

# Der Boden am Hubland-Campus

## WORAUF STEHST DU?

### Braunerde aus Flugsand über Terra fusca - Rest aus Muschelkalklehm

Dieser Bodentyp erhält seine charakteristische Farbe durch oxidiertes Eisen in Folge einer "Verbraunung".

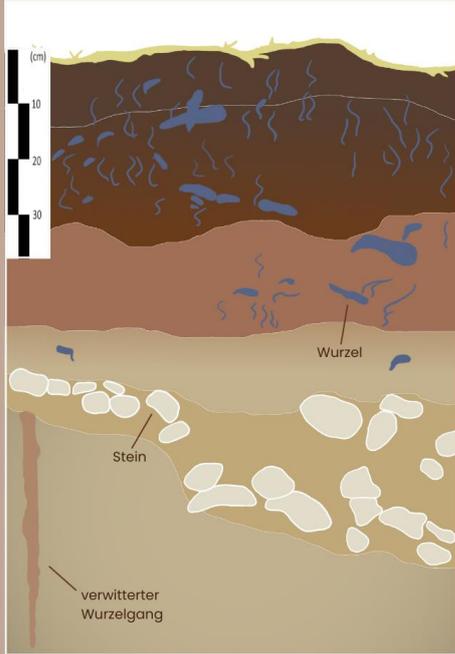
(terra=Erde; fusca=braun)  
Dieser Bodentyp entsteht durch die Lösung von Kalksteinverwitterungslehmen.



#### Früher wuchsen hier Kartoffeln!

Heute beherbergt dieser Standort insgesamt weit über 50 Wiesenpflanzenarten (z.B. Natternkopf, Weiße Lichtnelke, Silber-Fingerkraut). Dazu kommen Bäume und Sträucher.

So sieht er im **Querschnitt** aus:



#### Die Horizontabfolge

**0-35 cm:** anthropogen umgelagerter Pflughorizont, sandiger, humoser Oberboden aus Flugsand, hoher Wurzelanteil  
*Bodenkundliche Bezeichnung: Ap*

**35-55 cm:** sandiger Verbraunungshorizont (Verrüstung von Eisen) aus Flugsand, mittlerer Wurzelanteil  
*Bodenkundliche Bezeichnung: Bv*

**55-70 cm:** toniger Terra fusca - Horizont aus Kalksteinlehm  
*Bodenkundliche Bezeichnung: Tv(Swd)*

**70-110 cm:** toniger Terra fusca - Horizont, pseudovergleyt (Stauwassereinfluss) mit Redoxmerkmalen, mit Kieslage aus Muschelkalk  
*Bodenkundliche Bezeichnung: TvCv(Swd)*

**ab 110 cm:** unverwitterter Muschelkalk

**Mitte 18. Jh. - Mitte 20. Jh.**  
Anbau von Kartoffeln auf den Flächen des Campus Süd

**Quartär: Holozän (10.000 - heute)**  
Beginn der Bodenentwicklung hin zur heutigen Braunerde

**Quartär: Pleistozän (2,4 Mio. - 0,01 Mio. Jahre)**  
Bildung von Fließerden durch Solifluktion und Ablagerung von Flugsand aus dem Maintal

**Tertiär (66 Mio. - 2,4 Mio. Jahre)**  
Entwicklung von Kalksteinverwitterungslehmen aus anstehendem Muschelkalk

**Trias: Muschelkalk (240 Mio. - 232 Mio. Jahre)**  
Kalkablagerung mariner Sedimentation innerhalb eines Binnenmeers im heutigen Unterfranken formten den Muschelkalk

#### Periglaziale Formen

Die schräge Steinlage im untersten Horizont des oben dargestellten Bodenprofils, ist vermutlich durch die sogenannte "Solifluktion" entstanden - ein Fließen von Boden infolge kaltezeitlicher Tauprozesse. Auf der folgenden Abbildung ist eine **Kryoturbationstasche** zu sehen. Diese wurde nahe des Geographischen Instituts aufgenommen und ist vermutlich im Altpleistozän entstanden.

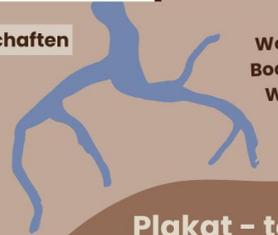


Klingt trocken?  
Ist er auch!

#### Hydrologische Eigenschaften

Durch seinen hohen Sandgehalt besitzt der Boden in den oberen Horizonten eine **hohe Durchlässigkeit**. Die unteren, tonhaltigen Horizonte hingegen wirken wasserstauend. Damit hat der Boden insgesamt eine vergleichsweise **gute Wasserhaltefähigkeit**.

Wo hat der Boden seine Wurzeln?



#### Plakat - to go



Du willst noch mehr über den Boden am Hubland-Campus erfahren? Hier ist der QR-Code zum **Plakat** und der dazugehörigen **Bachelorarbeit!**

SCANNEN

#### Würzburg ist eine der trockensten Regionen in ganz Bayern!

##### Woran liegt das?

- In Folge der **geographischen Lage** fallen im gesamten Gebiet rund um Würzburg tendenziell weniger Niederschläge.
- Auf Grund der hohen **Wasserdurchlässigkeit der oberen Muschelkalkschichten**, kann sich das Grundwasser erst in tieferen Lagen bilden.
- Besonders im Kontext des **Klimawandels** sind Veränderungen im Bodenwasserhaushalt zu erwarten - mit starken Folgen für die Landwirtschaft.

Was können wir tun?

#### Bodenschutz

##### Warum ist unser Boden schützenswert?

Im Jahr 2006 startete die bayrische Initiative "Bodenschutzprogramm Bayern". Dadurch sollte die Ressource Boden nachhaltig geschützt werden. Besonders im Kontext des Klimawandels und anderer zukünftiger Herausforderungen spielt der Boden eine wortwörtlich **tragende Rolle**;

- CO<sub>2</sub>-Speicher** durch Humusaufbau
- Wasserspeicher** und -filter
- Lebensmittelproduktion** in der Landwirtschaft
- Biodiversitätsförderung**

#### Der Boden lebt!

Die im Boden lebenden Organismen werden gemeinsam als **Edaphon** bezeichnet! Sie sind wichtig für die Zersetzung von Substrat und Strukturierung des Untergrunds.

Bei einem Standortvergleich nahe dem Campusgelände wurde auf den Streuobstflächen ein größeres **Taxonreichtum** festgestellt, als auf den daneben liegenden Ackerflächen.



#### Vertreter von Bodenfauna- Großgruppen auf dem Campus:



Diese Schautafel wurde von Lisa Häuser gemeinsam mit der **Arbeitsgruppe Physische Geografie und Bodenkunde** entworfen.

In Zusammenarbeit mit den Lehrstühlen Zoologie 3 und Global Change Ecology

© mit Fotografien von Frank Ashwood



# Der Boden am Hubland-Campus

## Braunerde aus Flugsand über Terra fusca - Rest

oberhalb befindet sich eine Streubstüwe mit Pflaumenbäumen

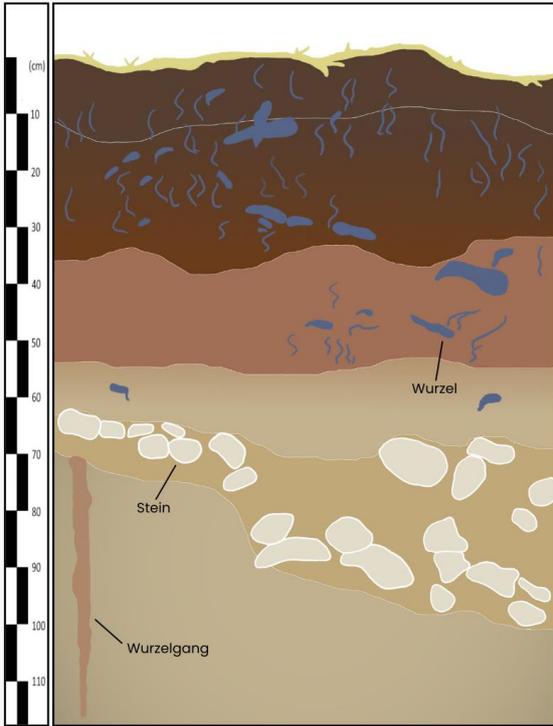


Abb.1: digitale Darstellung des 2024 aufgeschlossenen Bodenprofils B am Hubland-Campus bei der Bienenstation (Foto: L.Häuser)

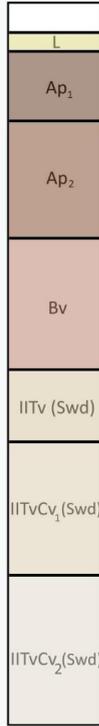


Abb.2: Foto des 2024 aufgeschlossenen Bodenprofils B am Hubland-Campus bei der Bienenstation (Foto: L.Häuser)

### Die Horizontabfolge

- darüber:** Gras- und Streuauflage
- 0-35 cm:** anthropogen umgelagerter Pflughorizont; sandiger, humoser Oberboden aus Flugsand; hoher Wurzelanteil
- 35-55 cm:** sandiger Verbraunungshorizont (Verrostung von Eisen) aus Flugsand; mittlerer Wurzelanteil; Manganflecken im Übergang
- 55-70 cm:** toniger Terra fusca - Horizont aus Kalksteinlehm; Wasseranstau auf Horizont
- 70-100 cm:** toniger Terra fusca - Horizont; schwach pseudovergleyt (Stauwassereinfluss) mit Redoxmerkmalen; Kieslage aus Muschelkalksteinen
- 70-100 cm:** toniger Terra fusca - Horizont; schwach pseudovergleyt (Stauwassereinfluss) mit Redoxmerkmalen; ohne Grusanteil
- ab 110 cm:** unverwitterter Muschelkalk

| Horizont      | Tiefe (in cm) | Horizont-<br>untergrenze | Farbe<br>(nach<br>MUNSELL)       | Bodenart |
|---------------|---------------|--------------------------|----------------------------------|----------|
| Ap1           | 0 - 12,5      | e - w, de, h             | 10YR 3/3                         | St2      |
| Ap2           | 12,5 - 35     | w, sc, h                 | 10YR 3/4                         | St2      |
| Bv            | 35 - 55       | e - w, sc, h             | 7,5YR 5/6                        | St2      |
| IITv (Swd)    | 55 - 70       | w, sc, h                 | 10YR 5/6<br>10YR 6/2             | Tu2      |
| IITvCv1 (Swd) | 70 - 100      | e-w, sc, g               | 2,5Y 7/4<br>2,5Y 6/4             | Tu2      |
| IITvCv2 (Swd) | 100 - 111     | -                        | 2,5Y 6/1<br>2,5Y 6/6<br>10YR 6/8 | Tu2      |

Abb.3: Geländedaten des Bodenprofils auf der Bienenstation

### Braunerde aus Flugsand

Am **Ende des letzten Glazials** (Würm) wurden **äolische Sedimente aus dem Maintal** auf die nahegelegenen Hochflächen geweht. Durch die herrschenden **Westwinde** lagerten sich diese östlich des Mains ab. Nahe des Flusses bildeten sich Flugsandfelder, die durch ihre Korngröße geringere Distanzen zurück legen konnten. In größerer Entfernung, auf den Mainfränkischen Gäuflächen, entstanden große Lössdecken. Aus diesen formte sich fruchtbares Ackerland. Solche Ablagerungen bildeten das Ausgangssubstrat für die rezente **Bodenbildung**. Diese setzte **vor ca. 10.000 Jahren** ein, zu Beginn des **Holozäns**.

### Terra fusca - Verwitterungsrest aus Muschelkalklehm

Dieser Bodenabschnitt liefert Informationen über Klimaverhältnisse vergangener Zeiten. Während die Braunerde nicht älter als 10.000 Jahre ist, kann die **Entstehung der Terra fusca** bis ins **Tertiär** zurück reichen. Wenn Muschelkalklehme verwittern, wird der Kalk gelöst und abgeführt - es reichern sich tonhaltige Lösungsrückstände an. **Nur unter wärmeren Klimaverhältnissen** konnte durch chemische Verwitterung genügend Kalk gelöst werden, um die vorhandene Menge an Ton aus dem Kalkstein im Boden zu bilden. Seine **rotbraune bis braungelbe Farbe** erhält der Boden durch die dabei gebildeten **Eisenoxide**. Die abgeschwächte Farbgebung auf dem Gelände des Hubland- Campus, zeigt, dass dieser Bodentyp hier nur noch in Restbeständen erhalten ist. Die Terra Fusca ist daher ein fossiler Beleg für die Auswirkung lang vergangener Bodenentwicklung.

