



Umwelt und Geologie

Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 7

2. überarbeitete Auflage

Die Weinbergsböden von Hessen



Umwelt und Geologie
Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 7, 2. überarbeitete Ausgabe

Die Weinbergsböden von Hessen

Wiesbaden, 2022

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Impressum

Umwelt und Geologie
Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 7, 2. überarbeitete Auflage

ISSN 1610-5931
ISBN 978-3-89531-618-0

Die Weinbergsböden von Hessen

Bearbeiter: Dr. Peter Böhm
Dr. Klaus Friedrich Umweltamt Wiesbaden
KatrIn Lügger HLNUG, Dez. G3
Prof. Dr. Karl-Josef Sabel

Titelbild: Weinberg an der Flörsheimer Warte
(Foto: Nico Schuhmacher)

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611/69 39-111
Telefax: 0611/69 39-113
E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Vorwort



Böden sind wertvoll und lebensnotwendig. Nicht allein, weil sie die Lebensgrundlage für Flora und Fauna und den Menschen sind, weil wir auf ihnen unsere Nahrung produzieren, sondern auch, weil sie Schadstoffe speichern und abbauen und so Sickerwasser

und Grundwasser schützen. Sie haben auch interessante Geschichten zu erzählen, und sie können einer Landschaft und ihren typischen Produkten, z. B. dem Wein, einen unverwechselbaren Charakter verleihen.

Dieser unverwechselbare Charakter stellt ein Qualitätsmerkmal der Weine dar und wird gemäß eines in Frankreich entstandenen Konzeptes als Terroir bezeichnet.

Terroir kann sinngemäß als „Herkunft“ oder „Heimat“ des Weines übersetzt werden und soll die Charakteristika einzelner Weinbaugebiete, das Zusammenspiel der natürlichen Standortfaktoren mit der

Arbeit der Winzerin oder des Winzers beschreiben. Von Bedeutung sind dabei neben der Kunst des Kelterns die Expertise im Winzerhandwerk, das Klima und vor allem die Böden und ihr Ausgangsgestein. Der Bedeutung des Bodens im Weinbau trug auch das Kuratorium des „Boden des Jahres“ Rechnung. Im Jahr 2014 wurde der Weinbergsboden als Boden des Jahres gekürt.

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) möchte mit dieser Broschüre Winzerinnen, Winzer und Weinbegeisterte in Hessen anregen, sich die „Bodenwelt“ ihrer Weine zu erschließen.

Mit der zweiten überarbeiteten Auflage wurde eine Vielzahl von Aspekten aktualisiert. Ein Beispiel sei der Weinbaustandortviewer, der mittlerweile in der zweiten Auflage mit aktuellen Daten und erweiterter Funktionalität vorliegt.

Dr. Thomas Schmid

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Präsident
des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Inhalt

Vorwort	3
Inhalt	4
1 Boden und Wein, geowissenschaftliche Aspekte des Terroirs	5
2 Entstehung der heutigen Weinbergböden	7
3 Gesteine, Böden und Bodenzustand der Weinbaugebiete Hessens	9
3.1 Oberer Rheingau	11
3.2 Unterer Rheingau	13
3.3 Hessische Bergstraße	14
3.4 Kleine Bergstraße (Odenwälder Weininsel)	15
3.5 Überprägung der natürlichen Böden	15
3.5.1 Rigolen der Böden	15
3.5.2 Bodenerosion	17
3.5.3 Stofflicher Bodenzustand	18
3.5.4 Flurneuordnung	22
3.5.5 Maßnahmen bei der Neuanlage von Weinbergen	23
3.6 Weinbergslage und Bodenheterogenität	24
4 Verfügbare Daten zu Standortfaktoren der hessischen Weinbaugebiete	28
4.1 Weinbergsbodenkartierung und erste Bodenmanuskriptkarten	28
4.2 Der Weinbaustandortatlas als mittelmaßstäbige Betrachtungsebene	30
4.3 Die großmaßstäbige Weinbaustandortkarte für die Weinbaupraxis	31
4.4 Weinbaustandortinformation 1:5 000	32
4.4.1 Das Kartenwerk BFD5W	33
4.4.2 Der Weinbaustandortviewer	35
5 Schriftenverzeichnis	38

Abkürzungen

B(a)P	Benzo(a)pyren
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
DDT	Dichlor-Diphenyl-Trichlorethan
dl-PCB	dioxinähnliche Polychlorierte Biphenyle
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, bis 2016 Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)
nFK	nutzbare Feldkapazität
PAK	Polyzyklische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
TM	Trockenmasse
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
WeinG	Deutsches Weingesetz
WHO-TEq	Toxizitätsäquivalent nach WHO (2005)

1 Boden und Wein, geowissenschaftliche Aspekte des Terroirs

Unter dem Begriff Terroir werden neben der Arbeit der Winzerin und des Winzers die natürlichen Faktoren zusammengefasst, die einen Weinberg kennzeichnen und Einfluss auf die Qualität und den Geschmack des Weines nehmen (Abb. 1). Die Kombination der Faktoren verleiht jeder Lage ihr bestimmtes Terroir, das sich in ihren Weinen über die Jahre mehr oder weniger einheitlich ausdrückt (GLADSTONES & SMART 2003, HOPPMANN et al. 2017). Unabhängig von den Bewirtschaftungsmethoden und der Weinbereitung wird dem Boden, synonym dem Gestein, zugeschrieben, den speziellen Charakter eines Weines zu prägen. Bodeneigenschaften bestimmen nicht allein das Wachstum der Reben, sondern beeinflussen auch den Charakter der Trauben, die Mineralität ihres Saftes und folglich auch den Geschmack des Weines.

Reben nutzen den Boden nicht nur zur Verankerung, sondern in erster Linie zur Wasser- und Nährstoffaufnahme. Die pflanzenphysiologisch relevanten Eigenschaften des Bodensubstrates sind seine Mineralogie, der Kalk- und Säuregehalt, aber auch die „Bodenart“ genannte Korngrößenzusammensetzung, d. h. der Feinboden und der Steingehalt. Gerade die Bodenart gewinnt entscheidenden Einfluss auf den Wasser- und Lufthaushalt, z. B. auf die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser, das gegen die Schwerkraft im Wurzelraum gespeichert werden kann und nicht versickert. Daneben spielen auch Grund- und Stauwassereinflüsse eine Rolle. Gestein und Boden beeinflussen auch das für Rebenwachstum und Traubenreife bedeutende Mikroklima. So hängt z. B. die Erwärmbarkeit des Bodens eng mit

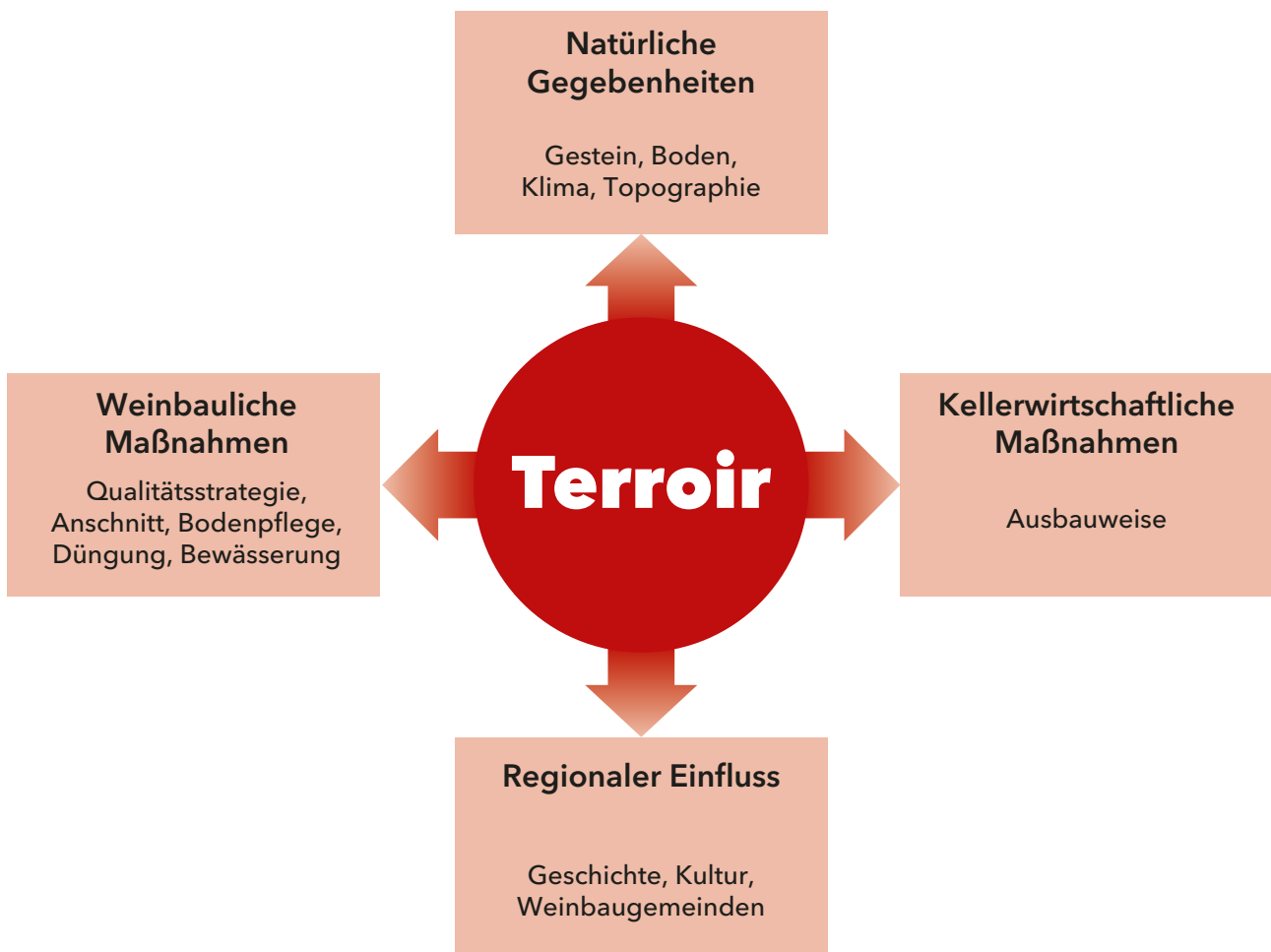


Abb. 1: Einflussaspekte der Terroir-Bewertung (nach: KÖNIGER et al. 2002).

dem Bodenwasserhaushalt, der Luftzirkulation im Boden und der Bodenfarbe an der Oberfläche zusammen. Deswegen bevorzugen Pflanzen bestimmte Standorte, andere dagegen meiden sie.

Die Winzerinnen und Winzer berücksichtigen die heterogenen Bodeneigenschaften bei der Wahl des Edelreises oder der Unterlage, beim Anschnitt und der Pflege der Reben. Darüber hinaus verändern sie durch tiefgründiges Umwenden und Durchmischen (das Rigolen) den Boden, um einen einheitlichen, für die Rebe gut durchwurzelbaren Bodenraum zu schaffen.

Über den Einfluss auf die Menge und die Qualität des Ertrags hinaus wird dem Boden auch zugeschrieben, dass er die Geschmacksrichtung eines Weines prägt und ihm eine individuelle, persönliche Note verleihen kann. Dieser Zusammenhang zwischen Eigenschaften der Böden und der Geschmacksrichtung bzw. der Grundtypizität eines Weines wurde von SITTLER (1995) beschrieben. Abbildung 2 zeigt Bodeneigenschaften und Grundtypizitäten für unterschiedliche Standorttypen des Rheingaus.

Bodeneigenschaften wie Sand-, Ton- und Kalkgehalt bzw. Basenhaushalt beeinflussen Lebendigkeit, Säureempfinden und Körper der ausgebauten Weißweine (hier Riesling), sofern in der Kellerwirtschaft keine maßgebliche Überprägung im Ausbau hervorgerufen wird. Im Projekt Terroir Hessen (BÖHM et al. 2008) konnten darüber hinaus auch standortcharakteristische Aromendiagramme herausgearbeitet werden.

Die Bewertung des Bodeneinflusses auf den Geschmack des Weines wird zwar hinsichtlich der Bedeutung des Klimas kontrovers diskutiert, doch wird zunehmend die Authentizität des Standortes für die geschmackliche Ausrichtung des Weines hervorgehoben (SCHENK ZU TAUTENBURG 1999, Rheinhessenwein e.V. 2005, Mosel-Saar-Ruwer Wein e.V. 2007, FISCHER et al. 2007). Grundsätzlich wird den Standortfaktoren und damit auch dem Boden ein Einfluss auf die Weintypizität eingeräumt. Der Boden wird daher in Zukunft stärker in die Praxis der Weinerzeugung einfließen, sei es durch neue Lagenabgrenzungen zur Hervorhebung bestimmter Geschmacksbilder oder zur Erzeugung standorttypischer Weine.

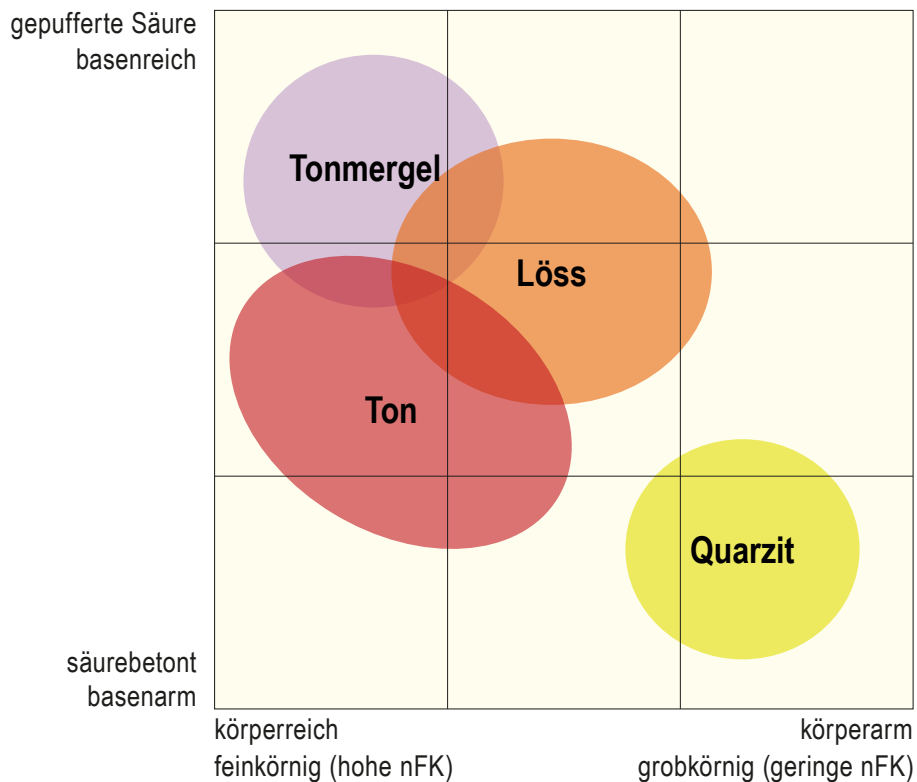


Abb. 2: Grundtypizität von Riesling auf unterschiedlichen Standorttypen im Rheingau.

2 Entstehung der heutigen Weinbergböden

Weinbergböden sind Archive der Landschaftsgene-
nese der Kalt- und Warmzeiten sowie Zeugen einer
maßgeblichen Überprägung durch den Menschen.
Abgesehen von den wenigen Flächen in Auenlage
(z.B. Mariannaue), sind die meisten Substrate
dieser Böden zunächst durch Frostprozesse im ober-
flächlich auftauenden Permafrost der letzten Eiszeit
entstanden. Frostsprengung und Verlagerung der
oberflächennah auftauenden Bodenzone prägen die
eiszeitlichen, fast vegetationsfreien Hänge. Aufbe-
reitet wurde dabei das Untergrundgestein, das ein
Festgestein sein kann, aber auch aus einem kaltzeit-
lichen „Staubsediment“, dem sogenannten Löss, oder
tertiären Meeressedimenten bestehen kann (Abb. 3).

Mit dem Einsetzen der jetzigen Warmzeit vor etwas
mehr als 10 000 Jahren durchliefen die in der Eis-
zeit gebildeten Substrate unterschiedliche Bodenbil-

dungsphasen wie Entkalkung, Oxidation, Tonminer-
al- und Humusbildung. In Wasser gelöste Kohlen-
säure (H_2CO_3) greift die Minerale an und bewirkt
chemische Veränderungen. So führt z. B. Sickerwas-
ser Calciumcarbonat ($CaCO_3$) und andere Boden-
inhaltsstoffe ab und eisenhaltige Minerale können
oxidiert werden, was den Böden in Mitteleuropa
die typische bräunliche, selten auch rötliche Farbe
verleiht. Neben der chemischen und physikalischen
Verwitterung tragen die Aktivitäten von Pflanzen,
Tieren und Mikroorganismen, z. B. durch die Bil-
dung von Huminsäuren, erheblich zur Entwicklung
der Böden bei. In einem Gramm Boden können bis
zu einer Milliarde lebender Organismen (Pilzge-
flechte, Mikroben, Bakterien u. a.) enthalten sein.
Die Lebewesen zersetzen das organische Material,
wie die jährlich anfallende Streu (Mineralisierung),
oder sie bilden organische Abbauprodukte (Humifi-

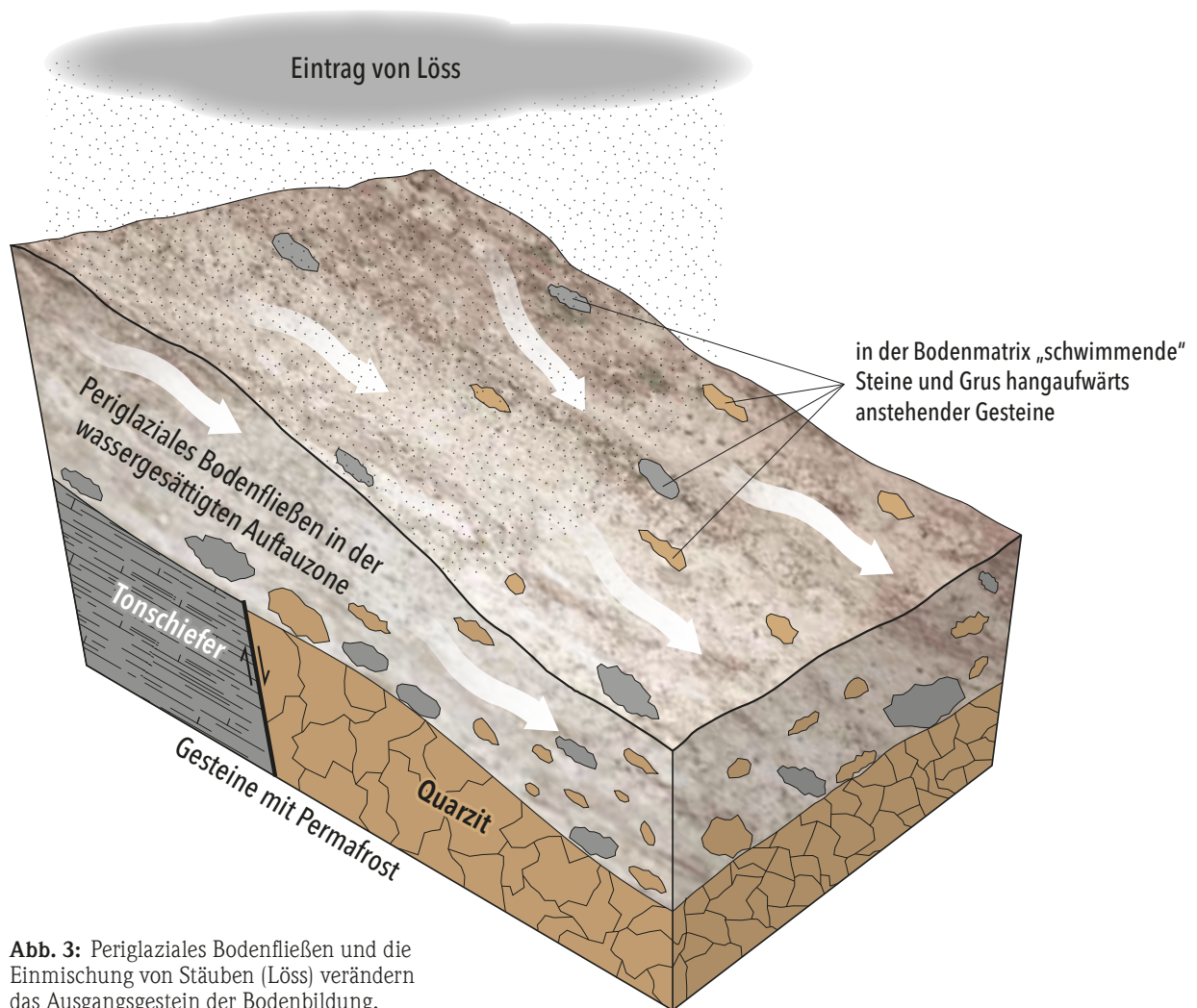


Abb. 3: Periglaziales Bodenfließen und die Einmischung von Stäuben (Löss) verändern das Ausgangsgestein der Bodenbildung.

zierung). Aus den Produkten des Zersetzungsprozesses abgestorbener pflanzlicher und auch tierischer Organismen entsteht schließlich der Humus, der die Bodenoberfläche, beispielsweise die Ackerkrume, dunkel färbt.

