phytoplankton in den Wasserproben durch Frau Christina Korschinek vom Wasserwirtschaftsamt Ansbach (2011) und durch Frau Diplom-Biologin Bärbel Köpf (2012) halbquantitativ bestimmt.

3.2 Quantitative und qualitative Bestimmung des Oberflächenabflusses

Die Installation der Messeinrichtung zur Ermittlung des Oberflächenabflusses und dessen Zusammensetzung erfolgte unterhalb des Weinberges am Schacht KL11 im Zulaufrohr des Pufferbeckens Süd in den Monaten Februar und März 2011. Über diese Kanalleitung werden die Abflüsse der Geröllfänge „Am Model", „Am Joppen 1" und „Am Joppen 2" in Richtung Pufferbecken Süd abgeführt. Dem entspricht ein Einzugsgebiet von etwa 20 ha.
Der Schacht liegt circa 150 m östlich des Pufferbeckens Süd. Dort wurden ein Messwehr zur Ermittlung des Abflusses und ein automatischer Probenehmer zur Entnahme von Wasserproben installiert. Im Vorfeld mussten an dieser Stelle ein Messcontainer aufgestellt und eine Stromversorgung bereitgestellt werden.
Aufgrund der hydraulischen Bedingungen im Kanalrohr DN400 mit einem Gefälle von 62,1 ‰ und des dadurch in der Regel geringen Abflusses bzw. geringen Abflusshöhe wurde entschieden, ein Trapezwehr zur Aufstauung des Abflusses zu installieren. Die Maße sind dem Bericht der Firma *W.A.S. Wasser-Abwasser Systemtechnik GmbH* im Anhang 2 zu entnehmen. Die geometrische Form ermöglicht es geringe Abflüsse, die kleiner als 1 L/s sind, genau zu erfassen. Es können aber auch hohe Abflüsse bis zu 85 L/s erfasst werden. Zur Ermittlung der Überfallhöhe wurde eine Drucksonde im Zulauf des Messwehres installiert. Die Messeinrichtung ist in Abb. 3.1 dargestellt.
Zur Kalibrierung der stationären Messstelle wurde im nächstgelegenen Schacht KL10A, der sich im Zulauf befindet, temporär ein Referenzmesssystem mit einem Aufstaurohr und einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID) installiert (siehe Abb. 3.2).
Wasser, das über einen Hydranten der Stadt Volkach bezogen wurde, wurde im Schacht KL10 durch eine im Kanalrohr positionierte Blase aufgestaut. Nach dem Entfernen der Blase wurde der Volumenstrom des abfließenden Wassers mit dem Referenzmesssytem gemessen. Gleichzeitig wurde die Überfallhöhe am Messwehr mit der Drucksonde gemessen und anhand der Geometrie des Messwehres der Abfluss berechnet. Durch den Abgleich beider Abflusskurven wurde ein Kalibrierfaktor errechnet und in der Matrix des Messwehres hinterlegt. Somit können die dort gemessenen Abflüsse korrigiert werden.

Mit einem automatischen Probenehmer *WS 316* der Firma *WaterSam GmbH* wurden ereignisproportional Wasserproben aus dem Ablauf des Messwehres mit einem Probenahmeschlauch entnommen. Die Probenahme erfolgte ab einem Schwellenwert von 0,6 L/s. Wurde dieser Wert erreicht, wurden Mischproben entnommen. Eine Mischprobe bestand aus 3 bzw. 6 Einzelproben, die innerhalb von 30 bzw. 60 min in zeitlich gleichen Abständen entnommen und in Behälter abgefüllt wurden. Für die Untersuchung auf

Pflanzenschutzmittel und deren Metabolite wurden Glasflaschen verwendet, für die weiteren Parameter hingegen Kunststoffflaschen.

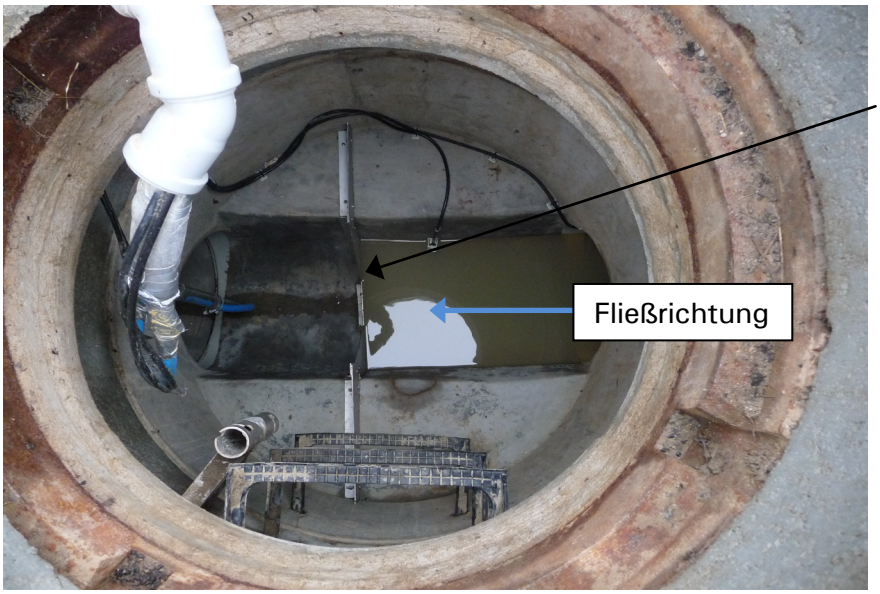


Abb. 3.1: Abflussmesseinrichtung in Schacht KL11

Abb. 3.2: Referenzmesssystem bestehend aus Aufstaurohr und Durchflussmessgerät (MID)

Die Bestimmung der physiko-chemischen Parameter Sauerstoffgehalt bzw. Sauerstoffsättigung, Redoxpotential, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit erfolgte mit den Elektroden *CellOx® 325*, *SenTix 41® TetraCon 325®* und *Sensolyt® Pt* der Firma *WTW*. Die Bestimmung der Trübung erfolgte mit einem Trübungsmessgerät *Lovibond® PC Checkit®* der Firma *Tintometer GmbH* nach DIN EN ISO 7027 (2000).
Die Analyse der Anionen Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Ortho-Phosphat und Sulfat erfolgte nach DIN EN ISO 10304-1 (2009) und wurde mit dem Ionenchromatograph *DX 100 Ion Chromatograph* der Firma *Dionex* durchgeführt. Dabei wurde die Anionenaustauschersäule *Ion Pac AS12A 4x200 mm* und der Suppressor *ASRS Ultra II 4 mm* der Firma *Dionex* verwendet. Die Detektion des Analyten erfolgte mit einem Leitfähigkeitsdetektor. Als Eluent diente eine 2,7 mmol/L Natriumcarbonat-/ 0,3 mmol/L Natriumhydrogencarbonat-Lösung. Die Flussrate

betrug 1,5 mL/min. Zur Bestimmung des (Schwer-/) Metallgehaltes sowie des Gesamtphosphorgehaltes wurden die Wasserproben nach DIN EN ISO 15587-1 (2002) mit einen Königswasseraufschluss in der Mikrowelle *MLS 1200 mega* der Firma *MLS* 12 Minuten bei 700 W und 20 Minuten bei 300 W aufgeschlossen. Zur Bestimmung der Konzentrationen der gelösten (Schwer-/) Metalle wurden die Proben zuvor zentrifugiert. Die aufgeschlossenen Wasserproben wurden im Anschluss nach DIN EN ISO 11885 (2009) mit einem induktiv gekoppelten Plasma-Atom-Emissionsspektrometer (ICP-OES) *Optima 3200 DV* der Firma *Perkin Elmer* auf ihren jeweiligen Gehalt untersucht.
Alternativ wurde der Parameter Gesamtphosphor nach DIN EN ISO 6878 (2004) analysiert. Der TOC-Gehalt wurde mit dem *Spectroquant® TOC-Küvettentest 14878* der Firma *Merck* bestimmt, der Gesamtstickstoffgehalt mit dem *Spectroquant® Stickstoff (gesamt)-Küvettentest 14537*. Die photometrischen Bestimmungen wurden mit dem Photometer *Photolab® S12* bzw. *Photolab® 6100VIS* der Firma *WTW* durchgeführt.
Weiterhin wurden Wasserproben, die auf den Gehalt an Pflanzenschutzmitteln bzw. deren Metabolite untersucht wurden, durch das Analyselabor *Eurofins* untersucht.

Zur Untersuchung des erodierten Materials, dass in den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd aufgefangen wurde, wurde eine repräsentative Probenmenge auf ihre Korngrößenverteilung nach DIN 18123 (1996) untersucht. Eine weitere repräsentative Probenmenge wurde mit einem 2 mm Sieb gesiebt. Die Fraktion <2 mm wurde im Anschluss auf die Parameter TOC-Gehalt, Gesamtstickstoff, Gesamtphosphor und Pflanzenschutzmittel bzw. deren Metabolite untersucht. Die Bestimmung von Gesamtstickstoff erfolgte analog DIN ISO 11261 (1997). Zur Bestimmung des Gesamtphosphor-Gehaltes wurden die Proben zunächst mit einem Königswasseraufschluss aufgeschlossen und im Anschluss analysiert (DIN EN 13346, 2001). Der Aufschluss wurde in der Mikrowelle *MLS 1200 mega* der Firma *MLS* 7 Minuten lang bei 250 W und jeweils 5 Minuten bei 400 W und 500 W aufgeschlossen. Die aufgeschlossenen Bodenproben wurden mit einem induktiv gekoppelten Plasma-Atom-Emissionsspektrometer (ICP-OES) *Optima 3200 DV* der Firma *Perkin Elmer* auf ihren Gehalt untersucht. Der TOC-Gehalt wurde durch das Analyselabor *Agrolab* untersucht. Die Analyse auf Pflanzenschutzmittel und deren Abbauprodukte wurde durch das Analyselabor *Eurofins* durchgeführt.

3.3 Bodenqualität und Stoffflüsse in der ungesättigten Bodenzone

Im Zuge der Umstellung der Bewirtschaftungsweise (alt: jede zweite Rebgasse begrünt; ohne Bewässerung → neu: jede Rebgasse begrünt; mit Tropfbewässerung) wurden deren Auswirkungen auf die Bodenökologie untersucht. Die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen wurden in der Monitoringfläche Spätburgunder durchgeführt. Die tiefenhorizontierte Bestimmung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der ungesättigten Bodenzone fand darüber hinaus in den Flächen Riesling und Silvaner statt. Die Fokussierung auf die Spätburgunderfläche ist damit begründet, dass diese im Vergleich zu den anderen die größte Varianz und das höchste Maximum an Hangneigung aufwies. Die Hangneigung reichte dabei von 5 bis 26° in den Rebgassen.

3.3.1 Tiefenhorizontierte Untersuchung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der ungesättigten Bodenzone

Hinsichtlich des Nährstoff- und Wasserflusses in der Bodenzone wurden unter anderem Untersuchungen zur vertikalen Verlagerung des mineralischen Stickstoffs durchgeführt. Die Beprobungen fanden im Herbst und Frühjahr der Jahre 2010, 2011 und 2012 statt. Dabei wurden in den Monitoringflächen (Riesling, Silvaner, Spätburgunder) Bodenproben mit N_{min}-Stechern bzw. Pürckhauer-Bohrstock aus verschiedenen Horizonten (0-10/ 11-30/ 31-60/ 61-90 cm unter Geländeoberkante [uGOK], siehe Abb. 3.3, links) entnommen und auf deren

Gehalt an mineralischem Stickstoff, d. h. Ammonium und Nitrat, untersucht. Die Beprobungen fanden in Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftungsweise statt (Probenbezeichnung: „alt“ und „neu“). Weiterhin wurde bei der Beprobung zwischen dem oberen und unteren Hangbereich unterschieden (Probenbezeichnung: „oben“ und „unten“). Das Beprobungsschema ist in Abb. 3.3 (rechts) dargestellt.
Die weitere Aufbereitung und Analytik der Proben erfolgte im Labor gemäß DIN 19746 (2005). Dazu wurden die Proben in Aggregate < 1 cm zerkleinert und gut homogenisiert. 100 g Boden wurden mit 200 bzw. 400 mL 0,0125 mol Calciumchloridlösung versetzt und 1 h maschinell in einer vertikal rotierenden Schüttelmaschine geschüttelt und im Anschluss mit *Filtrierpapiere MN 619 G¼ 185 mm* der Firma *Macherey-Nagel* abfiltriert. Proben, die weiterhin trüb waren, wurden über einen Cellulose-Acetat-Filter der Firma *Whatman®* mit einer Porenweite von 0,45 µm filtriert. Parallel zur Herstellung der Probenlösung wurde der Wassergehalt der Proben nach DIN ISO 11465 (1996) bestimmt.

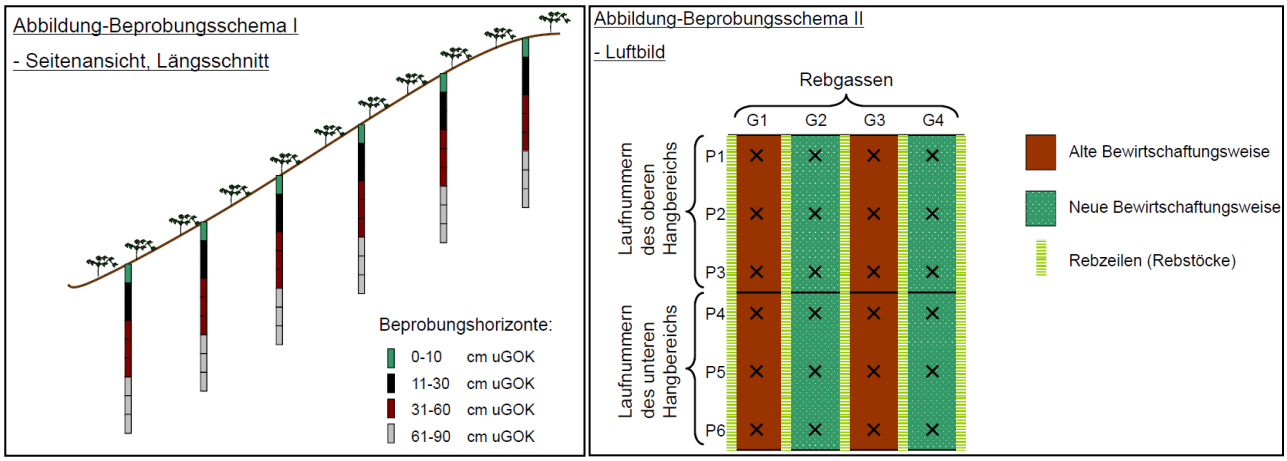


Abb. 3.3: Schema der Probenahme

Der Nitrat- und Ammonium-Gehalt der filtrierten Proben wurde bei der ersten Probenahmekampagne photometrisch mit dem *Spectroquant® Nitrat-Test 1.14773.0001* der Firma *Merck* und *Spectroquant® Ammonium-Test 1.14752.0001* (analog DIN 38406-E5) der Firma *Merck* bestimmt.
Bei den weiteren Probenahmekampagnen erfolgte die Nitrat-Gehaltsbestimmung ionenchromatographisch nach DIN EN ISO 10304-1 (2009) mit dem Ionenchromatograph *DX 100* der Firma *Dionex*. Dabei wurde die Anionenaustauschersäule *Ion Pac AS12A 4x200 mm* und der Suppressor *ASRS Ultra II 4 mm* der Firma *Dionex* verwendet. Die Detektion des Analyten erfolgte mit einem Leitfähigkeitsdetektor. Als Eluent diente eine 2,7 mmol/L Natriumcarbonat- / 0,3 mmol/L Natriumhydrogencarbonat-Lösung. Die Flussrate betrug 1,5 mL/min.

Die Berechnung des Gehaltes der Probe an mineralischem Stickstoff bezogen auf die Trockenmasse erfolgte nach folgenden Gleichungen.

Wassergehaltsbestimmung:

$$w_{H_2O} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100 \quad \text{(Gleichung 1)}$$

m_0	Masse des leeren Behälters mit Deckel [g]
m_1	Masse des Behälters mit feldfeuchten Boden [g]
m_2	Masse des Behälters mit offentrockenen Boden [g]

Nitrat-Stickstoffgehalt/ Ammonium-Stickstoffgehalt (NO_3-N/ NH_4-N):

$$w_N(X)_t = (\beta_a \cdot F - \beta_b) \cdot \left[\frac{V_{EL}}{m_B} \cdot (1 + \frac{w_W(m_t)}{100}) + \frac{w_w(m_t)}{100} \right] \quad \text{(Gleichung 2)}$$

$w_N(X)_t$	Gehalt an Nitrat-Stickstoff oder Ammonium-Stickstoff, angegeben als Massenanteil des Trockenbodens [mg/kg]
t	Index für den Trockenboden
β_a	NO_3-N/ NH_4-N-Gehalt im Extrakt der Bodenprobe [mg/L]
β_b	NO_3-N/ NH_4-N-Gehalt in der Blindwertlösung [mg/L]
V_{EL}	eingesetztes Volumen an Extraktionslösung [mL]
m_B	Bodeneinwaage [g]
$w_W(m_t)$	Wassergehalt der Probe, bezogen auf den Trockenboden [%]
F	Verdünnungsfaktor des Extrakts (falls erforderlich)

Umrechung der Massenanteile an Nitrat/ Ammonium-Stickstoff in die flächenbezogene Masse an Nitrat-N/ Ammonium-N-Gehalt einer Bodenschicht von bekannter Mächtigkeit:

$$\beta_N(X)_F = w_N(X)_t \cdot l \cdot R_{\rho t} \quad \text{(Gleichung 3)}$$

$\beta_N(X)_F$	Nitrat/ Ammonium-Stickstoffgehalt der Bodenschicht je Schicht [kg/ha]
$w_N(X)_t$	Gehalt an Nitrat/ Ammonium-Stickstoff, angegeben als Massenanteil des Trockenbodens [mg/kg]
l	Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]
$R_{\rho t}$	Trockenrohdichte der beprobten Bodenschicht [kg/dm^3]

3.3.2 Untersuchung des Bodengefüges

Die Untersuchungen zur Bestimmung des Bodengefüges wurden in je einer Rebgasse der alten und neuen Bewirtschaftungsweise an je zwei Stellen (Bereich 7 und 9 der Rebgassen) mit einem Spaten oder eine Kehle Bodenproben aus 4 Horizonttiefen (0-12 cm uGOK, 12-24 cm, 24-36 cm und 36-48 cm) entnommen. Dazu wurde eine Profilgrube (siehe Abb. 3.4) mit einer Tiefe von circa 0,5 m gegraben um die Bodenproben mit einer Mächtigkeit von 12 cm blockweise entnehmen zu können. Die Proben wurden anschließend luftdicht verpackt.

Im Labor wurden die Proben nach der Methode der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau in Zürich (FAL 2002) hinsichtlich des Bodengefüges untersucht und bewertet. Dazu wurde der im Gelände entnommene Probenblock aus einer Höhe von 1 m fallen gelassen. Anschließend wurden große Aggregate entlang der vorgeprägten Trennfläche getrennt, ausgemessen und ihrer Größenklasse zugeordnet. Die weiteren einzelnen Bodenfraktionen wurden ausgesiebt und auch ihrer Größenklasse zugeordnet. Anschließend wurden der Gewichtsanteil jeder Größenfraktion, die vorliegenden Aggregattypen, ihr Zusammenhalt und ihre Festigkeit bestimmt. Abschließend wurde das Gefüge aufgrund von Aggregattyp und –größenklasse pflanzenbaulich bewertet. Die Bewertung erfolgt anhand einer ordinalen Werteskala mit einem Wertebereich von 0 bis 14. Hierbei bedeutet 14, dass die Gefügequalität des Bodens sehr günstig für den Pflanzenbau ist, 0 dagegen sehr ungünstig. Das heißt, dass eine absolute Qualitätseinstufung mit dieser Methode nicht möglich ist, eine relative ist hingegen durchführbar. Im Fokus standen bei den Untersuchungen die Veränderungen des Bodengefüges und der Bodenstruktur in Hinblick auf die Bodenqualität im Zuge der Bewirtschaftungsänderung.

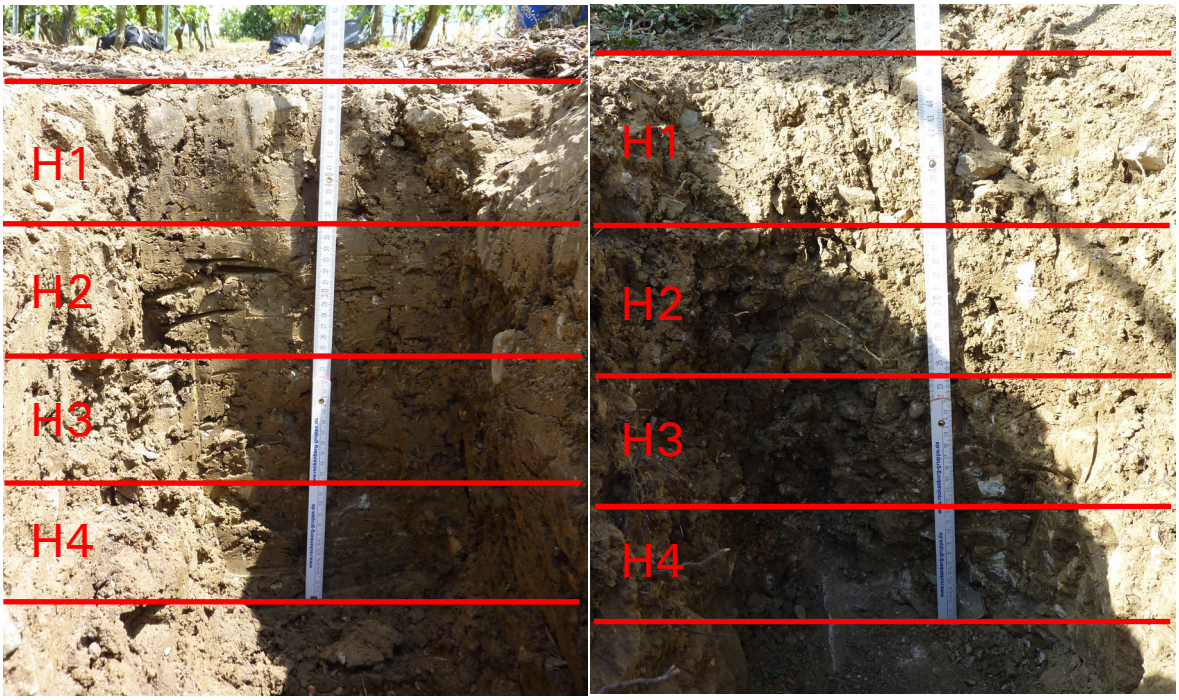


Abb. 3.4: Profilgrube im Bereich 9 der alten Bewirtschaftungsweise (links) und im Bereich 7 der neuen Bewirtschaftungsweise (rechts)

3.3.3 Bestimmung des Bodenwasserrückhaltevermögens

Zur Untersuchung des Wasserrückhaltevermögens in Rebflächen der alten und neuen Bewirtschaftungsweise wurden zum einen ungestörte Bodenproben mit Edelstahl-Stechzylindern der Firma *Eijkelkamp* (Innendurchmesser = 5,6 cm und Höhe = 4 cm), einer Schlaghaube und einem Schlaghammer und zum anderen gestörte Proben mit einem Spaten entnommen. Die Probenahme wurde an jeweils zwei Stellen im oberen Hangbereich einer Rebgasse der alten und neuen Bewirtschaftungsweise durchgeführt, im Bereich 7 bei 20° und Bereich 9 bei 23° Hangneigung. Dabei wurden pro Untersuchungspunkt Proben (jeweils drei ungestörte und eine gestörte Probe) aus vier Horizonten (0-12 cm uGOK, 12-24 cm, 24-36 cm und 36-48 cm) entnommen.
Im Labor wurde nach DIN ISO 11274 (2012) das Bodenwasserrückhaltevermögen mit entsprechenden Apparaturen ermittelt. Hierzu wurden eine *Sandbox*, eine *Sand-/Kaolinbox* sowie eine *Druckmembranzelle* der Firma *Eijkelkamp* verwendet. Mit diesen Geräten wurden die zu Beginn der Untersuchung wassergesättigten Proben bei angelegten Saugspannungen von pF = 1,8/ 2,5 und 4,2 entwässert. Die Abnahme des Wassergehaltes wurde gravimetrisch mit einer oberschaligen Waage der Firma *Kern* ermittelt. Zur Bestimmung der Trockenrohdichte bzw. Lagerungsdichte ρ_d wurde die ungestörte Probe bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Massenkonstanz getrocknet.
Zur Bestimmung des Wassergehaltes bei pF = 0/ 1,8 und 2,5 wurden ungestörte Bodenproben verwendet, bei pF = 4,2 hingegen gestörte Bodenproben.