### Bodengenese

- Mitte 18. Jh. - 20. Jh.**  
Anbau von Kartoffeln auf den Flächen des Hubland-Campus Süd
- Quartär: Holozän (10.000 - heute)**  
Beginn der Bodenentwicklung hin zur heutigen Braunerde
- Quartär: Pleistozän (2,4 Mio. - 0,01 Mio. Jahre)**  
Bildung von Fließberden durch Solifluktion und Ablagerung von Flugsand aus dem Maintal
- Tertiär (66 Mio. - 2,4 Mio. Jahre)**  
Entwicklung von Kalksteinverwitterungslehmen aus anstehendem Muschelkalk

### Naturräumliche Einordnung des Untersuchungsgebiets

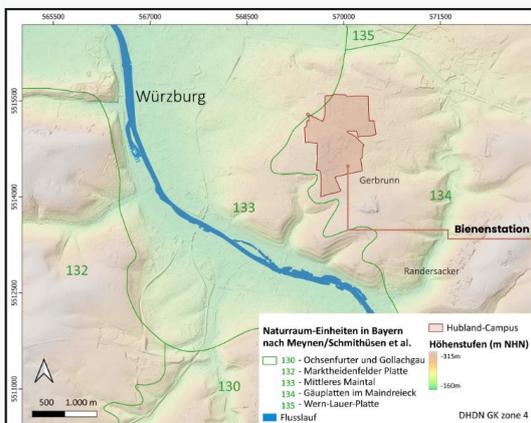


Abb.4: topographische Verortung des Untersuchungsgebiets (Foto: L.Häuser)

- Topografie:**
  - Höhenlage: 280 m ü. NNH
  - Naturraum: Gäuplatten des Maindreiecks
- Hydrologie:**
  - Grundwasserneubildung ca. 100-150 mm/a
  - Einzugsgebiet: Jakobsbach - Rottendorfer Flutgraben - Landleite
- Klima:**
  - feuchtgemäßigte Zone der Mittleren Breiten (Cfd)
  - Jahresdurchschnittstemp: 10,2°
  - durchschnittlicher Jahresniederschlag: 573 mm/a
- Geologie:**
  - Oberer Muschelkalk teilweise überlagert von pleistozänem Flugsand
- Vegetation:**
  - PNV: Bergseggen-Waldgersten-Buchenwald
  - vorherrschende Arten auf Wiese: zB. Natternkopf, Weiße Lichtnelke, Silber-Fingerkraut
- Bodenfauna:**
  - Ameynen, Websspinnen, Asseln
  - Insektenlarven, (Raub-)milben, Doppelschwänze, Springschwänze

### Laborergebnisse

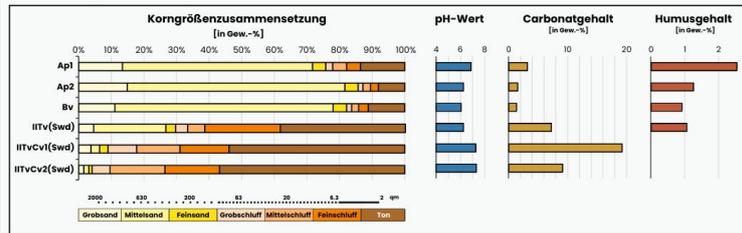


Abb.5: Korngrößenzusammensetzung des Bodenprofils B [in Gew.-%], pH-Wert, Carbonat und Humusgehalt [in Gew.-%]

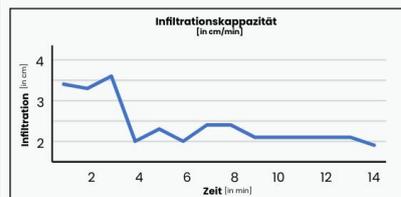


Abb.6: Infiltrationskapazität des Bodenprofils B in cm/min

Durch seinen hohen Sandgehalt (> 75%) besitzt der Boden in den **oberen Horizonten** eine hohe gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ( $k_f > 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ) und ist demnach sehr durchlässig.

Die **unteren, tonhaltigen Horizonte** hingegen wirken wasserstauend. Damit hat der Boden insgesamt eine vergleichsweise niedrige gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ( $k_f > 4 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ ). Die unteren Schichten besitzen eine gute Wasserhaltefähigkeit.

**Trias: Muschelkalk (240 Mio. - 232 Mio. Jahre)**  
Kalkablagerung mariner Sedimentation, innerhalb eines Binnenmeers im heutigen Unterfranken, formten den Muschelkalk

Diese Schautafel wurde von Lisa Häuser gemeinsam mit der **Arbeitsgruppe Physische Geographie und Bodenkunde** entworfen.  
In Zusammenarbeit mit den Lehrstühlen Zoologie 3 und Global Change Ecology

### Periglaziale Formen

Die schräge Steinlage in dem oben dargestellten Bodenprofil der Bienenstation ist vermutlich durch die sogenannte **"Solifluktion"** entstanden - ein Fließen von Boden infolge kaltezeitlicher Tauprozesse. Auf der Abbildung 8 ist eine **Kryoturbationstasche** dargestellt. Diese wurde nahe des Geographischen Instituts aufgenommen und ist vermutlich im Altpleistozän (vor ~ 0,95 Mio. a.) entstanden. Die starke Wasseranreicherung in den Terra fusca Horizonten begünstigte diesen frostdynamischen Prozess.

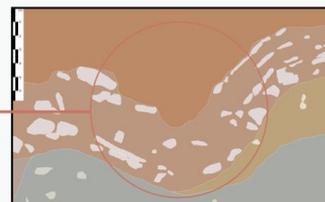


Abb.7: Kryoturbationstasche in einem Baustellenaufschluss neben dem Geographischen Institut

Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Institut der Geografie und Geologie

**Landschaftsgenese und Bodenbildung am Hubland-  
Campus der Julius-Maximilians-Universität Würzburg**  
**Konzept einer Bodentafel**

Verfasserin: Lisa Häuser

Geografie

Abgabe: Dezember 2024

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis .....                       | I  |
| Tabellenverzeichnis .....                         | II |
| 1. Einleitung und Zielsetzung.....                | 1  |
| 2. Landschaftsgenese Würzburg und Umgebung.....   | 3  |
| 3. Untersuchungsgebiet Unicampus.....             | 8  |
| 3.1. Topografie und Untersuchungsstandorte.....   | 8  |
| 3.2. Geologie .....                               | 10 |
| 3.3. Boden .....                                  | 12 |
| 3.4. Klima .....                                  | 14 |
| 3.5. Hydrologie.....                              | 16 |
| 3.6. Vegetation und Bodenfauna .....              | 17 |
| 3.7. Anthropogene Einflüsse und Nutzung .....     | 18 |
| 4. Methoden .....                                 | 20 |
| 4.1. Standortauswahl .....                        | 20 |
| 4.2. Geländearbeiten .....                        | 20 |
| 4.3. Standardanalysen.....                        | 21 |
| 5. Untersuchungsergebnisse .....                  | 24 |
| 5.1. Bienenstation.....                           | 24 |
| 5.2. Geografisches Institut .....                 | 29 |
| 5.3. Universitätsbibliothek.....                  | 32 |
| 7. Diskussion .....                               | 38 |
| 8. Bildungstafeln – Gestaltung und Pädagogik..... | 45 |
| 9. Fazit .....                                    | 47 |
| Literaturverzeichnis .....                        | 49 |

Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: A-Verortung des Untersuchungsgebiets in Europa; B-Topografische Karte von Unterfranken entlang des Mains mit Verortung des Untersuchungsgebiets, Eigene Darstellung mit QGIS (2022), Datenquelle: (BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE), 2021b, EUROSTAT, 2023). .....  | 3  |
| Abbildung 2: links: Topografische Karte mit Ausschnitt der Stadt Würzburg und Lage des Hubland-Campus Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2021b, LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023a); rechts: 3D-Modell des Geländes um den Hubland-Campus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2021b, LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023a). ..... | 8  |
| Abbildung 3: Hubland-Campus mit Untersuchungsstandorten, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023b)). .....   | 9  |
| Abbildung 4: Geologische Karte des Hubland-Campus und Umgebung; Verortung des Unicampus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle:(LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023a). .....  | 12 |
| Abbildung 5: Boden-Karte des Hubland-Campus und Umgebung; Verortung des Unicampus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023b). .....   | 14 |
| Abbildung 6: Klimadiagramm Würzburg, Klimareferenzperiode 1991-2020, Eigene Darstellung (Datengrundlage: (DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023b, DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023a)). .....   | 15 |
| Abbildung 7: Skizze vom Bodenprofil B ( <i>Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk</i> ) mit Originalfoto, Horizonte B-1 bis B-7, Eigene Darstellung. ....  | 25 |
| Abbildung 8: Diagramm zu Infiltrationskapazität der Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk bei der Bienenstation, 40 m Distanz zum B-Profil, Eigene Darstellung. ....  | 26 |
| Abbildung 9: Profil B: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte B-2 bis B-7 in %, Eigene Darstellung. ....  | 27 |
| Abbildung 10: Diagramm zum Wassergehalt der Horizonte B2-B7 in %, Bienenstation, Eigene Darstellung. ....   | 27 |
| Abbildung 11: Skizze vom Bodenprofil GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) mit Originalfoto, Horizonte GI-1 bis GI-3, Eigene Darstellung. ....   | 30 |
| Abbildung 12: Skizze des Bodenprofils, ca. vier Meter von GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) entfernt, Darstellung einer Kryoturbations-Tasche im Muschelkalk (Steine in Weiß), Eigene Darstellung. ....  | 31 |
| Abbildung 13: Profil GI: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte GI-1 bis GI-3 in %, Eigene Darstellung. ....  | 32 |
| Abbildung 14: Skizze vom Bodenprofil UB (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) mit Originalfoto, Horizonte UB-1 bis UB-3, Eigene Darstellung. ....   | 33 |
| Abbildung 15: Profil UB: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte UB-1 bis UB-3 in %, Eigene Darstellung. ....  | 34 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Geländedaten des Profil B (Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk) mit, Bodenansprache nach (AD-HOC-AG BODEN, 2005) mit Farbbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS..... | 26 |
| Tabelle 2: Labordaten des Profils B, Standartanalysen nach (Blume et al., 2011, AD-HOC-AG BODEN (2005)).....  | 28 |
| Tabelle 3: Geländedaten des Profils GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk), Bodenansprache nach (AG BODEN 2005) mit Farbbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS.....   | 30 |
| Tabelle 4: Labordaten des Profils GI, Standartanalysen nach (Blume et al., 2011). ....  | 32 |
| Tabelle 5: Geländedaten des Profils UB (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk), Bodenansprache nach (AG BODEN 2005) mit Farbbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS.....   | 33 |
| Tabelle 6: Labordaten des Profils UB, Standartanalysen nach (Blume et al., 2011). ....  | 34 |

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Nach MÜLLER ist eine Landschaft der „*momentane Ausschnitt einer dynamischen, zeitlichen Entwicklung*“ (MÜLLER, 1996: 38). Das großräumige Landschaftsbild selbst entwickle sich dabei aus einem Zusammenspiel kleiner Teilräume, welche wiederum ihre individuelle Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte aufweisen. Auch Landschaftsstrukturen, die vorerst unveränderlich auf uns wirken, haben eine Geschichte. Böden, Gesteine und Sedimente befinden sich in dynamischen Prozessen, die bis heute nicht abgeschlossen sind. Dieser zeitliche Rahmen von längst vergangenen Abhandlungen bis hin zu gegenwärtig ablaufenden Phänomenen ist wesentlich, um den zu erforschenden Zeitraum einzugrenzen. In besonderer Weise können Rückschlüsse auf vergangene und rezente landschaftliche Dynamiken aus der Analyse von Böden gezogen werden, sowohl aus landschaftsökologischer Perspektive, als auch in genetischer Hinsicht (MÜLLER, 1996). Anders herum erscheint die Betrachtung des Bodens erst dann sinnvoll, wenn seine Entstehung im Gesamtkontext anderer umgebender Landschaftselemente gesehen wird (SKOWRONEK, 1982). Auf Basis dieser Annahmen von MÜLLER und SKOWRONEK soll in der folgenden Arbeit der Universitätscampus am Hubland anhand seiner heutigen geomorphologischen sowie pedogenen Formen und Beschaffenheiten untersucht und dargestellt werden. Sowohl die Erforschung weiträumiger Prozesse rund um den Naturraum Würzburgs als auch die Ausprägung lokaler Besonderheiten, die sich heute im Boden und in Landschaftsformen abzeichnen, stehen dabei im Fokus.