Die Bodenbildung beinhaltet aber nicht nur Abbau- und Verlagerungsprozesse, sondern auch den Aufbau neuer Substanzen. Bedeutsame Neubildungen sind Tonminerale, Oxide, Hydroxide, Huminstoffe und Ton-Humus-Komplexe. Letztere entstehen z. B. im Verdauungstrakt der Regenwürmer. Sie werden als Wurmlosung ausgeschieden, verleihen dem Humus seine günstige, schwammartige Struktur und steigern die Gefügestabilität des Bodens. Vor allem für den umgangssprachlich als „Mutterboden“ bezeichneten Oberboden spielen sie eine sehr wichtige Rolle.

Die dargestellten bodenbildenden Prozesse verändern das Ausgangsgestein in charakteristischer Weise und führen zur Entwicklung der Bodenhorizonte, die durch bestimmte Merkmale (wie Gefüge, Bodenart, Farbe, Fleckung u. a.) gekennzeichnet sind. Als Ergebnis entsteht eine ganz individuelle Erscheinungsform – ein standortspezifischer Boden.

Um Böden hinsichtlich ihrer Eigenschaften beurteilen zu können, werden physikalische, chemische und biologische Merkmale bewertet und als Kennwerte definiert. Zu den wesentlichen physikalischen Merkmalen des Bodens zählen die Korngrößenzusammensetzung und die Lagerungsdichte. Zusammen mit dem Humusgehalt lassen sich u. a. der Wasser- und Lufthaushalt (Versorgung mit pflanzenverfügbarem Wasser, Staunässe, Erwärmung im Frühjahr) sowie die Erodierbarkeit (Neigung zum Bodenabtrag) eines Bodens beurteilen. Pflanzenbaulich relevant ist auch seine Gründigkeit, die den Wurzelraum bemisst. Wichtige chemische Merkmale sind auch der Kalkgehalt, die Basensättigung sowie die Bodenreaktion (pH-Wert). Sie bestimmen den Nährstoffhaushalt und indirekt auch die biologische Aktivität des Bodens.

Seit Beginn der Ackerkultur greift der Mensch in den Naturraum ein, indem er die Bodeneigenschaften und -merkmale zur Nutzbarmachung zu optimieren versucht. Allgegenwärtig dokumentiert sich dies im Umbruch der Ackerkrume und der Düngung. Solche Maßnahmen werden auch im Weinbau angewandt, wo durch Tiefumbruch, Substratauftrag, Düngemaß-

nahmen und Drainage die ursprünglichen Bodenverhältnisse z. T. erheblich verändert oder völlig überprägt wurden.

Die meisten Weinbergsböden werden daher in den Bodenwissenschaften als sogenannte Treposole (einmaliges Umgraben mit gut erkennbarem originärem Bodengefüge) und Rigosole (mehrfaches Umgraben, meist mit Beimengung von Fremdmaterial) typisiert und der Klasse der terrestrischen Kultosole (terrestrische anthropogene Böden) zugeordnet (Ad-hoc-AG Boden 2005). Dabei wird ein Teil der originären Bodenhorizontierung und das Bodengefüge zerstört und alles miteinander vermischt. Erhalten bleiben dagegen die mineralische Matrix und teilweise auch Bruchstücke mit der originären Gefügestruktur, die ihre Eigenschaften und Merkmale weitgehend an den Rigosol weitergeben. Je nach Mächtigkeit der Bodendecke ist der ursprüngliche Boden unter dem Rigolhorizont noch erkennbar oder im Mischhorizont diagnostizierbar. Bodentypologisch werden die Rigosole dann meist als Übergangssubtyp in Kombination mit dem Ursprungstyp ausgedrückt: Der Parabraunerde-Rigosol ist beispielsweise ein Rigosol aus dem Bodensubstrat einer Parabraunerde (Abb. 7).

Viele Standorte in den hessischen Weinbergslagen sind aber deutlich stärker überprägt. Vor der Umstellung des europäischen Weinbaues auf reblausresistente Unterlagsorten im 20. Jahrhundert erfolgte das Rigolen im Zusammenhang mit Bodenbeaufschlagungen in einem Turnus von 30 bis 80 Jahren, selten über 100 Jahre. Seither sind Neuanlagen sogar alle 20 bis 40 Jahre durchgeführt worden. Da ein Teil der hessischen Weinbaufläche im Rheingau schon zu karolingischer Zeit angelegt wurde, ist für diese Weinberge mindestens ein 15- bis 20-facher Rigolvorgang anzunehmen (vgl. hierzu Kap. 3.5).

Zur Bodenverbesserung waren darüber hinaus besonders vor der „Kunstdüngerzeit“ Überschieferung und Mergelung oder Lössüberdeckung üblich. Dabei wurden z. T. wiederholt große Mengen Fremdmaterial aufgebracht. Sehr häufig sind auch Weinbergsböden zu finden, bei denen der natürliche Boden teilweise oder völlig erodiert ist. Über den Bodenausgangsgesteinen des Untergrundes wurde vielfach zur erneuten Bodenverbesserung standortfremdes Bodenmaterial zwischen 50 cm und mehreren Metern Mächtigkeit aufgetragen.

Auch heute wird noch Boden- und Gesteinsmaterial aus „Erdaushub“ in die Weinberge eingebracht, vermischt mit Trester, Schlamm, Kompost u. a. Man spricht dann von Böden aus Kippsubstraten, die meist als Rohböden (Regosole) bodengenetisch ausgeprägt sind. Dieses Einbringen von Fremdmaterialien hat auch Auswirkungen auf den Stoffbestand der Weinbergsböden (vgl. Kap. 3.5.3)

Um dem Standortcharakter einer Lage im Hinblick auf das Standort-Terroir treu zu bleiben, sollte bei der Neuanlage von Weinparzellen unter dem Gesichtspunkt der „Bodenverbesserungsmaßnahmen“ in Zukunft stärker standortgerechtes Material verwandt und sachgerecht eingebaut werden, wie dies auch in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) gefordert wird.

3 Gesteine, Böden und Bodenzustand der Weinbauggebiete Hessens

Mit ca. 3 199 ha bzw. ca. 462 ha bestockter Rebfläche (Regierungspräsidium Darmstadt 2021a, b) zählen der Rheingau und die Hessische Bergstraße zu den kleineren deutschen Weinbaugebieten. Landschaftlich differenzieren sich die hessischen Weinbaugebiete in die Regionen **Unterer Rheingau** (Rüdesheim–Lorchhausen, auch als Mittelrhein bezeichnet), **Oberer Rheingau** (Wiesbaden–Rüdesheim, Untermain bei Hochheim, Flörsheim und

Wicker, auch „Maingau“ genannt), **Hessische Bergstraße** (Heppenheim–Zwingenberg) und die „**Kleine Bergstraße**“ (auch Odenwälder Weininsel genannt), den verstreut liegenden Weinbergen um Groß- und Klein-Umstadt (Abb. 4).

Zum Verständnis des Terroirs und speziell der hessischen Weinbergsböden ist es hilfreich, sich die Entstehung des Landschaftsraumes zu vergegenwärt-

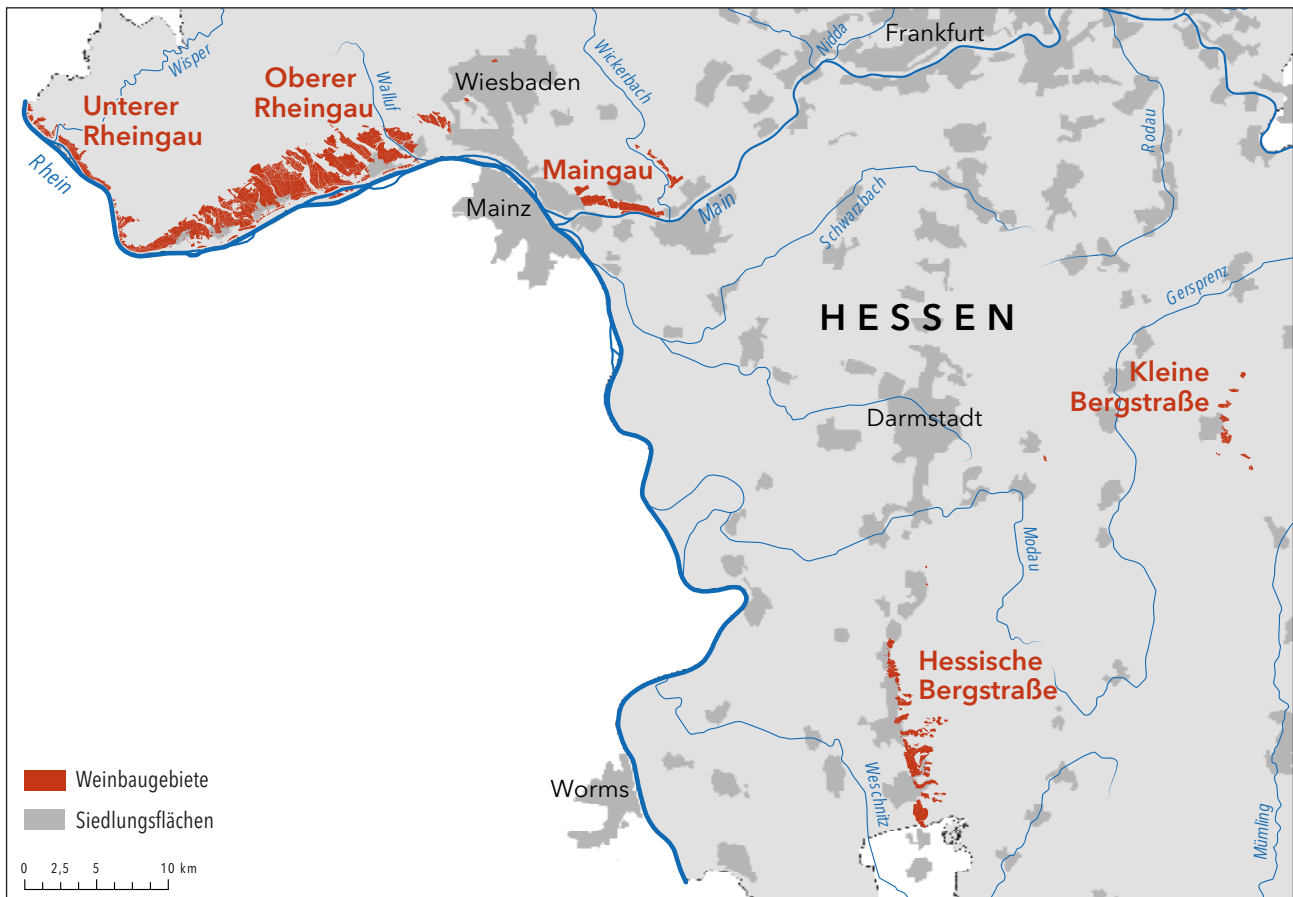


Abb. 4: Die hessischen Weinbauggebiete.

tigen. Gerade die sehr unterschiedliche naturräumliche Ausstattung des Oberen und Unteren Rheingaus sowie der Hessischen Bergstraße hat zur Ausprägung charakteristischer, regional differenzierter Bodengesellschaften geführt.

Im Folgenden wird das Bodenmosaik der Weinbaugebiete auf der Basis der Standortkartierung der

hessischen Weinbaugebiete und der in Tabelle 1 skizzierten Bodengruppen umrissen. Umfangreichere Ausführungen finden sich in FRIEDRICH (2004), FRIEDRICH & SABEL (2004), SABEL (2006a, b) und vor allem in den Weinbergsbodenkarten des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG).

Tab. 1: Die Bodengruppen der Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete

Bodengruppe I	vorwiegend flachgründige, sehr grobbodenreiche, trockene, meist kalkfreie Böden
Bodengruppe II	mittel- und tiefgründige, grobbodenreiche, lehmige, trockene bis frische, meist kalkfreie Böden
Bodengruppe III	tiefgründige, grobbodenarme, lehmige, frische, basenreiche, meist kalkfreie Böden
Bodengruppe IV	lehmig-tonige, z. T. grobbodenführende, häufig staunasse, meist kalkfreie Böden
Bodengruppe V	tiefgründige, nur vereinzelt grobbodenführende, schluffige, vereinzelt sandig-lehmige, trockene bis frische, meist kalkhaltige Böden
Bodengruppe Va	tiefgründige, sandige bis sandig-schluffige, meist kalkhaltige Böden
Bodengruppe VI	tiefgründige, häufig grobbodenführende, tonig-lehmige, frische bis feuchte, meist kalkhaltige Böden
Bodengruppe VII	tonige, grobbodenarme, häufig staunasse, meist kalkhaltige Böden

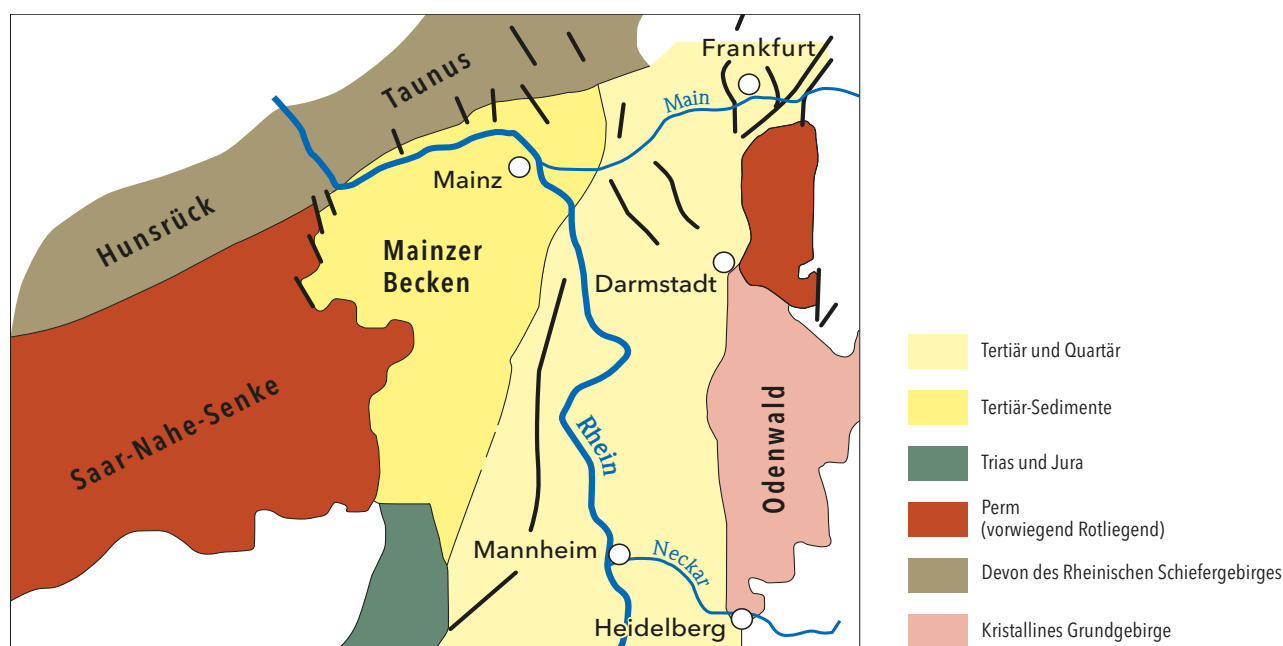


Abb. 5: Geologische Übersichtskarte der hessischen Weinbaugebiete.

3.1 Oberer Rheingau

Das Weinbaugebiet Oberer Rheingau umfasst das Gebiet zwischen Wiesbaden und Rüdesheim sowie die weinbaulich genutzten Bereiche am Untermain zwischen Mainz-Kostheim und Flörsheim am Main. Durch die zusätzlich vorkommenden spezifischen Böden der Mainterrassen und Flugsande stellt das Maingebiet bodenkundlich eine Besonderheit dar und wird daher auch gerne als „Maingau“ untergliedert. Weinbaulich gehört der „Maingau“ aber zum Oberen Rheingau. Die mit Abstand größte Anbaufläche erstreckt sich im Oberen Rheingau auf ca. 25 km zwischen Wiesbaden und Rüdesheim auf einem 3–6 km breiten Streifen parallel zum Rhein. Die sanft gewellte Hügellandschaft wird vom Verlauf des Rheins nach Rüdesheim hin zunehmend verengt, bis sie bei Assmannshausen vom Taunuskamm abgeschnürt wird. Die nach Süden exponierte Abdachung vom Fuße des Taunuskammes bis zum Rhein wurde von den Seitenbächen in zahlreiche lang gezogene Rücken und Riedel zertalt.

Der größte Teil des Oberen Rheingaus zählt geologisch zum Mainzer Becken (Abb. 5), einem im Tertiär entstandenen Senkungsgebiet mit sehr un-

terschiedlichen Ablagerungen wie Schotter, Sande, Tone, Kalke und Mergel. Taunuswärts wechselt der Untergrund zu teilweise tiefgründig verwittertem Gestein des Rheinischen Schiefergebirges (Schiefer, Phyllit, Serizitgneis; vgl. Abb. 6) und vor allem nordwestlich von Rüdesheim auch Quarzit und Sandstein des Naturraumes Taunuskamm. Als Ausgangssubstrat der Bodenbildung ist aber insbesondere der geologisch sehr junge, eiszeitliche Löss oder Sandlöss hervorzuheben, der als Flugstaub fast überall hingetragen wurde. Die Bodengesellschaft des Rheingaus wird auf den Lössen von tief entwickelten, nährstoffreichen Böden (Parabraunerden, vgl. Abb. 7) mit ausgeglichenem Wasserhaushalt dominiert. Der schon Jahrtausende währende Ackerbau förderte in Hanglagen den Bodenabtrag, sodass die in der derzeitigen Warmzeit entwickelten Böden z. T. völlig abgetragen wurden. Das erodierte Bodenmaterial füllte Dellen und Tiefenlinien und reicherte sich an den Unterhängen an (Kolluvisol). Wo die Lössbedeckung nur geringmächtig war, sind die Untergrundgesteine aufgearbeitet und übertrugen ihre Eigenschaften mehr oder minder stark auf die Böden. Daher sind Böden über Sanden trocken und nährstoffarm



Abb. 6: Weinbergsboden aus Lösslehm und zersetztem vordevonischem Serizitgneis (Braunerde-Rigosol).