3.3.4 Bodenerosionsuntersuchungen durch künstliche Beregnung der Untersuchungsfläche

Um Informationen zur Erosionsanfälligkeit der bewirtschafteten Weinbergsfläche zu erhalten, wurden pro Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) in einer Rebgasse (siehe Abb. 3.5) an mehreren Stellen verschiedener Hangneigung Untersuchungen durchgeführt. Hiefür wurde der *Regensimulator für Erosionstests* der Firma *Eijkelkamp* eingesetzt (siehe Abb. 3.6). Dieser besteht im Wesentlichen aus dem Wasserbehälter mit Kapillarplatte, den Standfüßen, dem Bodenrahmen, einem Sammelblech und einer Auffangwanne.
Der Bodenrahmen aus Aluminium wurde mit Nägeln am Boden befestigt und zusätzlich mit Ton abgedichtet. Hierdurch wurde eine definierte Fläche von 0,0625 m² erhalten. Genau über der Beprobungsfläche wurde der Wasserbehälter mit der Kapillarplatte (49 Kapillaren) aufgestellt. Vor dem Messdurchgang wurde der Vegetationsbedeckungsgrad, die Hangneigung mit einem Hangneigungsmesser *Clino Master* der Firma *Silva Sweden AB* und der Bodenwassergehalt mittels *ThetaProbe ML2x* Sonde der Firma *Delta-T-Devices Ltd.* bestimmt. Alternativ zur direkten Vor-Ort-Wassergehaltsmessung wurde eine Bodenmischprobe aus 6 Beprobungspunkten aus einer Tiefe bis zu 15 cm uGOK entnommen und der Wassergehalt im Labor nach DIN ISO 11465 (1996) bestimmt. Anschließend wurde die Fläche mit 0,85 L Wasser mittels Kunststoffbehälter mit perforiertem Deckel befeuchtet. Danach wurde die Fläche mit einem konstanten Fluss von 6 L/(m²·min) 3 min lang beregnet. Der dabei aufgekommene Oberflächenabfluss wurde über das Sammelblech einer Auffangwanne zugeführt. Dieser wurde anschließend mit einem Messzylinder quantitativ bestimmt. Die Proben wurden in PE-Behälter überführt und bis zu weiteren Untersuchungen bei -20 °C tiefgekühlt gelagert. Die dreiminütige Beregnung der Beprobungsfläche und Bestimmung des Oberflächenabflusses wurde mehrmals hintereinander an der gleichen Stelle durchgeführt. Zur genaueren Untersuchung wurde dieser Vorgang solange wiederholt bis der Abfluss bei der Versuchsdurchführung konstant war.

Abb. 3.5: Untersuchte Rebgassen der alten (links) und neuen (rechts) Bewirtschaftung

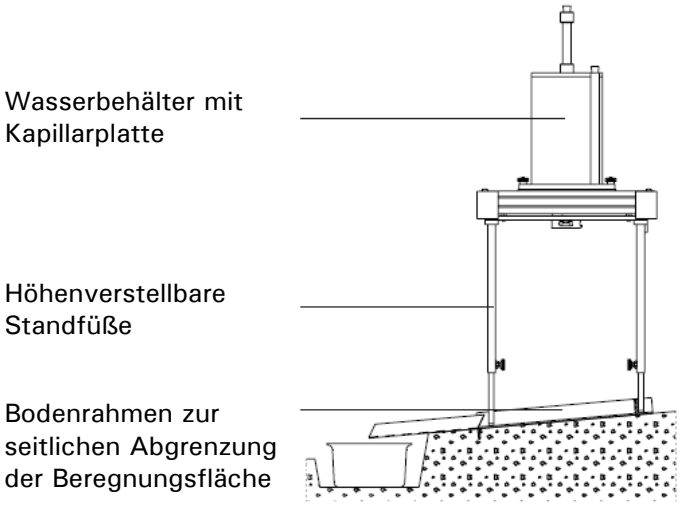


Abb. 3.6: Regensimulator für Erosionstests (verändert nach EIJKELKAMP 2005)

Die weiteren Untersuchungen zur Bestimmung der Feststoffmenge und dessen TOC-Gehalt fanden im Labor statt. Die Proben wurden nach dem Auftauen bei einer Drehzahl von 4.500 U/s zentrifugiert. Der klare Überstand der Proben wurde verworfen. Der Feststoffanteil wurde in Aschtiegel überführt und bis zur Massenkonstanz bei 40 °C im Trockenschrank getrocknet. Die getrocknete Bodenmasse entspricht der Gesamtmenge an erodiertem Bodenmaterial pro Versuchsdurchgang und Untersuchungsstelle. Im Anschluss wurde die getrocknete Bodenprobe im Aschtiegel mit einem Spatel und Stößel zerkleinert und zermahlen. Zur Bestimmung des TOC-Gehaltes wurden circa 100 mg der getrockneten Probe auf einer Analysenwaage in ein Silberschiffchen der Firma *LabNeed GmbH* eingewogen und mit 250 µL 8,5 %iger H_3PO_4 p. a. vorsichtig angesäuert um den anorganischen Kohlenstoffanteil zu entfernen. Die Proben wurden nochmals bei 40 °C getrocknet und zusammen mit der gleichen Masse an Wolframoxid WO_3, das als Brennhilfe dient, in einer Zinnfolie der Firma *LabNeed GmbH* verpackt. Die Bestimmung des TOC-Gehaltes (Dreifachbestimmung) in den vorbereiteten Proben erfolgte mit dem Elementaranalysator *vario MACRO cube* der Firma *Elementar Analysesysteme GmbH* nach DIN ISO 10694 (1996). Dabei wird die Probe bei 1150 °C mit reinem Sauerstoff O_2 vollständig verbrannt. Der organische Kohlenstoff wird dabei vollständig oxidiert und liegt als Kohlenstoffdioxid CO_2 vor. Der CO_2-Gehalt wird mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor detektiert.

3.3.5 Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit

Zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit K wurden in der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in einer Rebgasse der alten und neuen Bewirtschaftung an je zwei Stellen ungestörte Bodenproben bis zu einer Tiefe von 1 m uGOK mittels Rammkernsonde der Firma *Carl Hamm Röhrenwerke* entnommen. Dazu wurde in die Rammsonde ein Kunststoffrohr aus Polyvinylchlorid mit einem Außendurchmesser von 5 cm gesteckt. Die Rammsonde wurde mit einem Bohrhammer langsam in den Boden getrieben. Durch langsames Herausziehen mit einem Ziehgerät wurde die Rammkernsonde wieder aus dem Boden entnommen. Im Anschluss konnten die ungestörten Bodenproben in den Kunststoffrohren aus der Sonde entnommen werden.
Die weiteren Untersuchungen zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit wurden im Labor mit einer einaxialen Wasserdurchlässigkeitsmesszelle der Firma *Carl Hamm Röhrenwerke* durchgeführt. Hierzu wurde das Kunststoffrohr mit der ungestörten Bodenprobe in die Messzelle eingespannt und von unten nach oben kontinuierlich mit Wasser bei

Vorliegen eines sich verändernden hydraulischen Gefälles durchströmt (siehe Schema der Abb. 3.7).

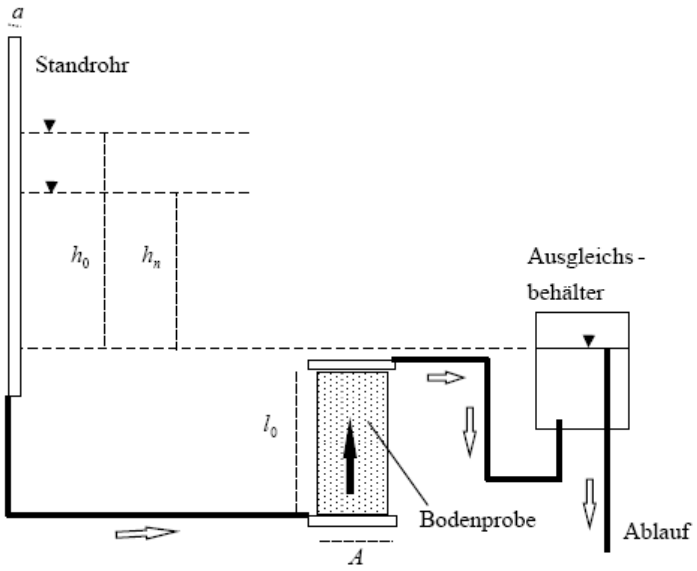


Abb. 3.7: Versuchsaufbau zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit

Die Höhe des Wasserstandes im Standrohr wurde während der Versuchsdurchführung zu verschiedenen Messzeitpunkten mehrmals aufgenommen. Mittels der aus dem Gesetz von Darcy abgeleiteten Gleichung 4 wurde die hydraulische Leitfähigkeit nach DIN 18130-1 (1998) berechnet. Der Messvorgang wurde mehrmals wiederholt bis sich ein konstanter K-Wert einstellte.

$$K = \frac{a \cdot l_o}{A \cdot t} \cdot \ln \frac{h_o}{h_n} \quad \text{(Gleichung 4)}$$

K hydraulische Leitfähigkeit [m/s]
a Querschnittsfläche des Standrohres [m²]
l_o Höhe des Probenkörpers [m]
A Querschnittsfläche des Probenkörpers [m²]
t Messzeitspanne [s]
h_o Wasserhöhe im Standrohr bei Versuchsbeginn [m]
h_n Wasserhöhe im Standrohr bei Versuchsende bzw. zum Messzeitpunkt [m]

3.3.6 Vegetationsaufnahme

Die Aufnahme der Vegetation in den Montoringflächen erfolgte am 02. Juli 2012 durch Herrn Prof. Dr. U. Asmus. Dabei wurde in je zwei Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftungsweise das Vorkommen der Pflanzenarten und ihrem Bedeckungsgrad in jedem zweiten Rebgassenbereich ausgehend vom Beginn der Rebgassen erfasst. Die Auswertung des vorhandenen Artenbestands erfolgte nach den Ellenberg-Zeigerwerten (ELLENBERG ET AL. 1992) für die Stickstoffzahl (N) , den Lebensformtyp (LF), die Feuchtezahl (F), die Reaktionszahl (R) und der Dispersitätszahl (D) nach LINDACHER (1995). Anhand der vorkommenden Arten, ihrem Anteil am Gesamtbestand und der jeweiligen Zeigerwerte können Informationen bezüglich der abiotischen Faktoren (Stickstoffgehalt, Bodenfeuchte, pH-Wert, Bodenverdichtung, Bodenstruktur, Porengrößenverteilung) im Boden der Rebgassen gewonnen werden. Weiterhin erhält man durch das Vorliegen der Lebensformtypen Informationen hinsichtlich des Erosionsschutzes durch die Vegetation.

4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

4.1 Untersuchung der Wasserqualität in den Puffer- und Speicherbecken

Die Ergebnisse aus den Kalenderjahren 2011 und 2012 zeigen, dass es im Jahresverlauf (Frühjahr -> Sommer -> Herbst) zu einem Anstieg der pH-Werte in allen drei Becken kommt (siehe Abb. 4.1). Die Werte erreichen dabei ein Maximum von pH = 9,5 im Speicherbecken West in 2011. Im Speicherbecken Ost sinkt der pH-Wert zunächst in den Frühjahrsmonaten des Jahres 2012, steigt in den Sommermonaten aber wieder an. Im Herbst sinken die pH-Werte in allen Becken wieder.
Insgesamt liegen die pH-Werte in den Becken nicht im Wertebereich von 6 bis 8, welcher für eine Bewässerung empfohlen wird. Die pH-Werte liegen durchgehend oberhalb von 8 mit einem Maximum von pH = 9,5. Der Anstieg des pH-Wertes ist auf die Primärproduktion der Algen zurück zu führen.

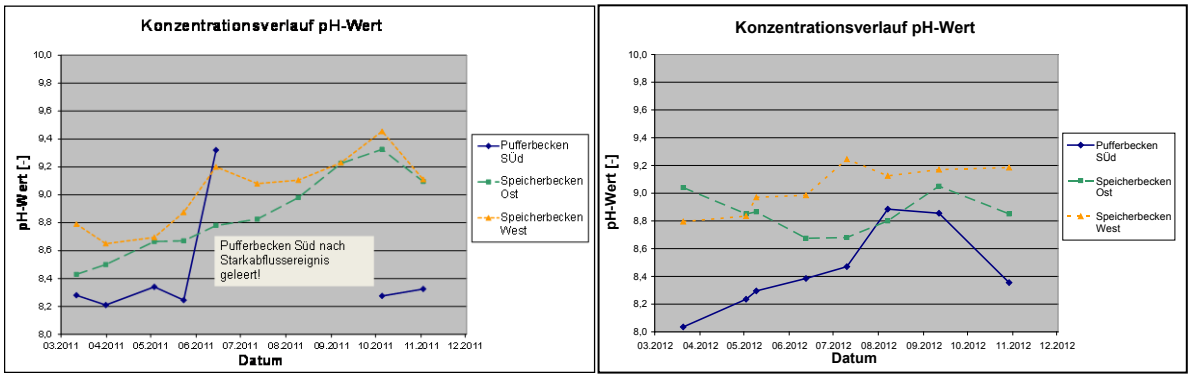


Abb. 4.1: Verlauf der pH-Werte in den Wasserbecken in den Jahren 2011 (links) und 2012 (rechts)

Die Konzentrationsverläufe des Parameters Chlorophyll-a, ein Maß für den Gehalt an Algen bzw. Cyanobakterien, zeigen ebenso einen Anstieg der Konzentrationen während der Sommermonate (Abb. 4.2). Insgesamt lagen die Konzentrationen in einem moderaten Bereich bis zu 24 µg/L mit Ausnahme im Juni 2011 in Pufferbecken Süd (Maximum von 54 µg/L). Dort konnte im gleichen Zeitraum (April bis Mai) ein starkes Aufkommen fädiger Grünalgen nachgewiesen werden. Die Fadenalgen lagen ausschließlich am Beckenrand mit einer maximalen Ausbreitung von ca. 1,5 m vor. Die lebenden und photosynthetisch aktiven Organismen haften dabei an der Beckenoberfläche (schräg verlaufender Bereich des Beckenrandes). Die abgestorbene Biomasse der Fadenalgen trieb nach oben bis zur Wasseroberfläche auf (siehe Abb. 4.3).

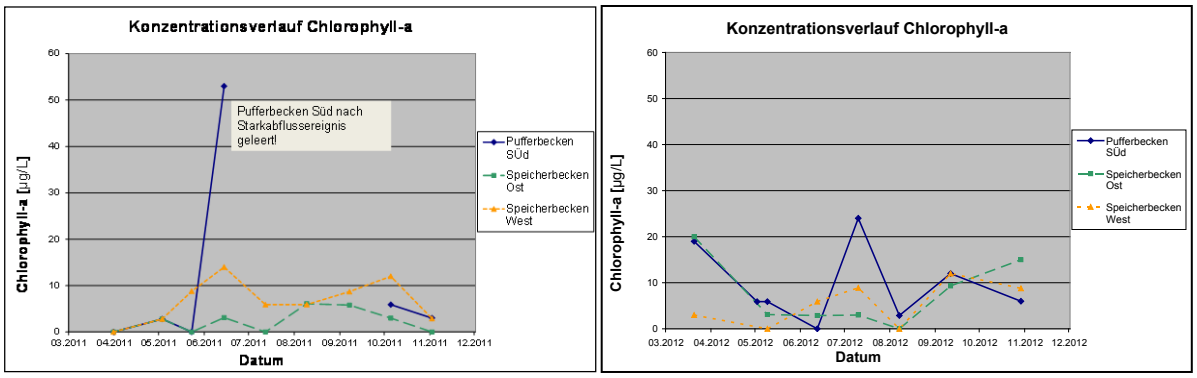


Abb. 4.2: Verlauf der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den Wasserbecken in den Jahren 2011 (links) und 2012 (rechts)

Abb. 4.3: Algenbewuchs am Beckenrand im Pufferbecken Süd

Eine weitere Aufnahme der Algengehalte bzw. der starken Algenblüte, pH-Werte und weiterer Parameter war in den Monaten Juni, Juli, August und September 2011 nicht möglich, da das Pufferbecken Süd in Folge des Starkniederschlagsereignisses vom 05.06.2011 (75 L/m² in einer Stunde) geleert werden musste. Durch den extrem starken Oberflächenabfluss kam es zu einer starken Verschlammung und Zusetzen der Zulaufrohre im Pufferbecken Süd (siehe Abb. 4.4). Die Ergebnisse der Phytoplanktonbestimmungen sind in Anhang 5 zu finden.

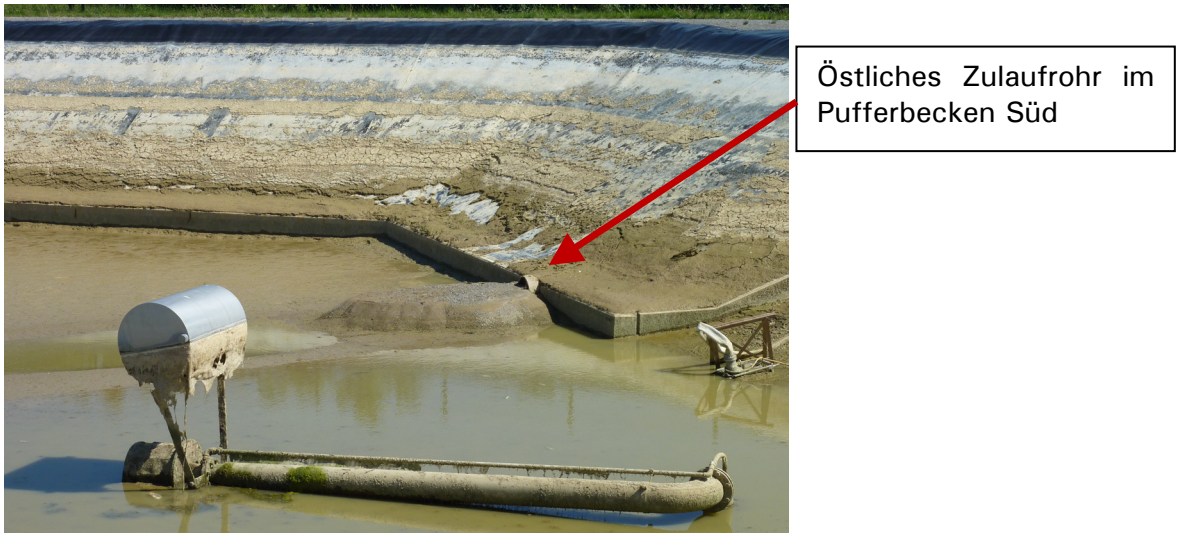


Abb. 4.4: geleertes Pufferbecken Süd

Weitere Parameter, bei denen der jeweilige Empfehlungswert geringfügig überschritten wurde, sind der Härtegrad (kleiner als 20 °dH) und der Empfehlungswert von 700 µS/cm für den Salzgehalt. Im Pufferbecken Süd lag der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit fast ausschließlich über dem Empfehlungswert. Das Maximum lag bei 31 °dH und 962 µS/cm. In den Becken, aus denen das Wasser für die Bewässerung entnommen wird, lag nur im Speicherbecken Ost im Herbst 2010 und Frühjahr 2011 eine Überschreitung des Leitfähigkeitsempfehlungswertes vor (Maximum von 792 µS/cm). Bezüglich der Gesamthärte lagen im Juni und Juli 2011 die Werte mit 21 °dH über dem Empfehlungswert.

Die hohen Werte des Härtegrades und der elektrischen Leitfähigkeit sind auf den Quellzufluss der Kirchbergquelle zurück zu führen. Bei den Stichtagsbeprobungen im September 2011 und August 2012 wurden Werte von 30 bzw. 31 °dH und 1034 bzw. 1025 μS/cm nachgewiesen. Im Oberflächenabfluss, der in das Pufferbecken Süd fließt, konnten diese hohen Werte nicht nachgewiesen werden (siehe Kapitel 4.2).
Die Untersuchungen der restlichen Parameter (Aluminium, Bor, Cadmium, Chlorid, Chrom, Cobalt, Eisen, Fluorid, Kupfer, Mangan, Natrium, Nickel, Zink) hat ergeben, dass die Empfehlungswerte für eine problemlose Bewässerung nicht überschritten wurden.
Ebenso konnte das von Cyanobakterien freigesetzte Endotoxin Microcystin in den Monaten August und September 2012 im Pufferbecken Süd und den Speicherbecken Ost und West nicht nachgewiesen werden (<0,1 μg/L; siehe Anhang 6).

Jedoch wurden in Wasserproben aus den Becken Pflanzenschutzmittel wie Glyphosat, Boscalid, Dimethomorph, Quinoxyfen, Spinosad und Azoxystrobin oberhalb des Richtwertes von 0,1 μg/L bestimmt (siehe Anhang 7). Außerdem wurde das Metabolit von Tolylfluanid und Dichlofluanid N,N-Dimethylsufamid (DMS) in Konzentrationen von bis zu 1,7 μg/L im Pufferbecken Süd nachgewiesen. In den Speicherbecken Ost und West wurden Konzentrationen mit bis zu 0,6 μg/L ermittelt. Die hohen Gehalte im Pufferbecken Süd sind auf den Quellzufluss der Kirchbergquelle zurückzuführen, da die dortige Quellschüttung Konzentrationen von 3,6 und 2,3 μg/L an den Stichtagsbeprobungen im September 2011 und August 2012 enthielt. Inwiefern die hohen Konzentrationen in der Quellschüttung aus der Weinbergsfläche stammen, konnte nicht geklärt werden. Es wurden acht Bodenproben der Monitoringfläche Silvaner aus verschiedenen Bodenhorizonten bis zu 90 cm Tiefe auf den Gehalt an Tolylfluanid, Dichlofluanid und deren Metabolit DMS untersucht. Die Analysenwerte lagen alle unterhalb der Bestimmungsgrenzen von 10 bzw. 50 μg/kg und 0,05 μg/L. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Pflanzenschutzmittel und deren Metabolit nicht in geringen Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze vorhanden sind und über die Auswaschung durch das Sickerwasser zu einer Belastung des Grundwassers führen. Weiterhin ist es möglich, dass die Kontaminationsfront schon weiter nach unten verlagert wurde.

4.2 Quantitative und qualitative Bestimmung des Oberflächenabflusses

Insgesamt sind in den Monaten April bis Dezember 2011 660 m³ Oberflächenabfluss an der Messstelle am Schacht KL11 erfasst worden. Wie in Abb. 4.5 zu erkennen ist, sind allein im Dezember rund 500 m³ abgeflossen. Allerdings konnten die Messungen des Oberflächenabflusses in den Monaten Juni, Juli und August nur in begrenztem Maße durchgeführt werden, da die Messeinrichtung durch das Abflussereignis vom 05.Juni 2011 in erheblichem Maße beschädigt wurde. Auf das starke Niederschlagsereignis (75 L/m² in einer Stunde) folgend kam es zu einem sehr starken Abfluss. Binnen weniger Minuten ist der Abfluss von 0 L/s auf 69 L/s (letzter gemessener Wert) angestiegen (Abb. 4.6). Dabei wurde sehr viel Schotter, Boden- und Pflanzenmaterial mitgeführt, so dass der gesamte Messschacht KL11 mit einem Volumen von circa 2 m³ zugeschüttet war und, wie in Abb. 4.7 zu erkennen ist, der Schachtdeckel aus Eisen mit Betonkern weggedrückt wurde.