Um die oben dargestellten Punkte zu erläutern, sollen in einem ersten Schritt die Landschaftsgenesen von Würzburg und dem umgebenden Raum erörtert werden. Dabei wird ein räumlicher Fokus auf die Formungen rund um den Hubland-Campus gelegt. Die Flussgeschichte des Mainlaufs sowie die Einflussnahme periglazialer Dynamiken besitzen lokal eine signifikante Bedeutung für die Landschaftsgeschichte. Aus diesem Grund werden die beiden Themenbereiche besonders umfassend behandelt. Im Anschluss folgt eine naturräumliche Einordnung des Untersuchungsgebiets. Dabei werden die Parameter Topografie, Geologie, Boden, Klima und Hydrologie abgebildet. Durch die Schilderung der Flora und Bodenfauna und die Erläuterung anthropogener Einflüsse wird auch die lebendige Umwelt skizziert. Zur Untersuchung der Fragestellung, wurden im Rahmen der Arbeit drei Bodenprofile auf dem Gelände des Hubland-Campus aufgenommen und anschließend im Labor analysiert. Nach einer Einführung in die Methoden, werden die Ergebnisse dargestellt und interpretiert. Abschließend folgt ein Vergleich der Daten und eine Einordnung der

Resultate in den aktuellen Forschungsstand. Außerdem soll im gleichen Schritt der oben bereits beschriebene und in seiner Relevanz betonte Zusammenhang zwischen dem Boden und den auf ihn einwirkenden landschaftlichen Prozessen benannt und diskutiert werden. Nicht nur auf naturwissenschaftlicher Ebene nimmt der *„Boden in der Lebenswelt des Menschen eine zentrale und elementare Bedeutung“* ein (BRUGGER et al., 1990: 10). Die menschliche Existenz befindet sich nach BRUGGER et al. (1990) in einer fortlaufenden Abhängigkeit von der Ressource „Boden“, weshalb ein verantwortungsbewusster Umgang mit diesem unbedingt notwendig sei. Zahlreiche Studien belegen mittlerweile, dass zusätzliches Wissen über die Natur und Mitwelt menschliches Handeln positiv beeinflusst. Zur Unterstreichung dieses Sachverhalts, wird in der Naturschutzbildung immer wieder das Zitat *„Man schützt nur, was man liebt, man liebt nur, was man kennt“* des Verhaltensforschers Konrad Lorenz angeführt (BÖGLE, 2023). Das Ziel dieser Arbeit ist daher nicht nur die Auswertung und Analyse der aufgenommenen Gelände- und Laboraten, sondern darüber hinaus die Weitergabe der wissenschaftlichen Erkenntnisse an Außenstehende. Durch die Entwicklung einer Boden-Bildungstafel, die anschließend auf dem Campus aufgestellt wird, soll die Kommunikation wissenschaftlicher und öffentlich relevanter Erkenntnisse nachhaltig gefördert werden. Dadurch werden die Ergebnisse der Arbeit nicht nur in dem hier vorliegenden Format dargestellt, sondern auch in modifizierter Ausführung an Interessierte weitergegeben. Neben der Erforschung vergangener Zeiten und ihren Zeugnissen, kann so ein Verständnis für die aktuelle und zukünftige Relevanz des Themas „Boden“ geschaffen werden.

## 2. Landschaftsgenese Würzburg und Umgebung

Die kreisfreie Stadt Würzburg, Standort des Untersuchungsgebiets, liegt im Nordwesten des deutschen Bundeslands Bayern und gehört so, nach ihrer geografischen Lage, zu Mitteleuropa. Im Südwesten des Mairdreiecks verortet, ist sie Teil des bayrischen Regierungsbezirks Unterfranken, der an die Bundesländer Hessen und Baden-Württemberg angrenzt (s. Abbildung 1).

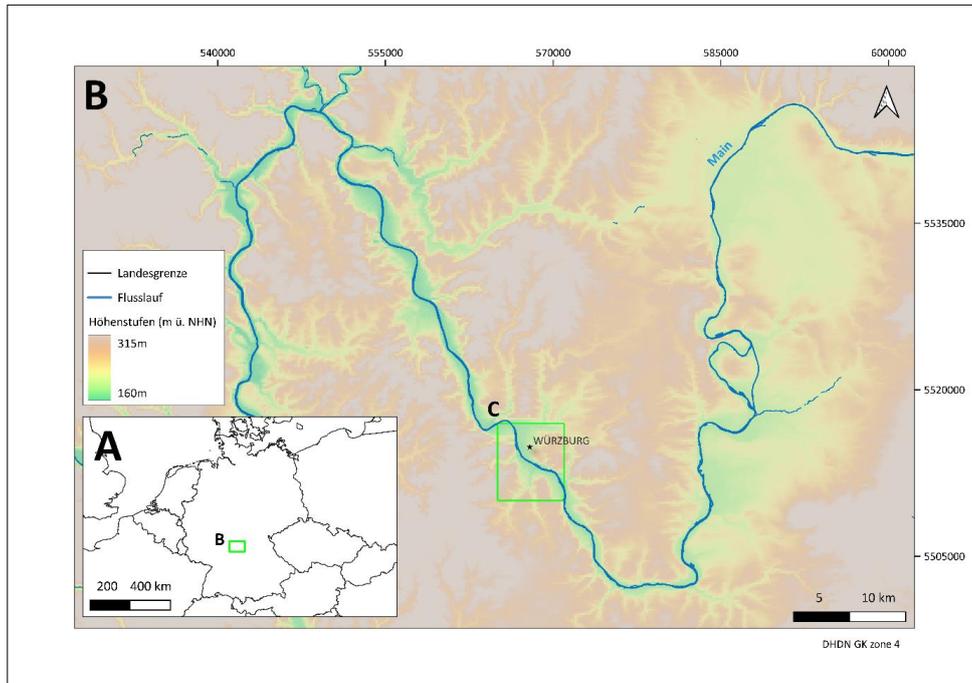


Abbildung 1: A-Verortung des Untersuchungsgebiets in Europa; B-Topografische Karte von Unterfranken entlang des Mains mit Verortung des Untersuchungsgebiets, Eigene Darstellung mit QGIS (2022), Datenquelle: (BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE), 2021b, EUROSTAT, 2023).

Die Landschaft rund um Würzburg ist ein über Millionen von Jahren entstandenes Formengefüge und steht in ihrer Bildung und Entwicklung in wechselseitiger Abhängigkeit mit weiter entfernten Regionen der Erdoberfläche. Um die landschaftliche Genese des Untersuchungsgebietes so präzise wie möglich nachvollziehen zu können, erfolgt in diesem Abschnitt zunächst eine Beschreibung formbildender Prozesse im südlichen Unterfranken, sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Dimension.

Zur vollständigen Erfassung des Landschaftsbilds in seiner Komplexität und Ursächlichkeit, ist es wichtig, auch die landschaftlichen Grundstrukturen in ihrer Genese zu analysieren (MÜLLER, 1996). Die Region Unterfranken gehört in ihren größten Teilen zum Deckgebirge der *Süddeutschen Großscholle*, welche im Osten durch die Böhmisches Masse und im Westen durch den Rheintalgraben begrenzt wird. Südlich bilden die Alpen eine natürliche Trennlinie (RUTTE, 1957, GEYER, 2002). Die Süddeutsche Großscholle formt den Sockel Mitteleuropas und schafft mit ihren präkambrischen Gesteinen das Grundgebirge. Das Deckgebirge wiederum formt die sogenannte

*Schichtstufenlandschaft*, welche in ihrer Struktur von dem darunterliegenden Grundgebirge geprägt ist. Würzburg befindet sich in der Region des Muschelkalks, während östlich der Keuper und westlich der Buntsandstein anstehen (GEYER, 2002). Bis in die Trias hineinreichende Plattenverschiebungen, Krustentransformationen, Meeresformungen, Ablagerungsprozesse und daraus entstehende Gesteinsformationen haben die Basis von Unterfranken gestaltet (GEYER, 2002). Weitere Ausführungen dazu werden in *Abschnitt 3.2.* zur Geologie behandelt.

Die eigentliche Reliefentwicklung, welche das heutige Landschaftsbild prägt, datiert MÜCKENHAUSEN erst um das Cenoman (Stufe der Oberkreide vor etwa 100 Millionen Jahren). Im darauffolgenden Erdzeitalter des Tertiär herrschte in Unterfranken eine Flächenbildung vor (MÜCKENHAUSEN, 1977). Dabei entstand die Ursprungsform des unterfränkischen Reliefs, die heute als *Rumpffläche* ausgebildet ist, aus der tertiären *Dachfläche* (MÜLLER, 1996). Die zu dieser Zeit geformten Strukturelemente, welche heute die Region dominieren, sind zum einen Sattel- und Muldenstrukturen, zum anderen Störungen und Verwerfungen innerhalb der Gesteinsschichten (GEYER, 2002). Aus dieser Zeit stammt auch die *Bergtheimer-Mulde* nordöstlich der Stadt Würzburg (RUTTE, 1957). Die Bruchstörungen Unterfrankens, als regelmäßige Lineamente (lineare Streifen) ausgebildet, sind vor allem im Mittelpliozän durch den Anstieg der Alpen entstanden. Die Stadt Würzburg liegt in der *Mainbergheimer Störungszone*, welche von vielen kleineren Störungssystemen durchzogen ist. Im Stadtgebiet entsteht dadurch eine von RUTTE als Schollenmosaik bezeichnete Struktur aus diversen Muschelkalkschichten (RUTTE, 1957). Eine ausgeprägte Störung befindet sich beispielsweise im Norden von Würzburg nahe des Hauptbahnhofs (GEYER, 2002).

Gegen Ende des Tertiärs kam es in Unterfranken zu Verkarstungsprozessen in Muschelkalk-Gebieten, welche unter anderem das wellige Relief in der umgebenden Landschaft rund um Würzburg erklären. Die darauffolgenden Landschaftsformungen bis zur heutigen Zeit bilden die Grundlage der naturräumlichen Gliederung Unterfrankens nach MÜLLER. Detailformen in der Landschaft rund um Würzburg sind zu großen Teilen Resultate eiszeitlicher Prozesse im Pleistozän (Quartär). Hier kam es zu einem Abklingen tertiärer Flächenbildung und die quartäre Talbildung setzte ein (MÜCKENHAUSEN, 1977). In den folgenden Kaltzeiten begünstigten starke Temperaturabnahmen von 8-12° periglaziale Formungsprozesse (RUTTE, 1957). Die vier glazialen Abschnitte Günz, Mindel, Riß und Würm wurden von Interglazialen unterbrochen, in denen es wiederum zu einem Temperaturanstieg kam (RUTTE, 1957). Dieser Wechsel zwischen Glazial und Interglazial war bedeutend für die periglazialen Prozesse, welche im folgenden Abschnitt im Detail erläutert werden. (MÜLLER, 1996).

## Flussgeschichte (Main)

Die vier oben aufgeführten glazialen Zeiten sind nach oberbayrischen Flüssen benannt (RUTTE, 1957) und unterstreichen so die Bedeutung hydrologischer Dynamiken während der Eiszeiten. Der Main ist, neben den Sattel- und Muldenstrukturen, eines der beherrschenden geomorphologischen Gestaltungselemente des Raumes um Würzburg herum (MÜLLER, 1996). Von KÖRBER wird dieser Flussabschnitt dem mittleren Teil des Mittelains zugeordnet (KÖRBER, 1962). Durch die prägende Bedeutung eines einzelnen Elements für die gesamte Landschaft, hebt sich das Maintal von den umliegenden Naturräumen ab. Die stärksten Vertiefungen entstanden während des Pleistozäns, durch den sogenannten *Pleistozän-Zyklus* (MÜLLER, 1996). Im Fühglazial einer Kaltzeit dominierte zunächst die physikalische Verwitterung. Dadurch bildeten sich die Vertiefungen. Es folgte anschließend eine Phase der Akkumulation des entstandenen Frostschutts. Durch die Zunahme der Temperatur etablierten sich humidere Bedingungen, bei denen der Schutt abtransportiert und so das Flusstal erodiert werden konnte. Auf diese Weise formten sich nach und nach die verschiedenen Flussterrassen. Die anschließenden Warmzeiten, in denen die chemische Verwitterung vorherrschte, lassen sich auch als „morphologische Pause“ beschreiben, da hier auf Grund der Bodenbildung und Bedeckung des anstehenden Gesteins keine Erosion stattfinden konnte (GEYER, 2002). Mit dem Beginn des Quartärs wurden der Talverlauf und die Terrassen auf beiden Seiten des Mainlaufs fixiert. Aus einer Übergangsterrasse entstanden die Hauptterrassen und das Breittal engte sich ein (KÖRBER, 1962, MÜLLER, 1996, BOLDT, 2001). Die Talmäander innerhalb des Muschelkalks bei Würzburg zeichnen eine geradlinige Form, während der Buntsandstein mit seinen vergleichsweise weichen Schichten kurvenreicher ist (MÜLLER, 1996). Neben der geologischen Struktur und Härte des anstehenden Gesteins (BOLDT, 2001), haben auch die tektonischen Linien den Verlauf der Flussschleifen deutlich beeinflusst (GEYER, 2002). So ist beispielsweise die Flussbiegung im Stadtgebiet Würzburg an Störungszonen gebunden, wodurch das östliche Ufer hier steiler ausfällt als das westliche (RUTTE, 1957).