Abb. 7: Weinbergsboden aus Lösslehm über Löss (Parabraunerde-Rigosol).

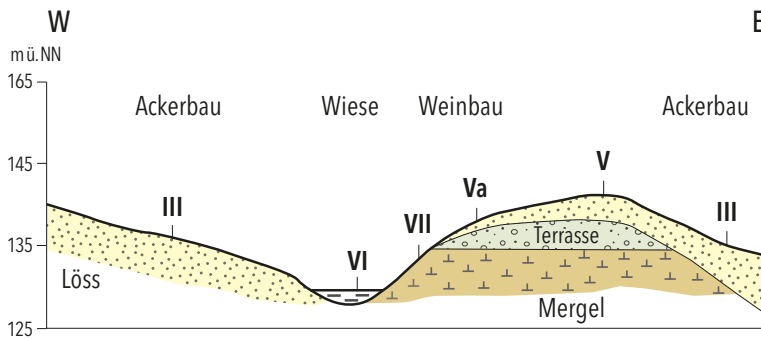


Abb. 8: Verteilung der Bodengruppen und der Bodennutzung im Rheingau.

(Braunerden), über Tonen schwer und wasserabweisend und über Mergeln und Kalksteinen kalkhaltig (Pararendzina, Rendzina). Im Taunusanstieg sind auf ebenen Flächen vornehmlich tonig zersetzte Schiefer und Phyllit anzutreffen. Diese Böden, aber auch die tiefgründigen Lösslehme der höher gelegenen Bereiche, neigen zur Staunässe. Die steileren Hänge werden überwiegend von steinig-grusigen Fließerden mit geringem bis mittlerem Wurzelraum und unausgeglichenem Wasserhaushalt eingenommen. In den Tallagen sind in der Regel nährstoffreiche Böden mit wechselndem Grundwasserstand verbreitet.

Der Weinbau nutzt, wie im folgenden Beispiel dargestellt, ganz differenziert die Bodenlandschaft. Die Rücken und Riedel zwischen den Nebenbächen des Rheins weisen im Querprofil eine ganz typische Bodenverteilung und Landnutzung auf (Abb. 8). Die nach Westen exponierten Hangflanken sind im Vergleich zum Gegenhang markant versteilt. Auf ihnen konnte sich der Löss nur in geringer Mächtigkeit er-



Abb. 9: Flörsheimer Warte bei Wicker.

halten und das anstehende Gestein, vielfach Mergel, Tone sowie jüngere Flussablagerungen des Rheins (Terrassensande, Kies), treten an die Oberfläche und bilden meist als Gemisch das Ausgangsgestein der Bodenbildung. Trotz der verbreitet ungünstigeren Böden (Bodengruppe Va: sandig, kalkhaltig und Bodengruppe VII: tonig, kalkhaltig) konzentriert sich hier wegen der Exposition und Hangneigung der Weinbau, während auf den flachen Rücken und Riedeln trotz der ertragsreicheren Böden aus Löss (Bodengruppe III:

tiefgründig, basenreich und Bodengruppe V: kalkhaltig) nur in Flussnähe noch Weinbau betrieben wird. Die mit mächtigem Löss verkleideten, sanft ostexponierten Hangschleppen, sind dagegen der ackerbaulichen Landwirtschaft, die Auen wegen der Kaltluftzüge und dem hoch anstehenden Grundwasser (Bodengruppe VI) der Grünlandbewirtschaftung vorbehalten.

Im weiteren Anstieg zum Taunus beschränkt sich wegen der Klimaungunst der Weinbau nur noch auf die steilsten und optimal nach Südwesten ausgerichteten Hänge mit steinig Braunerden aus lössarmer Fließerde, während die Verebnungen mit den staunassen Böden über tonigem Zersatz wegen ihres mangelhaften Bodenluft- und Bodenwasserhaushaltes gemieden werden.

Der Weinbau am Untermain beschränkt sich auf die steilen Uferhänge von Main und Wickerbach, seltener auf die oberhalb anschließenden flacheren Verebnungen, die mit mächtigem Löss bedeckt sind. Am Untermain nehmen verbreitet Tone und Mergel die weinbaulich genutzten Hänge zwischen Flörsheimer Warte und Massenheim sowie die Weinberge unterhalb der Ortslage Hochheim ein (vgl. Abb. 9). Entsprechend dominant sind die tonreichen, kalkhaltigen Böden der Bodengruppe VII, die für die Lagen „Stein“ und „Nonnberg“, aber auch „Domdechane“ sowie zum Teil „Hölle“ und „Kirchenstück“ in Hochheim ganz typisch sind (SABEL 2006b). Daneben kommen im Unterhang zum Gewerbegebiet Hochheim-Süd noch Sande und Schotter junger Mainablagerungen und Flugsande vor, auf denen die Bodengruppe Va überwiegt. Alle anderen Bodengruppen sind gegenüber dem Rheingau unterrepräsentiert.

3.2 Unterer Rheingau

Während der steten Hebung des Schiefergebirges schnitt sich der Rhein in den Untergrund ein und bildete das heutige schmale Mittelrheintal (Abb. 10). Als Gesteine treten Quarzit, Sandstein sowie Schiefer auf. Auch im Unteren Rheingau wurde in den Kaltzeiten Löss verblasen, der in die steinigen Schuttdecken als entkalkter Lösslehm eingearbeitet ist. Tiefgründiger Löss dagegen ist nur ganz untergeordnet auf kleineren Flächen verbreitet. Infolgedessen ist im Mittelrheintal eine ganz eigene Bodengesellschaft anzutreffen. Charakteristisch sind die weit verbreiteten Felsausbisse, die sehr flachgründige trockene Böden (Felshumusböden, Rohböden) tragen. Diese Grenzertragsstandorte (Bodengruppe I) sind heute nicht mehr in Bewirtschaftung und die Terrassen verfallen. Ansonsten überwiegen als Ausgangsgestein der Bodenbildung flachgründige Fließerden, die sich in den exponierten Hangflanken aus Lösslehm und Untergrundgestein zusammensetzen und steinige, nährstoffarme, trockene Böden hervorbringen (Abb. 11, Abb. 12). Ihre Gründigkeit ist oft auf 0,5 m beschränkt. Dagegen konnten sich vor allem im



Abb. 10: Blick auf den Rhein bei Burg Ehrenfels.

Mündungsbereich der Seitentäler und an Unterhängen mächtigere und lössreichere Fließerden erhalten, in denen auch tiefgründigere Böden entwickelt sind.

Im Engtal des Rheines spielte die Sonneneinstrahlung für die Standortwahl eine große Rolle. Trotz schwieriger Arbeitsbedingungen wurde der Terrassenanbau an den optimalen Hangpositionen bevor-



Abb. 11: Braunerde aus Quarzitschutt.



Abb. 12: Braunerde aus Tonschieferschutt.

zugt. Lediglich die steilsten Relieflagen mit Felshumusböden und Syrosemen wurden gemieden. Beim Terrassenbau wurde angesichts der meist flachgründigen Böden der Mangel an durchwurzelbarem Bodenraum durch Aufschüttungen ausgeglichen. Es überwiegt die Bodengruppe II, die in der Großlage „Steil“ über 50 % der Flächen einnimmt.

3.3 Hessische Bergstraße

Als Hessische Bergstraße bezeichnet man den östlichen Rand des Oberrheingraben zum Odenwald (Abb. 13). Die Untergrundgesteine, ganz überwiegend Magmatite des kristallinen Odenwaldes, treten aber nur in exponierten Oberhängen und Kuppen zutage. In Mittel- und Unterhangposition sind sie mit Sandlöss und Löss verkleidet, die örtlich noch nährstoffreiche, tiefgründige Böden mit ausgeglichenem Wasserhaushalt tragen (Parabraunerden). Die hohe Erosionsanfälligkeit des Sandlösses, die Reliefierung der Hänge und die lange landwirtschaftliche Nut-



Abb. 13: Bergstraße – Blick auf die Heppenheimer Lage „Stemmler“. © Reinhard Antes.

zung haben großflächig die ursprünglichen Böden (v. a. Parabraunerden) abgetragen, sodass der kalkhaltige Löss bzw. Sandlöss diese Flächen einnimmt (Abb. 14). Wie im Rheingau reichert sich das erodierte Bodenmaterial an den Unterhängen, in Hangdellen und kleineren Tälern an. Die lössgeprägten Flächen der Bodengruppe V zeigen vor allem in den Groß-



Abb. 14: Weinbergboden aus Sandlöss (Pararendzina-Rigosol).



Abb. 15: Braunerde mit Sandsteinblöcken.

lagen „Rott“ und „Schlossberg“ mit weit über 60 % Flächenanteil die größte Verbreitung.

Zur Bodengesellschaft zählen auch die der Steilstufe vorgelagerten Braunerden aus kalkhaltigen Flugsanden. Durch den Nutzungseinfluss sind sie in ero-

sionsanfälligen Bereichen abgetragen. Diese Böden sind durchweg als trocken einzustufen. Die Hänge und Kuppen tragen fließenden mit hohem Steingehalt, in denen trockene Braunerden vorherrschen (Abb. 15).

3.4 Kleine Bergstraße (Odenwälder Weininsel)

Das sehr kleine, verstreute Weinbaugebiet bei Groß- und Klein-Umstadt liegt in der Dieburger Bucht, einem Teilbereich des Mainzer Beckens, dem nördlichen Rande des Odenwaldes vorgelagert (Abb. 16). Es handelt sich um eine flachhügelige Landschaft, in der Gesteine des Odenwaldkristallins (z. B. Granit, Granodiorit, Diorit) mit mächtigem Löss verhüllt sind. Auch hier sind die ursprünglichen Parabraunerden aus Löss großflächig erodiert. Die Böden der Bodengruppe V repräsentieren dabei ca. 40 % der Flächenanteile des Weinbaugebietes.

Erst in den stärker reliefierten Randbereichen durchragen vereinzelt die Festgesteine die Lössdecke. Dort bildeten sich über dem Festgestein fließenden mit Braunerden (Bodengruppe II) oder tiefergründige Parabraunerden (Bodengruppe III).



Abb. 16: Blick auf die Lage „Stachelberg“ bei Klein-Umstadt

3.5 Überprägung der natürlichen Böden

Die lange weinbauliche Nutzung der hessischen Weinbaugebiete, vor allem das Tiefumgraben oder „Rigolen“, führte zu einer starken Überprägung der natürlichen Böden. Daneben haben erosive Bodenverluste, aber auch Abgrabungen und Rutschungen die Böden verkürzt oder gar zerstört. Andererseits wurden und werden im Rahmen der Neuanlage bzw. Wiederbestockung Fremdmaterialien in erheblichen Mengen auf oder in die Weinbergsböden eingebracht. Dies geschieht z. B. um Abtragungsverluste auszugleichen, die Erosionsanfälligkeit herabzusetzen oder um bearbeitungstechnische Verbesserungen zu erreichen. Massive Eingriffe können auch durch die Maßnahmen der Flurbereinigung eingeleitet worden sein, die nicht selten zur großflächigen Umgestaltung der Weinbaulandschaft und ihrer Böden geführt haben.

3.5.1 Rigolen der Böden

Fast alle Weinberge werden vor der Neuanlage „rigolt“, so nennt man die Bodenvorbereitung durch tiefes Umgraben. Weinberge wurden und werden z. T. bereits seit dem 8. Jahrhundert im Abstand mehrerer Jahrzehnte vor jeder Neubestockung tiefgründig rigolt, d. h. zwischen 40 cm und 100 cm tief umgegraben oder gepflügt.

Durch das Rigolen wird in die natürliche Bodenbildung eingegriffen und die ursprüngliche Schichtung und Horizontierung verändert, indem das umgegrabene Bodenmaterial homogenisiert wird. Dadurch entsteht ein einheitlicher, durch die Humusverteilung dunkel gefärbter, für die Rebe gut durchwurzelbarer Bodenhorizont. Vor allem auf grobbodenreichen Standorten oder bei schweren, tonhaltigen Böden kann dadurch die Wasser- und Nährstoffversorgung für die Reben verbessert werden. Abbildung 17 zeigt einen typischen Rigosol,

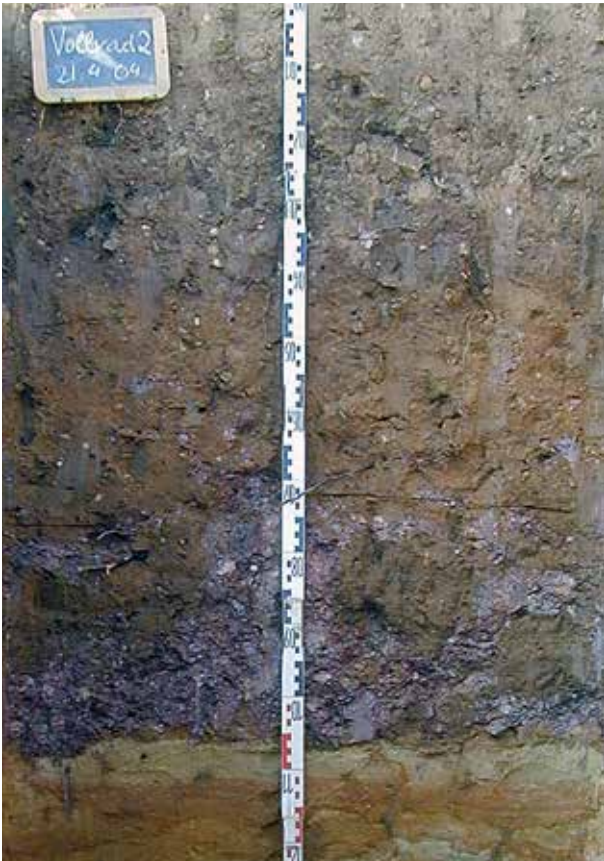


Abb. 17: Rigosol mit verändertem Oberboden durch Tiefumbruch (Rigosol mit grobbodenreichem aufgefülltem Bodenmaterial bis 1 m unter Flur über tertiärem Meeressand).



Abb. 18: Rigolpflug im Einsatz.

dessen Eigenschaften und Merkmale ganz wesentlich noch durch die Beimischung des in 55 cm unter Flur anstehenden unverwitterten Lockergesteins bestimmt werden.

Bereits den Römern waren die Effekte des Rigolens bekannt. In karolingischer Zeit (8.–9. Jahrhundert), als man die Mehrzahl der deutschen Reblagen erstmals mit Reben bepflanzte, wurde über 100 cm tief „gerodet“. Gründe für das Rigolen finden sich sehr drastisch beschrieben im Weinbaulehrbuch des Cannstatter Feldmessers Johann Michael Sommer aus dem Jahr 1791. Dieser erklärte den schlechten Wuchs abgängiger Rebflächen dadurch, dass „die Schuld bloß daran liege dass der Weinberg nicht tief genug umgeritten worden, dass also die zarten Wurzeln, wie es doch die Vernunft hätte lehren sollen, in einem so starken Boden nicht tief genug eingeschlagen worden, wodurch sie bey kaltem Wetter erfrohren, und bey dürrem Sommer verdorret sind“ (SOMMER 1791).



Abb. 19: Spatenmaschine. © Bernd Ziegler

Aus dem 17. Jahrhundert sind Rigolarbeiten überliefert, bei denen bis zu 3 m tiefe Rigolgräben ausgehoben wurden. Rigolen war harte Arbeit. Quer zum Hang wurde zunächst ein Rigolgraben ausgehoben und der Aushub mit der Erdenbutte nach oben geschafft. Anschließend wurde die hangaufwärtige Grabenwand unterhöhlt, so dass die Erde kopfüber in den Graben stürzte. Dieser Vorgang des Grabens und Unterminierens wurde so lange wiederholt, bis man am oberen Teil der Rigolfläche angekommen war und man den letzten halb gefüllten Rigolgraben mit dem zu Beginn gewonnenen Material einebnen konnte.

Hat man traditionell den Boden noch bis vor wenigen Jahrzehnten fast ausschließlich mühevoll von Hand umgesetzt, nutzt man heute überwiegend Rigolpflüge mit einer Arbeitstiefe zwischen 40 und 80 cm (Abb. 18) oder Spatenmaschinen (Abb. 19), die diesen Arbeitsprozess ganz wesentlich erleichtern. Nicht zuletzt deswegen hat sich die Nutzungsdauer eines Wingerts heute auf 20 bis 40 Jahre verkürzt.

3.5.2 Bodenerosion

Aufgrund der ökologischen Ansprüche der Reben bevorzugt der Weinbau Hang- und Steillagen. Die verbreitete Ausrichtung der Rebzeilen in Gefällerrichtung, die entsprechend angepasste Anlage der Weinbauparzellen und des Wegenetzes und die erosionsfördernde Wirkung der Bodenbearbeitung durch Fräsen und Grubbern in offen gehaltenen Zeilen führen in der Sonderkultur Wein sehr viel häufiger zu Abschwemmungen als im Ackerbau. Der erosive Verlust an Bodenmaterial mit z. T. verheerenden Folgen ist ein traditionelles Thema im Weinbau.

Wenn in hängigem Gelände die Niederschlagsintensität oder das Schmelzwasser die Infiltrationsrate des Bodens übersteigen, fließt das Wasser oberflächlich ab und nimmt dabei Bodenpartikel auf. Außer den extremen Starkregen können auch die zahlreichen kleinen und mittleren Erosionsereignisse über die Jahre hinweg in der Summe ähnlich große Bodenverluste verursachen. Neben dem Einfluss der Neigung spielen die Hanglänge und vor allem die Bodenart eine gewichtige Rolle. Besonders abtragsgefährdet sind die leicht abschwemmbaren Böden aus Löss (Abb. 20). Daher sind auf diesem Ausgangssubstrat kaum noch natürliche Böden erhalten. Von der Erosion sind in besonderem Maße die Steillagen

im Mittelrheintal und an der Bergstraße betroffen (EMDE 2005).

Neben dem Bodenverlust durch das abspülende Oberflächenwasser ist auch immer wieder Massenversatz zu beklagen, wenn Bergstürze, Rutschungen oder murenartiges Bodenfließen die Weinberge zerstören. Während bei der Bodenerosion fast ausschließlich Bestandteile des humosen Feinbodens abgespült werden, erfasst der Massenversatz den ganzen Bodenkörper samt Reben und alle Korngrößen bis zum groben Gesteinsschutt.

Großen Einfluss auf das Ausmaß des Bodenabtrags haben die Art der Bodennutzung und die Techniken der Bewirtschaftung. So zeigen Weinberge mit Graseinsaat in den Rebzeilen auch bei stärkerer Hangneigung keine Erosionsschäden. Dagegen führen schon geringere Niederschlagsmengen und -intensitäten auf intensiv bewirtschafteten, offen gehaltenen Weinbergsarealen zu erheblichem Oberflächenabfluss und Bodenerosion. Durch die heute übliche maschinelle Bodenbearbeitung entstehen Fahrspuren mit typischer Bodenverdichtung und Pflugsohlen, die das Versickern der Niederschläge behindern und den Oberflächenabfluss konzentrieren und lenken.



Abb. 20: Abgeschwemmtes Oberbodenmaterial auf Lössflächen.