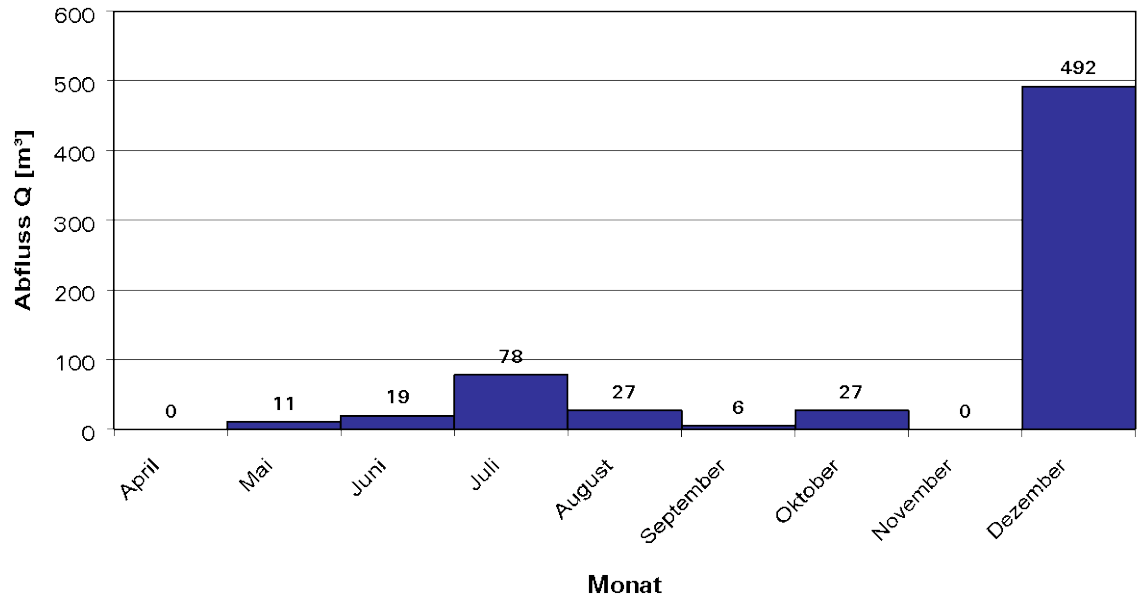


Abb. 4.5: Jahresverlauf der monatlichen Summenwerte des Oberflächenabflusses an der Messstelle KL11 in 2011

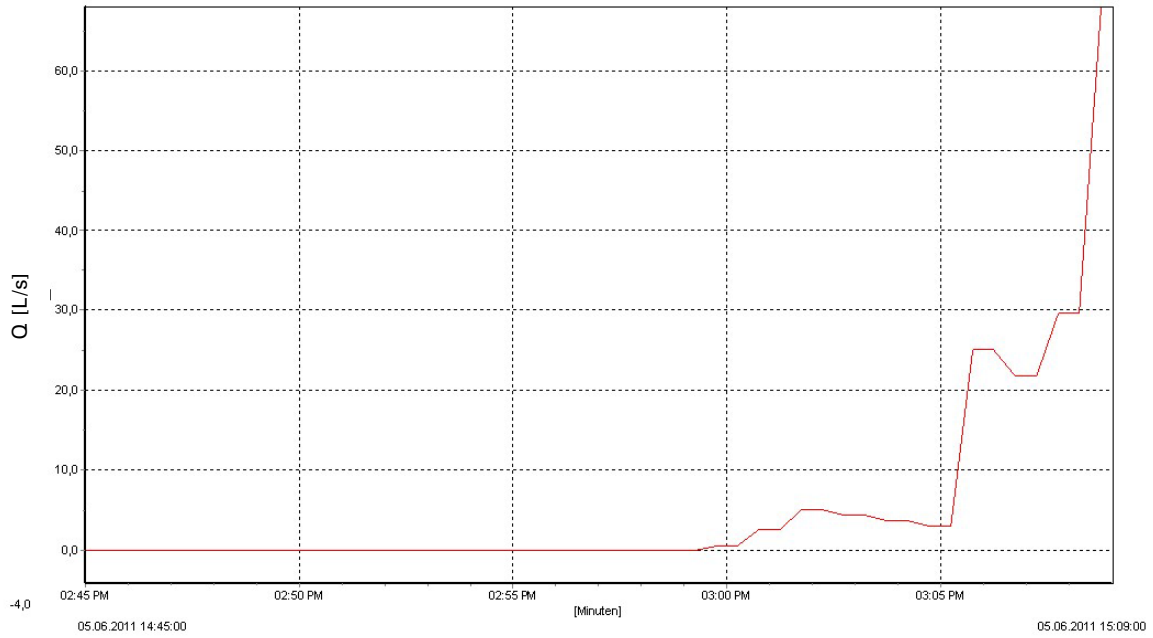


Abb. 4.6: Aufzeichnung der Abflussdaten Q [L/s] über die Zeit t [min] am 05.06.2011 (Winterzeit)

Abb. 4.7: Verschütteter Messschacht KL11

Der Drucksensor musste daraufhin auf seine technische Funktionsfähigkeit hin überprüft werden. Das Messwehr wurde ebenso beschädigt. Bis zur Reparatur und Erweiterung der Messeinrichtung konnten lediglich Abflüsse bis zu 9 L/s aufgenommen werden. Abb. 3.1 zeigt die Messeinrichtung nachdem sie wieder repariert wurde und um die seitlichen Wehroberkanten auf den Bermen des Messschachts erweitert wurde.
Der insgesamt abgeflossene Oberflächenabfluss teilte sich in 2011 über 43 Abflussereignisse auf. Wobei circa 50 % der Ereignisse einen Abfluss von weniger als 1 L/s aufwiesen und 90 % einen geringeren als 5 L/s. Bei einem weiteren Starkabflussereignis am 06.12.2011 flossen bis zu 34 L/s ab.
Im Jahr 2012 sind insgesamt rund 3.500 m³ Oberflächenabfluss abgeflossen. Die Verteilung des Abflusse über das Jahr hinweg ist in Abb. 4.8 zu sehen.

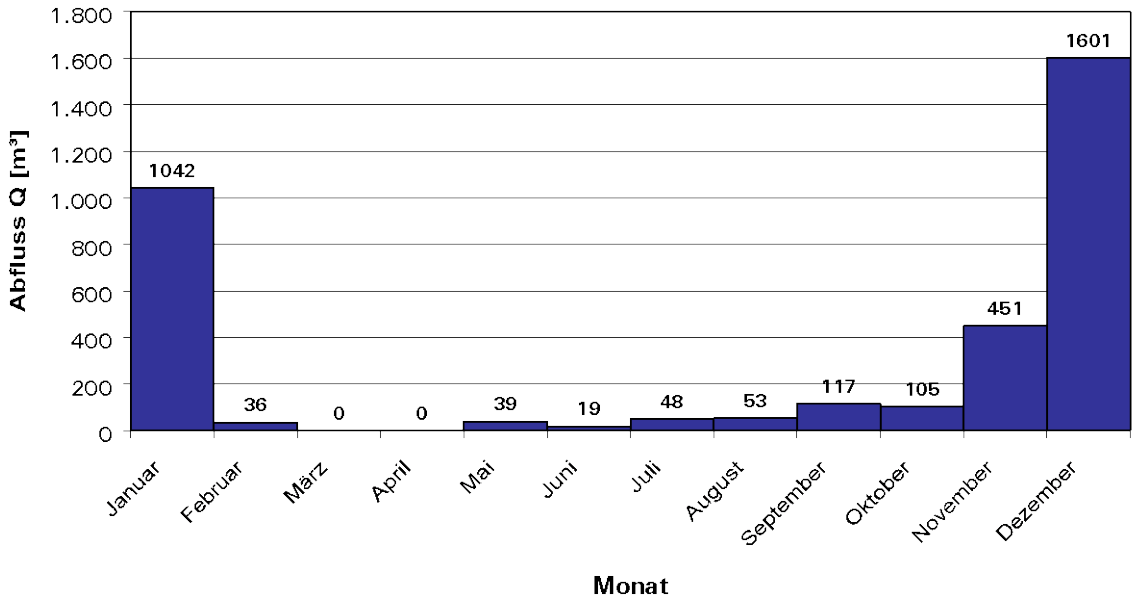


Abb. 4.8: Jahresverlauf der monatlichen Summenwerte des Oberflächenabflusses an der Messstelle KL11 in 2012

Es ist zu erkennen, das in den Monaten Januar, November und Dezember die höchsten Abflüsse zu verzeichnen waren. Diese machten mit rund 3.100 m³ 88 % des Gesamtabflusses im Jahr aus. Der Gesamtjahresabfluss setzte sich aus 61 Ereignissen

zusammen. Davon hatten 30 % einen maximalen Abfluss von unter 1 L/s. 72 % einen geringeren als 5 L/s. Das Abflussmaximum lag im Januar bei 116 L/s. Der aufgrund der Kalibrierung gesicherte Wert liegt allerdings bei 85 L/s.
Die Verläufe der Abflusskurven und die Dauer der Abflussereignisse waren in beiden Untersuchungsjahren immer unterschiedlich, womit sich eine allgemeingültige Aussage zum Abflussverlauf nicht formulieren lässt. Die Dauer der Abflussereignisse reichte dabei von wenigen Minuten bis zu 42 h.
In den untersuchten Abflüssen wurden pH-Werte von 7,0 bis 8,4, eine elektrische Leitfähigkeit zwischen 142 bis 335 μS/cm und eine Gesamthärte von bis zu 8,7 °dH gemessen. Bei der weiteren Analyse der Abflussproben konnten TOC-Gehalte zwischen 9 und 57 mg/L ermittelt werden. Beim Abflussereignis am 05 Juni 2011 in Folge des Starkniederschlagsereignisses wurden sogar 285 mg/L an organischen Kohlenstoff gemessen. Weitere Untersuchungen innerhalb des Projektzeitraumes ergaben für Gesamtstickstoff Konzentrationen von 2 bis 8 mg/L und Gesamtphosphorkonzentrationen von 0,4 bis 38 mg/L. Weitere Ergebnisse bezüglich der Nährstoffe, Anionen und Schwermetalle sind dem Anhang 8 zu entnehmen.
Weiterhin wurden Pflanzenschutzmittel oberhalb des Richtwertes nach BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001) von 0,1 μg/L nachgewiesen. Darunter waren das Totalherbizid Glyphosat (bis zu 0,8 μg/L) und dessen Abbauprodukt Aminomethanphosphonsäure (bis zu 2,7 μg/L). Weitere Pestizide waren Boscalid und Dimethomorph mit bis zu 5,7 μg/L bzw. 4,4 μg/L. Bei Azoxystrobin, Cyprodinil, Fenhexamid, Glufosinate-ammonium, Iprovalicarb, Metalaxyl-M, Methoxyfenozid, Myclobutanil, Penconazol und Trifloxystrobin lagen die Werte zwischen 0,1 und 1,2 μg/L.
Weiterhin konnte das Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS) mit Konzentrationen von rund 0,2 μg/L nachgewiesen werden.
Wie in Kap. 4.1 geschildert wurde, musste das Pufferbecken Süd (PB-S) im Juli 2011 geleert werden. Seit der Inbetriebnahme des Beckens lagerten sich dort rund 150 t Erosionsmaterial ab, die 65 kg Stickstoff, 2,4 t organischen Kohlenstoff und 162 kg Phosphor enthielten (siehe Tab. 4.1). Wie in Abb. 4.9 zu erkennen ist, bestand das Material überwiegend (78 %) aus Ton und Schluff. Weitere 20 % setzten sich aus der Sandfraktion zusammen. Im sedimentierten Feinmaterial wurden lediglich die Pflanzenschutzmittel Boscalid und Quinoxyfen mit Gehalten von 0,02 und 0,01 mg/kg bezogen auf den Trockenrückstand (TR) nachgewiesen. Diese liegen unter dem Wert von 1 mg/kg. Laut BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001) besteht daher keine Gefährdung für das Grundwasser. Weiterhin konnten im Eluat die Abbauprodukte Aminomethanphosphonsäure (AMPA) und DMS nachgewiesen werden.

Tab. 4.1: Übersicht der Ergebnisse aus den Feststoffuntersuchungen der Proben aus den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd

	Probenbezeichnung				
	GF Am Joppen 1 120125	GF Am Model 120125	GF Eschbachquelle 120125	GF Am Parkplatz 120131	PB-S 110712
Wassergehalt <2mm, bezogen auf TS [%]	41,6	33,4	73,5	44,7	102
Anteil der Fraktion <2mm an der Gesamtmasse, trocken [%]	92,9	28,4	80,1	83,5	98,3
Schlammdichte, Teilprobe [g/cm³]	1,81	2,16	1,62	1,85	1,44
Gesamtvolumen des Erosionsmaterials [m³]	1,9	9,0	4,0	3,6	210
Gesamtmasse, nass des Erosionsmaterials [t]	3,4	19	6,5	6,7	301
Gesamtmasse, trocken des Erosionsmaterials [t]	2,4	15	3,7	4,6	149
Gesamtmasse <2mm, trocken des Erosionsmaterials [t]	2,3	4,1	3,0	3,8	146
Gesamtstickstoff (TS) [mg/kg]	596	226	964	527	444
Gesamtmenge an Gesamtstickstoff (TS) [kg]	1,3	0,9	2,9	2,0	65
organsicher Kohlenstoff (TOC, TS) [mg/kg]	11.500	4.170	25.900	10.100	16.300
Gesamtmenge an organsicher Kohlenstoff (TS) [kg]	26	17	77	39	2.386
Gesamtphosphor (TS) [mg/kg]	1.580	732	856	776	1.105
Gesamtmenge an Gesamtphosphor (TS) [kg]	3,6	3,0	2,6	3,0	162

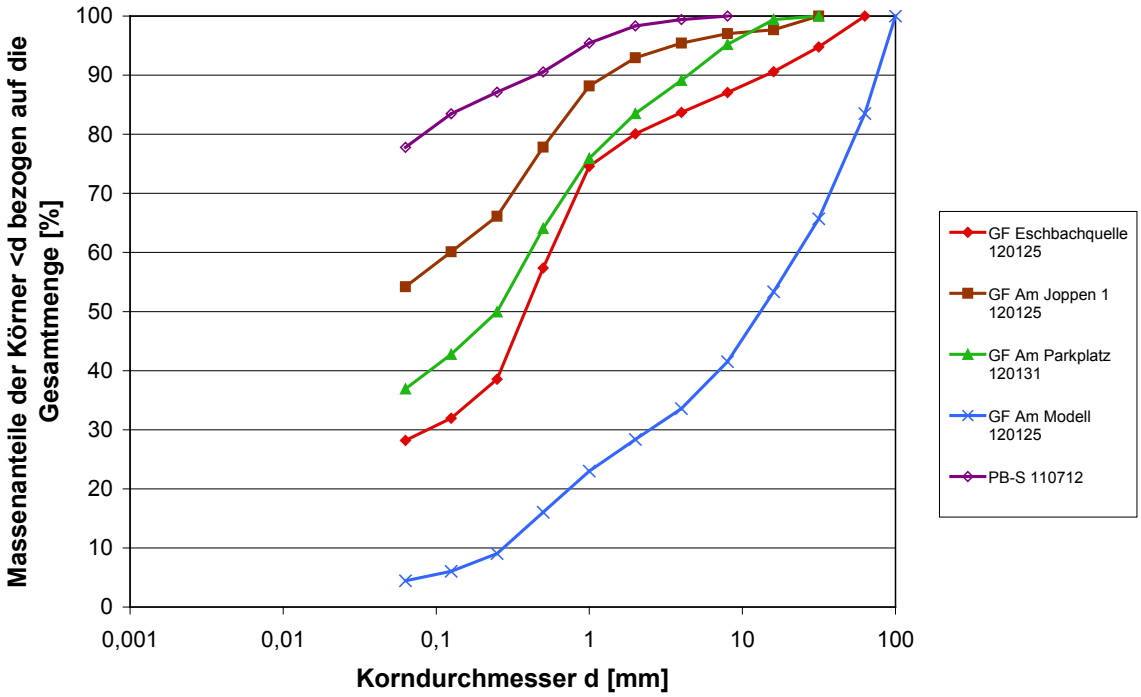


Abb. 4.9: Körnungslinien von Bodenproben aus den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd

Ende Januar 2012 wurden die Geröllfänge „Am Model“, „Am Joppen 1“, „Am Parkplatz“ und „Eschbachquelle“ ausgebaggert. Die letzte Leerung zuvor fand im Juni 2011 im Anschluss an das Starkniederschlagsereignis statt. Das heißt, dass die Mengen an Feststoff, Nährstoffe und organischem Material, die in Tab. 4.1 aufgelistet sind, innerhalb der letzten sieben Monate angefallen sind. Insgesamt sind aus dem Weinbergareal 25 t Feststoff, 7 kg Stickstoff, 160 kg organischer Kohlenstoff und 12 kg Phosphor ausgetragen und aufgefangen worden. Abb. 4.9 zeigt, dass das Erosionsmaterial aus dem Geröllfang „Am Model“ mit 4 % den geringsten Anteil an Ton- und Schlufffraktion aufweist. Außerdem waren dort auch Steine mit einer Größe von bis zu 10 cm Durchmesser vorzufinden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass dort hauptsächlich Bodenmaterial von den geschotterten Wegen eingetragen wird. Mit circa 60 % liegt der Anteil dieses Geröllfangs am Gesamtabtrag aus dem Weinberg am höchsten.

4.3 Bodenqualität und Stoffflüsse in der ungesättigten Bodenzone

4.3.1 Tiefenhorizontierte Untersuchung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in der ungesättigten Bodenzone

Die Ergebnisse der ersten Probenahme im November 2010 zur tiefenhorizontierten Bestimmung des mineralischen Stickstoffs in den Monitoringflächen „Riesling“, „Silvaner“ und „Spätburgunder“, die in Tab. 7.2 dargestellt sind, zeigten, dass der Anteil des Ammonium-Stickstoffs im Bodeneluat lediglich bei zwei von 48 Proben mit 6 und 10 % größer als 5 % waren. Bei rund 70 % aller Proben lag der Anteil unter 1 %. Daraufhin wurde in den nachfolgenden Probenahmekampagnen nur noch auf den Parameter Nitrat im Bodeneluat untersucht.
In den Abb. 7.1 bis Abb. 7.12 sind die Ergebnisse der vier Probenahmekampagnen Herbst 2010, Frühjahr 2011, Herbst 2011 und Frühjahr 2012 aufgeführt. Es zeigte sich, dass die Gehalte an Nitrat-Stickstoff in mg/kg bei allen Monitoringflächen unabhängig von der Bewirtschaftungsweise und Hanglage vom oberen Horizont (0-10 cm uGOK) bis zum unteren Horizont (61-90 cm uGOK) hin abnehmen. Diese Tendenz verstärkte sich im Verlauf des Projektzeitraumes. Bei der Herbstbeprobung 2011 lagen die Werte in den Flächen „Riesling“ und „Silvaner“ und im unteren Hangbereich der Fläche „Spätburgunder“ im untersten Horizont bei 61-90 cm uGOK, teils auch bei 31-60 cm uGOK im Bereich der Bestimmungsgrenze von rund 0,6 mg/kg oder darunter. Dies ist als positiv zu bewerten, da in den Monaten der vegetationslosen Zeit bzw. Wintermonaten viel Niederschlag fällt (siehe Abb. 4.10) und wie in Abb. 4.11 zu erkennen ist, der Sickerwasseranteil bezogen auf die Niederschlagsmenge im Vergleich zu den Sommermonaten beträchtlich höher ist. Somit würde der Anteil am mineralischen Stickstoff, der sich in den unteren Bodenschichten befindet, insbesondere zwischen 61 und 90 cm uGOK, über die Wintermonate mit dem Sickerwasser ins Grundwasser ausgewaschen werden. Eine kapillare Rückverfrachtung des mineralischen Stickstoffs kann an diesen Standorten ausgeschlossen werden.

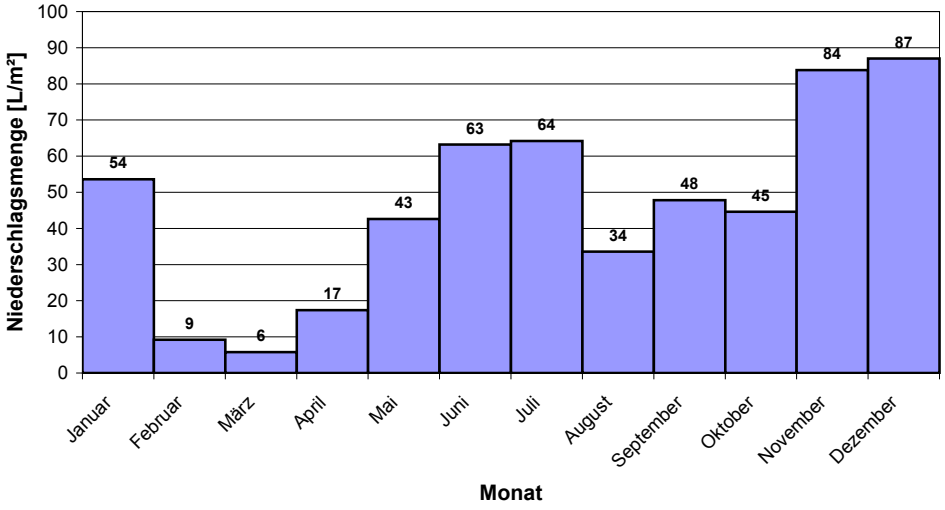


Abb. 4.10: Jahresverlauf der Monatssummenwerte des Niederschlags am Volkacher Kirchberg im Jahr 2012. Gesamtjahresniederschlag: 553 mm. Aufgenommen an der Wettermessstation am Volkacher Kirchberg

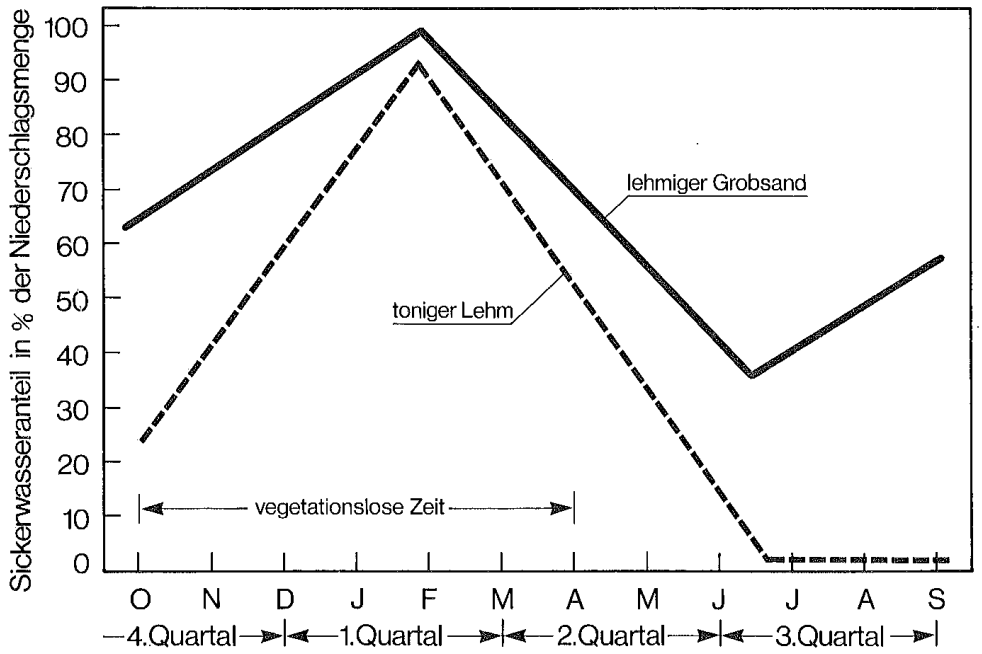


Abb. 4.11: Sickerwasseranfall bei leicht und schwer durchlässigen Böden bezogen auf die Niederschlagsmenge im Jahresverlauf (Rohmann & Sontheimer, 1985)

In Tab. 4.2 sind die Ergebnisse aus den Bodenhorizonten 61 bis 90 cm uGOK der Beprobungen aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass die Gehalte an NO_3-N während des Projektzeitraumes rückläufig sind und teilweise bis auf den Wert von 3 kg N/ha (≙ Bestimmungsgrenze) abfallen. Lediglich der obere Hangbereich des Spätburgunders bildet hierbei eine Ausnahme. Die Werte lagen hier in der Frühjahrsbeprobung 2012 bei 11 bzw. 19 kg N/ha. Insgesamt können die Werte im untersten Bodenhorizont, die überwiegend das Nitratauswaschungspotential und somit eine Beeinträchtigung des Grundwassers darstellen, als gering eingestuft werden. Die auswaschbare Nitratmenge kann in der weiteren Bodenpassage Denitrifikationsprozessen unterliegen und sich somit weiterhin reduzieren.

Tab. 4.2: Gehalte an Nitrat-N im untersten Bodenhorizont (61-90 cm uGOK) an den Stichtagsbeprobungen Herbst und Frühjahr 2010 bis 2012

Probenbezeichnung	Horizont uGOK [cm]	Nitrat-N der Bodenschicht [kg/ha]			
		Herbst 2010	Frühjahr 2011	Herbst 2011	Frühjahr 2012
Riesling oben alt	61 - 90	14	9	3	4
Riesling unten alt	61 - 90	14	5	3	6
Riesling oben neu	61 - 90	22	9	3	8
Riesling unten neu	61 - 90	23	17	5	5
Spätburgunder oben alt	61 - 90	21	9	15	19
Spätburgunder unten alt	61 - 90	14	3	3	3
Spätburgunder oben neu	61 - 90	34	13	16	11
Spätburgunder unten neu	61 - 90	15	3	3	3
Silvaner oben alt	61 - 90	16	11	3	5
Silvaner unten alt	61 - 90	26	3	3	3
Silvaner oben neu	61 - 90	11	3	3	3
Silvaner unten neu	61 - 90	13	3	3	3

Auffällig ist, dass in der Fläche „Spätburgunder" bei den Herbst- und Frühjahrsbeprobungen in den Jahren 2011 und 2012 die NO_3-N-Konzentrationen im oberen Hangbereich um den Faktor 1,6 bis 3,75 höher lagen als im unteren Hangbereich (siehe Tab. 4.3). Der Grund hierfür könnte in den höheren Hangneigungen des oberen Hangbereichs und einer damit einhergehenden stärkeren Bodenerwärmung, die eine Mineralisation und Freisetzung des mineralischen Stickstoffs begünstigt, liegen. Ein weiterer Grund könnte in der verstärkt stattfindenden Versickerung des Niederschlagswassers im unteren Hangbereich und einer daraus resultierenden Nitratauswaschung liegen.

Tab. 4.3: Kumulierte Gehalte des Nitrat-N in allen Bodenhorizonten an den Stichtagsbeprobungen Herbst und Frühjahr 2010 bis 2012

Probenbezeichnung	Horizont uGOK [cm]	Nitrat-N der Bodenschicht [kg/ha]			
		Herbst 2010	Frühjahr 2011	Herbst 2011	Frühjahr 2012
Riesling oben alt	0 - 90	82	32	13	30
Riesling unten alt	0 - 90	46	25	12	30
Riesling oben neu	0 - 90	52	45	15	38
Riesling unten neu	0 - 90	62	47	26	31
Spätburgunder oben alt	0 - 90	68	30	45	44
Spätburgunder unten alt	0 - 90	52	15	12	19
Spätburgunder oben neu	0 - 90	81	47	47	38
Spätburgunder unten neu	0 - 90	50	30	16	23
Silvaner oben alt	0 - 90	51	25	14	36
Silvaner unten alt	0 - 90	85	14	20	23
Silvaner oben neu	0 - 90	50	8	14	16
Silvaner unten neu	0 - 90	34	9	13	13

Hinsichtlich der unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen konnte noch kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden.