Ein Flussprofil, welches nur etwa 1,5 Kilometer entfernt vom Hubland-Campus angelegt wurde, beschreibt differenziert die Ablagerungsverhältnisse und Ausprägung der Terrassen (GEYER, 2002); Den Flussgrund bilden pleistozäne Kiese, darunter Lehme und Mergel, die dem anstehenden Mittleren Muschelkalk aufliegen. Mit der Lagerung pleistozäner Sande Richtung Ufer hin, endet der Ablagerungshorizont der Niederterrasse. Durch künstliche Aufschüttungen, welche an die Sande anknüpfen, erhält der Main eine Einrahmung. Diese vielschichtige Talfüllung wird Richtung Westen von Löß und Lößlehm überdeckt, Richtung Nordosten lagert der Gehängschutt auf den steilen Abgängen (GEYER, 2002). Im eigentlichen Stadtgebiet von Würzburg fällt das Bild der

Terrassenabfolge anders aus. In der Innenstadt sind die größeren Aufschüttungsterrassen nahezu ausgeräumt und man trifft oft auf den direkten Felsgrund. Bei der Frauenlandfläche, welche sich im Westen des Untersuchungsgebiets befindet, handelt es sich um eine ebene Flussterrassensohle der Hauptterrasse (KÖRBER, 1962).

Eine besondere Ausformung des Maintals sind die sogenannten *Klingen*. Dies ist eine lokale Bezeichnung für die tiefen Kerben innerhalb der Talflanken, die zum Haupttal hin stark abfallen und eine schluchtartige Form besitzen, ohne selbst einen Talboden auszubilden. Das Tal ist von einem Schwemmkegel ausgefüllt, während die Übergänge hin zu den Hochflächen von Dellen mit flachem Gefälle geprägt sind. Der Alandsgrund südwestlich des Untersuchungsgebiets bildet eine solche Klinge (MÜLLER, 1996).

### **Periglaziale Landschaftselemente aus dem Pleistozän (Flugsande)**

Neben dem Maintalsystem, prägen die *Mainfränkischen Platten* das landschaftliche Bild um Würzburg, die sich vor der Flächenzergliederung durch fluviale Prozesse bildeten. Nicht nur das Flusstal, sondern auch die flächenhafte Landschaft wurde stark von periglazialen Umweltbedingungen geprägt (MÜLLER, 1996). Die wichtigsten Erosions- und Verwitterungsprozesse des Pleistozäns sind die Frostverwitterung, Solifluktion sowie die Bildung und Umlagerung von Löss und Flugsand. Ihr Einfluss auf die Substratbildung und Umformung des Untergrunds ist bis heute in den Böden nachzuvollziehen und daher für diese Arbeit von besonderem Interesse (KÖRBER, 1962).

Während der Kaltzeiten im Pleistozän (Quartär), kam es durch einen ständigen Wechsel zwischen Gefrieren und Tauen des Dauerfrostbodens zur Bildung von Strukturböden. Das sommerliche Schmelzen der oberen Permafrostschichten führt zur Bildung sogenannter Fließerden, die sich auf dem gefrorenen Untergrund bewegen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Dieser als Solifluktion bezeichnete Prozess auf periglazialen Dauerfrostboden kann bereits bei einer Hangneigung von 1,5° eintreten. Durch diesen Prozess entstanden zum einen Wanderschuttdeckenreste, außerdem kam es zu einer Abflachung des Reliefs und zur Ausformung von Dellen und Klippen (MÜLLER, 1996, GEYER, 2002). Weitere, nicht ganz so verbreitete periglaziale Prozesse im pleistozänen Unterfranken, sind die Kryoturbation und die Bildung von Eiskeilen (Keil- oder Zapfenförmige Sedimentstrukturen) (GEYER, 2002). Die frostdynamischen Fließerden sind von jüngeren Sedimenten überlagert, die sich durch feinere Korngrößen auszeichnen und aus der nachfolgenden Frostsprengung hervorgegangen sind (GEYER, 2002, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Diese Sedimente bestehen aus hohem Löss- und einzelnen Flugsandvorkommen und sind

auf äolische Verlagerungsprozesse zurückzuführen. Sie wurden aus den Tälern ausgeweht und prägen den Raum rund um das Maintal (LEHMKUHL *et al.*, 2018). Während der Löss sich in weiteren Entfernungen auf den Gäuflächen abgelagert hat, entstanden aus dem Flugsand einzelne Dünenfelder in Tallagen oder wurden auf die Flussterrassen und nahe gelegenen Hochflächen geweht (MÜLLER, 1996, GEYER, 2002). Die Unterschiede in ihren Verbreitungsdimensionen resultieren vor allem aus ihrer Korngröße und damit dem Transportgewicht des Sediments (MÜLLER, 1996). Flugsande haben ihr Korngrößenmaximum im Bereich des Mittelsandes (0,2-0,6 mm) und sind in der Regel kalkarm. Die Sande stammen aus dem Maintal, teilweise auch aus Nebentälern und haben sich, auf Grund des herrschenden Westwindes, östlich ihrer Ursprungsregionen abgelagert. In Mittelfranken reicht die Flugsandmächtigkeit von dünnen schleierartigen Deckschichten bis hin zu mehreren Metern dicken Akkumulationen. Die größten Verbreitungsgebiete sind im Schweinfurter Becken, im Raum Kitzingen und am Untermain vorzufinden (MÜLLER, 1996). Damit sind sie vor allem auf den Gebieten des Muschelkalk und Lettenkeuper liegen geblieben (RUTTE, 1957). Dort wo der Westwind durch den Verlauf des Maintals seine volle Kraft entfalten konnte, wurden Flugsande auf eine Höhe von bis zu 100 Metern hinaufgeweht und durch anthropogene Nutzung weiter verlagert und wiederholt remobilisiert. (RUTTE & WILCZEWSKI, 1983). Ein Großteil des Materials stammt aus den spätpleistozänen und frühholozänen Überflutungsbereichen des Mains (GEYER, 2002). Zeitlich werden die Flugsandauswehungen damit in das Spät- bis frühe Postglazial eingeordnet. Die äolischen Sedimente helfen sowohl bei der Rückverfolgung der Klimaentwicklung seit der letzten Kaltzeit als auch beim Erkennen der menschlichen Eingriffe in die Landschaft (HAGEDORN, 1999). In Mitteleuropa bilden diese sogenannten periglaziären Decklagen das Ausgangsgestein für die rezente Bodenbildung. Dabei sind die Flugsandvorkommen weniger untersucht als die Lössdecken. Die Altersdatierung der Sande sei daher nach GEYER, noch sehr unzureichend.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass geologische Formungen im Quartär und die damals herrschenden periglazialen Bedingungen die landschaftliche Entwicklung in Unterfranken stark prägten. (SKOWRONEK, 1982). Das Landschaftsbild um Würzburg besteht aus dem Maintal sowie verschiedenen umgebenden Trockentälern auf dem Gebiet der fränkischen Platte, die von periglazialen Detailformungen überprägt sind (OHLHAUT, 1907).

### 3. Untersuchungsgebiet Unicampus

#### 3.1. Topografie und Untersuchungsstandorte

Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit befindet sich am südöstlichen Stadtrand von Würzburg, im neuen Stadtteil *Hubland*. Es umfasst den im Jahr 1965 aus der Innenstadt ausgelagerten Teilcampus der Julius-Maximilians-Universität (UNIVERSITÄT WÜRZBURG). Zugeordnet wird das Untersuchungsgebiet dem topografischen Kartenblatt 6225 Würzburg Süd (BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE), 2021a)

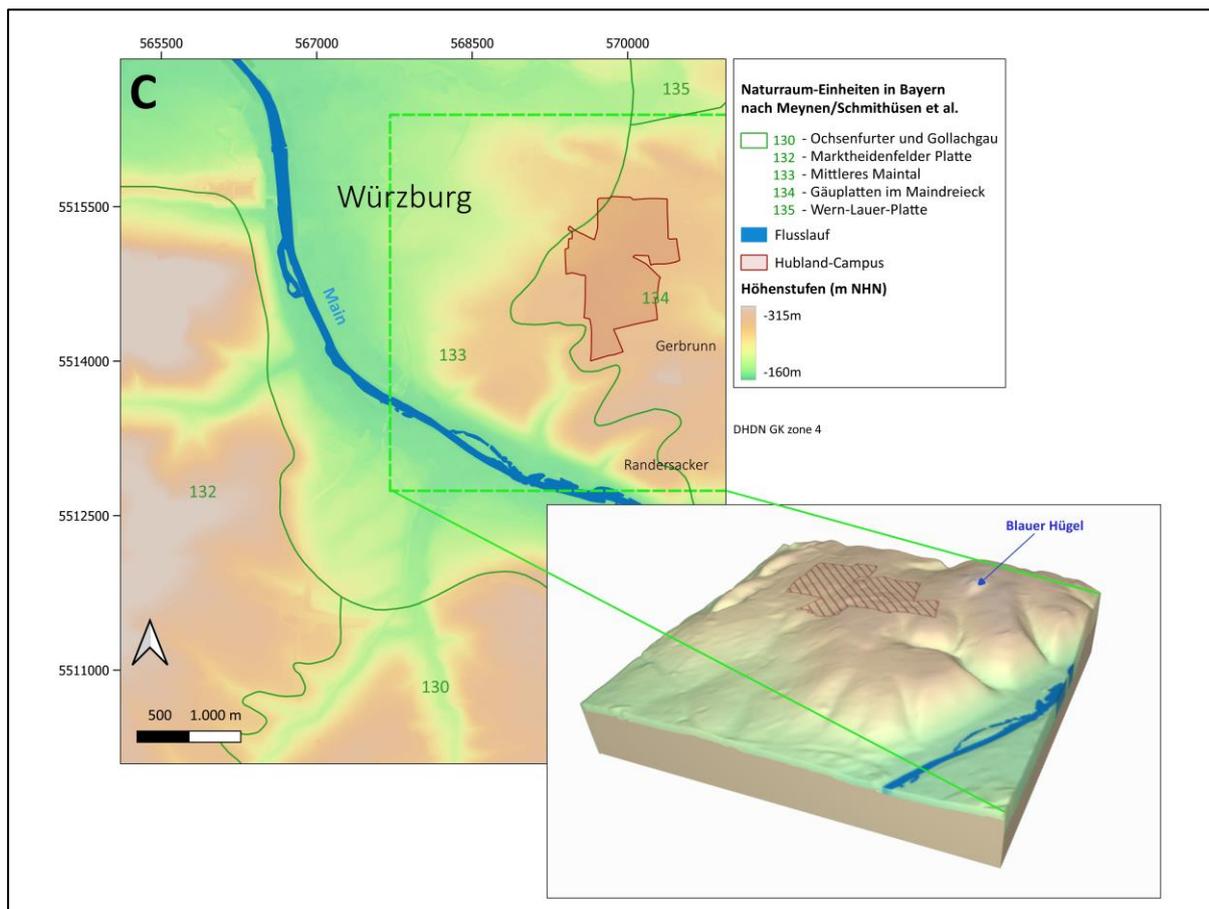


Abbildung 2: links: Topografische Karte mit Ausschnitt der Stadt Würzburg und Lage des Hubland-Campus Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2021b, LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023a); rechts: 3D-Modell des Geländes um den Hubland-Campus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2021b, LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023a).

Der Hublandcampus liegt nahe der Siedlung Gerbrunn auf einer Hügelstruktur die sich auf einer Höhe von etwa 280 Meter ü. NHN befindet (s. Abbildung 2), (TOPOGRAPHIC MAP, 2023). Das dargestellte Gelände östlich des Mains bei Randersacker unterscheidet sich damit um etwa 100 bis 120 Höhenmeter von der Flusssohle (OHLHAUT, 1907). Nach Westen hin läuft die Anhöhe mit geringem Steigungswinkel Richtung Innenstadt aus. Südwestlich grenzen steile Hänge die Hochflächen vom Flusstal ab. Auf der anderen Mainseite, gegenüber des Untersuchungsgebiets, erstreckt sich im Südwesten eine halbkreisförmige Ausbuchtung. Der Universitätscampus selbst

befindet sich zu großen Teilen auf den *Gäuplatten des Maindreiecks* und schneidet das Gebiet des *Mittleren Maintals* nur an der Nordspitze. Weitere dargestellte naturräumliche Einheiten sind das *Ochsenfurter und Gollachgau* im Süden, die *Marktheidenfelder Platte* östlich des Mains und die *Wern-Lauer-Platte* im Nordosten Würzburgs LfU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2021b). Im Südwesten des Universitätscampus, Richtung Maintal, zieht sich eine Klinge in die von Weinbergen überprägte Terrassenstruktur. Die Talfüllungen dieser Einbuchtung, des sogenannten Alandsgrunds, reichen bis an die Verwaltungsgrenzen des Hubland-Campus (s. Abbildung 2). Eine weitere besondere Struktur des umgebenden Geländes ist der *Blaue Hügel*, eine künstlich angelegte Anhöhe. Er bildet die Grenze zwischen den Siedlungsgebieten Gerbrunn und Randersacker und erhebt sich auf etwa 300 m ü. NN. (TOPOGRAPHIC MAP, 2023). Der Hügel dient seit den 1960er Jahren als Deponie für den Aushub der neuen Universitätsgebäude. Seinen Namen verdankt der Blaue Hügel der bläulich schimmernden Tonerde aus den umgelagerten Muschelkalkverwitterungsböden (Hock, 2018). Diese bilden die geologische Basis des Campusgeländes (HOFFMANN, 1967b).