Der Verlust von Bodenmaterial durch Abschwemmung kann erhebliche Ausmaße erreichen und zu einer spürbaren Minderung der Nutzungsfähigkeit der Böden führen. Die Winzerinnen und Winzer versuchen deshalb häufig, Schäden durch Rückführung des Materials auszugleichen. Meist geht der humose, nährstoffreiche Feinboden aber verloren und muss durch ortsfremdes Material ersetzt werden. Die ursprünglichen Standortbedingungen können so im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte immer stärker verändert werden. Es finden sich daher Böden, die bis zu mehreren Metern mit anderem Bodenmaterial überdeckt wurden. Aber auch als Vorsorgemaßnahme können ortsfremde Gesteine und Böden sowie anthropogene Substrate wie Schlacken, Schutt, Trester oder Kompost aufgetragen werden, um den Oberboden gegen Erosion zu stabilisieren. Damit ist leider auch ein unkontrollierter Eintrag unerwünschter Stoffe verbunden.

Um die Standortcharakteristik, das Terroir, und damit die Qualität der Weinbergböden langfristig zu erhalten, ist daher darauf zu achten, lokal typische Substrate für den Fremdmaterialauftrag zu verwenden. Das Bodenmaterial sollte schonend, also nicht zu tiefgründig eingearbeitet werden, um besonders den standorttypischen Unterboden in seiner natürlichen Ausprägung zu belassen.

3.5.3 Stofflicher Bodenzustand

Böden mit einer langjährigen weinbaulichen Nutzung waren bereits historisch diversen Stoffeinträgen ausgesetzt und sind es auch heute noch. Neben der Einbringung von standortfremden Substraten wird oft organisches Material zugeführt, beispielsweise weinbau- und kellerwirtschaftliche Rückstände wie Trester und andere Gärreste, organisches Mulchmaterial, Komposte oder Aschen, um die Humusversorgung zu gewährleisten und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Auch mineralische Düngemittel werden zu diesem Zweck eingebracht. Weiterhin geht der Weinbau mit einem intensiven Einsatz von Pflanzenschutzmitteln einher, um Schädlinge oder Pflanzenkrankheiten zu bekämpfen. Die vielfältigen Eintragsquellen führen dazu, dass in Weinbergböden häufig erhöhte Gehalte an anorganischen und organischen Spurenstoffen zu finden sind, wobei die heute messbaren Gehalte oft auf Einträge aus der Vergangenheit zurückgeführt werden können. Durch das Rigolen können dabei auch oberflächlich eingetragene Stoffe

in tiefere Schichten eingemischt werden bzw. durch Bodenbeaufschlagungen dort enthalten sein.

Bezüglich Pflanzenschutzmitteln ist an erster Stelle Kupfersulfat zu nennen (früher als Kupfervitriol bezeichnet), das bereits seit 1885 erfolgreich als Fungizid zur Bekämpfung des falschen Mehltaus (*Plasmopara viticola*) eingesetzt wird. Der französische Botaniker Pierre-Marie Alexis Millardet entwickelte damals die sogenannte „Bordeauxbrühe“ aus Kupfersulfat und gebranntem Kalk (Abb. 21). In den ersten Jahrzehnten der Anwendung wurden sehr hohe Kupfermengen verwendet, in Deutschland durchschnittlich 20–30 kg/ha, teilweise sogar 80 kg/ha im Jahr und mehr (KÜHNE et al. 2009). Seitdem hoch wirksame chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen, gingen die Anwendungsmengen kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in den letzten Jahrzehnten stark zurück. In Deutschland ist heute nur noch eine maximale Ausbringungsmenge von 3 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr erlaubt, in bestimmten Ausnahmefällen (z. B. bei Schwarzfäule) 4 kg pro Hektar und Jahr (Regierungspräsidium Darmstadt 2020). Allerdings kann auf kupferhaltige Pflanzenschutzmittel bisher nicht vollständig verzichtet werden. Vor allem im ökologischen Weinbau gibt es keine Alternativen zur Bekämpfung von Pilz- und Bakterienkrankheiten. Und auch bei konventioneller Bewirtschaftung werden Kupferpräparate in geringen Mengen weiterhin eingesetzt, beispielsweise um durch einen Wirkstoffwechsel Resistenzen vorzubeugen. Aktuell gilt die Zulassung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel in den EU-Staaten bis Ende 2025.



Abb. 21: Kupferhaltiges Pflanzenschutzmittel auf einem Weinblatt

Kupfer ist ein Schwermetall, welches im Boden nicht abgebaut wird, sondern sich infolge langjähriger Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel anreichern kann. Es kann schädigend auf viele Arten von Bodenorganismen wirken, insbesondere auf Regenwürmer. Aufgrund artspezifisch differierender Empfindlichkeiten gegenüber Kupfer kann es zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung und einer Abnahme der Biodiversität kommen (UBA 2009). Bei Untersuchungen in den deutschen Qualitätsweinanbaugebieten wurde festgestellt, dass die Kupferbelastungen der verschiedenen Anbaugebiete und Lagen sich erheblich unterscheiden und in erster Linie von der Bewirtschaftungsdauer in Verbindung mit den hohen Aufwandsmengen früherer Jahre abhängen (STRUMPF et al. 2011). Das konnte auch bei Untersuchungen repräsentativer Standorte der hessischen Weinbauregionen bestätigt werden: Insgesamt streuen die gemessenen Kupfer-Gehalte je nach Örtlichkeit in einem weiten Bereich. Im Mittel zeigen die untersuchten Oberböden im Rheingau aber höhere Kupfergehalte im Vergleich zur hessischen Bergstraße. Das kann vermutlich damit erklärt werden, dass im Gebiet der Hessischen Bergstraße die Rebflächen erst seit 40–60 Jahren bestockt sind (STRUMPF et al. 2011).

Abbildung 22 zeigt beispielhaft die Tiefenverteilung der Kupfer-Gehalte im Boden eines beprobten Profils im Rheingau: Die maximalen Gehalte mit mehr als 150 mg/kg TM sind in den oberen 10 cm anzutreffen; erhöhte Gehalte oberhalb des Vorsorgewertes der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sind aber auch im Rigolhorizont bis in eine Tiefe von 60 cm messbar.

Abgesehen von Kupfer gibt es noch weitere Schwermetalle, für die in Weinbergsböden oft erhöhte Gehalte gemessen werden können. So wurden in den untersuchten hessischen Böden z. B. punktuell hohe Zinkgehalte analysiert. Mögliche Eintragsquelle für diese Belastungen sind vor allem die verzinkten Spalierpfähle und Verdrahtungen, die inzwischen regelhaft die ehemals verwendeten Holzpfähle ablösen (MÜLLER 2003). Auch Quecksilbergehalte sind an einigen Standorten erhöht. HAUENSTEIN & BOR (2015) benennen ehemals verwendete quecksilberhaltige Fungizide und mit Quecksilberchlorid imprägnierte Holzpfähle als potenzielle Eintragsquellen in Weinbergsböden. Einige Jahre wurden im Weinbau auch arsenhaltige Insektizide verwendet, in erster Linie zur Bekämpfung des Traubenwicklers. Insbeson-

dere aufgrund von Vergiftungserscheinungen bei Winzern („Kaiserstuhl-Krankheit“) wurde ihre Anwendung im Weinbau aber bereits 1942 gesetzlich verboten. Eine weitere mögliche Eintragsquelle, beispielsweise für Blei und Cadmium, ist die Verwendung von Müllkomposten und Klärschlämmen, die verstärkt nach 1945 als kostengünstige Alternative zur Humusversorgung sowie zum Schutz vor Erosion in Steillagen eingesetzt wurden (MOHR 1985).

Neben erhöhten Gehalten anorganischer Spurenstoffe sind in Böden unter langjähriger weinbaulicher Nutzung örtlich auch einige organische Schadstoffe mit erhöhten Gehalten zu messen. Besonders die Gehalte des jahrzehntelang weltweit am häufigsten eingesetzten Insektizids DDT (Dichlor-Diphenyl-Trichlorethan) sind in Weinbergsböden durchschnittlich deutlich höher als in Böden unter Ackernutzung (Abb. 23).

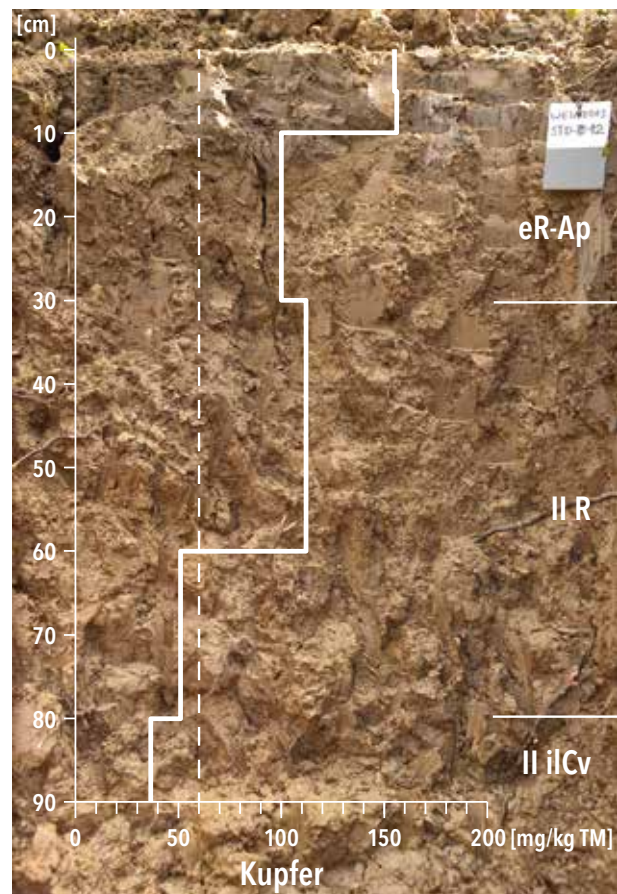


Abb. 22: Untersuchtes Bodenprofil im Rheingau mit Angabe der Horizontierung und den in den entsprechenden Entnahmetiefen gemessenen Kupfer-Gehalten (Königswasser-Extrakt). Gestrichelte Linie gibt die Höhe des Vorsorgewertes der BBodSchV für Ton wieder.

DDT und seine Abbauprodukte sind sehr langlebig und können sich in der Nahrungskette anreichern. Diese Eigenschaften führten bereits 1972 zu einem Anwendungsverbot in der damaligen Bundesrepublik Deutschland. Aufgrund der hohen Beständigkeit sind DDT oder seine Abbauprodukte aber vor allem auf Standorten mit ehemals intensiver Anwendung auch heute noch in den Böden nachweisbar. Im Normalfall verbleibt DDT vor allem im humosen Oberboden, da es stark an der organischen Substanz gebunden wird und sich deshalb kaum verlagert. Durch das Rigolen, Bodenbeaufschlagungen oder Bodenverlagerungen durch Bodenerosion ist es allerdings in Weinbergsböden manchmal auch in Unterböden zu finden, wie das Beispiel in Abbildung 24 zeigt. An diesem Standort sind in dem mächtigen Rigolhorizont „eR“ die höchsten DDT-Gehalte mit über 0,5 mg/kg TM in einer Tiefe von 10–30 cm anzutreffen; aber auch in der darunterliegenden Probe von 30–60 cm sind noch DDT-Gehalte von knapp 0,2 mg/kg TM messbar.

Hintergrundwerte

Im Rahmen von Boden-Untersuchungen und Bodenproben repräsentativer Standorte der hessischen Weinbauregionen konnten weinbauspezifische Hintergrundwerte für Hessen abgeleitet werden. Als Hintergrundwerte werden repräsentative, statistisch abgeleitete Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden bezeichnet (LABO 2017). Der spezifische Hintergrundgehalt resultiert dabei aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und den diffusen Einträgen in den Boden. Diffus sind Einträge, die großräumig und über längere Zeiträume erfolgt sind. Da für Böden unter langjähriger weinbaulicher Nutzung die erläuterten nutzungsspezifischen Einträge zu erwarten sind, können nach LABO (2017) neben den Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald auch regionale Hintergrundwerte für die Nutzung Weinbau abgeleitet werden. Dabei zeigt die Belastungsstruktur von Weinbergsböden zwar ein charakteristisches Spektrum mit erhöhten Gehal-

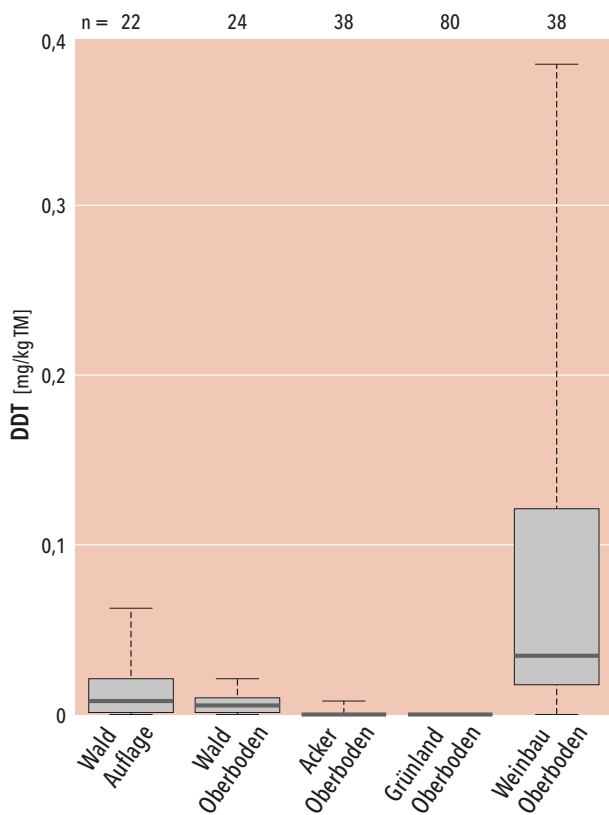


Abb. 23: Box-Whisker-Plot der DDT-Gehalte (DDT = Summe aus 6 Isomeren) in hessischen Oberböden verschiedener Nutzungen sowie der Humusauflage unter Wald.

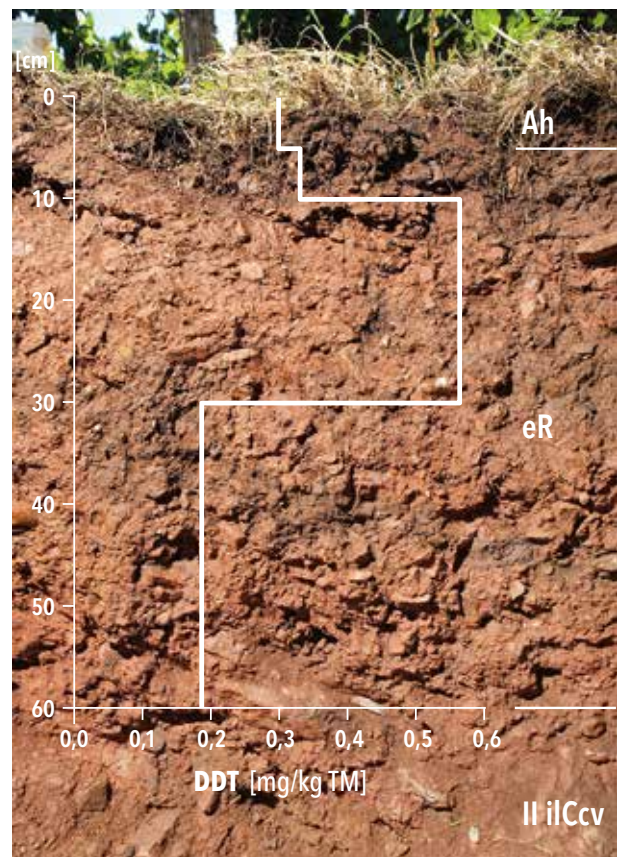


Abb. 24: Untersuchtes Bodenprofil im Rheingau mit Angabe der Horizontierung und den in den entsprechenden Entnahmetiefen gemessenen DDT-Gehalten (Summe aus 6 Isomeren).

Tab. 2: Substratübergreifende Hintergrundwerte anorganischer Spurenstoffe in Oberböden unter weinbaulicher Nutzung in Hessen (HLUG 2011) und Vorsorgewerte der BBodSchV für die Bodenart Lehm/Schluff. Angegeben werden die Gehalte im Königswasser-Extrakt.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	[mg/kg TM]									
Anzahl	31	33	34	36	16	36	35	22	24	36
50. Perzentil	10	0,18	34	58	0,10	23	35	0,94	46	115
90. Perzentil	39	0,30	58	98	0,20	43	92	2,68	98	195
Vorsorgewerte Lehm/Schluff	20	1 (0,4)	60	40	0,3	50 (15)	70 (40)	-	-	150 (60)

Kursiv = geringerer Stichprobenumfang von $10 \leq n < 20$; diese Werte haben nur einen orientierenden Charakter und eignen sich nicht zur Abgrenzung des Hintergrundwertebereichs.

Fettdruck = Hintergrundwerte, die die Vorsorgewerte für die Bodenart Lehm/Schluff überschreiten.

Werte in Klammern = gelten bei einem pH-Wert von < 6 (für Pb < 5).

ten bestimmter Stoffe und Stoffgruppen, allerdings können einzelne Flächen, je nach Dauer und Art der Bewirtschaftung und der in diesem Zusammenhang durchgeführten Maßnahmen, sehr heterogen belastet sein. Potenziell können also auch benachbarte Flächen sehr unterschiedliche Spurenstoff-Gehalte aufweisen. Selbst auf dem gleichen Flurstück kann die Schadstoffverteilung sehr inhomogen sein.

In Tabelle 2 werden die für Hessen berechneten substratübergreifenden Hintergrundwerte anorganischer Spurenstoffe in Oberböden unter weinbaulicher Nutzung wiedergegeben (HLUG 2011). Erhöhte Gehalte sind erwartungsgemäß vor allem für Kupfer festzustellen, ein überwiegender Anteil der untersuchten Standorte überschreitet die Vorsorgewerte der BBodSchV. Auch für Blei und Zink liegen die berechneten 90. Perzentile oberhalb der Vorsorgewerte.

In Tabelle 3 werden die berechneten Hintergrundwerte organischer Spurenstoffe in hessischen Oberböden unter weinbaulicher Nutzung dargestellt (HLNUG 2017). Die in der BBodSchV für organische Stoffe enthaltenen Vorsorgewerte werden von diesen nicht erreicht. Allerdings liegen neben den bereits erwähnten deutlich erhöhten Hintergrundwerten für DDT (Abb. 23) auch die Hintergrundwerte für Benzo(a)pyren, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), dioxinähnliche PCB (dl-PCB) sowie Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) oberhalb der hessischen Hintergrundwerte für ackerbauliche Nutzung (HLNUG 2017).

Insgesamt ist die Spannweite der Spurenstoff-Gehalte in hessischen Weinbergböden groß, zum Teil sind erhöhte Belastungen festzustellen. Dabei liegen

Tab. 3: Hintergrundwerte organischer Spurenstoffe in Oberböden unter weinbaulicher Nutzung in Hessen (HLNUG 2017) und Vorsorgewerte (BBodSchV).