4.3.2 Untersuchung des Bodengefüges

Die Gesamtbewertungen jeder einzelnen entnommenen Probe aus beiden Bewirtschaftungsweisen sind in Tab. 4.4 aufgeführt. Die semi-quantitative Bewertung der Bodenproben liegt im Wertebereich zwischen 0 und 8, d. h., dass die Gefügequalität der Bodenprobe mit dem ordinalen Wert von 8 als wesentlich günstiger einzustufen ist als die Proben mit Werten von 0 bis 3. Bei beiden Bewirtschaftungsweisen weisen die tieferen Horizonte ein besseres Bodengefüge bezüglich des Pflanzenbaus auf als die oberen Horizonte. Dies ist dadurch bedingt, dass in den oberen Horizonten höhere Anteile an groben Polyederaggregaten (>50 mm) vorliegen. Insgesamt weisen die Proben der begrünten Bewirtschaftungsweise einen höheren Anteil an kleinen Krümel-, Polyeder- und Subpolyederaggregaten auf. Dies wirkt sich positiv auf die Wasserbewegung, die Durchwurzelung und Durchlüftung und somit den Pflanzenbau aus (LFL 2012). Weiterhin wird die Erosion des Bodens gehemmt.

Tab. 4.4: Darstellung der Gesamtbewertung jeder Probe aus dem jeweiligen Horizont und Bewirtschaftungsweise

Bewirtschaftungsweise/ Beprobungspunkt	Tiefe [cm uGOK]	Gesamtbewertung
alt-P1	**0-12**	0,0
alt-P1	**12-24**	2,2
alt-P1	**24-36**	1,3
alt-P1	**36-48**	3,1
alt-P2	**0-12**	1,1
alt-P2	**12-24**	0,0
alt-P2	**24-36**	3,8
alt-P2	**36-48**	4,3
neu-P3	**0-12**	4,2
neu-P3	**12-24**	6,6
neu-P3	**24-36**	4,4
neu-P3	**36-48**	4,7
neu-P4	**0-12**	3,8
neu-P4	**12-24**	7,0
neu-P4	**24-36**	7,7
neu-P4	**36-48**	7,1

4.3.3 Bestimmung des Bodenwasserrückhaltevermögens

In Tab. 4.5 sind die mittleren Werte der Lagerungsdichte in g/cm³ aufgeführt. Die Daten zeigen, dass bei beiden Bewirtschaftungsformen die Lagerungsdichte mit der Tiefe hin zunimmt. In der alten Bewirtschaftungsweise liegen Werte von 1,5 im oberen bis 1,7 g/cm³ im unteren Beprobungshorizont vor. Gemäß BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2005) sind die Lagerungsdichten als mittel bzw. hoch einzustufen. Die Bodenverdichtung entsteht durch Befahren und Bearbeiten der Rebflächen, aber auch durch Sackung aufgrund des Eigengewichtes des Bodens.

Tab. 4.5: Übersicht der mittleren Lagerungsdichten in Abhängigkeit der Beprobungstiefe

Bewirtschaft-ungsweise	Horizont	Lagerungs-dichte ρ_d [g/cm³]
unbegrünt bzw. alt	**0 - 12 cm uGOK**	1,50
	12 - 24 cm uGOK	1,62
	24 - 36 cm uGOK	1,64
	36 - 48 cm uGOK	1,73
begrünt bzw. neu	**0 - 12 cm uGOK**	1,33
	12 - 24 cm uGOK	1,41
	24 - 36 cm uGOK	1,54
	36 - 48 cm uGOK	1,61

Die Lagerungsdichten der neuen Bewirtschaftungsweise liegen dagegen im Bereich zwischen 1,3 und 1,6 g/cm³: Diese werden als gering bis mittel eingestuft. Die geringere Dichte ist auf den Bewuchs bzw. auf die daraus stattfindende Bodenauflockerung durch Wurzelbewegung

(Bioturbation) in den Rebgassen der neuen Bewirtschaftung zurück zu führen. Diese wirkt der Bodenverdichtung entgegen.
Ebenso liegt im Vergleich zur alten Bewirtschaftungsweise ein um 6 bis 8 % höheres Gesamtporenvolumen in allen beprobten Tiefen vor (siehe Tab. 4.6 und Abb. 4.12). Das Maximum liegt dabei im oberen Horizont bei 55 %. Die Porengrößenverteilung zeigt, dass bei der Bewirtschaftung mit Dauerbegrünung vor allem in einer Tiefe bis zu 24 cm ein höherer Anteil an Grob- und Mittelporen vorliegt. Dies resultiert zum einen in einer besseren Belüftung der Bodenhorizonte und wirkt sich somit positiv auf die Wurzeln, das Pflanzenwachstum und andere Bodenlebewesen aus (LFL 2012). Zum anderen hat dies eine bessere Infiltrationsleistung und somit eine geringere Erosion des Bodens zur Folge. Des Weiteren weist sie in allen Tiefen eine höhere nutzbare Feldkapazität auf (siehe Abb. 4.13). Somit liegt dort auch eine bessere Versorgung der Pflanzen mit Wasser vor. Weiterhin ist auffällig, dass im Horizont 0-12 cm uGOK der alten Bewirtschaftung im Vergleich zu allen anderen beprobten Horizonten ein hoher Anteil an Feinporen vorhanden ist. Ursache hierfür können mögliche stattgefundene Verschlämmungsprozesse sein.

Tab. 4.6: Übersicht der mittleren Porenanteile und des Festsubstanzanteils in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise

Bewirtschaftungsweise	Horizont	Anteil am Gesamtvolumen des Bodens [%]					
		weite Grobporen (>50µm)	enge Grobporen (10 - 50µm)	Mittelporen (0,2 - 10µm)	Feinporen (<0,2µm)	Gesamtporenvolumen (GPV)	feste Bodensubstanz
unbegrünt bzw. alt	0 - 12 cm GOK	17	3	12	16	49	51
	12 - 24 cm GOK	14	3	15	13	45	55
	24 - 36 cm GOK	11	2	15	13	41	59
	36 - 48 cm GOK	9	2	16	14	41	59
begrünt bzw. neu	0 - 12 cm GOK	20	5	19	12	55	45
	12 - 24 cm GOK	19	4	16	13	53	47
	24 - 36 cm GOK	12	4	19	13	48	52
	36 - 48 cm GOK	12	3	19	14	48	52

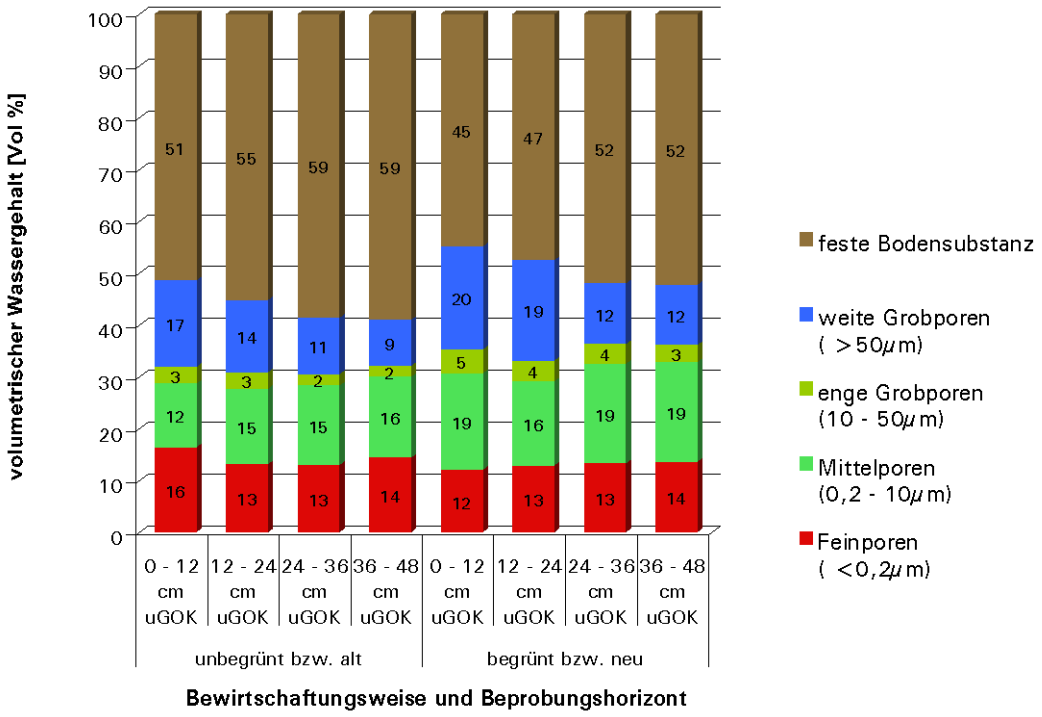


Abb. 4.12: Graphische Darstellung der mittleren Porenanteile und des Festsubstanzanteils in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise

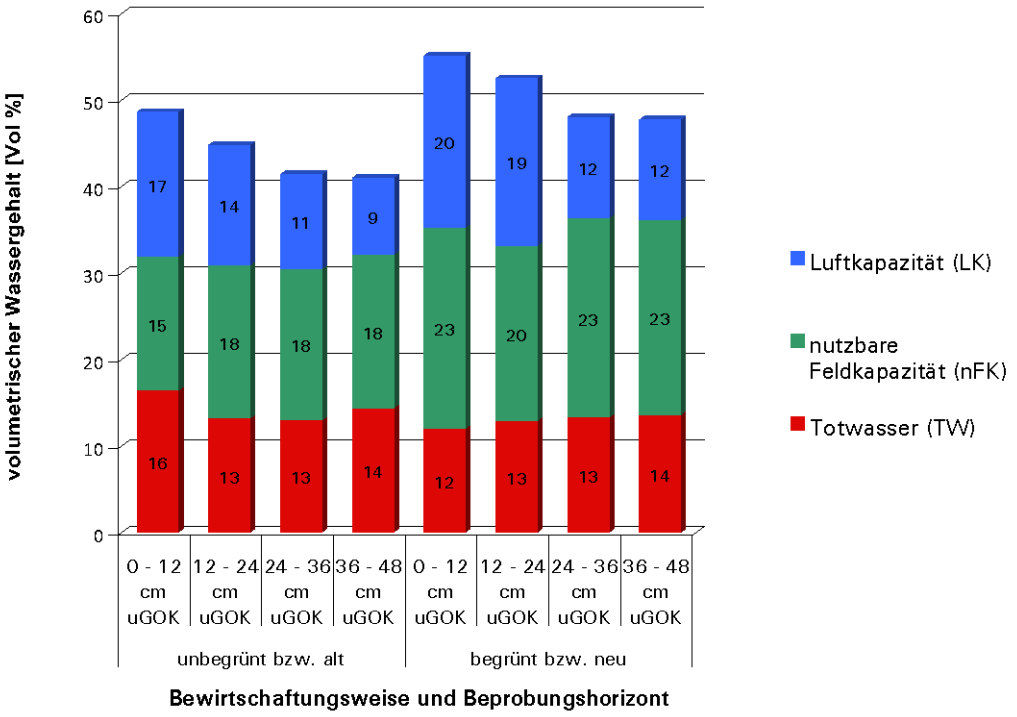


Abb. 4.13: Graphische Darstellung der Kennwerte der Wasserbindung in Abhängigkeit des Horizontes und der Bewirtschaftungsweise

4.3.4 Bodenerosionsuntersuchungen durch künstliche Beregnung der Untersuchungsfläche

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Bodenabtrag durch künstliche Beregnung in der Monitoringfläche Spätburgunder sind in Tab. 4.7 dargestellt. An den Untersuchungspunkten in den Rebgasse der alten Bewirtschaftung lag entweder keine oder eine nur sehr spärliche Vegetationsbedeckung vor (≤ 1 %). In der Regasse der neuen Bewirtschaftung lag dieser zwischen 45 und 80 %. Die Hangneigung in beiden Rebgassen lag zwischen 14 und 24 °. Der volumetrische Wassergehalt lag an den Untersuchungspunkten der neuen Bewirtschaftungsweise mit der höchsten und geringsten Hangneigung unterhalb der alten.
Im Vergleich zur alten Bewirtschaftungsweise zeigte sich bei der neuen eine 25 bis 50 %ige Reduktion des auf die Beregnungsmenge bezogenen Oberflächenabfusses. Der Bodenabtrag lag bis um das achtfache niedriger, der Abtrag an organischem Kohlenstoff sogar um das bis 37-fache. Der TOC-Gehalt der Proben aus der neuen Bewirtschaftung war stets niedriger im Vergleich zu den Proben der alten Bewirtschaftung. 1,1 bis 3,0 % im Vergleich zu 5,4 bis 11 %.

Tab. 4.7: Übersicht der Ergebnisse aus den Bodenerosionsmessungen durch künstliche Beregnung. Angegeben sind die Mittelwerte aus mehreren Versuchsdurchläufen pro Untersuchungspunkt

Bewirtschaftungsweise	alt			neu		
Hangneigung [°]	14	22	24	14	22	24
Vegetationsbedeckungsgrad [%]	0	0	1	75	80	45
Wassergehalt [Vol%]; *[m%]*	27	*20*	20	16	*22*	18
auf Beregnungsmenge bezogener relativer Oberflächenabfluss [%]	79	87	63	39	65	29
m (Bodenabtrag) [g]	2,1	3,5	6,4	0,5	1,3	0,8
m (Bodenabtrag) [kg/ha]	333	554	1029	78	210	131
m (organischer Kohlenstoff im Abtrag) [mg]	188	246	357	12	35	9,7
m (organischer Kohlenstoff im Abtrag) [kg/ha]	30	39	57	2,0	5,6	1,5

In Abb. 4.14 ist der relative Oberflächenabfluss in der Rebgasse der alten und neuen Bewirtschaftungsweise bei einer Hangneigung von 22° und einer mehrfach hintereinander durchgeführten Beregnung dargestellt. Es zeigt sich, dass ab dem zweiten Versuchsdurchlauf ein konstanter Oberflächenabfluss von 88 bzw. 67 % stattfand. Die Reduktion des Abflusses betrug somit 24 %, die des Bodenabtrags 62 % und die des organischen Kohlenstoffs 86 %.

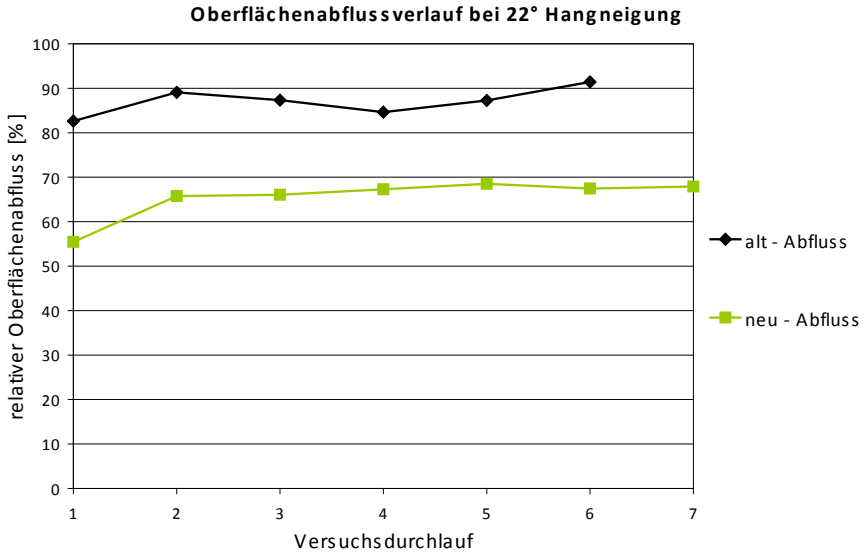


Abb. 4.14: Oberflächenabflussverlauf in Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftung bei 22° Hangneigung und künstlicher Beregnung

Weiterhin zeigte sich, dass im ersten Versuchsdurchlauf dieses simulierten Starkniederschlagsereignisses vor allem in der Rebgasse der alten Bewirtschaftung am meisten Bodenmaterial erodiert und hangabwärts verlagert wird. Bei einer 3-minütigen Beregnung mit 18 L/m² wurden rund 1 t/ha Boden und 74 kg/ha organischer Kohlenstoff abgetragen. Danach stellte sich ein konstanter mittlerer Erosionsabtrag von circa 420 kg/ha Bodenmaterial und 30 kg/ha organischer Kohlenstoff ein.

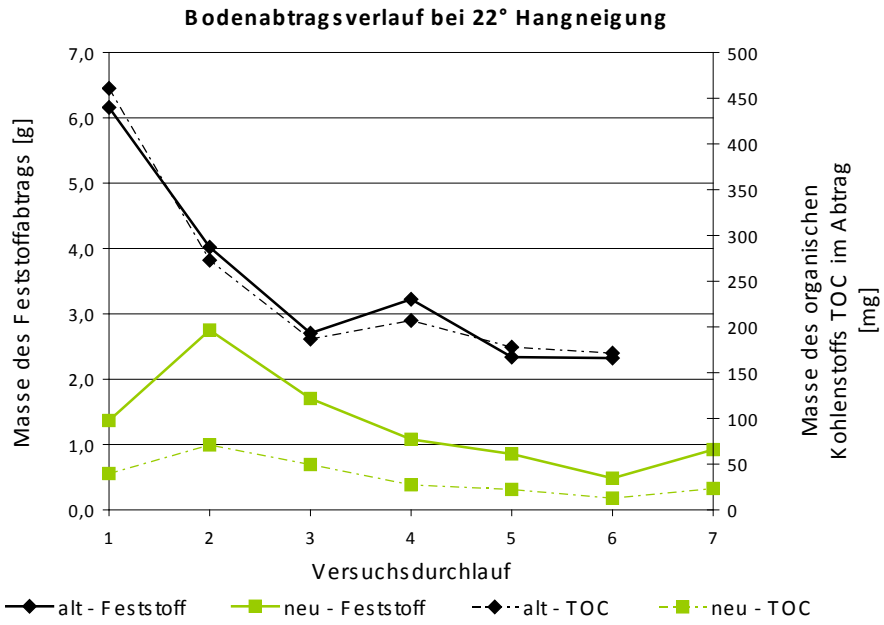


Abb. 4.15: Bodenabtragsverlauf in Rebgassen der alten und neuen Bewirtschaftung bei 22° Hangneigung und künstlicher Beregnung

4.3.5 Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit, die in Abb. 4.16 und Abb. 4.17 dargestellt sind, zeigen, dass in den oberen Horizonten bis in eine Tiefe von 50 cm uGOK Werte zwischen $1 \cdot 10^{-5}$ und $2 \cdot 10^{-6}$ m/s vorliegen. Nach DIN 18130-1 (1998) sind die Bodenproben als durchlässig einzustufen. In den tieferen Horizonten sind vor allem in den Proben der alten Bewirtschaftungsweise geringere Leitfähigkeiten von bis zu $2 \cdot 10^{-10}$ m/s vorzufinden. Diese werden als sehr schwach durchlässig eingestuft. In einer Probe der neuen Bewirtschaftungsweise wurden im Horizont 50 bis 75 cm uGOK die geringsten K-Werte mit $6 \cdot 10^{-9}$ m/s nachgewiesen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ab einer Tiefe unter 50 cm uGOK eine verstärkte Verdichtung des Bodens vorliegt. Inwiefern diese nur räumlich begrenzt oder großräumig vorhanden ist, konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht geklärt werden.

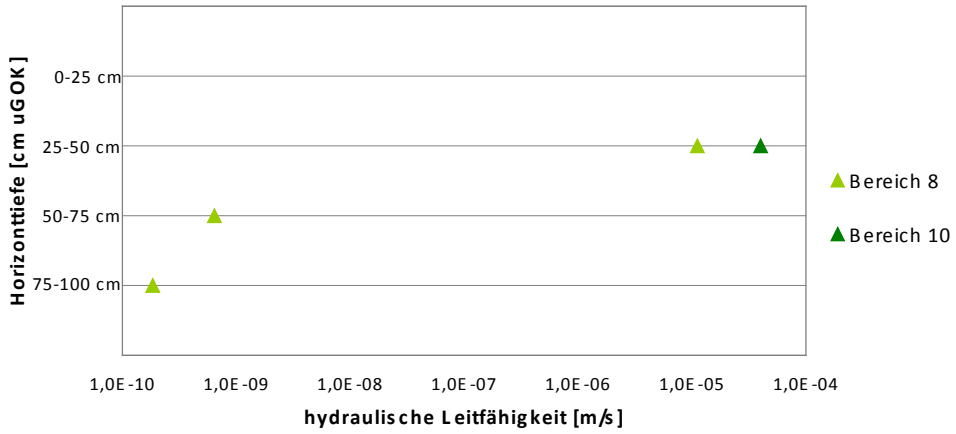


Abb. 4.16: Werte der hydraulischen Leitfähigkeit K in Abhängigkeit der Tiefe aus zwei Untersuchungspunkten in der unbegrünten Rebgasse (Rebzeile 25/ 26)

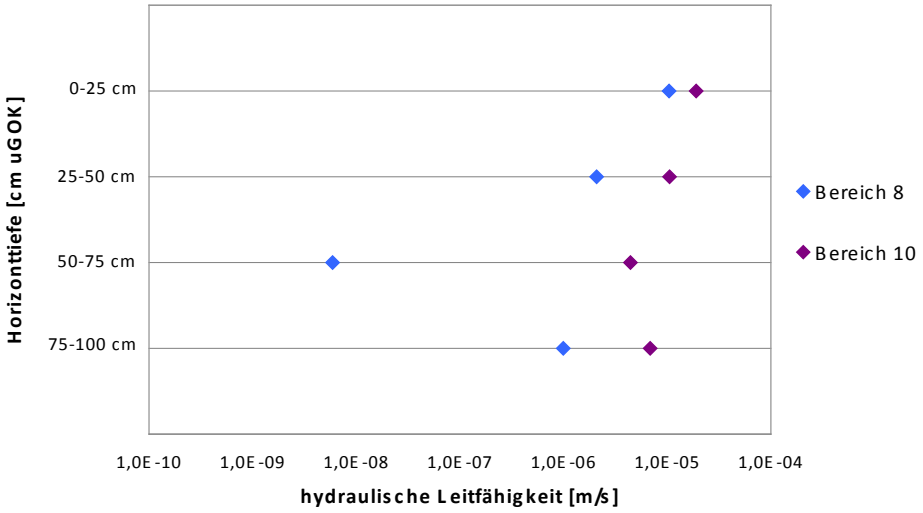


Abb. 4.17: Werte der hydraulischen Leitfähigkeit K in Abhängigkeit der Tiefe aus zwei Untersuchungspunkten in der begrünten Rebgasse (Rebzeile 34/ 35)

4.3.6 Vegetationsaufnahme

Die aufgenommenen Pflanzenarten, ihre zugehörigen Zeigerwerte nach ELLENBERG ET AL. (1992) und LINDACHER (1995) sind in Anhang 10 Tab. 7.3 aufgeführt. Weiterhin ist dort angegeben, ob es sich dabei um einen Vertreter der Familie der Hülsenfrüchtler *Fabaceae*/ *Leguminosae* handelt. Hülsenfrüchtler oder auch Leguminosen sind in der Lage durch die mit ihnen in Symbiose lebenden stickstofffixierenden Bakterien, Rhizobien, den elementaren, molekularen Stickstoff der Luft zu fixieren. Sie können daher auf stickstoffarmen Böden vorkommen und die Böden mit Stickstoff anreichern (FUCHS & SCHLEGEL 2007).
In den Rebgassen der alten Bewirtschaftung war in allen drei Monitoringflächen kein Bewuchs mit Pflanzen vorzufinden. Die weiteren Ergebnisse beziehen sich stets auf die beiden in einer Monitoringfläche untersuchten Regassen (Rebgasse 2, linke Abbildung und Rebgasse 4, rechte Abbildung) der neuen Bewirtschaftungsweise.
Hinsichtlich des Artenaufkommens und der Bedeckungsgrade zeigt sich in Abb. 4.18, dass in der Spätburgunderfläche, die mit 5° bis 26° die größte Hangneigung aufweist, der Bedeckungsgrad im oberen Hangbereich von 73 % auf 17 % zurückging. Bis zum dritten Aufnahmebereich liegt dieser bei mindestens 50 %. Die Artenanzahl liegt zwischen 5 und 13 Arten, wobei das Minimum sich jeweils im Bereich 4, d. h. im mittleren Hangbereich, befindet.

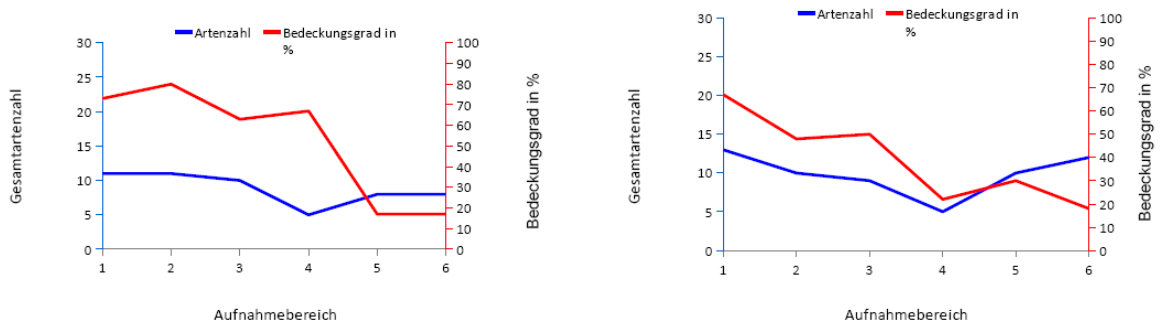


Abb. 4.18: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder

Dagegen weist die Rieslingfläche (siehe Abb. 4.19) eine stärkere Artenvielfalt auf. Sie steigt von 10 vorkommenden Arten im unteren Hangbereich bis zu 27 Arten im obersten Hangbereich an. Der Bedeckungsgrad nimmt weniger stark im Vergleich zur Spätburgunderfläche von 64 % auf 40 % ab. Allerdings sind die Hangneigungen mit Werten zwischen 5 ° und 20 ° geringer.