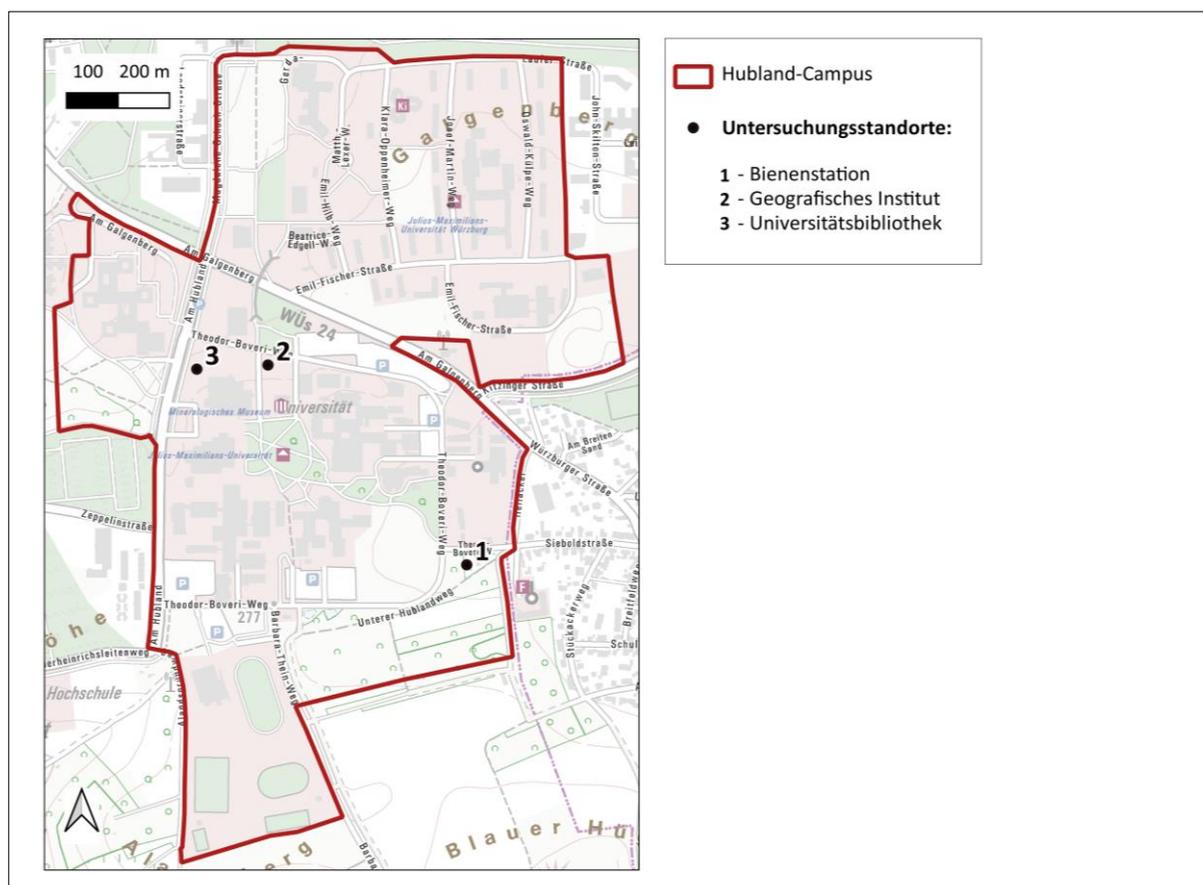


Abbildung 3: Hubland-Campus mit Untersuchungsstandorten, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2023b).

Die drei Standorte markiert, an denen die Bodenproben entnommen wurden befinden sich alle auf dem Campus Süd (s. Abbildung 3). Der erste Untersuchungsstandort (Profil B) liegt nahe der

Verwaltungsgrenze zwischen dem Würzburger Stadtgebiet und Gerbrunn, im Südosten des Campus. Die Probenentnahmestelle befindet sich auf dem Gelände der Bienenstation, einer Forschungsfläche des Biozentrums der Universität Würzburg bei 49°46'46"N 9°58'29"E (RUF *et al.*, 2019, GOOGLE EARTH, 2022). Nahe des Geografischen Instituts ist der zweite Standort (Profil GI) verortet, auf einer Höhe von 273 m ü. NN. bei 49°46'59"N 9°58'12"E und etwa 500 Meter Luftlinie Richtung Nordwesten von der Bienenstation entfernt. Ein kleines Stück nördlich folgt der dritte Untersuchungsstandort (Profil UB) unweit der Würzburger Universitätsbibliothek, mit den Koordinaten 49°47'00"N 9°58'03"E (GOOGLE EARTH, 2022). Die Bodenproben der beiden zuletzt genannten Standorte entstammen beide einem Baustellenaufschluss.

### 3.2. Geologie

Bei fast allen anstehenden Gesteinen in Unterfranken handelt es sich um Sedimentgesteine, die durch Ablagerungsprozesse entstanden sind, als die Region noch von einem Meer bedeckt war. Insgesamt gibt es hier relativ wenige Unterschiede zwischen den Gesteinen, was sich auch in den wenig spektakulären Landschaftsformen widerspiegelt. In Würzburg selbst sind nahezu alle Schichten des verwitterungsresistenten, basischen Muschelkalks vertreten. Während in der Talsohle der Wellenkalk (Unterer Muschelkalk) ansteht, sind in der Talweitung des Stadtgebiets die weicheren Schichten des mittleren Muschelkalks vorzufinden. Auf den Anhöhen ist der Hauptmuschelkalk (Oberer Muschelkalk = mo) erhalten (MÜLLER, 1996). Der Obere Muschelkalk besitzt im Raum Würzburg eine Mächtigkeit von 76 bis 80 Metern und nimmt Richtung Ochsenfurt in seiner Ausdehnung zu (HOFFMANN, 1967b). Entsprechend seiner Schichtfolge, lässt sich der unterfränkische Obere Muschelkalk in drei Teile gliedern und besitzt eine von Ton- und Mergelschichten sowie von verschiedenen Fossilengruppen geprägte Fazies (RUTTE, 1957). Er wird durchzogen von Wechsellagerungen aus Ton- und Tonmergelsteinhorizonten mit einer vertikalen Ausdehnung von bis zu einem Meter (HOFFMANN, 1967b).

In Abbildung 4 sind die geologischen Einheiten des Hubland-Campus dargestellt. Die Fläche des Untersuchungsgebiets ist dabei auf dem Kartenblatt Nr.6225 Würzburg Süd verortet. Der oben dargestellte Ausschnitt des Kartenblatts umfasst eine vielseitige Geologie, während auf dem eigentlichen Campusgelände lediglich die drei geologischen Einheiten *Oberer Muschelkalk 3 (mo3)*, *pleistozäner Flugsand (S,a)* und die *Unteren Tonstein-Gelbkalkschichten (ku1)* vorkommen (HOFFMANN, 1967b, LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023a).

Die Hauptmuschelkalkstufe (Oberer Muschelkalk) in Unterfranken ist fast vollständig das Produkt pleistozäner Talbildung und unmittelbar in Bereichen größerer Flussläufe zu finden (BÜDEL, 1957).

Daher ist die großflächige Ausdehnung des punktierten und in Rosa- bis Rottönen eingefärbten Oberen Muschelkalks rund um den Unicampus und Richtung Flusslauf im Südwesten der Karte, an diesem Standort zu erwarten. Auf dem eigentlichen Gelände des Unicampus, steht er in seiner flächenhaften Ausprägung an zweiter Stelle und formt den Untergrund der Universitätsbibliothek sowie des Geografischen Instituts.

Während im Westen des Kartenausschnitts der Muschelkalk dominiert, breiten sich auf östlicher Seite pleistozäne Ablagerungen aus. Nordöstlich prägt der Flugsand die oberflächliche Geologie, bedeckt dabei das Gelände des Unicampus fast vollständig und erstreckt sich dann weiter bis hin zu der nahe gelegenen Siedlung Gerbrunn (HOFFMANN, 1967b). Er hebt sich auf der Karte durch seinen beige-braunen Farbton ab. Der Löß, ein feinsandiger bis toniger Schluff, auf der Karte in Gelb dargestellt, dehnt sich hinter dem Sportplatz in Richtung Randersacker aus.

Bei der dritten geologischen Einheit, die nach der DGK25 auf dem Unicampus zu finden ist, handelt es sich um Untere Tonstein-Gelbkalkschichten. Sie bestehen aus einer Wechsellagerung von Ton- und Mergelstein, gelbgrauem Dolomitstein sowie gebankten bis plattigen Sandsteinlagen. Die aus der Trias stammende Schichtfolge zeichnet sich auf dem Kartenblatt durch ihre grüne Farbe aus und wird nach Osten hin von Oberen Tonstein-Gelbkalkschichten überdeckt. Letztere werden eingerahmt von anstehendem Werksandstein, der in Braun dargestellt ist (GEYER, 2002).

Weitere geologische Einheiten außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes sind künstliche Ablagerungen und Auenablagerungen aus dem Holozän (HOFFMANN, 1967b). Typisch für die Lagerungen in den Auen sind die wasserabdichtenden, lehmigen Bestandteile (RUTTE, 1957), denen sandige Komponenten beigemischt sind. Des Weiteren erstreckt sich eine aus Lehm, Sand und zum Teil aus Kies bestehende Talfüllung in Form eines Schwemmfächers vom Flusstal über den Alandsgrundweg bis hin zum Sportzentrum. Die Lithologie einer solchen polygenetischen Talfüllung variiert je nach Ursprungsgebiet (HOFFMANN, 1967b).

Im Südosten (s. Abbildung 4) steht der, durch ein blasses Lila dargestellte Quaderkalk an. Es handelt sich hierbei um eine besondere Form des unterfränkischen Hauptmuschelkalks. Statt Schichtfugen besitzt er vertikale Klüfte, die seinen Abbau, trotz besonderer Widerstandsfähigkeit, erleichtern. Daher wird ihm in Unterfranken eine besondere wirtschaftliche Bedeutung zugemessen (RUTTE, 1957). Im Gegensatz zu den übrigen Gesteinen der Normalfazies des Muschelkalks, hat der Quaderkalk bis heute seinen ökonomischen Wert beibehalten und wird nach wie vor als Baustein genutzt (GEYER, 2002). In Randersacker, nur wenige Kilometer vom Hubland-Campus entfernt, befindet sich ein alter, stillgelegter Steinbruch (RUTTE & WILCZEWSKI, 1983). Die Festung Marienberg, die alte Mainbrücke und sogar Teile der neuen Universität in

Würzburg, sind aus Quaderkalk gebaut (GEYER, 2002). Auch das Kulturgut „Fränkischer Wein“ steht in engem Zusammenhang mit dem geologischen Untergrund. Bestimmte Sorten, wie etwa der Riesling, entfalten ihren vollen Geschmack nur auf dem passenden lithologischen Fundament (RUTTE & WILCZEWSKI, 1983).

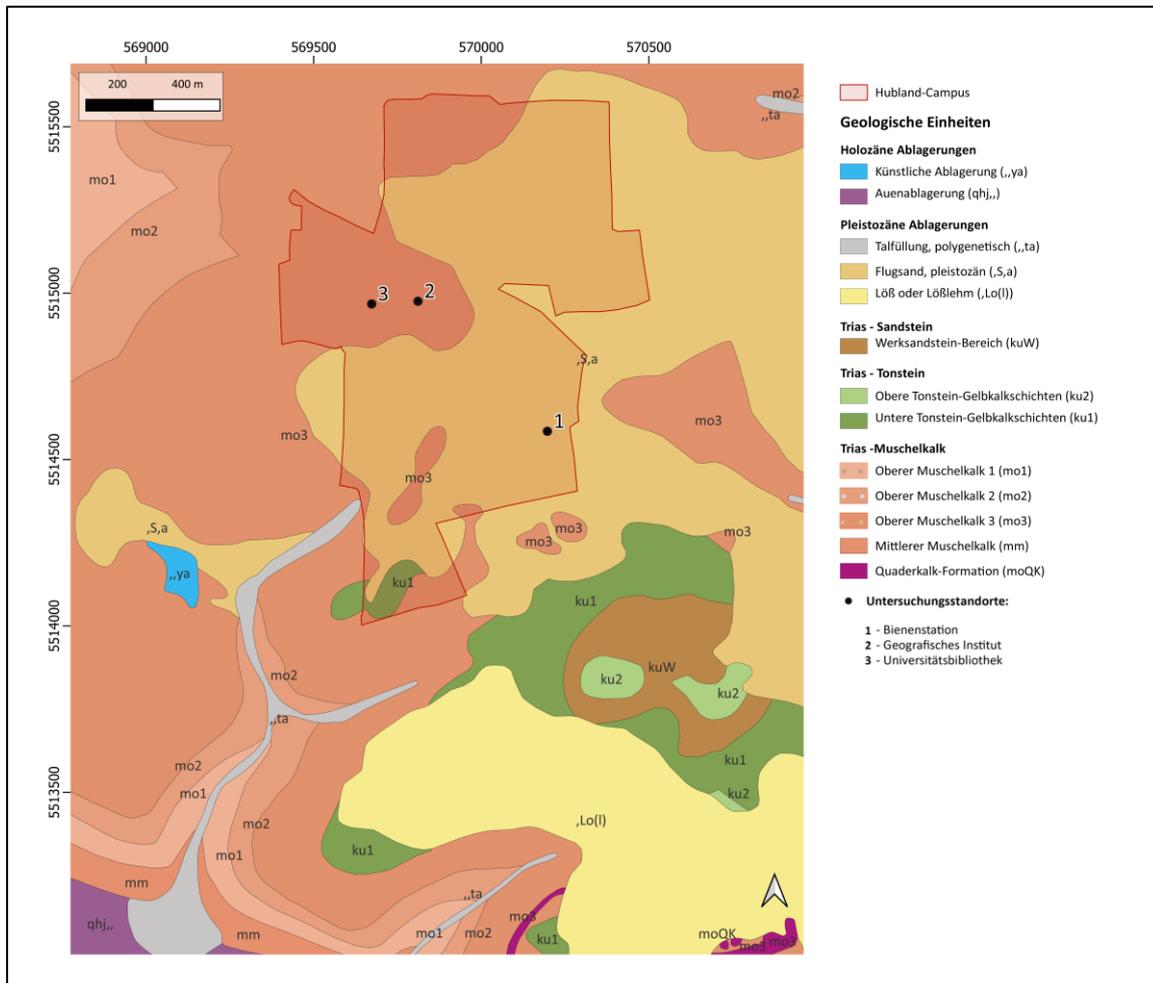


Abbildung 4: Geologische Karte des Hubland-Campus und Umgebung; Verortung des Unicampus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle:(LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023a).