	B(a)P	PAK ₁₆	DDX	γ -HCH	HCB	PCB ₆	PCDD/F WHO-TEq ¹	dl-PCB WHO-TEq ¹
	[µg/kg TM]						[ng TEq/kg TM]	
Anzahl	39	39	39	39	36	36	38	36
50. Perzentil	31	318	35,5	< BG ²	< BG ²	< BG ²	1,3	0,33
90. Perzentil	122	1277	231,9	< BG ²	< BG ²	3,4	3,2	0,78
Vorsorgewerte ³	300	3 000	-	-	-	50 ⁴	-	-

¹ Toxizitätsäquivalent WHO-TEq 2005, exklusive Bestimmungsgrenze (lower bound)

² unterhalb der Bestimmungsgrenze (1 µg/kg)

³ Vorsorgewerte bei TOC-Gehalten ≤ 4 %

⁴ Vorsorgewert bezieht sich abweichend auf die Summe aus PCB₆ und PCB-118

die Gehalte anorganischer und organischer Spurenstoffe in einer Größenordnung, die auch in Böden anderer deutscher Weinbaugebiete gemessen werden konnte. Neben Hessen hat auch Rheinland-Pfalz Hintergrundwerte für Böden unter weinbaulicher Nutzung veröffentlicht, die für anorganische Spurenstoffe allerdings differenziert nach dem jeweiligen Ausgangssubstrat der Bodenbildung ausgewertet wurden (MWKEL 2013). Für Kupfer liegen diese für einige Substratgruppen über den hessischen Hintergrundwerten, für Blei und Zink sind teilweise die hessischen Werte höher. Auch die Hintergrundwerte organischer Schadstoffe sind mit einzelnen Ausnahme (durchschnittlich höhere DDT-Gehalte in Rheinland-Pfalz, höhere PAK- und PCDD/F-Hintergrundwerte in Hessen) überwiegend vergleichbar.

Im Rahmen der deutschen Kupferminimierungsstrategie (VON MERING et al. 2016) und der Diskussionen um die weitere Zulassung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel wurden umfassende Bodenuntersuchungen in den deutschen Qualitätsweinanbaugebieten durchgeführt, um die Belastungssituation mit Kupfer repräsentativ zu erfassen (STRUMPF et al. 2011). In den Untersuchungen zeigten die Prüfflächen der Weinanbaugebiete Mosel-Saar-Ruwer und Baden im Durchschnitt die höchsten Kupfergehalte. Die Prüfflächen im Rheingau lagen im Mittelfeld aller untersuchten Gebiete, die an der Hessischen Bergstraße gehörten zu den am geringsten mit Kupfer belasteten deutschen Gebieten, was mit der kürzeren Bewirtschaftungsdauer erklärt wird (STRUMPF et al. 2011). Bezüglich der Höhe der Gehalte stimmt der Mittelwert beider Gebiete gut mit dem für ganz Hessen berechneten Hintergrundwert für Kupfer (50. Perzentil, Tab. 1, HLUK 2011) überein.

Auch wenn in Weinbergböden für die erläuterten Spurenstoffe auf einigen Flächen erhöhte stoffliche Belastungen festgestellt werden können, besteht zunächst kein unmittelbarer Handlungsbedarf. Problematisch können erhöhte Belastungen von Weinbergböden werden, wenn es zu Nutzungsänderungen kommt. Bei Flächenumnutzungen von Weinbau- zu Bebauungsflächen kann die Verwertung des Bodenmaterials erschwert werden und es deshalb zu höheren Kosten kommen. Werden Weinbergflächen zu Grünland umgewandelt, sollte beachtet

werden, dass es bei Wiederkäuern und insbesondere bei Schafen durch eine erhöhte Kupferaufnahme zu schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann. Aus diesem Grund ist in der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze auf Grünlandflächen bei Schafhaltung für Kupfer ein Maßnahmenwert von 200 mg/kg TM verankert. Auch in der Diskussion um den Einsatz von Schafen in Weinbergen sollte dieser Aspekt beachtet werden (SZOLNOKI et al. 2018).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die heutigen Gehalte der gemessenen anorganischen und organischen Spurenstoffe überwiegend Folgen hoher Einträge und Anreicherungen aus der Vergangenheit sind. Im Rahmen der aktuellen Bewirtschaftung wird von den hessischen Weinbauverbänden ein umweltschonender Weinbau und damit auch eine Reduzierung von Schadstoff-Einträgen in die Böden als solidarisches Ziel angestrebt (HMUKLV 2016).

3.5.4 Flurneuordnung

Zur Neuordnung der Parzellen und ihrer Zusammenlegung zu größeren Besitzeinheiten sowie zur betriebswirtschaftlichen Erschließung der Flur finden Flurbereinigungsverfahren statt, die in großem Umfang zur Veränderung der Eigenschaften der Böden beitragen können. Unter anderem werden eng terrassierte Hänge zu größeren Wirtschaftsflächen umgebaut. Hauptmaßnahme ist die Anbindung an obere und untere Wege und die Zusammenlegung der Kleinterrassen. Um die Hänge zwischen Gürtelwegen möglichst glatt zu gestalten, müssen die Kleinterrassen planiert werden (Abb. 25). Die Anlage der Wege und der moderne Terrassenbau erfordern umfangreiche Erdbewegungen. Um die Mauern oberhalb der Wege im festen Untergrund zu verankern, muss die Lockergesteinsdecke entsprechend tief abgeräumt, zwischengelagert und nach Abschluss der Baumaßnahmen wieder zum Auffüllen der Weinberge und zur Überdeckung der freigelegten Felsen eingebaut werden. In ebeneren Lagen wird eher die Vergrößerung der Parzellen beabsichtigt. Infolge dessen werden z. B. natürliche Unebenheiten planiert, Hecken und Raine abgeräumt und Kleinterrassen zerstört. Darüber hinaus werden frostgefährdete Mulden und Senken durch Aufschüttung ausgeglichen.

3.5.5 Maßnahmen bei der Neuanlage von Weinbergen

Landwirtinnen und Landwirte bemühen sich immer, die Bodeneigenschaften für die Nutzpflanzen optimal zu gestalten. So auch im Weinbau, wo neben dem tiefgründigen Umgraben noch weitere Bodenbearbeitungsmaßnahmen Tradition haben. So werden die Böden beispielsweise durch Düngung oder den Auftrag von ortsfremdem Bodenmaterial oder anthropogenen Substraten verbessert. Daneben kommen auch technische Maßnahmen der Bodenmelioration, z. B. die Drainung von Stauwasserböden, zum Einsatz.

Die lange Tradition dieser Verfahren lässt sich häufig noch im Bodensubstrat rekonstruieren. So sollte z. B. die großflächige Belegung der Weinberge mit flachen Gesteinsplatten (Überschieferung) den Schutz vor Erosion und die schnellere Erwärmung des Bodens fördern. Oder es wurden Böden aus kalkfreiem Substrat durch Auftrag von Mergelgestein „aufgekalkt“. Da das „Mergeln“ oft fälschlicherweise einer Bodendüngung gleichgesetzt wurde, das außer Calciumcarbonat aber keine weiteren Bodennährstoffe zuführt, wurden beim Ausbleiben ergänzender Düngergaben die Böden bald ausgelaugt und ertragsschwach, sie waren „ausgemergelt“. Im Sinne von „abgemagert“, „kraftlos“ oder „verbraucht“ ist der Begriff in den allgemeinen Sprachgebrauch übernommen worden.

Zunehmend ist zu beobachten, dass bei der Neuanlage eines Wingerts mächtig Bodensubstrat aufgeschüttet wird (Abb. 26). Begründet wird dies mit dem notwendigen Ausgleich der Bodenverluste durch die Erosion und der „guten fachlichen Praxis“, diese durch Bodenauftrag auszugleichen. Beim sogenannten Erosionsersatz (Bodenauftrag von wenigen Dezimetern) muss lediglich eine Anzeige über das Weinbauamt mit Weinbauschule Eltville abgegeben werden, ein Genehmigungsverfahren bezüglich „Erdauffüllungen“ ist nicht erforderlich. Es gilt, dass die Menge des aufgetragenen Materials in etwa derjenigen entsprechen sollte, die auf der betroffenen landwirtschaftlichen Fläche abgängig ist. Des Weiteren soll nach dem BBodSchG bzw. nach der BBodSchV nur Ursprungsmaterial wiederverwertet oder Bodenmaterial mit vergleichbaren stofflichen und physikalischen Eigenschaften eingesetzt werden.

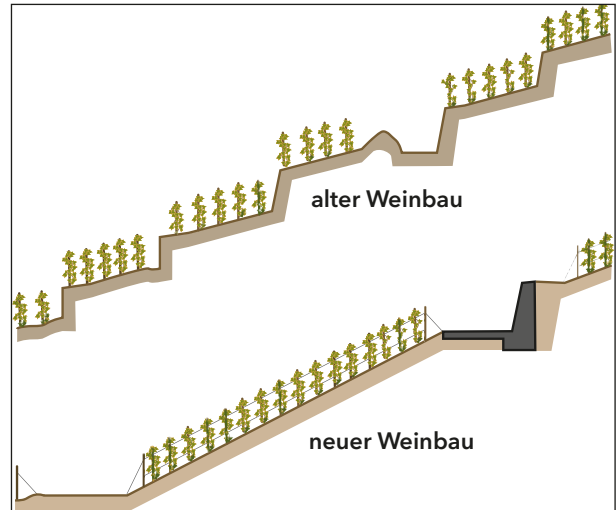


Abb. 25: Weinbergshang vor und nach der Flurbereinigung (nach SCHMIDT-LIEB 1974).

Das Aufbringen von Bodenmaterial im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren ist in einer Anleitung des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation geregelt (HLBG 2015a, b). Grundsätzlich gilt die Regel „Gleiches zu Gleichem“, d. h. ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften und Beschaffenheit des auf- oder einzubringenden Materials mit dem Boden vor Ort ist anzustreben. Dieser Aspekt sollte bei der Neuanlage eines Weinbergs wieder verstärkt berücksichtigt werden, denn nur durch die Verwendung von standortgerechtem Material kann der spezielle Charakter einer Lage erhalten werden. Zu beachten sind darüber hinaus auch die weiteren, auf Grundlage von § 6 BBodSchG erlassenen Anforderungen der BBodSchV.



Abb. 26: Bodenmaterial liegt zum Auftrag bereit.

3.6 Weinbergslage und Bodenheterogenität

Während insbesondere in den romanischen Anbauländern wie Frankreich, Italien oder Spanien die Festlegung des Terroirs einen zentralen Eckpunkt der weingesetzlichen Regelung bildet, spielte die Frage der Abgrenzung im deutschen Weinbau in der Vergangenheit nicht diese Rolle. Dennoch hat das Terroir für die Auswahl der Sorten und Unterlagen eine große Bedeutung. Es werden, wie am Beispiel des Rieslings in Hessen erkennbar, ganz überwiegend nur traditionelle Rebsorten angebaut, deren Qualitätspotenzial stark von Umweltbedingungen abhängig ist.

Bei der Beeinflussung des Weinstiles wird die Bedeutung bodenphysikalischer Eigenschaften besonders hervorgehoben. Der Wasser- und Lufthaushalt in Verbindung mit der Tiefgründigkeit eines Standortes beeinflussen neben der Zucker- und Säurebildung den Sekundärstoffwechsel der Rebe und damit die Bildung bedeutsamer Inhaltsstoffe.

Von den chemischen Parametern besitzen der Kalkgehalt und der pH-Wert des Bodens insbesondere für die Pufferung der Weine beim Ausbau eine wichtige Funktion. Durch den hohen Anteil von kalkhaltigen Böden werden im Rheingau und an der Bergstraße besondere, unverwechselbare Rieslingweine produziert. Davon unterscheiden sich die Weine am Mittelrhein durch den fehlenden Kalkgehalt des Bodens deutlich. Diese Weine zeichnen sich stattdessen durch eine markantere Fruchtigkeit aus.

Auch wenn die im deutschen Weinbau definierten Lagen eine Ähnlichkeit zum Terroir aufweisen, gilt es die grundsätzlichen Unterschiede festzuhalten. Das deutsche Weingesetz von 1994 vereint unter dem Begriff „Lage“ Gebiete, aus deren Erträgen „gleichwertige Weine gleichartiger Geschmacksrichtung hergestellt zu werden pflegen“ (WeinG, § 2 Begriffsbestimmungen). So unterscheidet man im Rheingau 121 und an der Hessischen Bergstraße 23 Einzellagen, die als zwölf bzw. drei Großlagen zusammengefasst sind (Regierungspräsidium Darmstadt 2021a, b).

Der Lagename findet im Weinmarketing als geographische Herkunftsbezeichnung Verwendung und wird häufig mit Qualität und Authentizität in Verbindung gebracht. Allerdings basiert die Lagen-

abgrenzung oft nicht auf einer naturräumlich-wissenschaftlichen Klassifikation und Abgrenzung der Raumeinheiten. Es können deshalb gravierende Unterschiede der naturräumlichen Ausstattung innerhalb einer Einzellage auftreten (verschiedene Gesteine, Böden, Hangneigungen, Ausrichtungen zur Sonne, Höhenlagen etc.). Am Beispiel von Abbildung 27 sei dies verdeutlicht. Sie zeigt die Heterogenität eines Bodenparameters (Bodenwasserhaushalt auf Grundlage der potenziellen Wasserspeicherkapazität). Die Weinbergslagen unterscheiden sich allein in dieser Eigenschaft von sehr hoch (rot) bis gering (grün).

Gleichwertige Weine gleichartiger Geschmacksrichtungen seien aber nur unter gleichartigen Bedingungen zu erzeugen, kritisieren viele Personen, die im Weinbau tätig sind, die offizielle Lageneinteilung. Die Terroir-Diskussion der letzten Dekade gibt vielfältige Anstöße im Hinblick auf eine Charakterisierung von Einzellagen und einer standortbezogenen Abgrenzung. Eine aus naturwissenschaftlicher Sicht vielversprechende räumliche Gliederung bietet die Standortzonierung auf Grundlage der für den Weinbau wichtigen Standorteigenschaften wie bspw. Relief, Bodenaufbau, Grund- und Stauwasserverhältnisse, Einstrahlung und Temperatur (SCHUHMACHER et al. 2018).

Einzelne Anbauregionen haben bereits eigene, regionale Gütezeichen oder Klassifikationen entwickelt. Anfang der 1990er Jahre begann beispielsweise die Vereinigung der Charta-Weingüter im Rheingau Lagen abzugrenzen. Grundlage der Klassifizierung waren alte Karten, die in der Vergangenheit der Grundstücksbewertung durch die Finanzverwaltung dienten.

Das Gütezeichen „Erstes Gewächs Rheingau“ ist der Versuch, anhand von objektiven Standortkriterien sowie Anbau- und Qualitätsrichtlinien einen „Grand Cru“-Wein des Rheingaus zu definieren. Die fachliche Basis zur Abgrenzung der Flächen ist ein Modell des Mostgewichtes (Berechnung des potenziellen Mostgewichtes für jeden Geländepunkt). Es flossen aber auch bodenkundliche Informationen in die Bewertung mit ein. Rund ein Drittel der Fläche des Rheingaus wurden als „Erstes Gewächs“ klassifiziert.

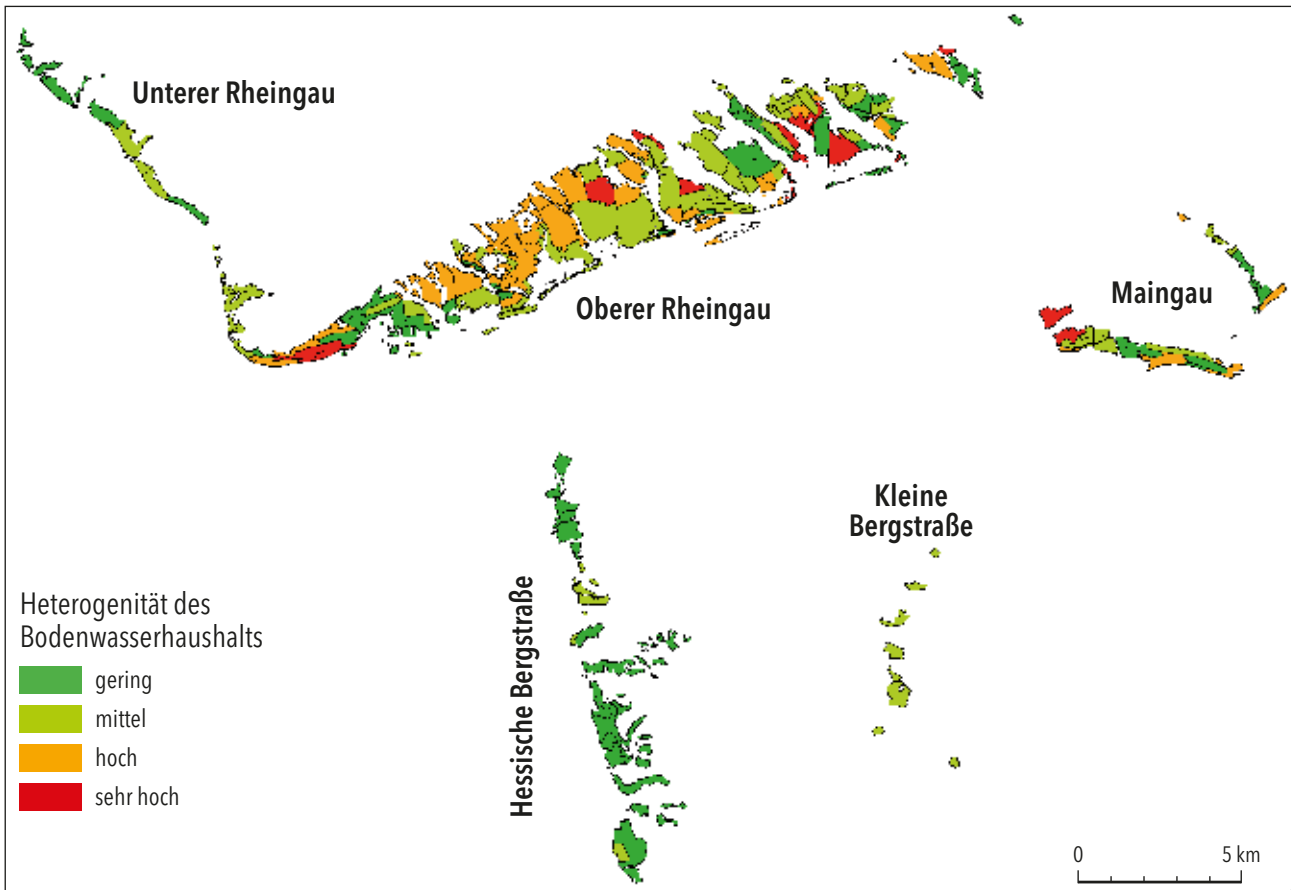


Abb. 27: Heterogenität des Bodenwasserhaushalts der Einzellagen.

Da die Eigenschaften der Böden auch innerhalb einer Lage häufig kleinräumig wechseln können, liegt die Frage nahe, inwiefern sich die einzelnen hessischen Weinbergslagen hinsichtlich bodenkundlicher Parameter als mehr oder weniger homogene oder aber heterogene Einheiten präsentieren. Dies wurde exemplarisch auf Basis der Weinbergsbodenkarten des HLNUG anhand der nutzbaren Feldkapazität (nFK) der Weinbergsböden, die eine Schlüsselrolle für den Bodenwasserhaushalt spielt, geprüft (MESCHÉDE et al. 2005). Berechnet wurde die durchschnittliche Abweichung der nFK-Werte der Bodeneinheiten vom statistischen Mittelwert einer Lage (Variationskoeffizient). Ein Blick auf die Auswertung der hessischen Weinbaulagen (Abb. 27) zeigt, dass die Lagen hinsichtlich des Wasserspeichungsvermögens innerhalb der Anbauregionen sehr unterschiedlich sind.

Die Lagen der Hessischen Bergstraße präsentieren sich noch recht homogen, da sehr verbreitet Lösslehme oder Flugsande mit jeweils einheitlichen Speichereigenschaften dominieren. Auch für weite Teile

des Mittelrheins lassen sich einheitliche Verhältnisse erkennen, wo umgekehrt der mangelnde Lösslehm- und folglich Feinerdeanteil in den Hangschuttdecken eine Abnahme der Wasserspeichermöglichkeit der Böden zur Folge hat.