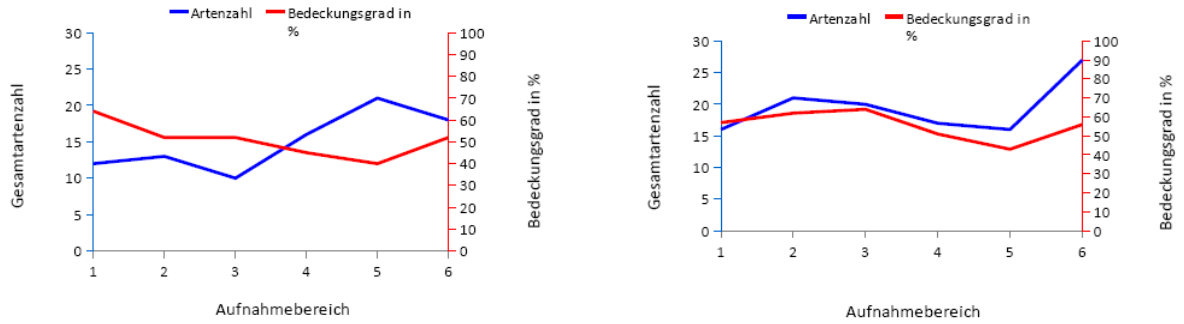


Abb. 4.19: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling

In der Silvanerfläche, in welcher Hangneigungen zwischen 4 und 7 ° vorliegen, ist die Artenanzahl ähnlich wie in der Spätburgunderfläche und liegt bei 6 bis 13 Arten. Die Bedeckungsanteile sind mit Werten zwischen 84 und 100 % aufgrund der geringen, sich nicht ändernden Hangneigung konstant hoch (siehe Abb. 4.20).

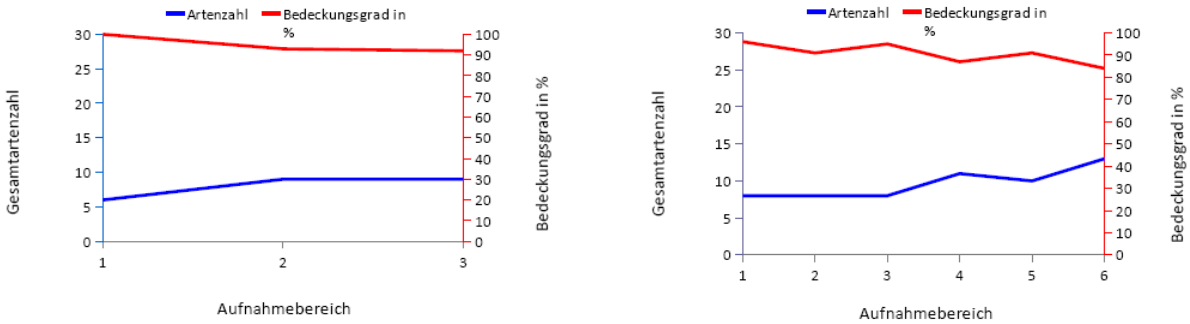


Abb. 4.20: Anzahl der Arten und des Gesamtbedeckungsgrades bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner

Bei der Auswertung der Aufnahmedaten bezüglich der Ellenberg-Zeigerwerte, die in Abb. 4.21 bis Abb. 4.23 dargestellt sind, konnte festgestellt werden, dass in der Silvanerfläche der Artenbestand auf eine bessere Stickstoffversorgung hinweist. Die Werte liegen bei 7 (Stickstoffreichtumzeiger), bei den anderen Flächen zwischen 5 und 7. In allen drei Flächen liegt der Mittelwert für die Reaktionszahl der vorkommenden Pflanzenarten bei 7, d. h. es sind Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger, die niemals auf stark sauren Böden vorkommen. Vereinzelt liegen auch Schwachsäure-/ Schwachbasen- bis Basen- und Kalkzeiger vor (Stickstoffzahl 8). Bei der Fläche Riesling und Silvaner deutet der Bestand auf mittelfeuchte Böden hin, da durchgehend Frischezeiger (F = 5) vorkommen. Beim Spätburgunder hingegen ist zu erkennen, dass der Feuchtezustand des Bodens mit steigender Hangneigung leicht abnimmt.

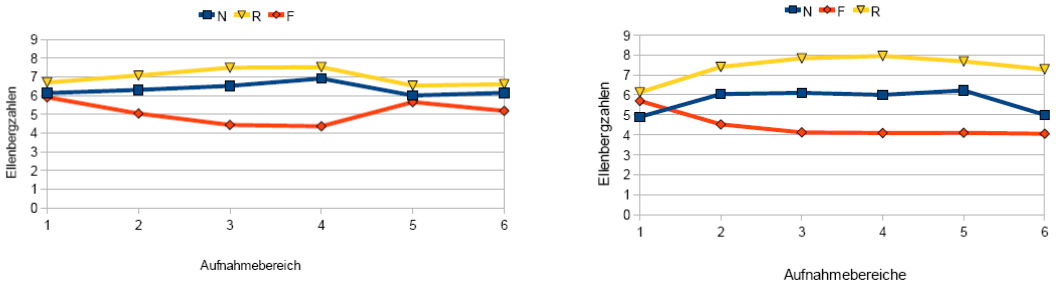


Abb. 4.21: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder

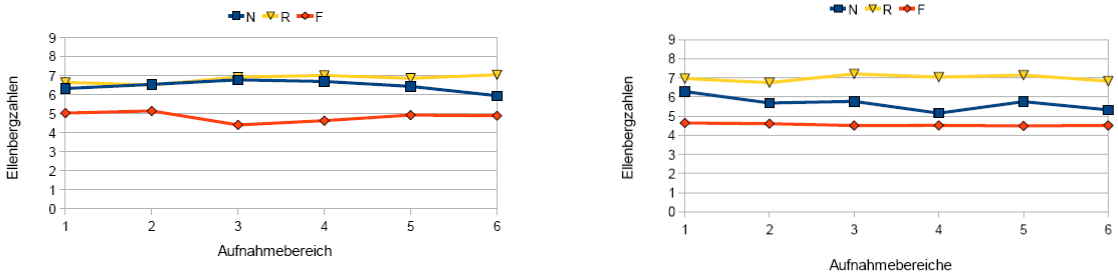


Abb. 4.22: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling

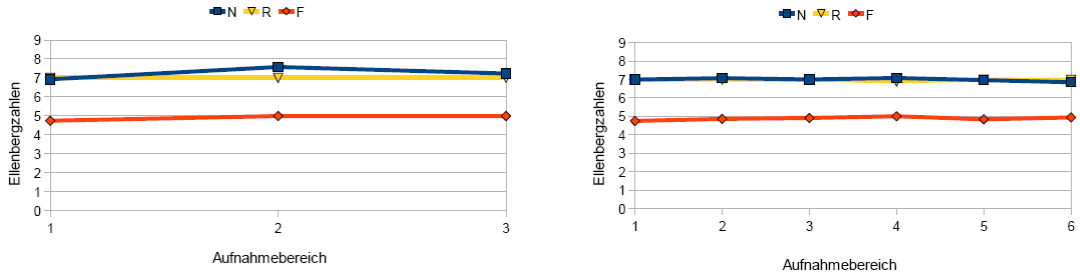


Abb. 4.23: Ellenberg-Zeigerwerte (N, R und F) bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner

Die Auswertung bezüglich der Dispersitätszahl zeigt in den Abb. 4.24 bis Abb. 4.26, dass der Pflanzenbestand in den Flächen Spätburgunder und Riesling überwiegend auf schwere Böden (D = 4) hindeutet. Im unteren Hangbereich beider Flächen spielen ebenso leichte Böden (D = 3) eine Rolle. Hingegen kommen Tonzeiger (D = 5) nur untergeordnet vor. In der Fläche Silvaner kommen hingegen Tonzeiger mit einem Anteil von circa 50 % vor.

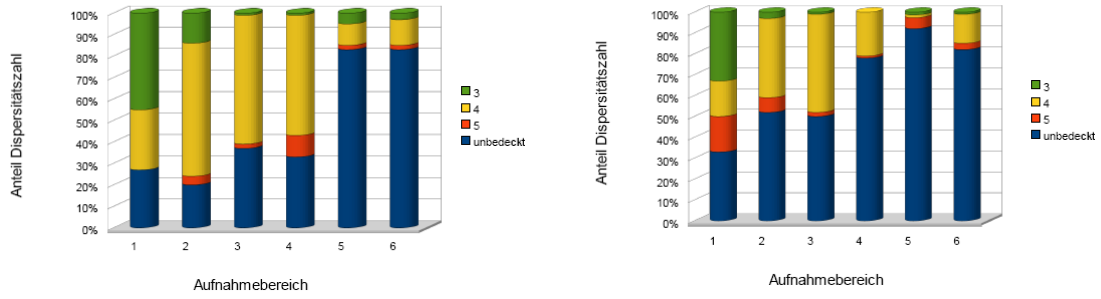


Abb. 4.24: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder

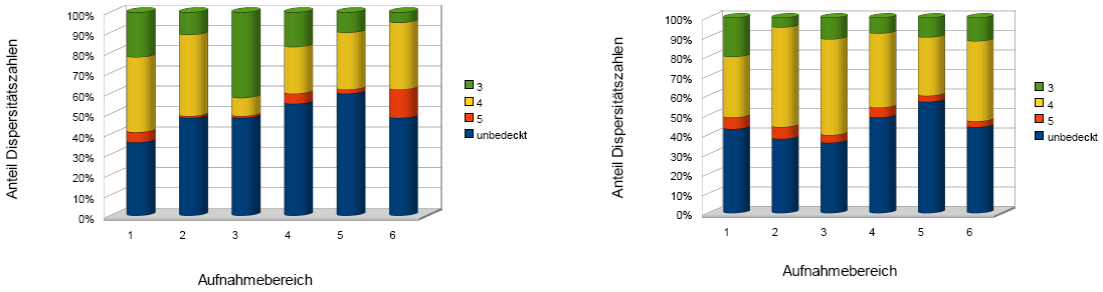


Abb. 4.25: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling

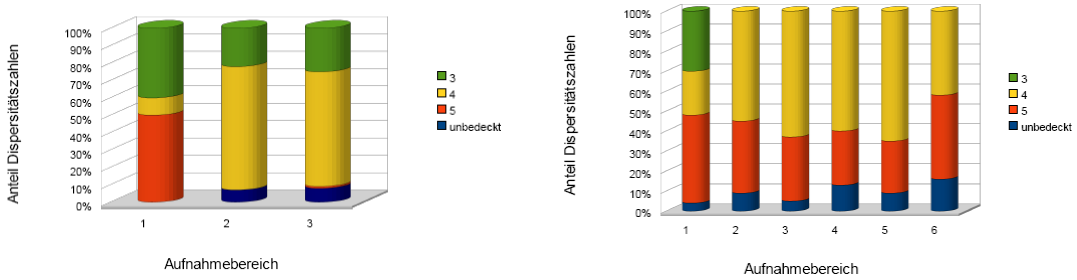


Abb. 4.26: Dispersitätszahl bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner

Das Vorkommen verschiedener Lebensformtypen in den Monitoringflächen zeigt, dass in der Spätburgunderfläche (siehe Abb. 4.27) zum größten Teil Therophyten (T) vorkommen, die hinsichtlich des Erosionschutzes als ungünstig einzustufen sind, da diese eher kurzlebig sind und ungünstige Zeiten, wie z. B. Wintermonate, als Samen überdauern. D. h. während dieser Zeit bieten sie dem Boden keinen Schutz vor Erosion. Dagegen sind die am zweit häufigsten vorkommenden Hemikryptophyten (H, Hli) als günstig einzustufen, da ihre Überwinterungsknospen nahe der Erdoberfläche vorkommen. Weitere Lebensformtypen, wie die Chamerophyten (C), die Geophyten (G), Phanerophyten (P) und Nanophanerophyten (N) spielen eine untergeordnete Rolle.

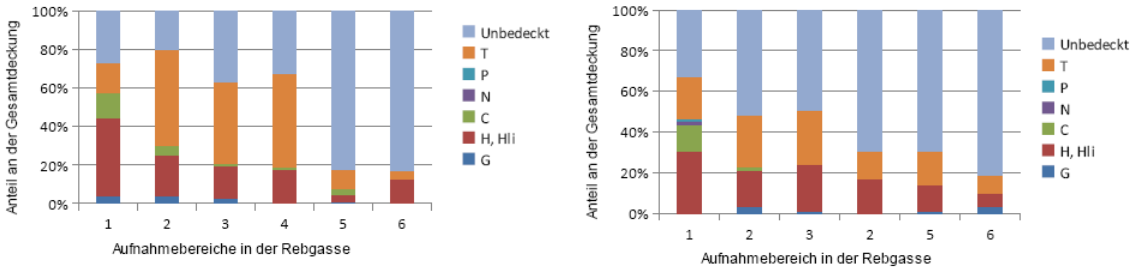


Abb. 4.27: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder

Die Rieslingfläche zeigt ein ähnliches Bild, allerdings sind hier die Hemikryptophyten vor den Therophyten der am stärksten vertretende Lebensformtyp (siehe Abb. 4.28).

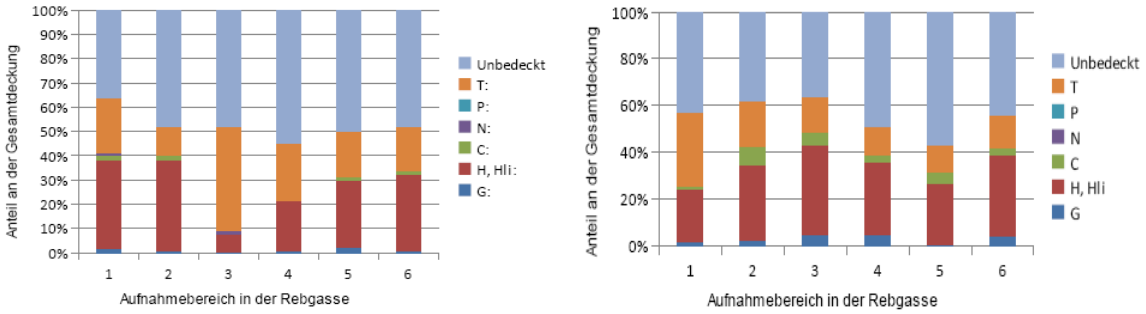


Abb. 4.28: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Riesling

In der Silvanerfläche haben die Hemikryptophyten den höchsten Anteil am Pflanzenbestand. In Abb. 4.29 ist weiterhin zu erkennen, dass die Geophyten (G) vor den Therophyten den zweithöchsten Anteil haben.

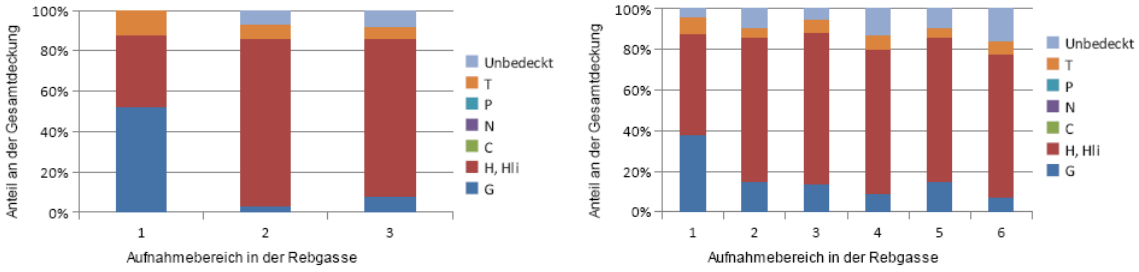


Abb. 4.29: Vorkommen der Lebensformtypen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Silvaner

Der Anteil der Leguminosen bezogen auf die Gesamtbedeckung ist in der Fläche Spätburgunder vor allem im mittleren Hangbereich stärker ausgeprägt. Abb. 4.30 zeigt, dass dieser zwischen 20 und 40 % liegt. In der Rieslingfläche liegt der Anteil bei maximal 10 %. In der Silvanerfläche kommen dagegen keine Leguminosen vor.

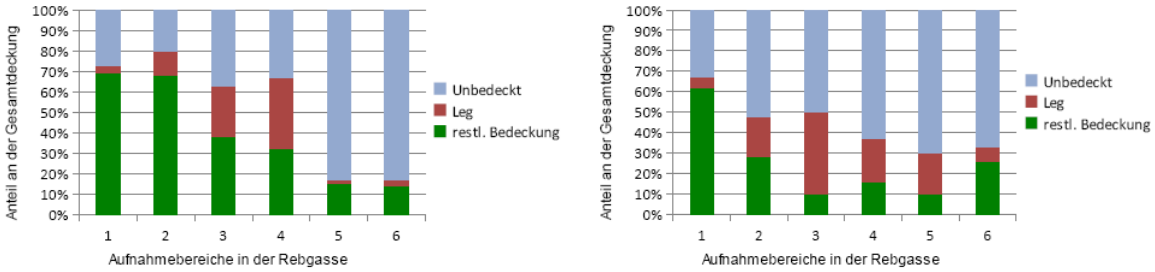


Abb. 4.30: Vorkommen von Leguminosen bezogen auf den Aufnahmebereich in den beiden Rebgassen (2, links und 4, rechts) der neuen Bewirtschaftungsweise in der Monitoringfläche Spätburgunder

5 Zusammenfassende Diskussion

Die Untersuchungen im Projektbereich II des Verbund-Forschungsvorhabens bezüglich der Wasserqualität im Pufferbecken Süd und in den Speicherbecken Ost und West haben ergeben, dass die Empfehlungswerte für die chemischen Parameter, wie Schwermetalle, Fluorid, Chlorid, im kompletten Untersuchungszeitraum eingehalten wurden. Bei den physiko-chemischen Parametern zeigte sich, dass die Werte für den pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und Härtegrad oberhalb ihres entsprechenden Empfehlungsbereiches oder –wertes lagen. Im Pufferbecken Süd, das durch Oberflächenabfluss und den Zufluss aus den beiden Quellen Kirchbergquelle und Eschbachquelle gespeist wird, lag der pH-Wert zwischen 8,2 und 9,3 stets oberhalb von 8. Der Härtegrad und die elektrische Leitfähigkeit lagen überwiegend mit Maximalwerten von 31 °dH und 962 μS/cm oberhalb des Empfehlungs-wertes. Die hohen Werte sind durch den Quellzufluss und den geogenen Einfluss des Muschelkalks bedingt. In beiden Speicherbecken, aus denen das Wasser für die Bewässerung der Rebflächen verwendet wird, ergaben sich nur im Speicherbecken Ost zeitweise geringfügige Überschreitungen mit Maximalwerten von 21 °dH und 792 μS/cm. Die pH-Werte lagen in beiden Becken zwischen 8,4 und 9,5. Der Anstieg des pH-Wertes in den Sommermonaten ist bedingt durch das Algenwachstum. Die Untersuchung des Algenwachstums zeigte in den beiden Untersuchungsjahren 2011 und 2012 in den Becken unterschiedliche Verläufe. Das starke Algenwachstum im Pufferbecken Süd im Jahr 2011 konnte aufgrund des Starkniederschlagsereignisses im Juni und der darauf folgenden Leerung des Beckens nicht weiter verfolgt werden. In den Speicherbecken Ost und West hat in beiden Jahren ein nur moderates Wachstum stattgefunden. Dies gilt ebenso für das Pufferbecken Süd im Jahr 2012.
Hinsichtlich einer Bewässerung und der eingesetzten verfahrenstechnischen Anlagen kann das Algenvorkommen als unbedenklich bewertet werden. Hingegen zeigte die starke Grün-algenblüte in 2011, dass es zu einer negativen Beeinträchtigung der Bewässerungsanlage kommen kann. Wenn sich die abgestorbene fädige Grünalgenmasse vom Beckenrand löst und auf der Beckenoberfläche umher treibt, könnte es zu einer Verstopfung des Absaugrohres, das am Schwimmer im Becken befestigt ist, kommen. Durch ein mechanisches Entfernen mit einem Rechen vom Beckenrand aus ist die Algenmasse gut zu entfernen. Beim Auftreten einer starken Algenblüte besteht außerdem die Gefahr einer Verschleppung in die anderen Becken.
Die Installation eines Oloid-Rührwerkes stellt eine Möglichkeit dar, das Wachstum der Algen von Beginn an zu verhindern bzw. zu reduzieren. Das Rührwerk erzeugt eine Wellenbewegung, die sich impulsartig, gleichmäßig und räumlich ausbreitet, wodurch das Beckenwasser umgewälzt und Sediment in Schwebe gehalten wird. Aufgrund der erzeugten Wellenbewegung und der Trübung, resultierend aus dem in Schwebe gehaltenem Sediment, wird das Wachstum des Phytoplanktons reduziert (HUBERTUS BEUTLER GMBH 2013).
Weiterhin kann das Algenwachstum durch den Besatz mit Fischen, die das Phytoplankton als Nahrungsquelle nutzen, reduziert werden. Folglich würde der Anstieg des pH-Wertes in den Sommermonaten ebenso vermindert werden. Eine pH-Wert-Senkung ist durch einen Eintrag von CO_2, eine Dosierung von Säuren in der Pumpanlage oder eine Zugabe von Torf oder Torfextrakten ebenfalls zu realisieren.

Die Ergebnisse der Oberflächenabflussmessung zeigen, dass der überwiegende Anteil des Oberflächenabfluss in den Monaten November bis Januar abfließt. Im Jahr 2012 betrug dieser rund 3.100 m³ von insgesamt 3.500 m³ Jahresabfluss bezogen auf die Einzugsfläche von circa 20 ha. Dies entspricht einem Anteil von 88 %. Die Abflüsse teilten sich in den Jahren 2011 und 2012 auf 43 bzw. 61 Abflussereignisse auf. Dabei lag das Abflussmaximum bei 50 bzw. 30 % der Abflüsse unter 1 L/s und bei 90 bzw. 72 % unter 5 L/s. Das heißt, der Großteil der Abflüsse findet in einem niedrigen Bereich statt. Das Abflussmaximum lag bei 85 L/s. Im Abfluss konnten TOC-Gehalte zwischen 9 und 57 mg/L,

Gesamtstickstoffkonzentrationen von 2 bis 8 mg/L und Gesamtphosphorkonzentrationen von 0,4 bis 38 mg/L nachgewiesen werden. Außerdem wurden Pflanzenschutzmittel oberhalb des Richtwertes von 0,1 µg/L nachgewiesen. Darunter waren das Totalherbizid Glyphosat (bis zu 0,5 µg/L) und dessen Abbauprodukt Aminomethanphosphonsäure (bis zu 1,7 µg/L). Weitere Pestizide waren Boscalid und Fenhexamid mit bis zu 5,7 µg/L bzw. 1,1 µg/L. Bei Cyprodinil, Dimethomorph, Fenhexamid, Myclobutanil, Penconazol und Azoxystrobin lagen die Werte zwischen 0,1 und 1,1 µg/L. Weiterhin konnte das Metabolit N,N-Dimethylsulfamid mit Konzentrationen von rund 0,2 µg/L nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Abflussverhaltens kann aufgrund der Variabilität der Abflussdauer, -intensität und der Zusammensetzung keine Aussage gemacht werden. Eine Prognose des Verhaltens und der Zusammensetzung zukünftiger Abflüsse kann daher nicht gemacht werden
Die Abtragsergebnisse aus den Feststoffuntersuchungen zeigen, dass dem Weinberg durch Erosionsereignisse beträchtliche Mengen an Feststoff, Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) und organischem Material verloren geht. Durch das Abfangen in den Geröllfängen und dem Pufferbecken Süd können diese Wertstoffe der Weinbergsfläche wieder rückgeführt werden.