### 3.3. Boden

Im gesamten Regierungsbezirk dominieren die Charakterbodentypen Pelosol, Rendzina, Parabraunerde und Braunerde. Großräumig ist Unterfranken der Region der Braunen Waldböden zuzuordnen (MÜLLER, 1996). Nach einer stark generalisierten Karte der AG-BODEN, befindet sich Würzburg in einem Gebiet der Rendzina und Terra Fusca auf Berg- und Hügellandschaften aus Kalkstein (AD-HOC-AG BODEN, 2005). Grundsätzlich lässt sich die Landschafts- und Bodenbildung, so MÜLLER, jedoch nicht für einen solch großen Raum generalisieren, vielmehr differenziert sich die Landschaft in kleinste sogenannte „Ökotope“.

Auf dem Hubland-Campus herrschen nach der Bodenkarte 1:25.000 des UMWELTATLAS BAYERN die Bodentypen der Rendzinen und Braunerden vor. Die Rendzinen auf dem Gelände des Campus Nord haben sich aus Kalk-, Kalkmergel-, oder Mergelgesteinsschutt über Kalkstein, Lehm- und Tonschutt des Muschelkalks gebildet. Außerdem sind hier, in geringer Verbreitung, die Bodenformen der Pararendzinen, selten auch Terra fusca Rendzinen aus Kalkstein zu finden (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT)). Diese sind typisch für die Talkanten Richtung Flussbett im Muschelkalkbereich. Da auf dem geringmächtigen Ah-Horizont direkt der Cv/C Horizont ansteht, werden sie als flachgründig bezeichnet und sind besonders erosions- und austrocknungsanfällig (MÜLLER, 1996). Sie bilden sich typischerweise auf oberflächlich aufliegendem Muschelkalk, da der darin enthaltene Kalk schnell in Lösung geht. Pararendzinen liegen kolluvialen Bildungen von bis zu einem Meter auf und unterscheiden sich von der Rendzina durch ihren höheren Carbonatgehalt. Der Rest des Hubland-Campus, Richtung Süden, ist nahezu ausschließlich von Braunerden geprägt. Vereinzelt treten auch Podsol-Braunerden und Braunerden-Podsole auf. Als Ausgangssubstrat dient hier der Flugsand, welcher sich auf den flussbegleitenden Flächen neben dem Maintal angesammelt hat (HOFFMANN, 1967b). Braunerden erhalten ihren Namen durch den hier häufig zu beobachtenden Prozess der Verbraunung (MÜLLER, 1996). Sie sind der in Mitteleuropa am häufigsten vorkommende Bodentyp und in Bayern vielerorts vertreten (STMUGV (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ), 2006b). Es handelt sich hierbei um einen relativ jungen Boden, da er, wie ein Großteil der Böden in Deutschland, erst in Folge der letzten Eiszeit entstanden ist. Auf Grund der mächtigen Sandschicht, haben die Braunerden nahe Gerbrunn eine große Entwicklungstiefe. Folgt man dem Relief Richtung Nordwesten hin zu den Weinbergen, schließen Rigosole an die von Rendzinen geprägte Talkante an und laufen über die Flussterrassen Richtung Talau aus (s. Abbildung 5) (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), HOFFMANN, 1967b). In einer typischen Bodencatena des Maintals sind noch weitere Bodentypen in Flussnähe aufgezeigt. Hier setzten sich ackerbaulich genutzte Braunerden und Parabraunerden auf den Terrassen der Niedermoor- und Gleyböden zum Wasser hin ab (MÜLLER, 1996).

Fast alle heute noch sichtbaren, oberflächlichen pedogenen Einwirkungen, stammen aus dem Würmglazial, darunter auch alle Flugsande und Lösssedimente, die auf dem Kartenblatt Nr.6225 Würzburg Süd zu finden sind (HOFFMANN, 1967b). Die dazu führenden eiszeitlichen Prozesse wurden bereits in Abschnitt 2 ausführlich erörtert. Die räumliche Verteilung der Böden wird durch die erwähnten Deckschichten definiert. Sie bilden die Grundlage der rezenten Bodenarten auf dem Hubland-Campus. Demzufolge fand Pedogenese nicht primär auf Basis einer in situ Verwitterung statt, sondern wurde von allochthonen Materialien beeinflusst. Dies wiederum

erschwert den Rückschluss auf das Ausgangsgestein und die zu erwartenden Mineralgehalte (WITTMANN, 1991). Dort wo Deckschichten fehlen, reicht die Bodenentwicklung meist nur bis zu Rendzinen aus Kalksteinverwitterung mit einer Mächtigkeit von nicht mehr als 30 cm. Teilweise stellen diese Übergangsformen zu Braunerden oder einer Terra fusca dar (MÜCKENHAUSEN, 1977, JOCHUM, 2015). Unter den periglazialen Schichten befinden sich heute Solifluktionsschuttdecken aus vorherigen Zeiten, die sich unter anderen Verwitterungsbedingungen gebildet haben und die rezente Bodenbildung prägen (SEMMELE, 1996).

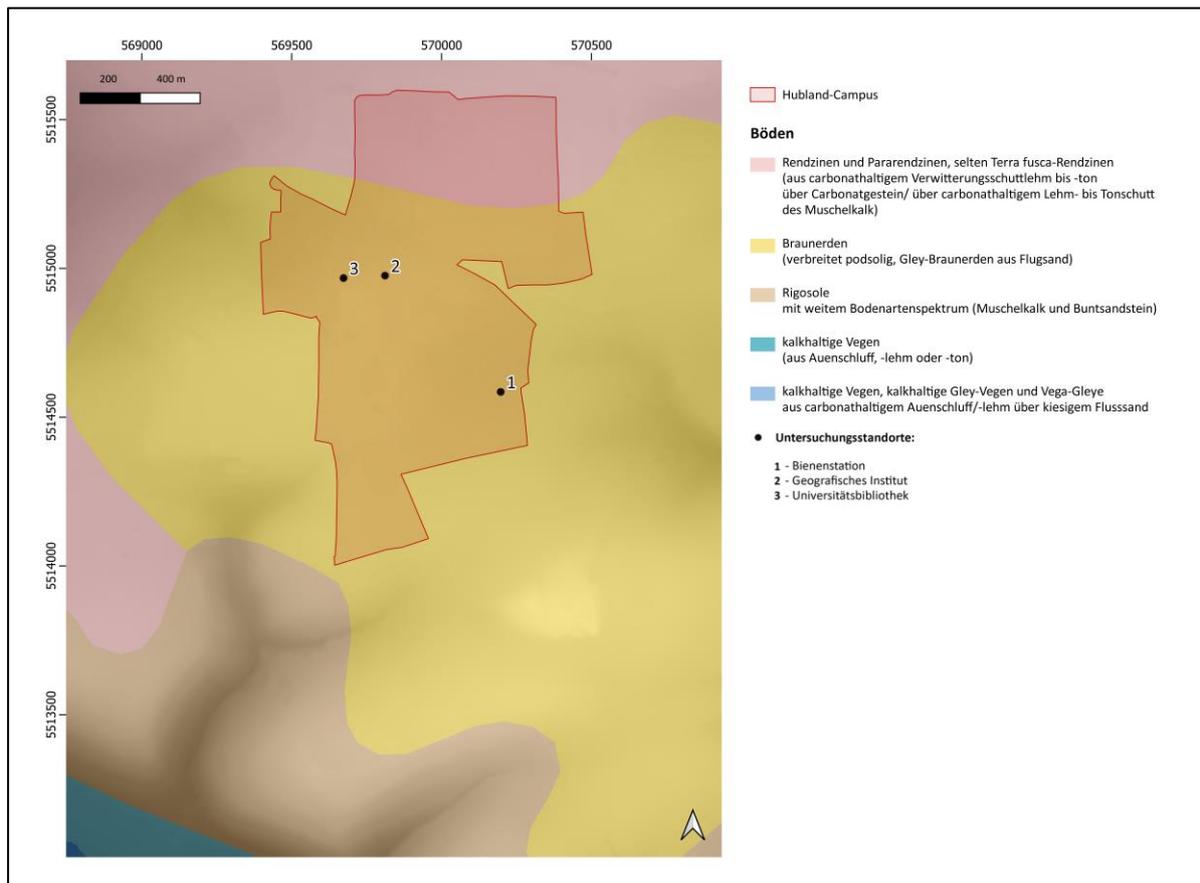


Abbildung 5: Boden-Karte des Hubland-Campus und Umgebung; Verortung des Unicampus, Eigene Darstellung mit (QGIS, 2022), Datenquelle: (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023b).

### 3.4. Klima

Die Stadt Würzburg, im Gebiet der Mainfränkischen Platten, befindet sich klimatisch in der feuchtgemäßigten Zone der Mittleren Breiten. Nach der Klassifikation von Köppen-Geiger wird dieser Klimazone die Bezeichnung *Cfd* zugeordnet. Typischerweise herrschen hier Westwinde und die Wettersysteme sind starken Schwankungen unterworfen, mitunter auf Grund der Unterschiede zwischen ozeanischen und kontinentalen Klimaverhältnissen (KOTTEK *et al.*, 2006, BRÖNNIMANN, 2018). Würzburg selbst befindet sich nach MÜLLER in einer Übergangszone zwischen

subozeanischem und subkontinentalem Klima. Der herrschende Westwind wird durch den westlich gelegenen Spessart abgebremst, bevor er Richtung Würzburg weiter zieht. Der dadurch erzeugte Regenschatten, kombiniert mit einem schwachen Föhneffekt, sorgt auf Grund der Leelage für trockene Niederschlagsverhältnisse in der gesamten Region (MÜLLER, 1996).

Das Klimadiagramm zeigt die monatlichen Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen in Würzburg, innerhalb der Klimareferenzperiode von 1991 bis 2020 (s. Abbildung 6). Die Jahresdurchschnittstemperatur für den genannten Zeitraum beträgt 10,2°C, der durchschnittliche Jahresniederschlag beläuft sich auf 573 mm/a. Die Temperaturkurve zeichnet ein Minimum im Januar mit Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt und steigt dann beständig bis zu ihrem Maximum im Juli, mit Durchschnittswerten von circa 20°C. Die Niederschläge fallen in den Sommermonaten von Mai bis August am höchsten aus und erreichen im April ihren geringsten Wert (DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023b, DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023a). Wie aus dem Diagramm hervorgeht, herrscht in Würzburg ein schwach humides Klima. Auch wenn keine Phasen auftreten, die eindeutig als arid zu bezeichnen sind, gehört die Region um Würzburg zu den trockensten Zonen in ganz Unterfranken und den wärmsten Gebieten in Bayern (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2021a).