Besonders heterogen stellen sich dagegen die Lagen im Rheingau und teilweise am Untermain dar. Hier spiegeln sich, trotz einer auf Ausgleich der Bodenverhältnisse bedachten starken anthropogenen Überprägung der Weinbergsböden, die natürlichen mosaikartigen Wechsel von Landschaftsform, geologischem Untergrund und vor allem Böden in einem Nebeneinander von besser und schlechter wasserversorgten Standorten wider. Der kleinräumige Wechsel des Ausgangsgesteins und der Böden aus Löss- und Lösslehmdecken, unterschiedlich mächtigen Fließbetten über tertiärem Sand, Mergel und Ton oder über quartären Flussablagerungen wird durch das hügelige Relief zusätzlich modifiziert.

Einen Überblick über die Verbreitung der wichtig-

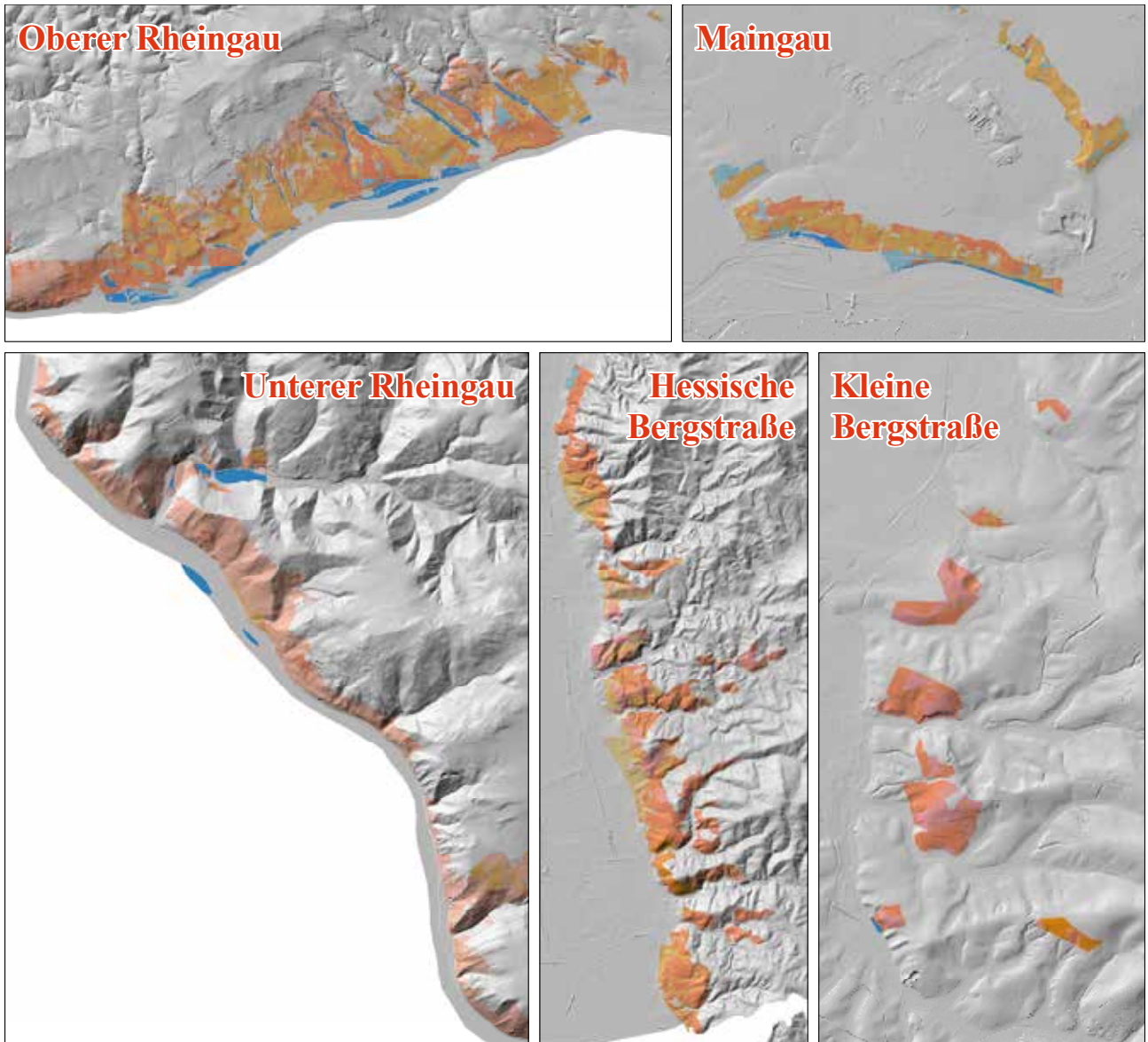













Abb. 28: Die Bodengruppen der Weinbergsbodenkarte 1: 50 000 (Legende ohne die Grauwerte der Schummerung in den Karten).

Legende für Abb. 28, 29 und 30

 Böden aus künstlicher Auffüllung	 Böden aus psammitischen Gesteinen (Sandstein)
 Böden aus Lösssubstraten	 Böden aus grobbodenreichen Substraten metamorpher Gesteine
 Böden aus lössreichen Substraten	 Böden aus grobbodenreichen Substraten magmatischer Gesteine
 Böden aus Flugsand	 Böden mit Staunäseeinfluss
 Böden aus fluviatilen Sedimenten des Quartärs	 Böden mit Grundwassereinfluss
 Böden aus fluviatilen, brackischen und marinen Sedimenten des Tertiärs	

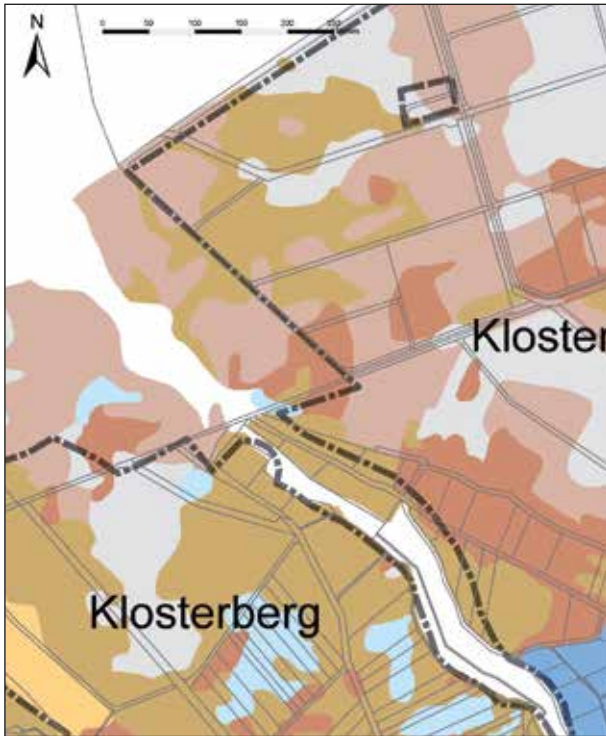


Abb. 29: Lage mit heterogenen Substraten: Klosterberg (Rheingau) (Legende siehe Abb. 28).

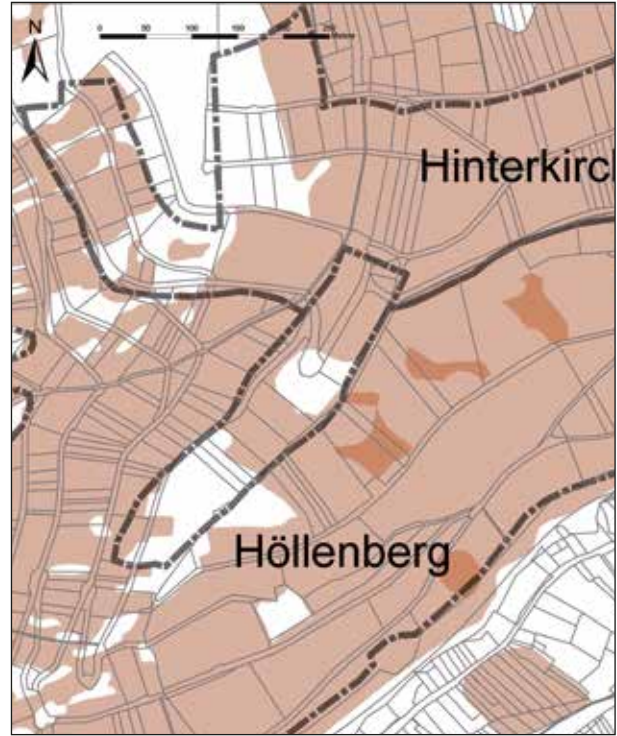


Abb. 30: Lage mit homogenen Substraten – Hinterkirch/Höllenberg (Mittelrhein) (Legende siehe Abb. 28).

ten Ausgangsgesteine der Bodenbildung gibt Abbildung 28. Die Beispiele Klosterberg (Abb. 29) und Hinterkirch/Höllenberg (Abb. 30) zeigen, wie unterschiedlich variabel einzelne Lagen bezüglich ihrer Ausgangssubstrate sein können.

Auch die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in die Bodenlandschaft sind bei der Bewertung der Lagenauthentizität zu berücksichtigen. Großflächige und intensive Maßnahmen der Flurordnung, z. B. der Auftrag von Fremdgestein bzw. Boden im Zuge einer „Standortverbesserung“, stellen die Erzeugung authentischer Weine in Frage. Die Standorte können örtlich so grundlegend überprägt sein, dass ursprüngliche Bodeneigenschaften und damit der eigentliche Charakter der Lage auf den betroffenen Flächen verloren gehen. Verändernde und nivellierende Wirkun-

gen gehen auch von Maßnahmen der Bodenbewirtschaftung wie Düngung oder Bewässerung aus, so dass vielfach lagentypische Weine guten Gewissens nur schwerlich ausgewiesen werden können.

Die Definition natürlicher Terroir-Einheiten unter Einbeziehung von Bodendaten ist eine ernst zu nehmende Alternative zur herkömmlichen Lagenklassifikation. Qualität und Geschmack solcher Weine lassen sich dann stärker von den naturräumlichen Standortbedingungen ableiten. Der Boden könnte in Zukunft mehr in die Praxis der Weinvermarktung einfließen, sei es durch neue Gebietsabgrenzungen zur Hervorhebung bestimmter Geschmacksbilder oder zur Erzeugung terroirgeprägter Weine. Dazu bedarf es einer hoch auflösenden Dokumentation der Bodenverhältnisse der Weinbaugebiete.

4 Verfügbare Daten zu Standortfaktoren der hessischen Weinbaugebiete

Die hessischen Weinbaugebiete sind bezüglich der Erhebung und Bewertung von Geofaktoren schon seit den 1950er Jahren weltweit die mit am besten untersuchten Weinbauflächen. Mit der episodischen Fortschreibung der Kartierungen und deren Bewertungen stehen heute unterschiedliche Daten und Karten zur Verfügung, die sich in ihrer zeitlichen Entstehung und in ihrer räumlichen Aussageschärfe unterscheiden. Abbildung 32 zeigt eine zeitliche und inhaltliche Übersicht zu den unterschied-

lichen Geodaten, die im Rahmen der Weinbergskartierung erhoben und dokumentiert wurden. Die folgenden Kapitel zu Kartenwerken, Daten und Informationssystemen erläutern die wesentlichen Meilensteine in der traditionsreichen Bearbeitung sehr unterschiedlicher Fragestellungen der Weinbaugebiete Hessens. Die aktuelle Verfügbarkeit von Standortdaten im Weinbau findet sich im Internet unter <https://www.hlnug.de/?id=7656>

4.1 Weinbergsbodenkartierung und erste Bodenmanuskriptkarten

Den Startschuss der Weinbergskartierung in Hessen gab ein Wirtschaftsförderungsprogramm zur Bekämpfung der Reblaus unter Nutzung von bodenabhängigen Pfropfreben (Abb. 31). Mitte des 20. Jahrhunderts wurde zur Bekämpfung der Reblaus (*Dactylosphaera vitifoliae*) die Umstellung des Weinbaus

auf den Anbau von Pfropfreben eingeleitet. Dabei musste beachtet werden, dass Menge und Qualität des Ertrags wesentlich von der Bodenverträglichkeit der verwendeten Unterlagssorten abhängig waren. Um zu gewährleisten, dass für jeden Standort die geeignete Sorte ausgewählt werden konnte, waren für die weinbauliche Beratung Kenntnisse über die Eigenschaften der Böden in den Weinbaugebieten erforderlich. Für die standortgerechte Bestockung wurden Planungsunterlagen benötigt.

In Hessen wurde daher 1947 mit der großmaßstäbigen bodenkundlichen Kartierung der Weinbaugebiete im Rheingau begonnen. Um die kleinräumig wechselnden, in unterschiedlichem Maße überprägten Bodenbildungen zu erfassen, wurde auf Basis der Katasterpläne im Maßstab 1:2000 oder 1:2500 bodenkundlich kartiert. Die unter der Leitung von H.-H. Pinkow begonnenen Arbeiten führten H. Zakosek und andere Mitarbeiter des damaligen Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (heute HL-NUG) bis 1958 zu Ende (PINKOW 1949, 1950, 1951a, b, c; ZAKOSEK et al. 1967). Es entstanden für eine Fläche von fast 10 000 ha – und damit weit über die tatsächliche Weinbaufläche hinaus – zahlreiche Bodenkarten.

Bei der bodenkundlichen Kartierung wurden im Gelände im Abstand von 20 bzw. 25 m Bohrungen bis in 2 m Tiefe abgeteuft. Um die Genauigkeit noch weiter zu erhöhen, sollten bei einem Bodenwechsel weitere vier bis fünf Zwischenbohrungen niedergebracht werden. So wurden pro Hektar durchschnittlich 40 bis 50 Bohrungen erreicht, um auch kleinflächige



Abb. 31: Amerikaner-Unterlage und Pfropfrebe (HEUCKMANN & VOM ENDT 1951).



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft

www.hlnug.de



Das HLNUG auf Twitter:
https://twitter.com/hlnug_hessen

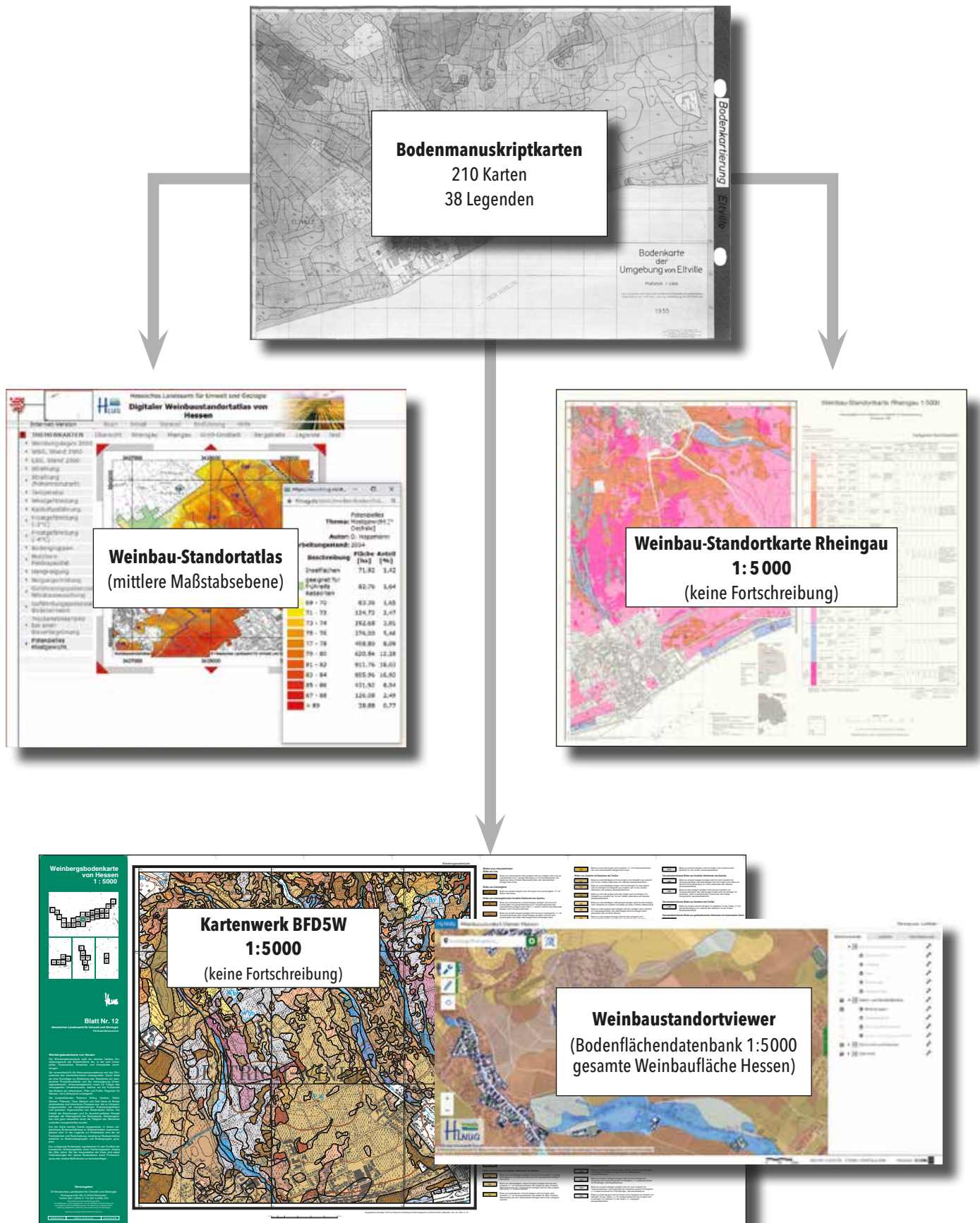


Abb. 32: Die Weinbergsbodenkartierung und ihre Produkte (1948–2021).



Abb. 33: „Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete“ gestern und heute (1. und 2. Auflage).

Bodenunterschiede zu erfassen. Ergänzt wurden die Feldaufnahmen durch Laboruntersuchungen. Die Kriterien der Datenerhebung sind ausführlich dokumentiert (HLUG 2007). Bei der Kartierung wurden bis zu drei Tiefenstufen (Rigolhorizont i. d. R. bis 70 cm Tiefe plus bis zu zwei Untergrundhorizonte) bis maximal 200 cm Tiefe erfasst. Getrennt für die jeweilige Tiefenstufe liegen folgende Angaben vor:

- Mächtigkeit der Tiefenstufe
- Art und Bezeichnung des Ausgangsgesteins
- Feinbodenart
- Grobbodenart und -gehalt
- Carbonatgehalt

- Bodenreaktion
- Garebereitschaft
- Durchwurzelbarkeit
- Angaben zum Wasserhaushalt

Ergebnis der Erhebungen waren 210 handkolorierte Bodenmanuskriptkarten mit 38 unterschiedlichen Legenden. Fast alle Karten sind beim HLNUG und beim Weinbauamt Eltville des Regierungspräsidiums Darmstadt archiviert. Viele Hintergrunddokumente und vor allem die umfangreichen Labordaten aus der Kartierphase bis in die 1960er Jahre sind leider verloren gegangen.

4.2 Der Weinbaustandortatlas als mittelmaßstäbige Betrachtungsebene

Während der Hessische Geologische Dienst die Bodenkartierung der Weinbaugebiete durchführte, arbeiteten Wissenschaftler des Deutschen Wetterdienstes und der Forschungsanstalt in Geisenheim an der Dokumentation der klimatischen Standortfaktoren und an der Rebenzüchtung. Neben den Bodenkarten entstanden somit Fachkarten zur Sonneneinstrahlung, Frost- und Windgefährdung sowie

zu Rebenanbauempfehlungen. Die Arbeitsergebnisse wurden als mittelmaßstäbige Übersicht mit der Herausgabe der „Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete“ zusammengefasst. Zentraler Teil dieser interdisziplinären Dokumentation waren Boden- und Klimakarten im Maßstab 1:50 000, die als „Weinbaustandortatlas“ publiziert wurden (ZAKOSEK et al. 1967).