Die bodenkundlichen und -physikalischen Untersuchungen in der Monitoringfläche Spätburgunder im Zuge der Umstellung der Bewirtschaftungsweise der Rebflächen zeigten, dass erste positive Veränderungen im Bodengefüge, des Bodenwasserrückhaltevermögens und hinsichtlich des Bodenerosionsschutzes nachgewiesen werden konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Rebfläche, in der eine Dauerbegrünung vorliegt und zusätzlich bewässert wird, die Lagerungsdichten in allen untersuchten Horizonten bis zu einer Tiefe von 48 cm uGOK im Vergleich zu deren aus der alten Bewirtschaftungsweise geringer sind. Das Gesamtporenvolumen ist dagegen in allen Horizonten höher. Vor allem in einer Tiefe bis zu 24 cm liegt ein höherer Anteil an Grob- und Mittelporen vor. Dies hat zur Folge, dass zum einen die Bodenhorizonte besser belüftet werden und somit für die Wurzeln und andere Bodenlebewesen bessere Bedingungen vorherrschen, was sich wiederum begünstigend auf das Pflanzenwachstum auswirkt (LFL 2012). Zum anderen werden dadurch das Infiltrationsvermögen und der Schutz vor Bodenerosion verbessert. Darüber hinaus wurde in allen Horizonten der neuen Bewirtschaftungsweise eine höhere nutzbare Feldkapazität mit Werten bis 23 % ermittelt. Somit liegt dort auch eine bessere Versorgung der Pflanzen mit Wasser vor. Die Untersuchungen der Bodengefügequalität bestätigen diese Ergebnisse durch die Anwesenheit eines höheren Anteils an kleinen Krümel-, Polyeder- und Subpolyederaggregaten in der begrünten Rebfläche. Bezüglich der Bodenerosion ergaben die Untersuchungen eine Reduktion des Oberflächenabflusses in der Rebgasse der neuen Bewirtschaftungsweise (Hangneigung von 22°) von 24 %, des Bodenabtrags von 62 % und des organischen Kohlenstoffs von 86 %. Bei der tiefenhorizontierten Bestimmung der mineralischen Stickstoffgehalte im Boden, die in allen drei Monitoringflächen durchgeführt wurden, ergaben die Ergebnisse der ersten Probenahme, dass der Anteil des Ammonium-Stickstoffs am mineralischen Stickstoff im Bodeneluat bei rund 70 % aller Proben unter 1 % lag. Die Ergebnisse deuten auf eine gute Durchlüftung des Bodens hin. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Gehalte an Nitrat-Stickstoff in mg/kg bei allen Monitoringflächen unabhängig von der Bewirtschaftungsweise und Hanglage vom oberen Horizont (0-10 cm uGOK) bis zum unteren Horizont (61-90 cm uGOK) hin abnehmen. Während des Projektzeitraumes verstärkte sich diese Tendenz. In den Flächen „Riesling“ und „Silvaner“ und im unteren Hangbereich der Fläche „Spätburgunder“ lagen bei der Herbstbeprobung 2011 die Werte im untersten Horizont bei 61-90 cm uGOK, teils auch bei 31-60 cm uGOK im Bereich der Bestimmungsgrenze von rund 0,6 mg/kg oder darunter. Dies entspricht einem Wert von 3 kg N/ha. Hinsichtlich des Grundwasserschutzes ist bezogen auf diese Flächen mit einer sehr geringen Nitratauswaschung und eines Eintrags in das Grundwasser auszugehen. Bezüglich der unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen war kein Unterschied bei den Stickstoffgehalten und deren vertikaler Verteilung erkennbar.

Insgesamt zeigte sich, dass eine vorhandene Vegetationsbedeckung der Rebgassen den Boden und im Besonderen die oberste Bodenschicht vor Erosion schützt. In Steillagen geht den Rebflächen weniger Bodenmaterial und organische Substanz bzw. Humus verloren (vgl. RICHTER 1998). Weiterhin wird eine Bodenstruktur gefördert, die eine bessere Durchlüftung des Bodens und Versorgung der Pflanzen mit Wasser ermöglicht.
Allerdings sollte die Begrünung der Rebflächen in den Flächen Riesling und Spätburgunder hinsichtlich des Bedeckungsgrades und der vorkommenden Lebensformtypen noch optimiert werden. Die dargestellten Ergebnisse in Kap. 4.3.6 zeigten, dass der Bedeckungsgrad in den steileren Bereichen teilweise stark zurückging. Außerdem weisen beide Flächen einen hohen Anteil an Therophyten auf, die über das ganze Jahr hinweg gesehen weniger Schutz vor Erosion bieten als z. B. Hemikryptophyten. Durch ein weiteres Einbringen von ausgewähltem Saatgut und einer Förderung des Pflanzenwachstums wären Verbesserungen erzielbar. Weiterhin würde eine Steigerung des Leguminosenanteils in allen Flächen die Stickstoffgehalte in den Böden erhöhen.
Durch eine Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen könnte die Entwicklung der Bodenstruktur, des Wasser- und Nährstoffflusses und der Erhalt bzw. die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit weiterhin untersucht werden. Es ist davon aus zu gehen, dass die Veränderungen bedingt durch die Umstellung der Bewirtschaftungsweise in den nächsten Jahren weiter gehen, da diese Entwicklungsprozesse eine längere Zeit benötigen und somit ihre Wirkung erst mittel- bis langfristig zeigen.

6 Literatur

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1983): Geologische Karte von Bayern 1:25.000. Blatt Nr. 6127 Volkach. München.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2001): Merkblatt Nr. 3.8/1 – Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer. München.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT [LFL] (Hrsg.) (2012): Bodenstruktur erkennen und beurteilen – Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. 6. Auflage. Freising – Weihenstephan.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (Hrsg.) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR AGRARÖKOLOGIE UND LANDBAU [FAL] (Hrsg.) (2002): Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln. Zürich.

EIJKELKAMP (Hrsg.) (2005): 09.06 Rainfall simulator – Operating instructions. Stand März 2005. Giesbeek.
[Download]
URL: http://www.eijkelkamp.com/files/media/Gebruiksaanwijzingen/EN/m1-0906erainfallsimulat.pdf
Zugriff am 16.12.2011 17:37 Uhr.

ELLENBERG, H., WEBER, H.,E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & PAULISSEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18. 3. erweiterte Auflage. Goltze, Göttingen.

FUCHS, G. (Hrsg.) & SCHLEGEL, H.G. (Begr.) (2007): Allgemeine Mikrobiologie. 8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

HUBERTUS BEUTLER GMBH (2013): Case study Oloid in horticulture – tomato grower. Marktbreit.

LINDACHER, R. (1995): PHANART – Datenbank der Gefäßpflanzen Mitteleuropas – Erklärung der Kennzahlen, Aufbau und Inhalt. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der eidgenössisch technischen Hochschule. 125. Heft. Stiftung Rübel, Zürich.

PATZWAHL, W. (2007): Bewässerung im Weinbau. Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

PATZWAHL, W. (2010): Vorhabensbeschreibung zum Projekt „Evaluation der Einführung eines Wassermanagementsystems für Weinberge im Trinkwasserschutzgebiet Volkach/Astheim".

RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

ROHMANN, U. & SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser – Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg - Berlin.

Gesetze und Normen:

DIN 18123 (1996): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung. November 1996. In: DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Hrsg.) (1998): DIN-Taschenbuch 113 – Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. 7. Auflage. Beuth Verlag, Berlin – Wien - Zürich.

DIN 18130-1 (1998): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil1: Laborversuche. Beuth Verlag, Berlin. Mai 1998. In: DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (Hrsg.) (1998): DIN-Taschenbuch 113 – Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. 7. Auflage. Beuth Verlag, Berlin – Wien - Zürich.

DIN 38409-7 (2005): Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Summarische Stoff- und Wirkungskenngrößen (Gruppe H) – Teil 7: Bestimmung der Säure- und Basekapazität (H7). Beuth Verlag, Berlin. Dezember 2005.

DIN 19746 (2005): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in Bodenprofilen (N_{min}-Laborverfahren). Beuth Verlag, Berlin. Juni 2005.

DIN 38405-D8 (1968): Bestimmung des Carbonat- und Hydrogencarbonations. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 13346 (2001): Charakterisierung von Schlämmen – Bestimmung von Spurenelementen und Phosphor – Extraktionsverfahren mit Königswasser. Beuth Verlag, Berlin. April 2001.

DIN EN ISO 6878 (2004): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Phosphor – Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat. Beuth Verlag, Berlin. September 2004.

DIN EN ISO 7027 (2000): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung. Beuth Verlag, Berlin. April 2000.

DIN EN ISO 10304-1 (2009): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie – Teil1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat. Beuth Verlag, Berlin. Juli 2009.

DIN EN ISO 11885 (2009): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES). Beuth Verlag, Berlin. September 2009.

DIN EN ISO 15587-1 (2002): Wasserbeschaffenheit – Aufschluss für die Bestimmung ausgewählter Elemente in Wasser – Teil1: Königswasser-Aufschluss. Beuth Verlag, Berlin. Juli 2002.

DIN ISO 10694 (1996): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse). Beuth Verlag, Berlin. August 1996.

DIN ISO 11261 (1997): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von Gesamt-Stickstoff – modifiziertes Kjeldahl-Verfahren. Beuth Verlag, Berlin. Mai 1997.

DIN ISO 11274 (2012): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens – Laborverfahren. Beuth Verlag, Berlin. April 2012.

DIN ISO 11465 (1996): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts auf Grundlage der Masse – Gravimetrisches Verfahren. Beuth Verlag, Berlin. Dezember 1996.

Weidenbach, den 30.04.2013

Projektleiter: Prof. Dr. Wilhelm Pyka

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing.(FH) Björn Haller

7 Anhang

Anhang 1: Gesamtlageplan des Projektgebietes

Anhang 2: Bericht der Firma W.A.S. Wasser- Abwasser Systemtechnik GmbH

Anhang 3: Ergebnisse der Wasserbeckenuntersuchungen (siehe beigefügter Datenträger)

Anhang 4: Prüfberichte der Chlorophyll-a/ Phaeopigment-Untersuchungen des Labors Agrolab (siehe beigefügter Datenträger)

Anhang 5: Ergebnisse der Phytoplanktonuntersuchungen 2011 und 2012 (siehe beigefügter Datenträger)

Anhang 6: Prüfberichte der Microcystin-Untersuchungen des Labors Eurofins (siehe beigefügter Datenträger)

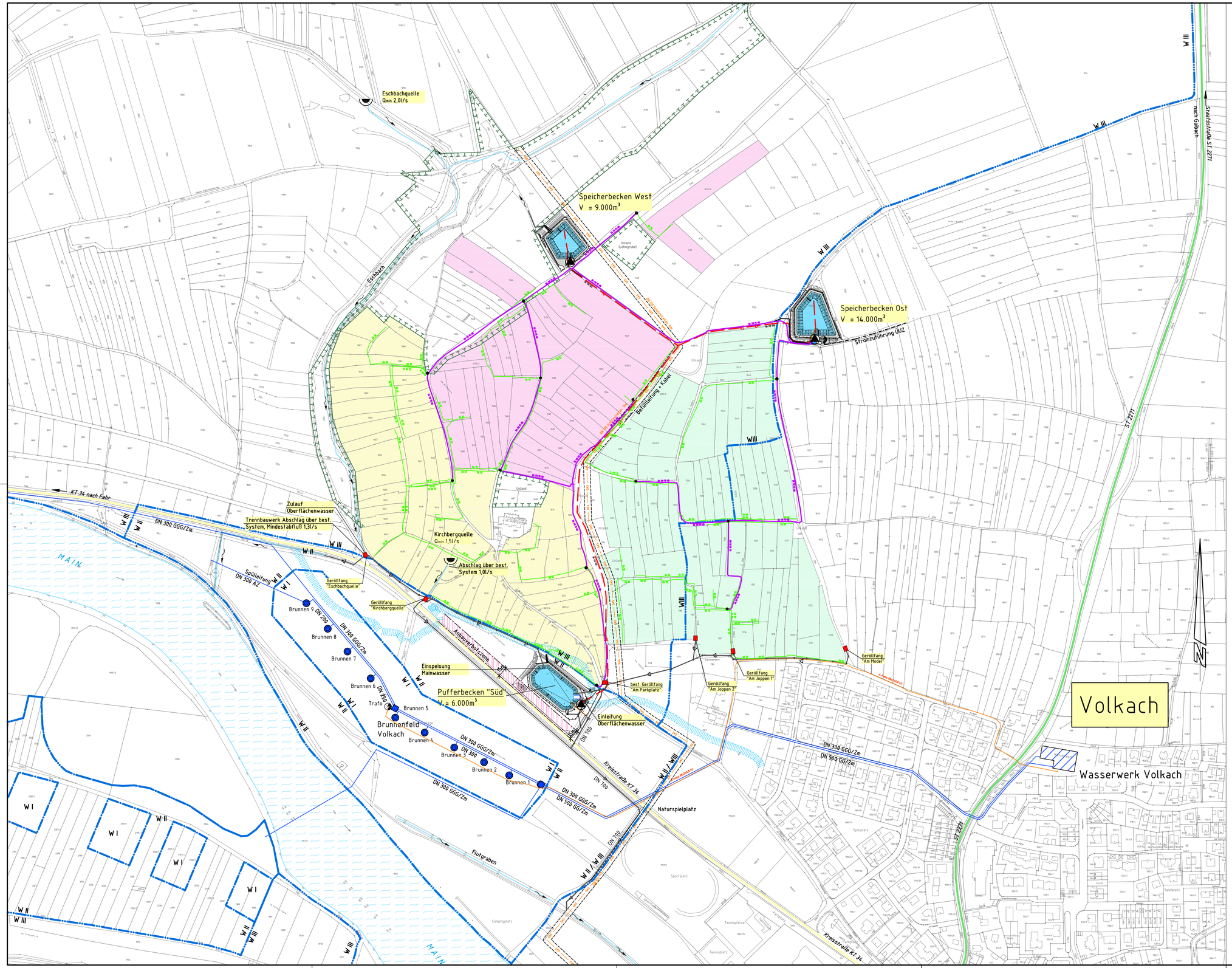
Anhang 7: Prüfberichte der Pflanzenschutzmittel-Untersuchungen des Labors Eurofins (siehe beigefügter Datenträger)

Anhang 8: Ergebnisse der Oberflächenabflussuntersuchungen (siehe beigefügter Datenträger)

Anhang 9: Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen

Anhang 10: Gesamtartenliste der Vegetationsaufnahme

Anhang 1: Gesamtlageplan des Projektgebietes



Zeichenerklärung

- Betropfungsgebiet I
- Betropfungsgebiet II
- Betropfungsgebiet III
- Naturschutzgebiet
- Trafo
- Pumpwerk
- Geröllfang
- Regenwasserkanal mit Schächten
- Quellen und Oberflächenzuläufe
- Zuleitung zu den Speicherbecken mit Kabel
- Zuleitung zu den Weinbergen mit Verteilerschacht
- Betropferleitungen
- Wasserleitung
- Stromleitung 20KV
- Fernwirkkabel und 6 KV-Leitung
- Schutzzone (bestehend)
- W I — Zone I = Fassungszone
- W II — Zone II = engere Schutzzone
- W III — Zone III = weitere Schutzzone
- Gasleitung (mit 10m Schutzstreifen)
- Brunnen
- Hochwasserspiegel HQ_{100} (197.74 m ü. NN)

Ausfertigung

Nr.	Änderungen	geändert	Name	geprüft	Name

Vorhaben: FWF-BA 124: Weinbergbetropfungsanlage "Vinaqua" in Volkach

Landkreis: Kitzingen

Vorhabensträger: Fernwasserversorgung Franken, Uffenheim

Bestandsplan

Plan - Nr. 1

	Tag	Name
entw.		
gez.	Aug. 2009	Juárez
gepr.	Okt. 2009	Eick

Maßstab: 1 : 2.500

Gesamtlageplan

Vorhabensträger:
Fernwasserversorgung Franken
Fernwasserstr. 2, 97215 Uffenheim

Entwurfsverfasser:
ARZ INGENIEURE
INGENIEURBÜRO FÜR BAUWESEN

Würzburg, 06.06.2011
1482

Anhang 2: Bericht der Firma W.A.S. Wasser- Abwasser Systemtechnik GmbH

WASSER-
ABWASSER
SYSTEMTECHNIK GMBH

Messprojekt Weihenstephan

Messstelle Volkach

Auftragnehmer:	W.A.S. Wasser- Abwasser Systemtechnik GmbH
Auftraggeber:	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Kundennummer:	10131
Projektnummer:	AG-5172
Erstellt am:	29.09.2011

Am Hafen 22 · 38112 Braunschweig · Telefon (0531) 310390 · Fax (0531) 313074 · E-Mail: info@was-bs.de · http://www.was-bs.de

Messprojekt Weihenstephan

1 Allgemeine Dokumentation 3
1.1 Ausführende Firma 3
1.2 Auftrag 3
2 Messsystem 3
2.1 Funktionsweise der Drucksonde 4
2.2 Funktionsweise des US-h Sensors 4
3 Messprinzip zur Durchflussmessung 5
4 Kalibrierung 7
5 Auswertung 8

Dokumentation der Durchflussmessung

1 Allgemeine Dokumentation

1.1 Ausführende Firma

Name:	W.A.S. Wasser-Abwasser Systemtechnik GmbH
Straße:	Am Hafen 22
PLZ, Ort:	38112 Braunschweig
Tel.:	(0531) 31 03 90
Fax:	(0531) 31 30 74
Internet:	www.was-bs.de
Projektbetreuer:	Norbert Kaufmann
E-Mail:	kaufmann@was-bs.de

1.2 Auftrag

Die W.A.S. GmbH wurde durch die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf zur Lieferung und Installation folgender Messtechnik beauftragt:

- Messumformer/ Datenlogger (Typ: MDS5)
- Q- Modul
- Strömungsprofilsensor nach dem Puls-Doppler-Prinzip
- Drucksonde
- GPRS/GSM- Modem
- Grenzwertschalter (zusätzlich zur Ansteuerung eines Probenehmers)
- Staurampe (Edelstahl)

2 Messsystem

Bezeichnung:	MDS5-UFO Stationär
Seriennummer:	C03163
Konfiguration:	Drucksonde, Ultraschallhöhenstand
Messtakt:	1 Minute
Telefonnr. (Modem):	0175/9025522

Kanal	Signal	Einheit	Messbereich
1	Wasserstand (Ultraschall)	cm	Bis Scheitel
3	Wasserstand (Drucksonde)	cm	0 m bis 3,5 m
5	Spannung	V	
6	Durchfluss	l/s	-3200 l/s bis 3200 l/s
7	Durchflusssumme	m³	
8	Stromausgang	mA	4 mA bis 20 mA = 0 l/s bis 60 l/s

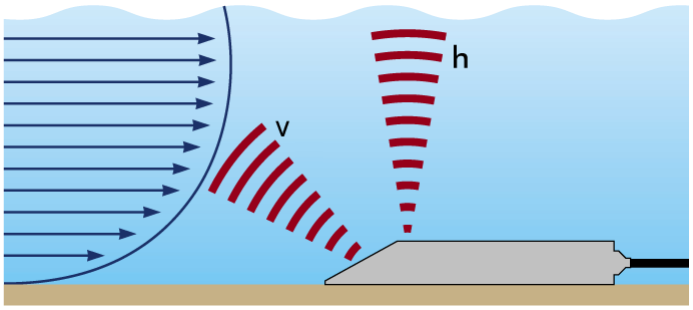
2.1 Funktionsweise der Drucksonde

Die eingesetzte Drucksonde besteht im Wesentlichen aus einer dünnen Membran, auf die ein DMS (Dehnungsmessstreifen) aufgedampft ist. Abhängig vom Wasserstand kommt es zu einer mehr oder weniger starken Verformung der Membran und somit auch des DMS. Die Verformung des Messstreifens führt zu einer Widerstands- und somit zu einer Spannungsänderung, die dem Wasserstand proportional ist.

Die anliegende Messspannung wird mittels A/D-Wandler in ein digitales Signal umgewandelt und im Datensammler als Messwert abgespeichert. Die Messung des Wasserstandes erfolgt stets gegen den Atmosphärendruck; aus diesem Grund ist im Kabel, das zur Drucksonde führt, ein so genannter Luftausgleichsschlauch integriert.

Genauigkeit:	+/- 0,1 % vom Endwert ≙ 0,001 m
Auflösung:	15 Bit

2.2 Funktionsweise des US-h Sensors



Der US-h-Sensor misst den Abstand von der Sensoroberkante bis zum Wasserspiegel nach dem US-Laufzeitverfahren. Die Sensorhöhe ist beim Abgleich des Sensors berücksichtigt.

Genauigkeit: +/- 1 mm

3 Messprinzip zur Durchflussmessung

Auf Grund des sehr starken Kanalgefälles (Froude-Zahl: > 1) wurde unterhalb der Sensoren ein Trapez-Wehr installiert. Die Form und Auswahl des Wehres wurde in Absprache mit dem Auftraggeber und der vorangegangenen Kalibriermessungen ausgewählt. Mittels der eingesetzten Drucksonde wird der Überfall des Wehres erfasst und mit der im Messsystem hinterlegten Matrix der Durchfluss berechnet.

Dimensionierung des Trapez-Wehres

Schwellenoberkante:	0,16 m
Schwellenlänge:	0,13 m bis 0,36 m
Kronenbreite:	0,003 m
Abstand zur DS:	0,3 m
Abstand zum US-h Sensor:	0,8 m

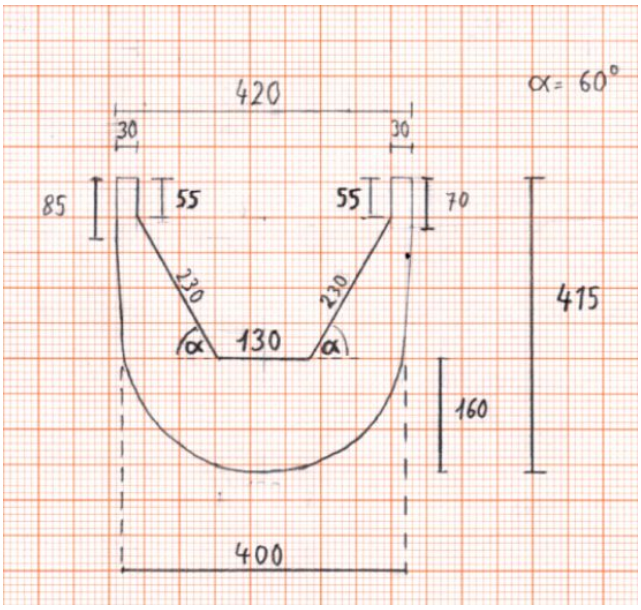
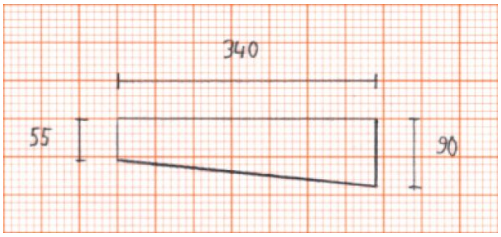


Abb. 1: Zeichnung des Trapez-Wehres mit Bemaßung in mm



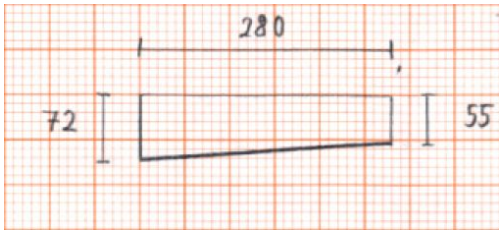


Abb. 2: Zeichnungen der beiden Seitenteile am Trapez-Wehr mit Bemaßung in mm

Abb. 3: Im Schaltschrank installiertes Messsystem

Abb. 4: Messwehr und Sensoren auf der Kanalsohle

4 Kalibrierung

Am 09.09.2011 erfolgte eine Kalibriermessung. Hierzu wurde oberhalb der stationären Messstelle ein Q-Detektor (induktives Messsystem für vollgefüllte Querschnitte) temporär eingebaut. Mittels eines Hydranten wurden verschiedene Abflüsse simuliert.

Abb. 5: Referenzmessgerät

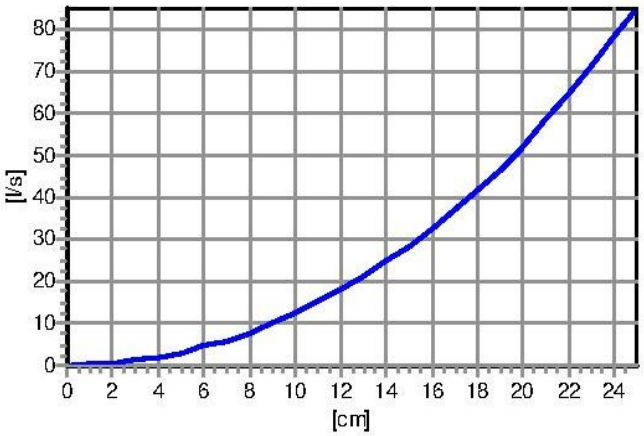


Abb. 6: Kalibrierte Matrix in grafischer Form

Punkt	x [cm]	f(x) [l/s]	Punkt	x [cm]	f(x) [l/s]
1	0,000	0,0000	14	13,000	21,3000
2	1,000	0,3000	15	14,000	24,8000
3	2,000	0,7000	16	15,000	28,5000
4	3,000	1,3000	17	16,000	32,6000
5	4,000	2,1000	18	17,000	36,9000
6	5,000	2,9000	19	18,000	41,5000
7	6,000	4,8000	20	19,000	46,4000
8	7,000	5,9000	21	20,000	51,6000
9	8,000	7,9000	22	21,000	58,3000
10	9,000	10,1000	23	22,000	64,9000
11	10,000	12,5000	24	23,000	71,6000
12	11,000	15,2000	25	24,000	78,3000
13	12,000	18,1000	26	25,000	84,9000

Tabelle 1: Kalibrierte Matrix in tabellarischer Form

5 Auswertung

Abbildung 7 zeigt zum einen die gemessenen Durchflüsse der Referenzmessung vom Q- Detektor und zum anderen die Durchflüsse der stationären Messeinrichtung ohne den durch die Referenzmessung ermittelten Kalibrierfaktor.