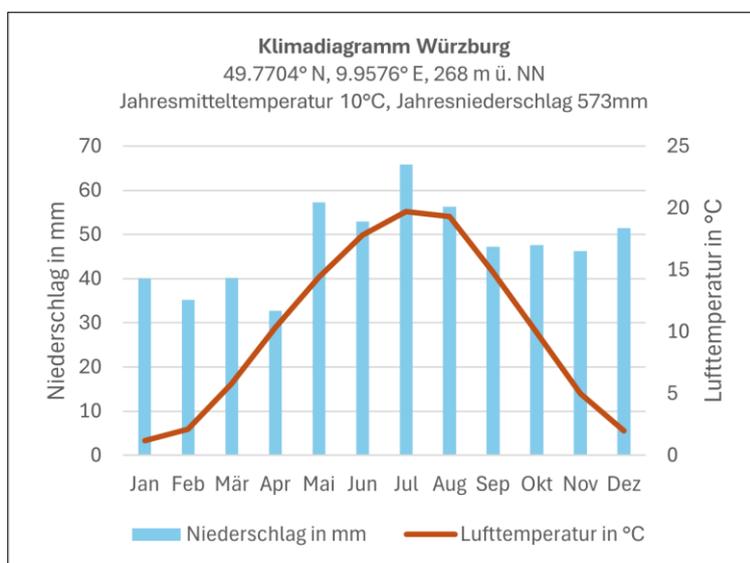


Abbildung 6: Klimadiagramm Würzburg, Klimareferenzperiode 1991-2020, Eigene Darstellung (Datengrundlage: (DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023b, DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST), 2023a).

Während die Gegend früher unter einer Klimagunst stand, prognostizieren PAETH *et al.* (2023) perspektivisch einen klimabedingten Nutzungswandel. Unterfranken stellt eine Hotspot-Region im Kontext des Klimawandels dar, so dass in Zukunft mit zunehmenden Extremwetterlagen zu rechnen ist. Die Maintallage der Stadt Würzburg fördert die Bildung eines städtischen Klimas. Während die Niederschlagsmengen innerhalb des Stadtgebiets auf Grund großräumiger

Wetterphänomene wenig Variation aufweisen, zeigen die Temperatur und relative Feuchtigkeit starke Unterschiede auf. Nach vergleichenden Messungen von Wetterstationen auf dem Marktplatz und in Gerbrunn in den Jahren 2018 bis 2020 ist die durchschnittliche Lufttemperatur in der Innenstadt um über ein Grad höher. Sowohl die topografische Lage als auch Vegetationsvorkommen haben einen bedeutenden Einfluss auf diese Abweichung (HARTMANN *et al.*, 2023). Es steht fest, dass die Vegetation, Bodenbildung und auch das Relief stark durch das Klima geprägt sind. Wie sich die wandelnden Klimabedingungen auf die Böden Unterfrankens auswirken werden, ist aktuell noch unklar. Allerdings ist, so BAUMHAUER *et al.* (2020), der Bodenwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung der Böden entscheidend.

### 3.5. Hydrologie

Das landschaftsprägende Flusssystem des Mains entwässert die Gebiete im Raum Würzburg, so wie alle Regionen rund um Unterfranken (MÜLLER, 1996). Im Norden von Würzburg laufen die zwei Flüsse Kürnach und Pleichach zusammen, im Süden fließt der Landleitenbach nahe der Siedlung Gerbrunn, um dann östlich in den Mainlauf zu münden (STAMATIS, 1986). Im mitteleuropäischen Vergleich ist der Abfluss der Mainfränkischen Platten rund um Würzburg eher gering, da hier teilweise nur ein Viertel des Niederschlags oberflächlich abläuft. Außerdem sind die Grundwasservorkommen im gesamten unterfränkischen Regierungsbezirk niedrig, was unter anderem mit der starken Wasserdurchlässigkeit der oberen Gesteinsschichten zusammenhängt. Erst durch die Karstgrundwasserleiter tiefer liegender Tonlagen, bilden sich mehrere Grundwasserstockwerke (STAMATIS, 1986). Innerhalb Würzburgs sind deutliche Karsterscheinungen eher selten und treten vor allem an Störungszonen und im Bereich des Oberen Muschelkalk auf (HOFFMANN, 1967b). Andere Störungen, wie etwa die Zeller Quellen nördlich der Stadt, führen durch Verwerfungen zu einem unterirdischen Wasserstau und dienen als Grundwasserspeicher. Sie spielen eine wichtige Rolle für die Würzburger Wasserversorgung und speisen sich aus dem Wassereinzugsgebiet um Waldbüttelbrunn. Das Wasser des Muschelkalk ist auf Grund seines hohen Kalkgehalts sehr hart, so dass Würzburg nach Rutte das härteste Wasser in ganz Deutschland besitzt (RUTTE, 1957, MÜLLER, 1996).

Auf der Fläche des Hubland-Campus ist die Wasserdurchlässigkeit der lithologischen Schichten mäßig. Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beläuft sich auf etwa 100-150 mm/a (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT)). Bei einem Maßstab von 1:25.000 teilt sich das Campusgelände in fünf Wassereinzugsgebiete auf. Der Abfluss des nördlichen Areals mündet zunächst in die Pleichach, im Osten wird das Wasser in den Rottendorfer-Flutgraben geleitet.

Beide fließen anschließend in den Main. Abflüsse der drei nach Westen und Süden ausgerichteten Einzugsgebiete werden direkt in den Main weitergeleitet (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT)). Das kleine Waldstück am Alandsgrundweg beherbergt einen kleineren Bachlauf, der in einem Röhrensystem mündet und das oben liegende Gebiet entwässert. Die steile Klingenstruktur am Alandsgrundweg begünstigt möglicherweise die Bildung von Sturzfluten, da die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche mit steigendem Gefälle stark zunehmen kann (STEINBRICH *et al.*, 2015). Hochwasserereignisse des Mainlaufs stellen für den Campus und seine Umgebung, auf Grund der hohen Lage, kein Risiko dar (STAMATIS, 1986).

### 3.6. Vegetation und Bodenfauna

Wie auch der Boden, hat sich die Vegetation in Unterfranken erst nach der letzten Eiszeit gebildet. Die Region wird der Vegetationszone „sommergrüne Falllaubwälder und Buchenwaldgebiete“ zugeordnet und gehört zu den Gebieten mit der längsten Vegetationsperiode innerhalb der Mainfränkischen Platten (MÜLLER, 1996). Perspektivisch ist in ganz Würzburg mit einer Verschiebung der Wachstumsperiode in einen früheren Zeitraum im Jahr zu rechnen. Grund dafür ist die starke Betroffenheit Unterfrankens vom Klimawandel und veränderten Temperatur- und Niederschlagsmustern (PAETH *et al.*, 2023).

Da es heutzutage kaum vom Menschen unbeeinflusste Vegetation gibt, wird ein Rückschluss auf frühere Vegetationen erschwert. Die potentielle Natürliche Vegetation Würzburgs beläuft sich auf Labkraut-, Eichen-, und Hainbuchenwälder. Auf dem gesamten Campusgelände herrscht der Bergseggen-Waldgersten-Buchenwald vor. Auf Grund der geringen Niederschläge und flachen Böden, prägt an der Talkante hin zum Main Trockenflächen-Vegetation die Landschaft (MÜLLER, 1996, LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2012). Die reale Vegetation unterscheidet sich durch anthropogene Veränderungen vom potenziellen natürlichen Bewuchs. Wie auf den Luftbilddaufnahmen zu sehen ist, dominieren Felder die vorherrschende Vegetation. Auch Wiesen und Hecken-, sowie Baumstrukturen umrahmen die Gebäude des Hubland-Campus. Als naturbetonte Landschaftselemente tragen außerdem Streuobstwiesen zur ökologischen Vielfalt der Fläche bei (GOOGLE EARTH, 2022). Die Bienenstation, der erste Untersuchungsstandort der Bodenanalysen, liegt auf einer solchen Streuobstanlage. Im Rahmen einer botanischen Begehung des Hubland-Campus im Jahr 2019, wurden Pflanzenarten auf Flächen kartiert, die seit einigen Jahren aus der jährlich mehrfach durchgeführten Mahd herausgenommen wurden. Dabei wurde eine voranschreitende Sukzession beobachtet, die vor allem *Blutroten Hartriegel*, *Zwetschgen* und *Wildrosen* hervorbrachte. Einige der aufgenommenen Arten auf den Wiesenflächen waren etwa

*Schafgarbe, Knoblauchsrauke, Beifuß, Wilde Möhre, Natternkopf, Hornklee, Weiße Lichtnelke und Silber Fingerkraut.* Insgesamt konnten über 50 verschiedene Arten festgestellt werden, und es wird davon ausgegangen, dass einige weitere noch nicht erfasst wurden. Nach FRANZ & VOGG (2019) sei der Hubland-Campus durch seinen „mosaikartigen Strukturreichtum“ ein besonderer Standort für eine vielfältige heimische Vegetation.

Angelehnt an ein Ökologie-Seminar am Lehrstuhl für Zoologie 3 wurden studentische Daten zur Bodenfauna an verschiedenen Standorten auf dem Campusgelände erhoben. Dabei sollten Unterschiede zwischen der Bodenfauna auf Streuobstwiesen und auf Ackerflächen erforscht werden. Die Probenentnahmen erfolgten nördlich des Biologie-Zentrums und nur wenige hundert Meter entfernt von der Bienenstation. Alle im Boden lebenden Organismen werden zusammengenommen als *Edaphon* bezeichnet. Die Bodentiere sind neben Algen, Pilzen und anderen Bodenorganismen in Mikro-, Meso-, Makro- und Megafauna untergliedert und erfüllen wichtige Funktionen, wie die Zersetzung von Substrat und Strukturierung des Untergrunds. Eigenschaften der lokalen Vegetation, die Nutzung sowie der Bodentyp haben einen starken Einfluss auf die Abundanzen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Bei der Bodenfauna-Untersuchung am Campus stellte sich heraus, dass das Taxonreichtum auf den Obstflächen größer war als das auf den Ackerflächen. Unter den Bodenfauna-Gruppen waren *Ameisen* und *Webspinnen* sowie verschiedene *Insektenlarven*, *Asseln* und *Milben* zu finden. Außerdem wurden *Doppelschwänze*, *Raubmilben* und eine große Anzahl von *Springschwänzen* kartiert (*Daten zur Erfassung der Bodenfauna am Hubland-Campus (2013 bis 2023)*).

### 3.7. Anthropogene Einflüsse und Nutzung

Die Region Unterfranken, in der das Untersuchungsgebiet verortet ist, war, auf Grund seiner besonders fruchtbaren Böden, eines der ersten besiedelten Gebiete Mitteleuropas. Auch wenn das Holozän durch seine kurze Zeitspanne geomorphologisch weniger ins Gewicht fällt, haben in dieser Zeit einschneidende landschaftliche Veränderungen durch anthropogene Einflüsse stattgefunden (MÜLLER, 1996). Eine topografische Karte aus dem Jahr 1950 zeigt einen Laubwald, während der Norden des Campus von Wiesen umgebene Kasernengebäude beherbergte. Eine intensive Nutzung des Geländes folgte erst ab der Grundsteinlegung und dem Baubeginn des Hubland-Campus im Jahr 1965 (UNIVERSITÄT WÜRZBURG, LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 1956). Heute ist ein hoher Prozentsatz der Flächen am Hubland-Campus von universitären Gebäudekomplexen geprägt. Als anstehendes Gestein bietet der Obere Muschelkalk dank seiner Eigenschaften dafür eine gute Baugrundlage (HOFFMANN, 1967a).

Der Boden aus Flugsand, welcher auf dem Hubland-Campus vorherrscht, ist grundsätzlich nur schlecht landwirtschaftlich nutzbar. Mit Bodenzahlen von 30-39 formt die Braunerde über Flugsand einen Ackerboden von eher geringem Wert. Trotz ihrer Tendenz zu Nährstoffarmut, wurden die Standorte mit Flugsand früher oft ackerbaulich genutzt (HOFFMANN, 1967b, MÜLLER, 1996). Ab dem 18. Jahrhundert diente der heutige Unicampus Hubland Süd als Anbaufläche für Kartoffeln, wodurch die Gegend sich erstmalig in fruchtbares Ackerland verwandelte (FLADE, 2014). Heute werden verlehmt Flugsandfelder häufig für den Anbau von Spargelkulturen verwendet (GEYER, 2002). Rendzinen in Richtung Maintal, die aktuell landwirtschaftliche Nutzflächen darstellen (vorwiegend Sommergerste und Luzerne), erhalten mit ihrem Ap-Horizont die Bezeichnung „Kulto-Rendzinen“. An den Hängen, die das Maintal auf linker und rechter Seite einrahmen, dominiert der Weinanbau. Nahezu alle Böden sind dort von einem tiefen Rigolhorizont durchzogen, auf dem der aktuelle Pflughorizont aufliegt. Der Rest der Mainterrassen wird für den Obst- und Gemüsefeldbau genutzt (RUTTE, 1957, HOFFMANN, 1967b). Die Obstbaumwiesen rund um Gerbrunn, die bis heute erhalten sind, wurden in den 1960er Jahren angepflanzt (FLADE, 2014). Die Bewirtschaftung der Hänge beim Alandsgrundweg und im nahegelegenen Gerbrunn durch den Weinbau, ist schon eine bereits bis ins 16. und 17. Jahrhundert zurückreichende Tradition (OHLHAUT, 1907).