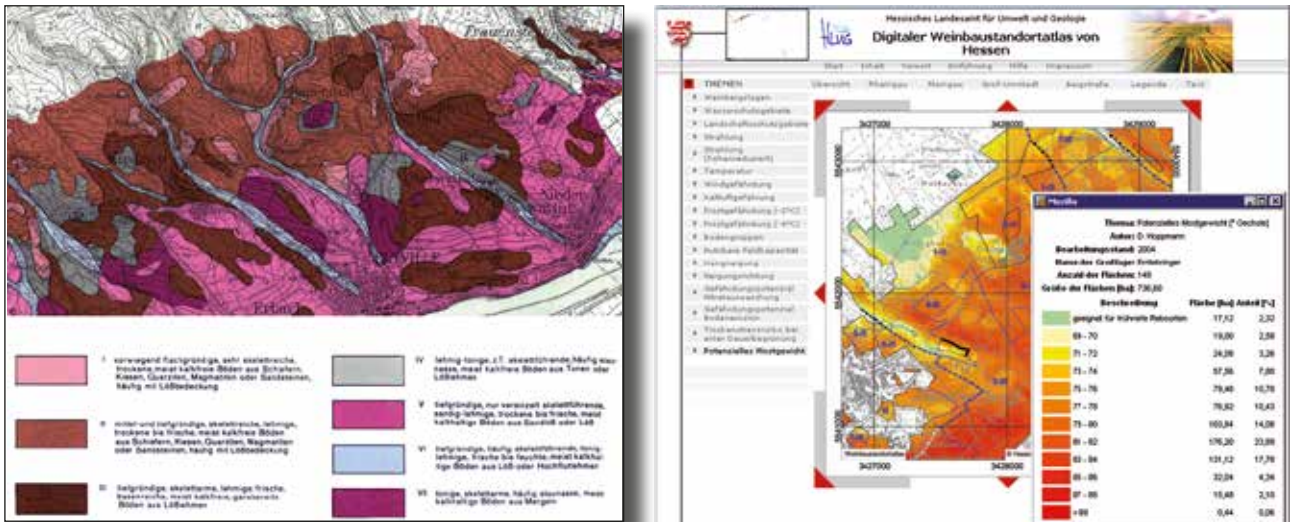


Abb. 34: Ausschnitt aus der Bodenkarte von 1967 und Digitaler Weinbaustandortatlas mit Recherche in der Themenkarte „Potenzielles Mostgewicht“.

Die „Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete“ liegt mittlerweile in einer zweiten Neuauflage vor (LÖHNERTZ et al. 2004). Sie wurde durch die Zusammenarbeit zwischen dem Geschäftsbereich des Deutschen Wetterdienstes, der Forschungsanstalt Geisenheim, dem HLNUG und dem Geographischen Institut der Johann-Gutenberg-Universität Mainz sowie dem Weinbauamt Eltville des Regierungspräsidiums Darmstadt erstellt und vom HLUG in der Reihe „Geologische Abhandlungen Hessen“, Band 114 publiziert. Die thematischen Übersichtskarten werden in einer beiliegenden CD-ROM als „Digitaler Weinbaustandortatlas von Hessen“ präsentiert. Die Karten umfassen neben den weinbaulichen Schwerpunkten Boden, Klima und Rebenanbau auch Themen zur Umwelt in den Bereichen des Landschafts-, Natur-, Boden- und Grundwasserschutzes und spiegeln somit die moderne Betrachtungsweise einer standortgerechten Bewirtschaftung wider.

Der Atlas zeigt Standortcharakteristiken hinsichtlich Klima und Boden und weiterer Themen, wie

z. B. Trockenstressrisiko, potenzielle Erosionsgefährdung oder potenzielles Mostgewicht (Abb. 34). Das dem Buch und der CD-ROM zu Grunde liegende Weinbauinformationssystem ist in allen beteiligten Institutionen verfügbar. Das System ermöglicht vielfältige Analysefunktionen: von der räumlichen und inhaltlichen Recherche sowie der Überlagerung von Themen bis zur automatisierten Kartenausgabe. Der Weinbaustandortatlas ist unter dieser Adresse verfügbar: <https://www.hlnug.de/?id=7662>.

Der Weinbaustandortatlas bietet eine wesentliche Grundlage für Fragestellungen des Weinbaus sowie des Boden-, Natur- und Grundwasserschutzes. Der Winzerin und dem Winzer bieten die Informationen ein Arbeitsmittel für die Anlage von Rebflächen, den Einsatz des geeigneten Bodenpflegesystems und zur Charakterisierung von Standorten. Dem interessierten Weinliebhaber eröffnet der Weinbaustandortatlas einen Einblick in das Naturpotenzial der Weinbergslagen.

4.3 Die großmaßstäbige Weinbaustandortkarte für die Weinbaupraxis

In den 1970er und 1980er Jahren wurde auf Grundlage der oben beschriebenen Manuskriptkarten der Böden im Maßstab 1:2 000 bis 1:2 500 das Kartenwerk Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5 000 herausgegeben (Abb. 35). Die Karten geben neben der Weinbergsbodenkartierung auch die Ergebnisse der

agrometeorologischen Beurteilung und die Erfahrungen der Boden angepassten Adaptionsprogramme mit den wichtigsten Unterlagssorten wieder. Die Bewertung von Boden und Klima mündet in einer Sorten- und Anbauempfehlung, insbesondere für die Verwendung standortgerechter Unterlagen. Das

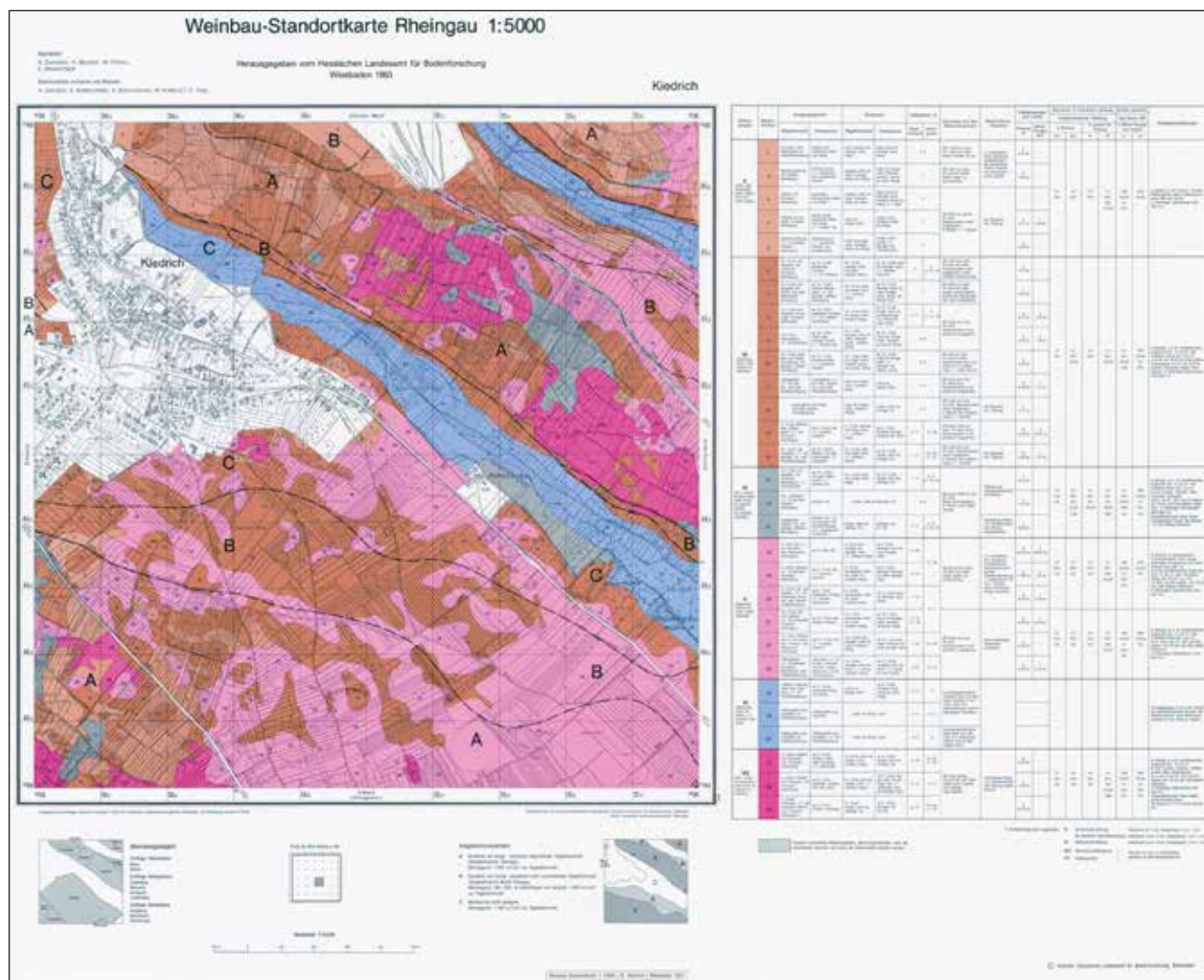


Abb. 35: Weinbaustandortkarte, Blatt Kiedrich.

Kartenwerk umfasst 16 Blätter, die den größten Teil des Weinbaugebietes Oberer Rheingau und den Unterrhein (Hochheim, Wicker, Mainz-Kostheim) abdecken. Das Kartenwerk wird seit den 1990er Jahren nicht mehr fortgeschrieben. Für die Bereiche Berg-

straße und Mittelrhein liegen keine Karten vor. Die Weinbaustandortkarten sind über den Vertrieb des HLNUG zu beziehen. Nachkartierungen werden nur noch im Weinbaustandortviewer eingearbeitet.

4.4 Weinbaustandortinformation 1 : 5 000

Um den detaillierten Datenbestand der Weinbergsbodenkartierung für die Zukunft zu sichern, hat das HLNUG die Bodeninformationen aus den 1950er Jahren aufgearbeitet. Es wurden 210 Karten digitalisiert, die Daten der 38 zugehörigen Legendenblätter in eine Datenbank übertragen und die Einzelkarten in einer digitalen Karte zusammengeführt. Die Weinbergsbodenkarten werden nun auf 38 Kartenblättern abgebildet (Abb. 36). Hintergrundinforma-

tionen zu den historischen Manuskriptkarten der Weinbergsbodenkartierung (Gemarkung, Maßstab der Karte, Datum der Aufnahme, Autor etc.) wurden in einer Metadatenbank abgelegt. Der topographische Hintergrund der neuen Weinbergsbodenkarte (Digitales Höhenmodell Hessen, Gebäude, Wegenetz, Flurgrenzen) befindet sich auf dem aktuell verfügbaren Stand. Damit wird nun ein leistungsfähiges Geoinformationssystem vorgehalten, das landesweit

und automatisiert nach Bedarf bodenkundliche Themenkarten und Auswertungen bereitstellen kann. In dieses Geoinformationssystem können neu erhobene Daten rasch und flexibel eingearbeitet und dargestellt werden.

- Weinbergsbodenkarte von Hessen
- Calciumcarbonatgehalt der Weinbergsböden
- Wasserspeichungsvermögen der Weinbergsböden
- Grund- und Stauwassereinfluss der Weinbergsböden

4.4.1 Das Kartenwerk BFD5W

Aufbauend auf den Bodenflächendaten 1:5 000 werden vier abgeleitete Themenkarten aus dem Datenbestand angeboten:

Die Themenkarte Boden (Weinbergsbodenkarte von Hessen 1:5 000) zeigt das Bodenmosaik, d. h. die detaillierte, kleinräumige Verbreitung der nach Aufbau und Eigenschaften stark differenzierten Weinbergsböden

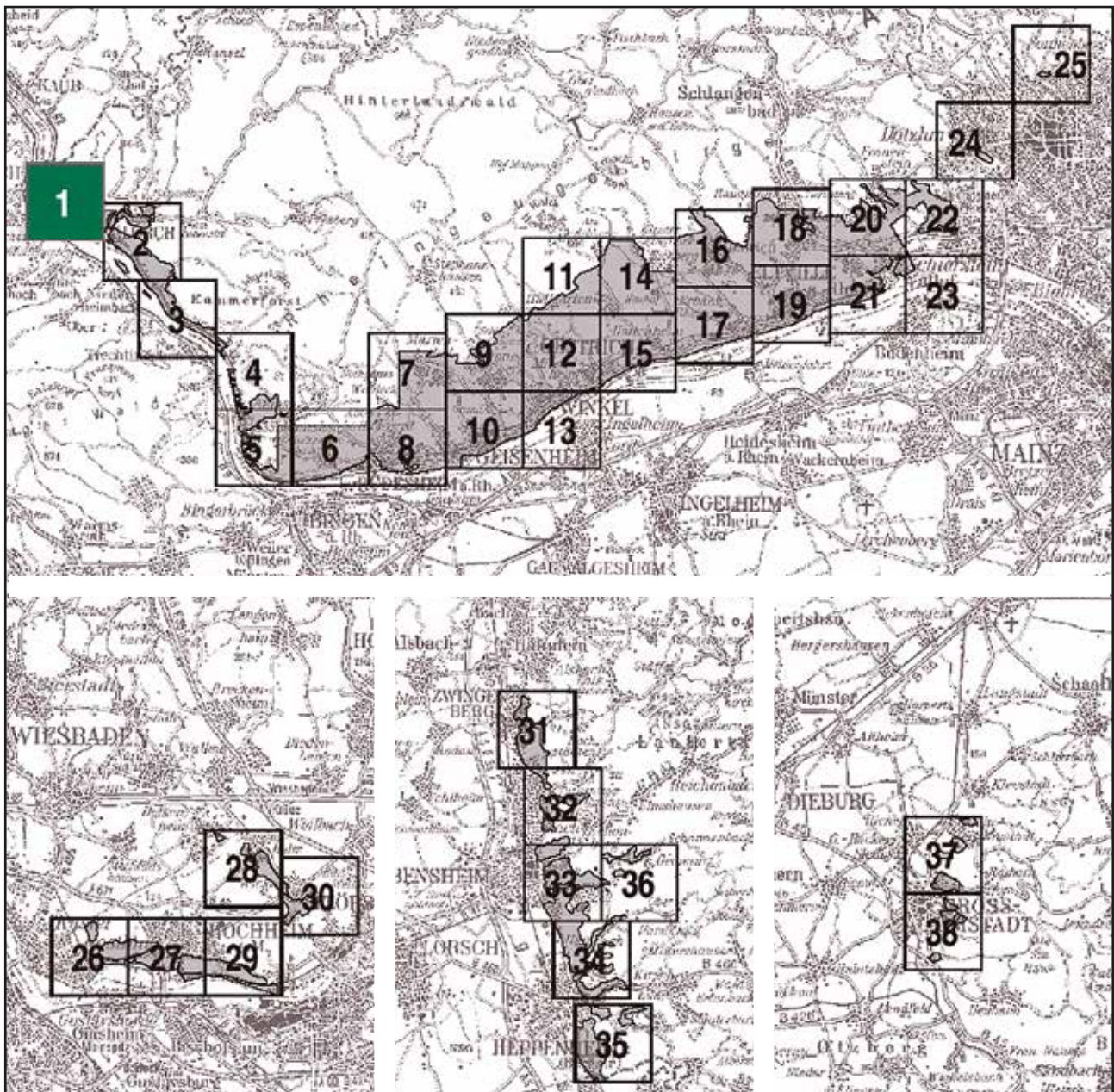


Abb. 36: Übersicht der Weinbergsbodenkarten.

böden. In einer landesweit einheitlichen Legende sind über 1200 Bodeneinheiten mit einheitlicher Genese (Entstehung) und einheitlichen Eigenschaften zusammengefasst und systematisiert (Abb. 37).

Die Bodeneinheiten der Weinbergsbodenkarte (Abb. 38) vereinigen bodenkundlich relevante Substrat- und Entwicklungsmerkmale der Böden und setzen sich aus Angaben zu den folgenden Bodenmerkmalen zusammen:

- Gründigkeit
- klassifizierter Carbonatgehalt
- Feinbodenart
- klassifizierter Grobbodengehalt und klassifizierte Grobbodenart
- Ausgangsgestein
- Angabe zum Wasserhaushalt

Die Weinbergsbodenkarte erfasst standardmäßig den Boden bis zu einer Tiefe von 2 m und unterscheidet dabei maximal drei Schichten (Rigolhorizont, Untergrund 1, Untergrund 2). Ergänzende Angaben zum Wasserhaushalt (Stauwasserfluss, Grundwasserfluss, Verdichtung im Untergrund etc.) schließen die Bodenbeschreibung ab. Die Angaben dienen einer umfassenden Kennzeichnung und Beurteilung der Böden und deren Eigenschaften für verschiedene Fragestellungen. Dort sind ebenso die Themenkarten zur nutzbaren Feldkapazität, Carbonatgehalt und zum Grund- und Stauwasserfluss beschrieben (Abb. 39). Die Weinbergsbodenkarte und die Themenkarten sind über den Vertrieb des HLNUG zu beziehen.

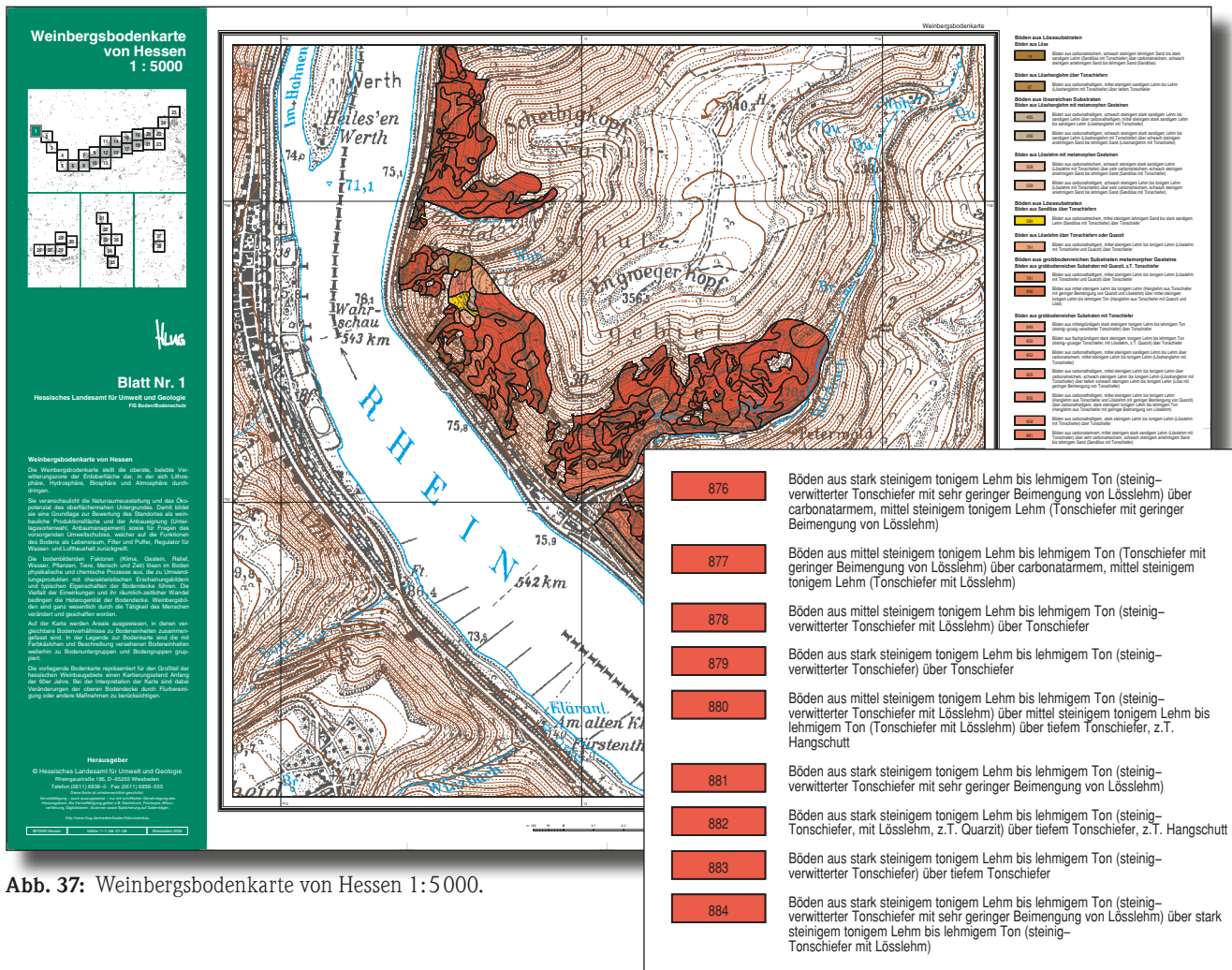


Abb. 37: Weinbergsbodenkarte von Hessen 1:5000.