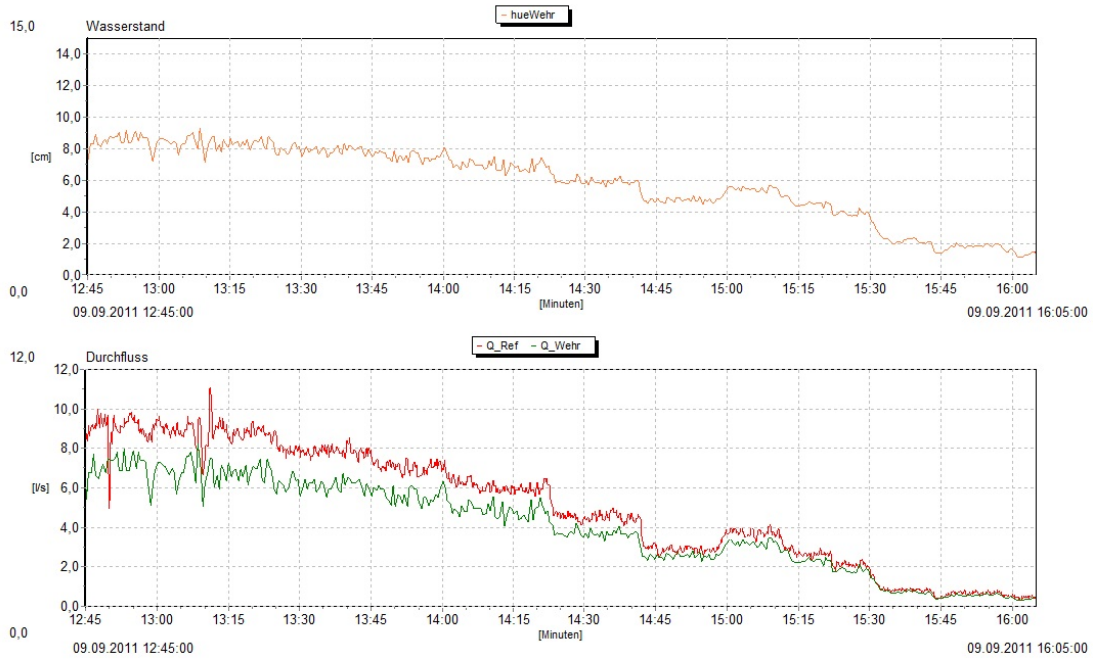


Abb. 7: Vergleich der Durchflussmengen von Q_Ref (rot) und Q_Wehr (grün)

Abbildung 8 zeigt die Messung der stationären Messeinrichtung unter Berücksichtigung des ermittelten Kalibrierfaktors. Die Messung wurde, wie man der Grafik entnehmen kann, im Bereich von 0 l/s bis 32 l/s kalibriert.

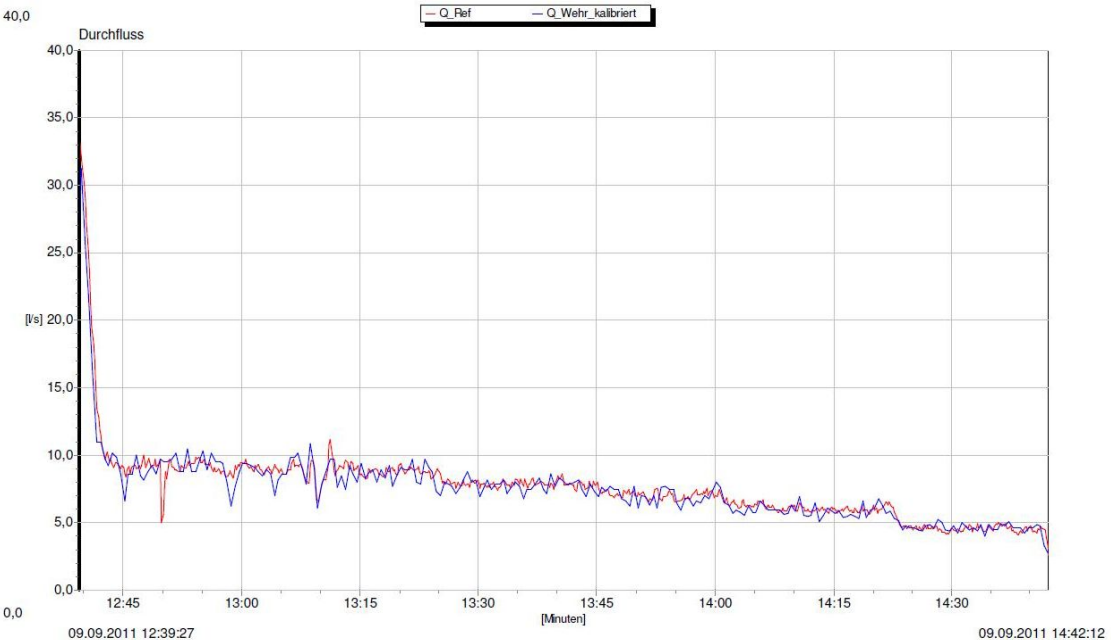


Abb. 8: Darstellung der Durchflussmengen aus der Referenzmessung (rot) und der kalibrierten Messung am Messwehr (blau)

Anhang 9: Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen

Tab. 7.1: Gesamtübersicht der Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen

		Nitrat-N der Bodenschicht [kg/ha]			
Probenbezeichnung	**Horizont uGOK [cm]**	Herbst 2010	Frühjahr 2011	Herbst 2011	Frühjahr 2012
Riesling oben alt	0 - 10	12	5	2	9
Riesling oben alt	11 - 30	39	10	4	10
Riesling oben alt	31 - 60	18	8	4	7
Riesling oben alt	61 - 90	14	9	3	4
Riesling unten alt	0 - 10	6	7	3	7
Riesling unten alt	11 - 30	10	7	3	10
Riesling unten alt	31 - 60	16	7	4	6
Riesling unten alt	61 - 90	14	5	3	6
Riesling oben neu	0 - 10	5	10	6	9
Riesling oben neu	11 - 30	7	8	5	9
Riesling oben neu	31 - 60	18	18	2	11
Riesling oben neu	61 - 90	22	9	3	8
Riesling unten neu	0 - 10	4	8	5	8
Riesling unten neu	11 - 30	15	11	9	11
Riesling unten neu	31 - 60	20	11	7	6
Riesling unten neu	61 - 90	23	17	5	5
Spätburgunder oben alt	0 - 10	5	6	8	7
Spätburgunder oben alt	11 - 30	10	7	10	9
Spätburgunder oben alt	31 - 60	31	8	12	9
Spätburgunder oben alt	61 - 90	21	9	15	19
Spätburgunder unten alt	0 - 10	9	6	3	8
Spätburgunder unten alt	11 - 30	8	4	4	5
Spätburgunder unten alt	31 - 60	21	3	2	3
Spätburgunder unten alt	61 - 90	14	3	3	3
Spätburgunder oben neu	0 - 10	5	10	9	7
Spätburgunder oben neu	11 - 30	12	10	11	8
Spätburgunder oben neu	31 - 60	30	13	12	11
Spätburgunder oben neu	61 - 90	34	13	16	11
Spätburgunder unten neu	0 - 10	5	11	6	8
Spätburgunder unten neu	11 - 30	14	11	4	8
Spätburgunder unten neu	31 - 60	16	6	4	4
Spätburgunder unten neu	61 - 90	15	3	3	3
Silvaner oben alt	0 - 10	11	4	6	15
Silvaner oben alt	11 - 30	9	5	3	12
Silvaner oben alt	31 - 60	15	5	3	5
Silvaner oben alt	61 - 90	16	11	3	5
Silvaner unten alt	0 - 10	8	5	7	7
Silvaner unten alt	11 - 30	19	4	7	10
Silvaner unten alt	31 - 60	32	2	3	3
Silvaner unten alt	61 - 90	26	3	3	3
Silvaner oben neu	0 - 10	15	2	7	4
Silvaner oben neu	11 - 30	14	2	3	6
Silvaner oben neu	31 - 60	10	2	2	3
Silvaner oben neu	61 - 90	11	3	3	3
Silvaner unten neu	0 - 10	4	2	4	4
Silvaner unten neu	11 - 30	7	3	4	4
Silvaner unten neu	31 - 60	10	2	2	3
Silvaner unten neu	61 - 90	13	3	3	3

Tab. 7.2: Gesamtübersicht der Ergebnisse der tiefenhorizontierten Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehaltes in den Monitoringflächen im November 2010

Bestimmung des mineralischen Stickstoffs:

Projekt: Wassermanagement für Weinberge im Trinkwasserschutzgebiet
Datum: 12.11.2010
Probenahmedatum: 10.11.2010

M(N) [g/mol]	$M(NO_3^-)$ [g/mol]	$M(NH_4^+)$ [g/mol]	Einwaage [g]	Volumen [mL]
14	62	18	100	400

Tiefe [cm uGOK]	Trockenrohdichte [kg/dm³]
0-25	1,28
25-50	1,36
50-75	1,43
75-100	1,58

Proben-nummer	Probenbezeichnung	Horizont uGOK [cm]	Nitrat-Konzen-tration [mg/L]	Nitrat--N-Konzen-tration [mg/L]	Ammonium-Konzen-tration [mg/L]	Ammonium--N-Konzen-tration [mg/L]	Wasser-gehalt nach 2/3. Trocknung [%]	Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]	Trockenroh-dichte [kg/dm³]	Nitrat-N Massenanteil im Trockenboden [mg/kg]	Nitrat-N der Boden- schicht [kg/ha]	Nitrat-N der Boden-schicht, summarisch [kg/ha]	Ammonium-N Massenanteil im Trockenboden [mg/kg]	Ammonium-N der Boden-schicht [kg/ha]	Ammonium-N der Boden-schicht, summarisch [kg/ha]	mineralischer Stickstoff Massenanteil im Trockenboden [mg/kg]	mineralischer Stickstoff der Boden- schicht [kg/ha]	mineralischer Stickstoff der Boden- schicht, summarisch [kg/ha]	Anteil des Ammonium-N am N_min Stickstoff-Gehalt [%]
1	Riesling oben alt	0 - 10	7,4	1,7	0,06	0,05	29,9	1	1,28	9,2	12		0,26	0,33		9,4	12		2,7
2	Riesling oben alt	11 - 30	12,9	2,9	0,03	0,02	23,3	2	1,30	15,0	39		0,10	0,26		15,1	39		0,7
3	Riesling oben alt	31 - 60	3,6	0,8	0,00	0,00	24,0	3	1,38	4,2	18		0,00	0,00		4,2	18		0,0
4	Riesling oben alt	61 - 90	2,7	0,6	0,05	0,04	21,4	3	1,50	3,1	14	82	0,20	0,89	1,5	3,3	15	84	6,0
5	Riesling unten alt	0 - 10	3,7	0,8	0,05	0,04	33,9	1	1,28	4,8	6		0,20	0,26		5,0	6		4,0
6	Riesling unten alt	11 - 30	3,2	0,7	0,00	0,00	24,0	2	1,30	3,7	10		0,00	0,00		3,7	10		0,0
7	Riesling unten alt	31 - 60	3,3	0,7	0,00	0,00	24,6	3	1,38	3,9	16		0,00	0,00		3,9	16		0,0
8	Riesling unten alt	61 - 90	2,8	0,6	0,02	0,02	21,6	3	1,50	3,2	14	46	0,08	0,36	0,6	3,3	15	47	2,4
9	Riesling oben neu	0 - 10	3,1	0,7	0,00	0,00	26,3	1	1,28	3,7	5		0,00	0,00		3,7	5		0,0
10	Riesling oben neu	11 - 30	2,4	0,5	0,00	0,00	23,6	2	1,30	2,8	7		0,00	0,00		2,8	7		0,0
11	Riesling oben neu	31 - 60	3,9	0,9	0,00	0,00	21,1	3	1,38	4,5	18		0,00	0,00		4,5	18		0,0
12	Riesling oben neu	61 - 90	4,3	1,0	0,01	0,01	21,1	3	1,50	4,9	22	52	0,04	0,18	0,2	4,9	22	53	0,8
13	Riesling unten neu	0 - 10	2,2	0,5	0,01	0,00	30,8	1	1,28	2,8	4		0,02	0,03		2,8	4		0,8
14	Riesling unten neu	11 - 30	4,9	1,1	0,00	0,00	26,2	2	1,30	5,8	15		0,00	0,00		5,8	15		0,0
15	Riesling unten neu	31 - 60	4,2	0,9	0,01	0,01	22,8	3	1,38	4,9	20		0,04	0,17		4,9	20		0,8
16	Riesling unten neu	61 - 90	4,6	1,0	0,06	0,05	21,1	3	1,50	5,2	23	62	0,24	1,06	1,3	5,4	24	64	4,3
17	Spätburgunder oben alt	0 - 10	3,3	0,7	0,00	0,00	25,7	1	1,28	3,9	5		0,00	0,00		3,9	5		0,0
18	Spätburgunder oben alt	11 - 30	3,6	0,8	0,01	0,00	19,8	2	1,30	4,0	10		0,02	0,05		4,0	10		0,5
19	Spätburgunder oben alt	31 - 60	6,7	1,5	0,00	0,00	19,6	3	1,38	7,5	31		0,00	0,00		7,5	31		0,0
20	Spätburgunder oben alt	61 - 90	4,2	0,9	0,04	0,03	19,3	3	1,50	4,7	21	68	0,14	0,61	0,7	4,8	22	68	2,8
21	Spätburgunder unten alt	0 - 10	5,6	1,3	0,00	0,00	27,5	1	1,28	6,7	9		0,00	0,00		6,7	9		0,0
22	Spätburgunder unten alt	11 - 30	2,8	0,6	0,00	0,00	23,2	2	1,30	3,3	8		0,00	0,00		3,3	8		0,0
23	Spätburgunder unten alt	31 - 60	4,5	1,0	0,00	0,00	19,7	3	1,38	5,0	21		0,00	0,00		5,0	21		0,0
24	Spätburgunder unten alt	61 - 90	2,9	0,6	0,00	0,00	17,7	3	1,50	3,1	14	52	0,00	0,00	0,0	3,1	14	52	0,0
25	Spätburgunder oben neu	0 - 10	3,1	0,7	0,11	0,08	24,8	1	1,28	3,7	5		0,43	0,55		4,1	5		10,4
26	Spätburgunder oben neu	11 - 30	4,3	1,0	0,00	0,00	18,8	2	1,30	4,7	12		0,00	0,00		4,7	12		0,0
27	Spätburgunder oben neu	31 - 60	6,3	1,4	0,00	0,00	21,8	3	1,38	7,2	30		0,00	0,00		7,2	30		0,0
28	Spätburgunder oben neu	61 - 90	6,9	1,5	0,08	0,06	18,7	3	1,50	7,6	34	81	0,31	1,38	1,9	7,9	36	83	3,9
29	Spätburgunder unten neu	0 - 10	3,5	0,8	0,05	0,04	23,8	1	1,28	4,0	5		0,18	0,23		4,2	5		4,3
30	Spätburgunder unten neu	11 - 30	4,9	1,1	0,04	0,03	21,4	2	1,30	5,6	14		0,16	0,41		5,7	15		2,8
31	Spätburgunder unten neu	31 - 60	3,3	0,7	0,01	0,01	21,0	3	1,38	3,8	16		0,04	0,16		3,8	16		1,0
32	Spätburgunder unten neu	61 - 90	3,0	0,7	0,04	0,03	18,1	3	1,50	3,3	15	50	0,15	0,69	1,5	3,5	16	52	4,4
33	Silvaner oben alt	0 - 10	7,4	1,7	0,01	0,01	22,5	1	1,28	8,6	11		0,04	0,05		8,6	11		0,5
34	Silvaner oben alt	11 - 30	3,0	0,7	0,00	0,00	20,9	2	1,30	3,4	9		0,02	0,05		3,4	9		0,6
35	Silvaner oben alt	31 - 60	3,2	0,7	0,00	0,00	21,9	3	1,38	3,7	15		0,00	0,00		3,7	15		0,0
36	Silvaner oben alt	61 - 90	3,2	0,7	0,00	0,00	19,4	3	1,50	3,5	16	51	0,00	0,00	0,1	3,5	16	51	0,0
37	Silvaner unten alt	0 - 10	5,2	1,2	0,01	0,01	27,1	1	1,28	6,2	8		0,04	0,05		6,3	8		0,7
38	Silvaner unten alt	11 - 30	6,4	1,4	0,01	0,01	22,9	2	1,30	7,4	19		0,04	0,10		7,5	19		0,5
39	Silvaner unten alt	31 - 60	6,6	1,5	0,00	0,00	23,0	3	1,38	7,6	32		0,00	0,00		7,6	32		0,0
40	Silvaner unten alt	61 - 90	5,1	1,1	0,00	0,00	22,8	3	1,50	5,9	26	85	0,00	0,00	0,2	5,9	26	86	0,0
41	Silvaner oben neu	0 - 10	10,2	2,3	0,01	0,00	22,5	1	1,28	11,7	15		0,02	0,03		11,8	15		0,2
42	Silvaner oben neu	11 - 30	4,6	1,0	0,02	0,02	21,3	2	1,30	5,2	14		0,08	0,21		5,3	14		1,5
43	Silvaner oben neu	31 - 60	2,2	0,5	0,01	0,00	20,9	3	1,38	2,5	10		0,02	0,08		2,5	10		0,8
44	Silvaner oben neu	61 - 90	2,2	0,5	0,00	0,00	22,2	3	1,50	2,5	11	50	0,00	0,00	0,3	2,5	11	51	0,0
45	Silvaner unten neu	0 - 10	2,4	0,5	0,00	0,00	26,3	1	1,28	2,9	4		0,00	0,00		2,9	4		0,0
46	Silvaner unten neu	11 - 30	2,2	0,5	0,01	0,01	24,0	2	1,30	2,6	7		0,04	0,11		2,6	7		1,5
47	Silvaner unten neu	31 - 60	2,2	0,5	0,00	0,00	20,6	3	1,38	2,5	10		0,00	0,00		2,5	10		0,0
48	Silvaner unten neu	61 - 90	2,6	0,6	0,00	0,00	19,3	3	1,50	2,9	13	34	0,00	0,00	0,1	2,9	13	34	0,0

Anmerkung:

Bei Nitrat-Werten < 2,2 mg/L wurde manuell der Wert von 2,2 mg/L zur Ermittlung der Bestimmungsgrenze der jeweligen Gehalte in [mg/kg], [kg/ha] in der Spalte D eingetragen.

Anteil des Ammonium-N >= 1 % bis 5 % bezogen auf Gesamtgehalt des mineralischen Stickstoffs
Anteil des Ammonium-N >= 5 % bezogen auf Gesamtgehalt des mineralischen Stickstoffs