Abb. 38: Ausschnitt aus der Legende.

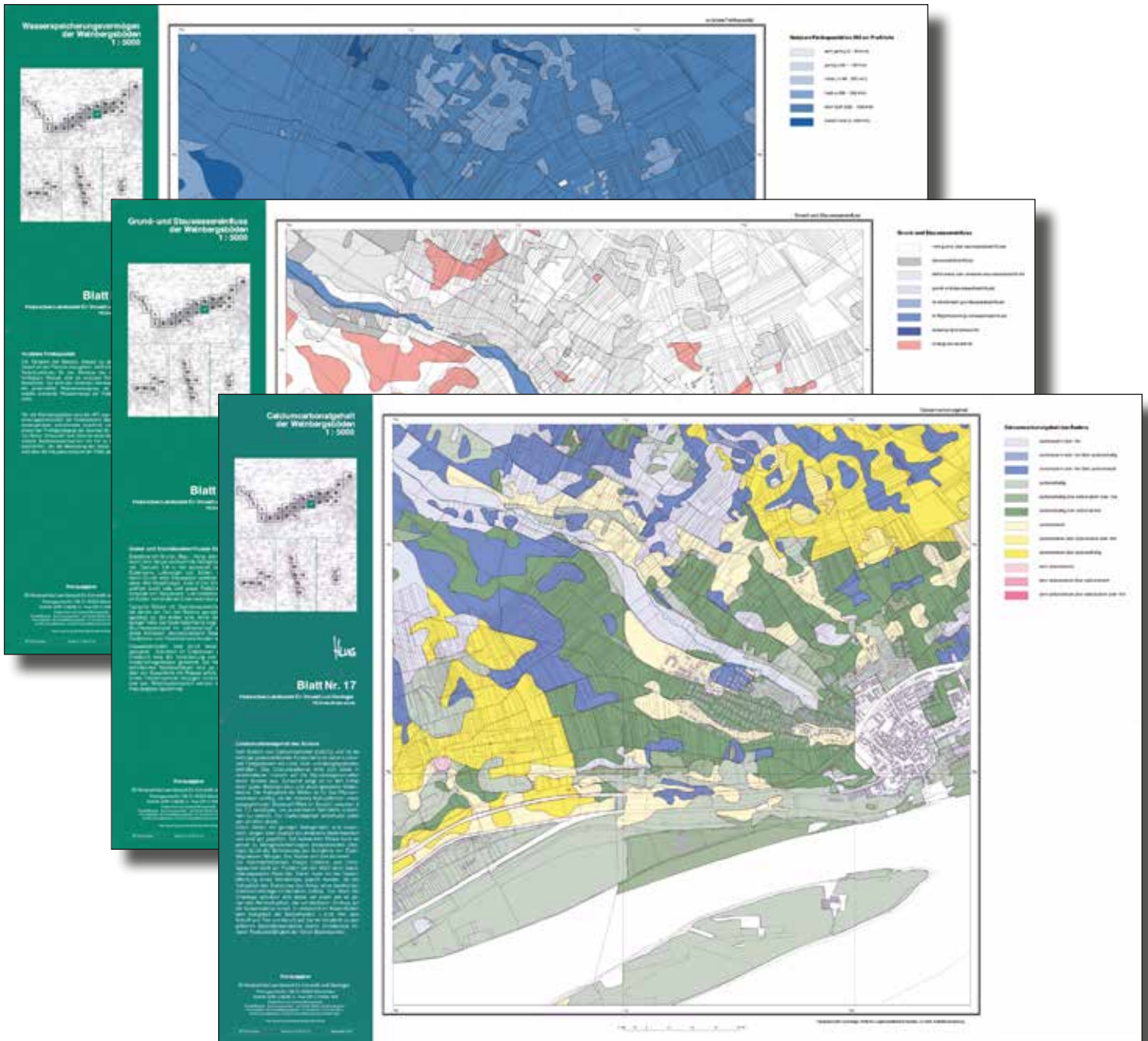


Abb. 39: Angewandte Themenkarten (hier: Wasserspeichervermögen, Grund- und Stauwassereinfluss und Calciumcarbonatgehalt) der Bodenflächendaten 1:5000, Weinbau (BFD5W).

4.4.2 Der Weinbaustandortviewer

Mit den strukturierten, blattschnittübergreifenden Bodenflächendaten Weinbau konnte neben dem Kartenwerk auch sehr rasch ein Auskunftssystem für das Internet aufgebaut werden. Der Weinbaustandortviewer Hessen bietet dabei die Möglichkeit, räumliche und inhaltliche Abfragen zu stellen und die Ergebnisse graphisch auf dem Bildschirm oder als Karte auszugeben.

Neben den Bodenflächendaten stehen Weinbaudaten zur Lage, Großlage und Bestockung sowie unterschiedliche Geobasisdaten wie Gemarkungsgrenzen, topographischer Hintergrund oder Luftbilder zur Verfügung (Abb. 40).

Das Info-System bietet dem Anwender zunächst einen flächenhaften Einblick in den Aufbau und die Eigenschaften der Weinbergsböden. Von einer Über-



Abb. 40: Weinbaustandortviewer mit Kartenelementen (rechts) und Werkzeugleiste (links).

sicht der Weinbaugebiete kann sich die Nutzerin und der Nutzer bis zu einer Weinbauparzelle hineinzoomen und die unterschiedlichen Themen und Hintergrundinformationen darstellen lassen. Gleichzeitig kann der Standortviewer aber auch als Beratungssystem für die Auswahl geeigneter Unterlagen genutzt werden (FRIEDRICH et al. 2008).

Nach Auswahl des Edelreises, Pflanzabstand und ggf. geplanter Begrünung kann eine Fläche angeklickt werden, und das System ermittelt die für den Standort gemäß den Vorgaben geeigneten Unterlagen (Abb. 41). Die Ergebnisse dienen der Orientierung für die Winzerin und den Winzer sowie der Weinbauberatung, sind aber hinsichtlich der Plausibilität noch zu prüfen, da Bodenüberprägungen an den einzelnen Standorten bisher nicht nachgeführt wurden.

Der Weinbaustandortviewer wird im Rahmen des Geo-Basis-Projektes des Umwelt-Ressorts angeboten. Der Zugang mit ausführlicher Dokumentation findet sich unter: <http://weinbaustandort.hessen.de>.

Eine ausführliche Anleitung zur Nutzung des Weinbaustandortviewers ist unter der Web-Adresse http://www.hlnug.de/medien/boden/fisbo/weinbau/hilfe/wsv_hilfe.pdf zu finden.

Anbaueignung

Ebene: Anbaueignung

Objekt: Böden aus stark kiesigem stark sandigem Lehm bis sandigem Lehm (Lösslehm mit Terrassensedimenten)

Profildaten: Bodeneinheit Nr. 145

Bezeichnung: Böden aus stark kiesigem stark sandigem Lehm bis sandigem Lehm (Lösslehm mit Terrassensedimenten) über mittel kiesigem Sand bis lehmigem Sand (pleistozäner Kies und Sand; Schotter)

nFK (mm) bis max. 2 m: 227,87

Stauulise: nicht grund- oder stauwasserbeeinflusst

Kalkgehalt Rigolhorizont (%): 0

Kalkgehalt Unterhorizont (%): 0

Riesling	Pflanzabstand			Burgunder	Pflanzabstand		
	eng	mittel	weit		eng	mittel	weit
begrünt	SO4BIn 161-49C 5C BB	SO4BIn 161-49C 5C	125AA 5BB	begrünt	SO4BIn 161-49C 5C	Börner SO4BIn	Börner 125AA
unbegrünt	Sori SO4BIn 161-49C 420A 5C	SO4BIn 161-49C 5C BB	Börner SO4BIn 110R 1100P 125AA 5BB 5C 8B	unbegrünt	SO4BIn 161-49C 420A 5C	SO4BIn 161-49C 5C	125AA

 sehr gut geeignet
 gut geeignet
 geeignet
 eingeschränkt geeignet

[Dokumentation zur Anbaueignung](#)

Verantwortliche für die Unterlagenempfehlung:
 Joachim Schmid, Hochschule Geisenheim, Institut für Reberzeugung
 Christoph Presser, RP Darmstadt, Dezernat Weinbau, Eitville

Abb. 41: Flächenabfrage zur Eignung der Unterlagen.



5 Schriftenverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (5. Auflage); Stuttgart (Schweizerbart'sche Verl.-Buchhandlung).
- BÖHM, P., MUSKAT, S. & LÖHNERTZ, O. (2008): TERROIR HESSEN. – (Hrsg): Gesellschaft für Rheingauer Weinkultur; Eltville.
- EMDE, K., FRIEDRICH, K. & LÖHNERTZ, O. (2005): Weinbergsböden und Bodenschutz in den Weinbaugebieten Rheingau und Mittelrhein. – Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Ges., Bd. **105**: 115–122; Oldenburg.
- FISCHER, U., BAUER, A., WOLZ, S. & SCHORMANN, A. (2007): Sensorische Ausprägung des Riesling Terroirs. – Tagungsband 50. Rheingauer Weinbauwoche, 5–27; Eltville.
- FRIEDRICH, K. (2004): Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. Von der traditionellen Standortbewertung zu einem modernen Standortinformationssystem. – Jahresbericht 2004 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie: 125–129; Wiesbaden.
- FRIEDRICH, K., PRESSER, C. & SCHMID, J. (2008): Der Weinbaustandortviewer Hessen. Ein Informationssystem zur Standortbewertung und Unterlagenempfehlung. – Dt. Weinbau Jahrbuch 2008, 59. Jg: 110–117; Stuttgart.
- FRIEDRICH, K. & SABEL, K.-J. (2004): Die Böden und ihre Verbreitung in den hessischen Weinbaugebieten. – In: Löhnertz et al. (2004): Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. – Geologische Abhandlungen Hessen, **114**: 59–69; Wiesbaden.
- GLADSTONES, J. & SMART, R. (2003): Boden und Weinqualität. Terroir. – In: ROBINSON, J. (2003): Das Oxford Weinlexikon; München.
- HAUENSTEIN, M. & BOR, J. (2015): Bodenzustandsbericht Rheinland-Pfalz – Mainz. – 3. Aufl.: 132 S.; Mainz.
- HEUCKMANN, W. & VOM ENDT, R. (1951): Die Pflöpfrebe... das Ende der Reblausgefahr! - Land- und Hauswirtschaftlicher Auswertungs- und Informationsdienst (AID), **5**; Bad Godesberg.
- HLBG – Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (2015a): Anleitung zum Umgang mit Bodenmaterialien in Flurbereinigungsverfahren. – URL: https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-10/anleitung_umgang_mit_bodenmaterialien_in_flurbereinigungsverfahren.pdf (Zugriffsdatum: 21.12.2021)
- HLBG – Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (2015b): Anleitung zum Umgang mit Bodenmaterialien in Flurbereinigungsverfahren – Anwendungsbeispiele. – URL: https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-10/beispiele_anleitung_umgang_mit_bodenmaterialien_in_flurbereinigungsverfahren.pdf (Zugriffsdatum: 21.12.2021)
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2017): Hintergrundwerte organischer Schadstoffe in hessischen Böden. [<http://www.hlnug.de/?id=6815>, Stand: 17.10.2018]
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007): Erläuterung zur Weinbergsbodenkarte von Hessen 1:5 000. – Unveröffentlichtes Manuskript.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2011): Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden. – 141 S.; Wiesbaden.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2016): Umweltschonender Weinbau – Das solidarische Ziel. Rheingau und Hessische Bergstraße; Wiesbaden.
- HOPPMANN, D., STOLL, M. & SCHALLER, K. (2017): Terroir: Wetter, Klima, BodenTerroir. – 2. Aufl.: 384 S., 173 Fotos, 14 Abb., 63 Tab.; Ulmer.
- KÖNIGER, S., SCHWAB, A. & MICHEL, S. (2002): Terroir-Bewertung mit GIS - Einstufung von Rebflächen nach natürlichen Standortfaktoren. – URL <http://www.yumpu.com/de/document/read/10541722/einstufung-von-rebflächen-nach-natürlichen-standortfaktoren> Zugriffsdatum: 15.3.2021.
- KÜHNE, S., STRASSEMAYER, J. & ROSSBERG, D. (2009): Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 6, 126–130.
- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – 4. Aufl.: 41 S., 3 Abb., 5 Tab.; Berlin.
- LÖHNERTZ, O., HOPPMANN, D., EMDE, K., FRIEDRICH, K., SCHMANKE, M. & ZIMMER, T. (2004): Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. – Geologische Abhandlungen Hessen, **114**: 147 S.; Wiesbaden.
- MESCHÉDE, D., FRIEDRICH, K. & OPP, CH. (2005): Anwendungsbeispiele der bodenkundlichen Weinbergskartierung in Hessen – Von der Datenaufbereitung zur GIS-gestützten Analyse der Weinbergslagen. – Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Ges., **107**: 747–748; Oldenburg.
- MOHR, H. D. (1985): Schwermetalle in Boden, Rebe und Wein. – Schriftenreihe des Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 308; Münster-Hiltrup.
- Mosel-Saar-Ruwer Wein e.V. (Hrsg.) (2007): Terroir an Mosel, Saar und Ruwer; Trier.
- MÜLLER, D. H. (2003): Untersuchungen zu Eintrag, Verteilung und Auswirkungen von Zink aus Unterstützungsvorrichtungen in Weinbergsböden. – Mitteilungen Klosterneuburg 53, S. 3–11.

- MWKEL – Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2013): Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz. – 248 S.; Mainz.
- PINKOW, H. (1949): Zur Klärung der Anpassungsfähigkeit von Amerikaner-Unterlagsreben. – *Der Weinbau* **4**: 502–503; Mainz.
- PINKOW, H. (1950): Die Bodenkartierung im Rheingau als Beitrag zur Klärung der Adaption von Unterlagsreben. – *Rheing. Wztg.* **36**: 56–57; Eltville.
- PINKOW, H. (1951a): Abgrenzung und Beurteilung von Rebenstandorten. – *Der Weinbau* **8**: 177–178; Mainz.
- PINKOW, H. (1951b): Standortgemäße Bodennutzung und richtige Bodenbehandlung, zwei Möglichkeiten zur Ertragssteigerung. – *Rheing. Wztg.* **37**: 106–109; Frankfurt-Höchst.
- PINKOW, H. (1951c): Die Bodenkartierung der Weinbaugebiete im Rheingau. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.* **VI** (2): 98–111; Wiesbaden.
- Regierungspräsidium Darmstadt (Hrsg.) (2020): *Ökologischer Weinbau 2020*; Eltville.
- Regierungspräsidium Darmstadt (2021a): Kurz - Info - Rheingau; Weinbauliche Kenndaten (Stand 31. Juli 2021). – URL: https://rp-darmstadt.hessen.de/sites/rp-darmstadt.hessen.de/files/Kenndatenblatt%20Rheingau%2031.07.2021_final_0.pdf
Zugriffsdatum: 21.12.2021
- Regierungspräsidium Darmstadt (2021b): Kurz - Info - Hessische Bergstraße; Weinbauliche Kenndaten (Stand 31. Juli 2021). – URL: https://rp-darmstadt.hessen.de/sites/rp-darmstadt.hessen.de/files/Kenndatenblatt%20Hess.%20Bergstra%C3%9F%2031.07.2021_final_0.pdf
Zugriffsdatum: 21.12.2021
- Rheinessenwein e.V. (2005): *Gute Gründe für Rheinessenwein. – Steine. Böden. Terroir; Trier.*
- SABEL, K.-J. (2006a): *Wein und Boden. Standortsspezifische Aspekte des Terroirs. Der neue Weinbaustandortatlas von Hessen. – Nassauischer Verein für Naturkunde, Exkursionshefte* **39**: 12 S.; Wiesbaden.
- SABEL, K.-J. (2006b): *Die Weinbaugebiete Flörsheim, Hochheim, Massenheim und Wicker im Spiegel der Standortkartierung. – Jahrbuch Main-Taunus-Kreis 2007*: 93–98; Hofheim.
- SCHENK ZU TAUTENBURG, J. Freiherr VON (1999): *Untersuchungen über den Zusammenhang von Standorteigenschaften, Inhaltsstoffen und geschmacklicher Beurteilung von Prädikatsweinen der Rebsorte Riesling im Rheingau. – Geisenheimer Berichte* **39**; Geisenheim.
- SCHMIDT-LIEB, W. (1974): *Stein und Wein*; Würzburg.
- SCHUHMACHER, N., FRIEDRICH, K., EMDE, K. & LÖHNERTZ, O. (2018): *Zonierung von Weinbergslagen anhand ausgewählter Standortkriterien. – Dt. Weinb. Jb., 2018*; Stuttgart.
- SITTLER, C. (1995): „Wein auf Stein“ oder „Vom Stein zum Wein“ – Beziehungen von Rebsorte zu Gesteinslage und Wein-Eigenart im Gebiet Barr-Andlau (Elsaß, Frankreich). – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.* (1995): 223–240.
- SOMMER, J.M. (1791): *Anleitung Ausländische Weinstöcke in Wirtemberg und andern Gegenden Teutschlands vortheilhaft zu pflanzen, und ganze Weinberge davon mit Nutzen anzulegen.* 51 S.; Stuttgart.
- STRUMPF, T., STEINDL, A., STRASSEMAYER, J. & RIEPERT, F. (2011): *Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 1: Gesamtgehalte in Weinbergsböden deutscher Qualitätsanbaugebiete. – Journal Für Kulturpflanzen* **63**, S. 131–143.
- SZOLNOKI, G., WOLF, M., & KAUER, R. (2018). *Schafe und Weingärten – eine symbiotische Beziehung? – Der Winzer* **11/2018**, S. 17–9.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009): *Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden. – UBA Texte 10/09*; Dessau.
- VON MERING, F., KIENZLE, J., KANTHAK, S., REINERS, E., PATZWahl, W., WEIHRAUCH, F. & RÜCKRICH, K. (2016): *Strategiepapier zu Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des Ökologischen Landbaus – Aktueller Stand der Aktivitäten und weiterer Handlungsbedarf. – 61 S.*
- ZAKOSEK, H., KREUTZ, W., BAUER, W., BECKER, H. & SCHRÖDER, E. (1967): *Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. – Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung*, **50**: 82 S.; Wiesbaden.