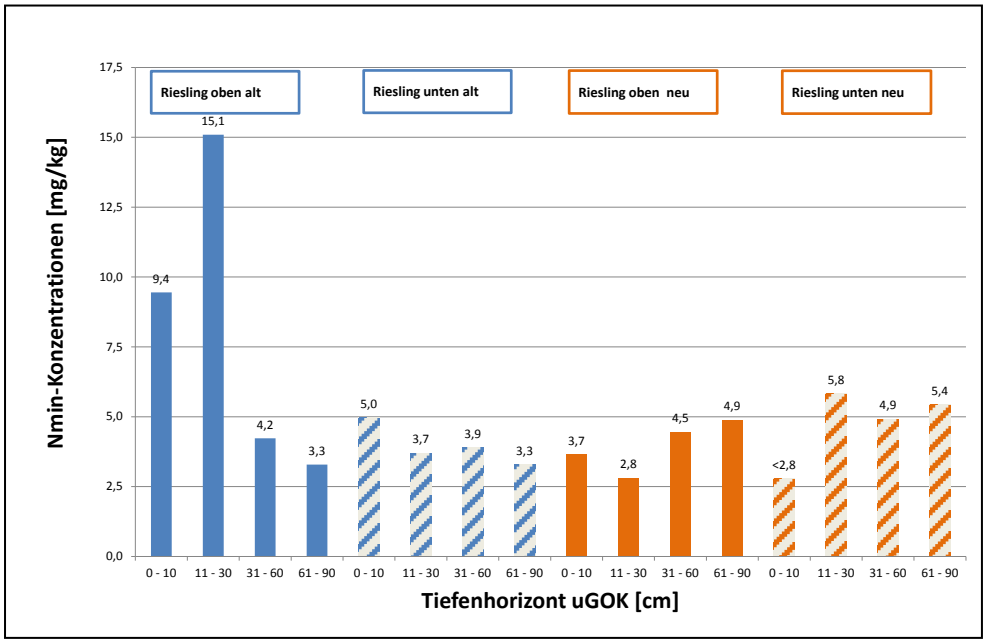


Abb. 7.1: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010

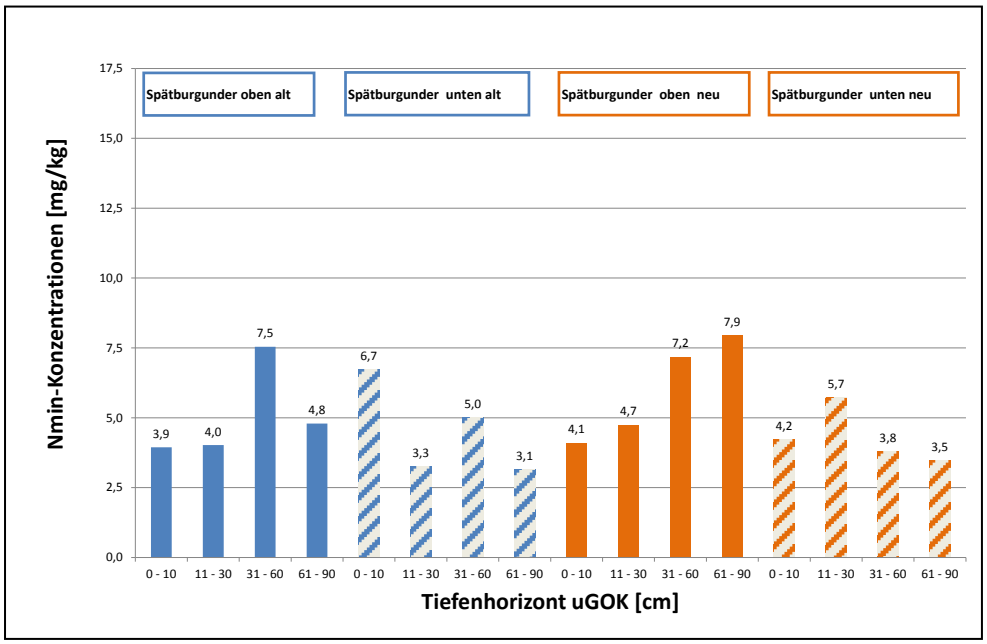


Abb. 7.2: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010

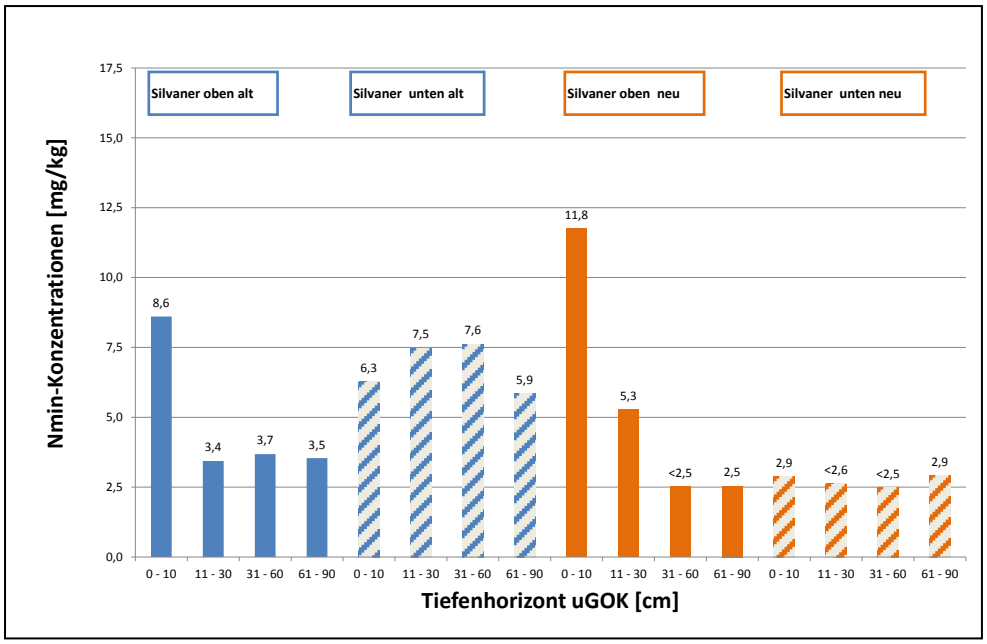


Abb. 7.3: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im November 2010

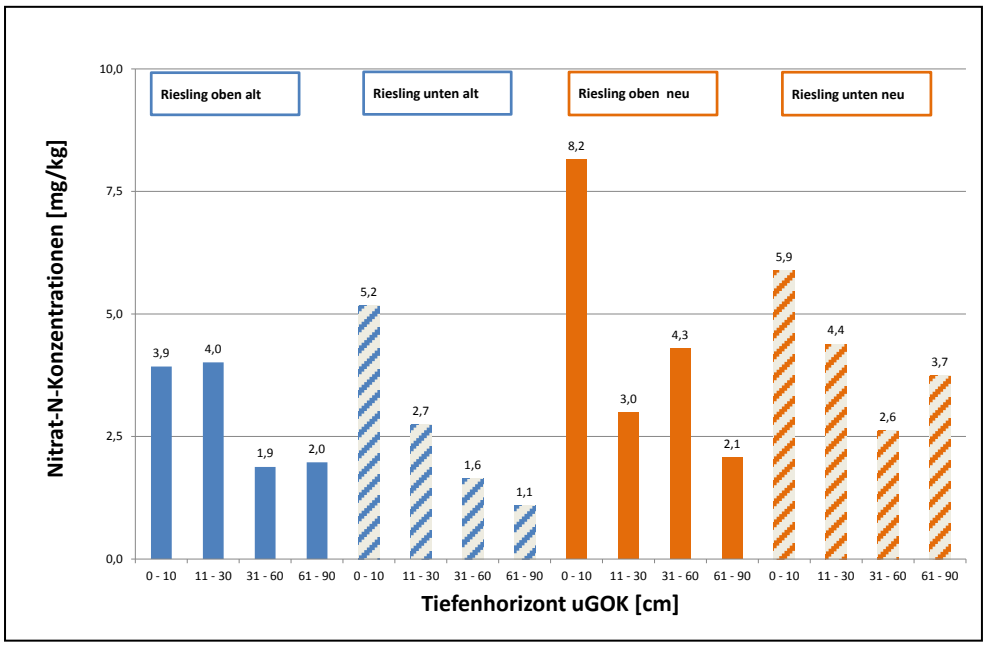


Abb. 7.4: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011

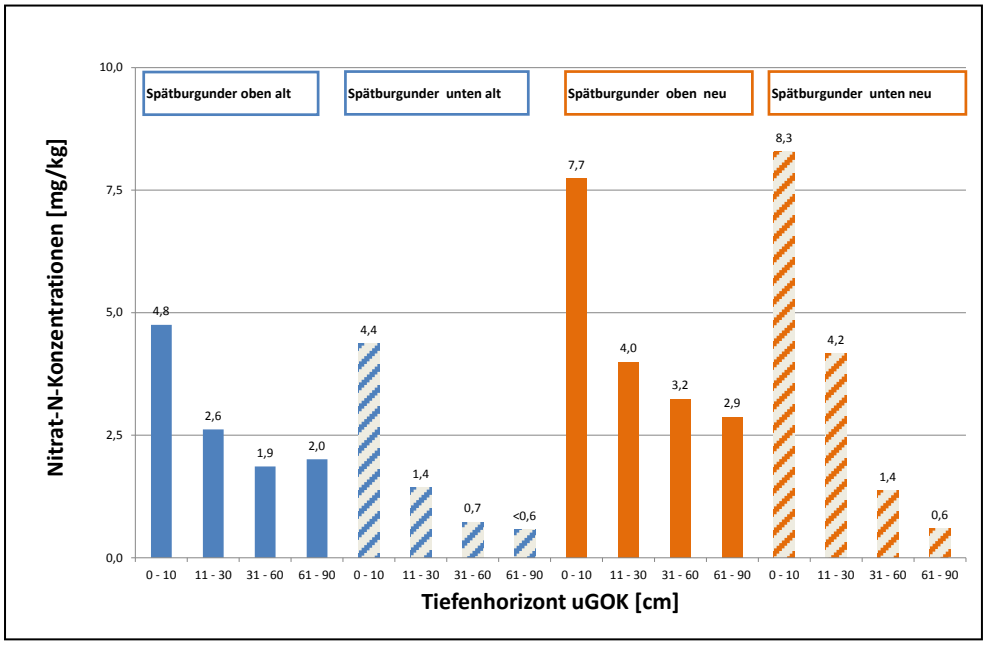


Abb. 7.5: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder" in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011

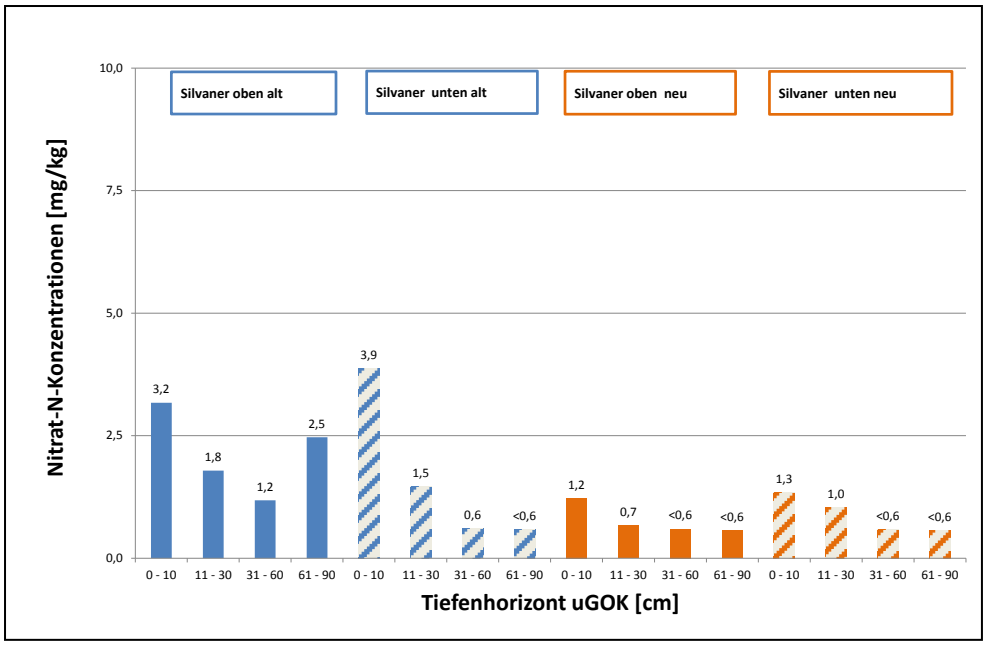


Abb. 7.6: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner" in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im April 2011

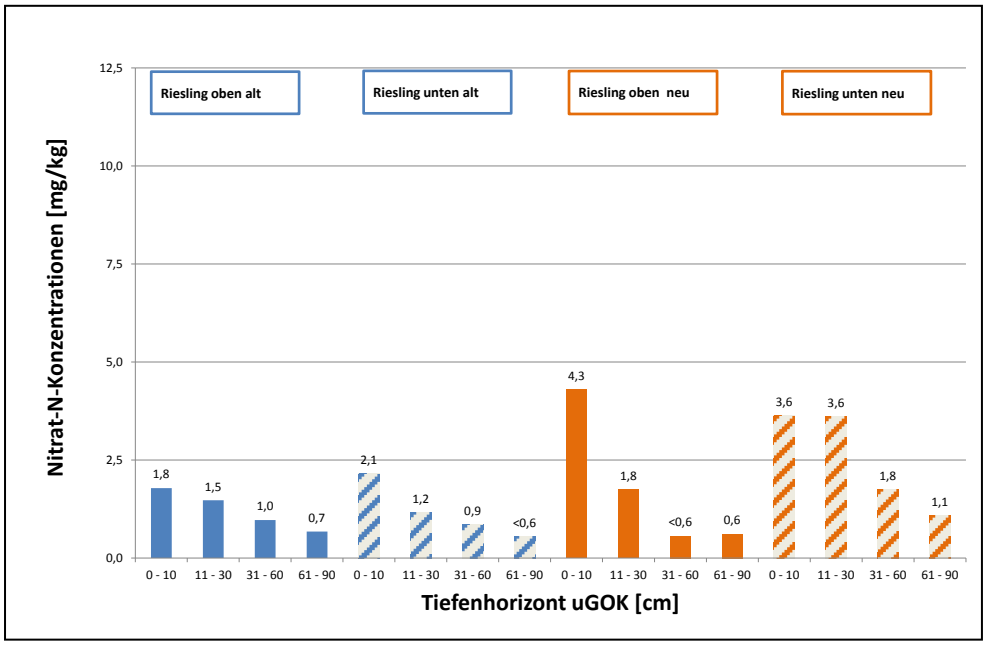


Abb. 7.7: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011

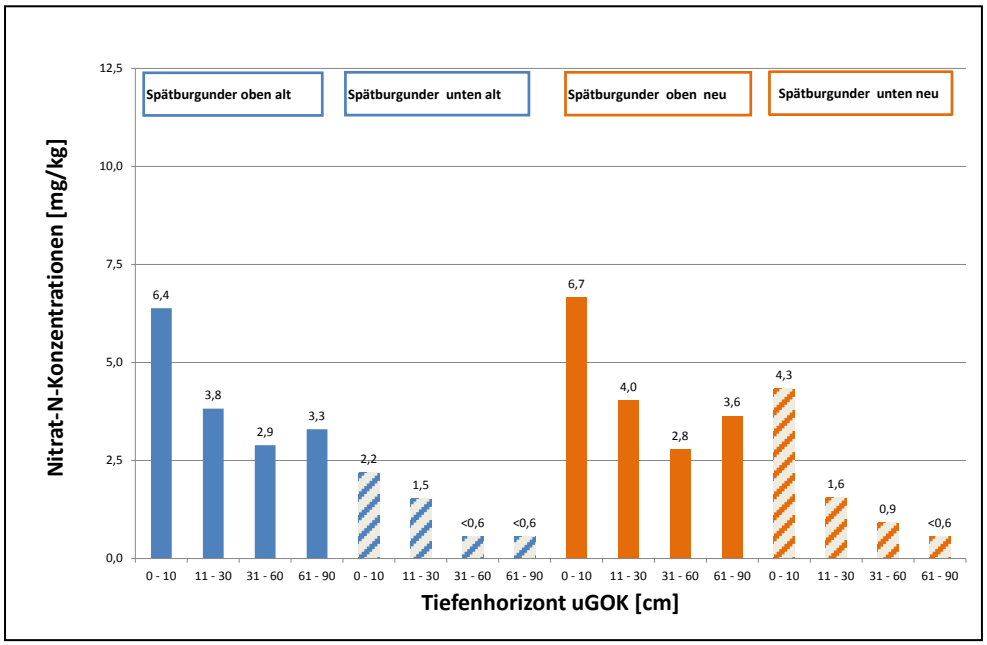


Abb. 7.8: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011

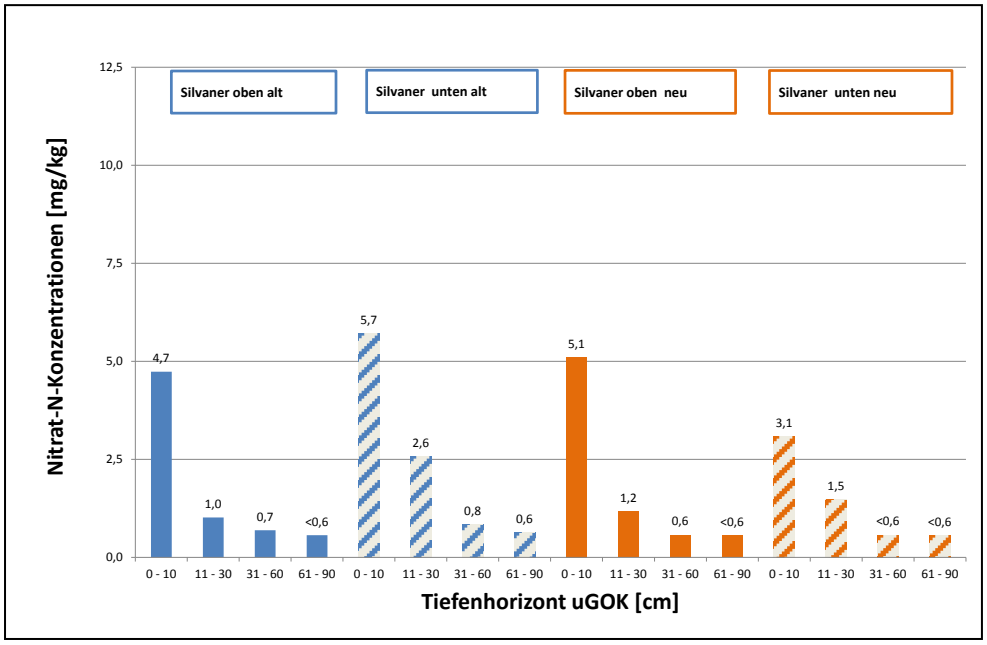


Abb. 7.9: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im Oktober 2011

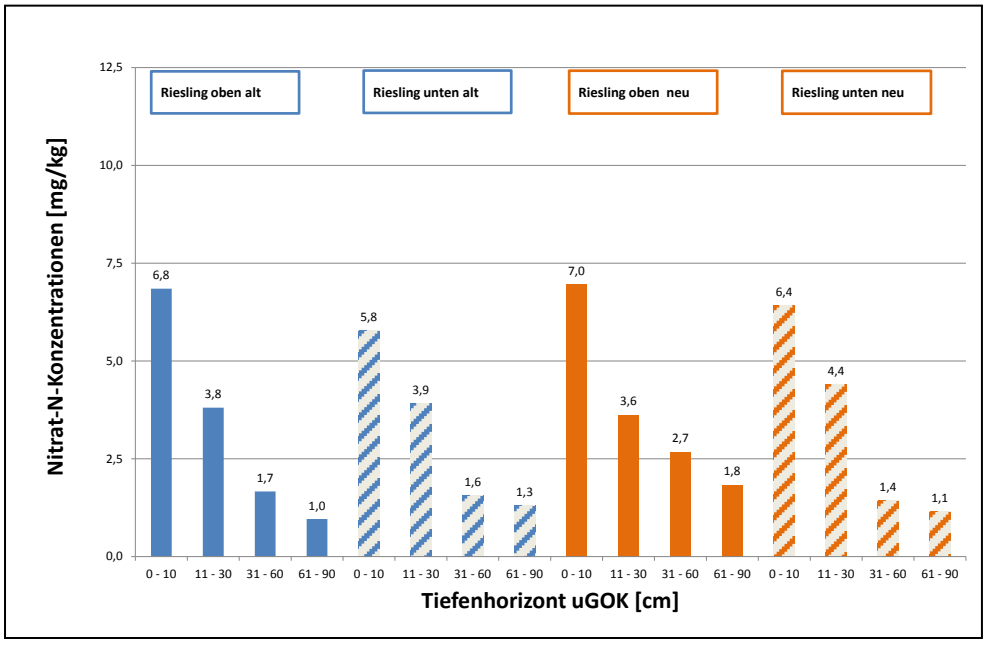


Abb. 7.10: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Riesling“ in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012

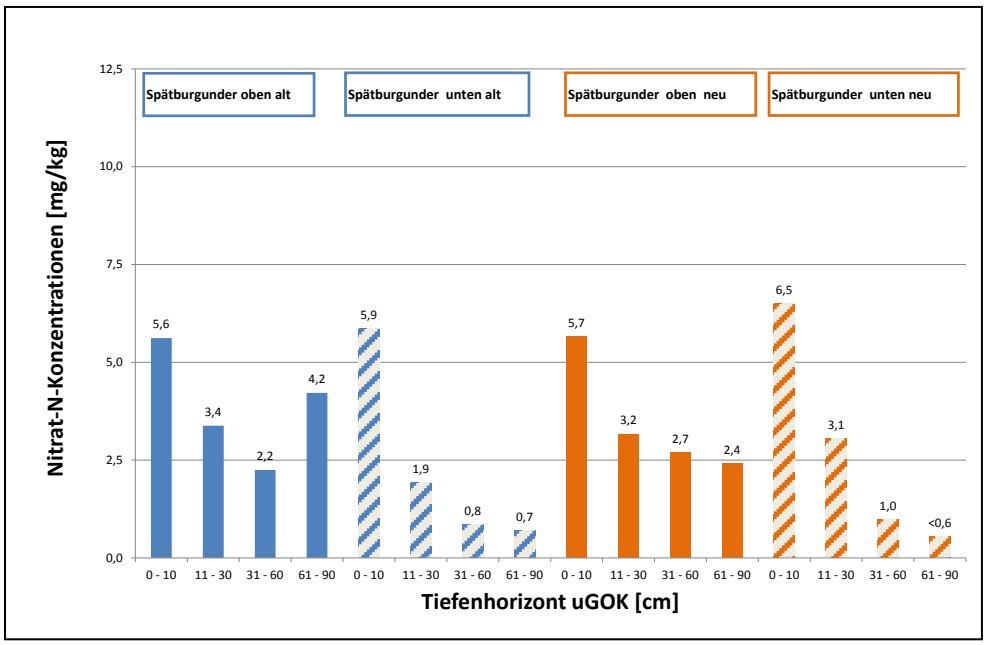


Abb. 7.11: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Spätburgunder" in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012

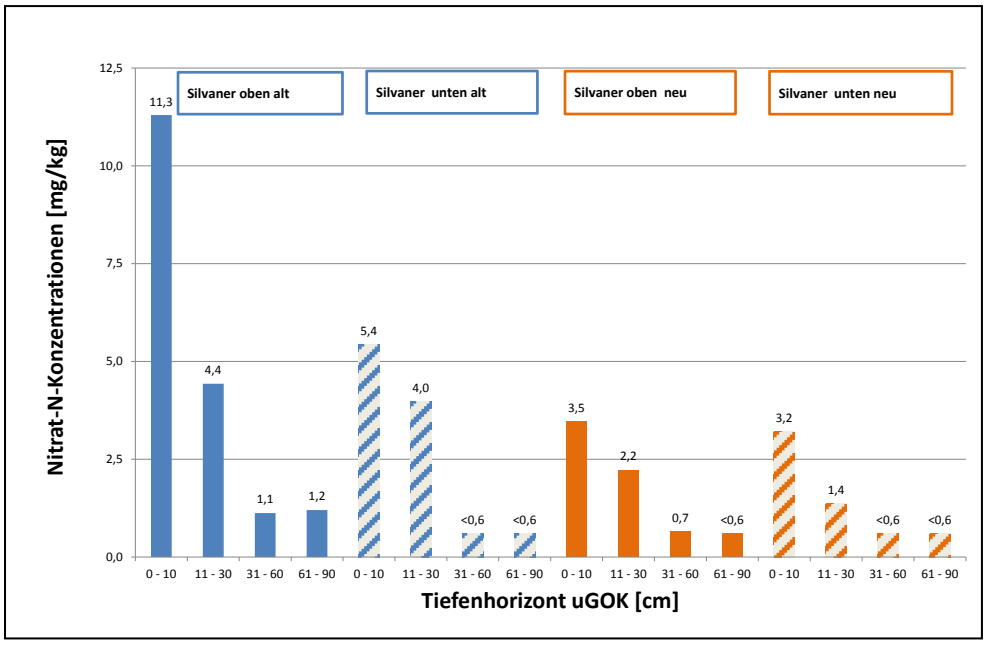


Abb. 7.12: Konzentrationen an mineralischem Stickstoff [mg/kg] in verschiedenen Tiefenhorizonten der Monitoringfläche „Silvaner" in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise (alt/ neu) und der Hanglage (oben/ unten) im März 2012

Anhang 10: Gesamtartenliste der Vegetationsaufnahme

Tab. 7.3: Gesamtartenliste der Vegetationsaufnahme vom 02. Juli 2012

lateinischer Name	deutscher Name	N	LF	F	R	D	Leguminose	Vermerk
Acer campestre	Feld-Ahorn	6	P	5	7	4	nein	
Achillea millefolium	Gemeine Schafgarbe	5	H,C	4	x	4	nein	
Agropyron repens	Kriechende Quecke	7	G	x	x	3	nein	
Agrostis tenius	Rotes Straußgras	4	H	x	4	4	nein	
Allium oleraceum	Roßlauch	4	G	3	7	4	nein	
Alopecurus myosuroides	Acker-Fuchsschwanz	6	T	5	7	4	nein	
Amaranthus retroflexus	Rauhaariger Fuchsschwanz	7	T	4	7	3	nein	
Arrhenatherum elatior	Glatthafer	7	H	x	7	4	nein	
Bromus hordeaceus	Weiche Trespe	3	T	x	x	4	nein	3
Bromus sterilis	Taube Trespe	5	T	4	x	4	nein	
Capsella bursa-pastoris	Gemeines Hirtentäschelkraut	6	T	5	x	4	nein	
Cardaria draba	Pfeil-Kresse	4	H,G	3	8	4	nein	3
Chenopodium album	Weißer Gänsefuß	7	T	4	x	4	nein	
Cirsium arvense	Acker-Kratzdistel	7	G	x	x	4	nein	
Convolvulus arvense	Ackerwinde	x	G,Hli	4	7	4	nein	
Conyza canadensis	Kanadischer Katzenschweif	5	T,H	4	x	3	nein	3
Dactylis glomerata	Wiesen-Knäuelgras	6	H	5	x	4	nein	
Daucus carota	Wilde Möhre	4	H	4	x	3	nein	
Descurainia sophia	Besenrauke	6	T	4	x	4	nein	1
Digitaria ischaemus	Faden-Fingergras	3	T	5	2	4	nein	
Diplotaxis muralis	Mauer-Doppelsame	5	T	4	8	3	nein	1
Epilobium tetragonum	Vierkantiges Weidenröschen	5	H,C	8	6	5	nein	3
Festuca pratensis	Wiesen-Schwingel	6	H	6	x	4	nein	
Festuca rubra	Rot-Schwingel	x	H	6	6	4	nein	
Geranium dissectum	Schlitzblättriger Storchschnabel	5	T	5	8	4	nein	
Geranium molle	Weicher Storchschnabel	4	T	4	5	3	nein	
Geum urbanum	Echte Nelkenwurz	7	H	5	x	4	nein	
Lathyrus tuberosus	Knollen-Platterbse	4	Hli	4	8	5	ja	
Lepidium densiflorum	Dichtblütige Kresse	6	T,H	4	7	3	nein	
Lolium perenne	Ausdauernder Lolch	7	H	5	7	5	nein	
Lotus corniculatus	Gewöhnlicher Hornklee	3	H	4	7	4	ja	
Medicago lupolina	Hopfen-Klee	x	T,H	4	8	4	ja	vmtl. eingesät
Medicago sativa	Saat-Luzerne	x	H	4	7	3	ja	1
Melilotus officinalis	Echter Steinklee	3	H	3	8	3	ja	
Onobrychis viciifolia	Saat-Esparsette	3	H	3	8	4	ja	
Plantago lanceolata	Spitz-Wegerich	x	H	x	x	4	nein	
Poa angustifolia	Schmalblättriges Wiesen-Rispengras	3	H,G	x	x	4	nein	
Poa annua	Einjähriges Rispengras	8	T,H	6	x	4	nein	
Poa pratensis	Wiesen-Rispengras	6	H,G	5	x	4	nein	
Polygonum aviculare	Vogelknöterich	6	T	4	x	5	nein	
Rosa spec.	Rosengewächs	3, 4, 5	N	3, 4	7, 8	4	nein	1,2
Rumex obtusifolius	Stumpfblättriger Ampfer	9	H	6	x	4	nein	
Sanguisoba minor	Kleiner Wiesenknopf	2	H	3	8	4	nein	
Senecio vulgaris	Gewöhnliches Greiskraut	8	T,H	5	x	4	nein	
Sonchus asper	Rauhe Gänsedistel	7	T	6	7	4	nein	
Stellaria media	Gewöhnliche Vogelmire	8	T	x	7	4	nein	
Taraxacum officinale	Wiesen-Löwenzahn	8	H	5	x	4	nein	
Tragopogon dubius	Großer Bocksbart	4	H	4	8	4	nein	1
Trifolium pratense	Rot-Klee	x	H	5	x	4	ja	
Veronica arvensis	Feld-Ehrenpreis	x	T	x	6	4	nein	
Veronica persica	Persischer Ehrenpreis	7	T	5	7	4	nein	
Vulpia myuros	Mäuseschwanz-Federschwingel	1	T	2	5	3	nein	1

Legende:

N	Stickstoffzahl: von 1 (extremer Stickstoffarmutzeiger) bis 9 (übermäßiger Stickstoffzeiger)
LF	Lebensformtyp: „G“ ≙ Geophyt; „H“ ≙ Hemikryptophyt; „li“ ≙ Liane; „C“ ≙ krautiger Chamerophyt; „N“ ≙ Nanophanerophyt; „P“ ≙ Phanerophyt; „T“ ≙ Therophyt
F	Feuchtezahl: von 1 (Starktrockniszeiger) bis 9 (Nässezeiger)
R	Reaktionszahl: von 1 (Starksäurezeiger) bis 9 (Basen- und Kalkzeiger)
D	Dispersitätszahl: „1“ ≙ Felspflanze; „2“ ≙ Geröll-, Kies- und Schuttpflanze; „3“ ≙ Zeiger leichter Böden; „4“ ≙ Zeiger schwerer Böden; „5“ ≙ Ton- und Torfzeiger; „6“ ≙ Zeiger für beweglichen Schutt
„x“	Nicht angegeben
Leguminose	Zugehörigkeit zur Familie der Hülsenfrüchtler *Fabaceae* oder auch *Leguminosae* genannt
Vermerk „1“	Daten stammen aus LINDACHER (1995)
Vermerk „2“	Zeigerwerte bilden einen Mittelwert mehrerer Arten
Vermerk „3“	Dispersitätszahl wurde von Prof. Dr. U. Asmus fachlich eingestuft