Selbst Räume, die von naturnaher Vegetation bedeckt sind, unterliegen einer menschlichen Nutzung, welche Oberfläche und Untergrund prägt. Anhand der Böden wird der anthropogene Einfluss auf die Landschaft in besonderer Weise deutlich. MÜLLER bezeichnet den Prozess der anthropogen verursachten Bodenerosion als wichtigsten rezenten geomorphologischen Prozess in ganz Mitteleuropa (MÜLLER, 1996).

## 4. Methoden

### 4.1. Standortauswahl

Die Standortauswahl der drei Bodenprofile erfolgte aus verschiedenen Gründen. Auch die Ausführlichkeit und Anzahl der Methoden zur Analyse der Bodenparameter weist je nach Profil Unterschiede auf. Der Schwerpunkt der Beprobung liegt auf dem Profil B innerhalb des Geländes der Bienenstation. An diesem Standort wurden bereits in vorherigen Jahren Probenentnahmen der Arbeitsgruppe Physische Geografie und Bodenkunde des Instituts für Geografie und Geologie der Universität Würzburg zu Lehrzwecken durchgeführt. Dabei wurde das Profil jedoch nur oberflächlich und nie in seiner Vollständigkeit erfasst oder langfristig zur Beschauung erhalten. Mit dem Ziel einer dauerhaften Erhaltung des freigelegten Profils und späteren grafischen Darstellung der Forschungsergebnisse erschien die Bienenstation als geeigneter Ort für die Aufnahme eines Bodenprofils des Hubland-Campus. Außerdem ist der Boden an diesem Standort vergleichsweise ungestört. Um anhand weiterer Bodendaten auf dem Campus die Bodengenese in ihren Unterschieden darstellen und analysieren zu können, wurden noch zwei weitere Profile beprobt. Profil GI und Profil UB sind nahe beieinander gelegen und entstammen beide einer Baugrube. Der Standort nahe dem Parkplatz des Geografie Instituts (GI) erschien außerdem durch den fachlichen Bezug der dort stattfindenden Bodenstudien thematisch passend.

### 4.2. Geländearbeiten

Eine Begehung und direkte Ansprache der Bodenprofile ist für eine vollumfängliche Erfassung der Umgebung und Standortverhältnisse unbedingt erforderlich. Die Aufnahme aller drei Profile erfolgte mit einer leichten Abweichung von der Bodenkundlichen Kartieranleitung AG AD-HOC-AG BODEN (2005). Zunächst wurden Standorteigenschaften wie das umgebende Relief, die vorherrschende Vegetation sowie die Nutzungsart festgehalten. Danach wurden die Bodenprofile bis zum Ausgangsgestein freigelegt, geputzt und zur späteren Veranschaulichung und Digitalisierung fotografiert. Auf einem Formblatt konnten dann eine konventionelle Profilskizze angefertigt und darauf Bodenparameter wie die Horizontgrenzen, Bodentyp, Gefüge, Feuchte, Durchwurzelung sowie die Bodenfarbe der einzelnen Horizonte nach MUNSELL festgestellt werden. Außerdem erfolgte eine Aufnahme weiterer Besonderheiten, wie sichtbare Redoxmerkmale und der Skelettanteil. Nach einer umfassenden Dokumentation der Parameter, wurden Mischproben und beim B-Profil zusätzlich Stechzylinder (5 cm Durchmesser) entnommen, um diese im Labor auszuwerten. Die Entnahme der Stechzylinderproben bei der Bienenstation fand ausschließlich für

B-2 bis B-4 und im untersten Horizont mit der Probennummer B-7 statt. Von einer Entnahme weiterer Stechzylinderproben in den anderen Horizonten wurde, auf Grund des hohen Skelettanteils, abgesehen. Die Profile GI und UB sollten weniger umfassend beprobt werden, weshalb man hier ebenfalls auf die Entnahme von Stechzylindern verzichtete.

#### *Doppelring-Infiltrrometer*

Um außerdem bei der Bienenstation die Infiltrationsrate von Wasser in den Boden zu bestimmen, wurde ein Feldversuch mit dem Doppelring-Infiltrrometer nach DIN 19682-7 durchgeführt (UP (UMWELTANALYTISCHE PRODUKTE GMBH), 2013). Dabei setzte man zwei Edelstahlringe mit unterschiedlichem Durchmesser ineinander, um sie dann etwa 3,5cm tief in die Bodenoberfläche einzudrücken. Beide Ringe wurden mit Wasser befüllt, zunächst der äußere, dann der innere. Der Außenring hielt dabei das vertikal infiltrierte Wasser in dem gewünschten Bereich. Bei beiden Ringen wurde darauf geachtet, dass sie während der Messung nicht trocken fallen und stets mit Wasser gefüllt sind, wobei der äußere Ring permanent einen etwas höheren Wasserpegel aufweisen sollte (ROYAL EIJKELKAMP, 2022). Gemessen wurde die Infiltrationsrate in cm/min.

### 4.3. Standardanalysen

#### **Probenaufbereitung und Korngrößenanalyse**

Nach einer Aufbereitung der luftgetrockneten Proben durch Zerstoßen der Aggregate, wurden diese anhand des Siebverfahrens, angelehnt an die DIN 11 277, in die Fraktionen 0,063-2 mm und < 0,063 mm unterschieden. So konnte der Feinbodenanteil, vom Skelettanteil getrennt werden. Sämtliche Standardanalysen im Labor werden stets mit Proben der Feinbodenfraktion (>63  $\mu\text{m}$ ) vorgenommen (BLUME *et al.*, 2011).

Im Anschluss daran wurden 15-20 g an Feinboden eingewogen und für die Pipettierung aufbereitet. Da es sich hier um carbonathaltige Proben handelt, wurde ein Dispergiermittel beigefügt. Mit der Pipette der Firma Eijkelkamp, die mit ihrem Volumen von 20 ml von der DIN ISO 11 277 abweicht, folgte die Bestimmung der Korngrößenklassen nach der ISO 14688-1 (2017). So konnten Grob-, Mittel-, und Feinschluff sowie Ton voneinander getrennt werden (AUGNER, 2011, BLUME *et al.*, 2011). Zur Differenzierung der Sandfraktion wurden die Siebrückstände > 63  $\mu\text{m}$  der vorherigen Nasssiebung getrocknet und anschließend durch eine zweite Siebung in Grob-, Mittel- und Feinsand unterschieden. Die Siebe besaßen eine Maschenweite von 2 mm, 0,63 mm (gS), 0,2mm (mS) und 63  $\mu\text{m}$  (fS).

## **Wassergehalt**

Grundsätzlich werden alle Analysen zur Gehaltsbestimmung anhand der Trockenmasse von Feinerde ermittelt. Um das Wasser zu entfernen, mussten die Einwaagen mindestens zwölf Stunden bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und im Exsikkator abgekühlt werden. Neben weiteren ermittelten Parametern, die sich auf das Bodenwasser bezogen, sollte dadurch zunächst der Wassergehalt (Masseanteil des Bodenwassers bezogen auf die Trockenmasse) berechnet werden (AG AD-HOC-AG BODEN, 2005, BLUME et al., 2011).

## **pH-Wert**

Um den pH-Wert zu ermitteln, wurde die Aktivität der H<sup>+</sup>-Ionen mittels einer Glassonde gemessen. Circa 10 g Probenmaterial der Feinbodenfraktion wurden dazu mit 25 ml 0,01 Mol CaCl<sub>2</sub> versetzt. Orientierung für diese Analyse anhand der CaCl<sub>2</sub>-Suspension bot die DIN ISO 10 390 (BLUME et al., 2011).

## **Humusgehalt**

Zur Bestimmung des Kohlenstoffgehalts wurde das Probenmaterial, aus dem zuvor der Wassergehalt bestimmt worden war, erneut gewogen und im Muffelofen auf 550°C erhitzt, so dass alle organischen Substanzen verglühten. Die Differenz der getrockneten Probe vor und nach dem Glühversuch im Verhältnis zur Masse der bei 105°C getrockneten Probe, stellt den organischen Anteil innerhalb der Bodenprobe dar. Um Fehler zu vermeiden, muss bei hohen Tongehalten in der Probe der Kohlenstoffgehalt korrigiert werden. Grund dafür sind mögliche weitere Abbaureaktionen in diesen feinkörnigen Substraten wie etwa die Freisetzung von Kristallwasser aus Ton. Um diesen Fehler auszugleichen, werden stets 0,1 Masseprozent pro Prozent Ton abgezogen (BLUME et al., 2011).

## **Carbonatgehalt**

Da die Böden auf Muschelkalk durch die Verwitterung von Ca-reichen Mineralen grundsätzlich einen sehr hohen Carbonatgehalt haben, wurde zur Bestimmung des Carbonatanteils nicht die gasvolumetrische Methode nach SCHEIBLER verwendet. Diese ist für hohe Carbonatgehalte weniger geeignet. Vielmehr wurden nach der Ermittlung des Kohlenstoffgehalts mittels Glühverlust die gleichen Proben erneut in den Ofen gestellt und auf 900°C erhitzt. Auf die gleiche Weise wie zuvor der Kohlenstoffgehalt, konnte der verglühte Anteil des Carbonats aus der Gewichtsänderung berechnet werden (BLUME et al., 2011).

## Trockenrohdichte

Im Gegensatz zu den vorherigen Analyseverfahren, wurde die Trockenrohdichte nicht anhand der Mischproben durchgeführt. Stattdessen sollten die Stechzylinder ausgewogen werden, welche zuvor für die Messung der hydraulischen Leitfähigkeit benutzt wurden. Daher konnten diese Werte nur für das B-Profil ermittelt werden. Ähnlich wie bei der Ermittlung des Wassergehalts, wurde durch das mehrtägige Trocknen der Stechzylinder bei 105°C, der Masseunterschied zwischen nasser und getrockneter Probe identifiziert. Hieraus ließ sich dann die Trockenrohdichte der Proben berechnen, eine volumenabhängige Größe (AD-HOC-AG BODEN, 2005, BLUME et al., 2011).

### 4.4. Hydraulische Leitfähigkeit

Die Wassermenge, die pro Zeit durch eine Fläche hindurchströmt, wird mittels der DARCY-Gleichung berechnet. Die hydraulische Leitfähigkeit ist dabei ein substratspezifischer Proportionalitätskoeffizient (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Diese Größe lässt sich mit dem „Hydraulische Leitfähigkeit-Permeameter“ bestimmen, einem Gerät zur Messung der Wasserdurchlässigkeit von gesättigten Proben nach ISO 17312. Zur Sättigung der Proben, wurden die im Feld entnommenen Stechzylinder des B-Profiles in einen Ringhalter gesetzt und mit Filterpapier und Siebkappe versehen. Dann wurden sie über Nacht in eine mit Wasser gefüllte Vorrichtung eingespannt, um sich zu sättigen. Für die Horizonte 2 bis 4 (B-2 – B-4) sollten je drei Zylinder nach dem Prinzip der „Konstanten Füllhöhe“ beprobt werden. Wichtig hierbei ist das Einstellen einer konstanten Füllhöhe, mit möglichst geringem Höhenunterschied zu dem Bereich außerhalb des Ringhalters. Der siebte Horizont (B-7) wurde auf Grund seines hohen Tongehalts nach der Methode der „Veränderlichen Füllhöhe“ ausgewertet. Dazu wurde die Änderung des Wasserstands über mehrere Tage hinweg immer wieder gemessen. Diese Untersuchung konnte nur an einer der beiden Stechzylinderproben durchgeführt werden, da die zweite sich auch nach mehreren Wochen nicht sättigen ließ (ROYAL-EIJKELKAMP, 2022). Aus den Messungen wurde anschließend für jede Probe der Mittelwert berechnet. Nach einer veränderten Version des DARCY Gesetzes konnte daraus der kf-Wert als Maß für die Durchlässigkeit bestimmt werden.

## 5. Untersuchungsergebnisse

### 5.1. Bienenstation

#### *Geländedaten*

Das circa 120 cm tiefe Profil B liegt in einem schwach nach Norden abfallenden Relief auf einem Wiesenabschnitt neben einem alten Streuobstbaum. Zur Geländeansprache wurde es in sieben Horizonte unterteilt. Der obere L-Horizont (B-1) besteht aus einer dünnen, lockeren Streuauflage mit unzersetztem organischem Substrat und hat eine Dicke von wenigen Zentimetern. Darauf folgen die Ap-Horizonte, welche wiederum in zwei Bereiche untergliedert sind. Der Ap<sub>1</sub>-Horizont (B-2) besitzt eine Mächtigkeit von durchschnittlich 12,5 cm und ist durch eine „schmutzige“, dunkelbraune Farbe gekennzeichnet. Die Bodenaggregate bilden ein locker gelagertes Einzelkorngefüge mit einer mittleren Feuchtigkeit, durch das sich eine Großzahl an Fein- und einige Grobwurzeln hindurchwinden. In einer ebenförmigen bis welligen Linie grenzt er sich horizontal von dem darunter liegenden Horizont ab. Der darauffolgende Ap<sub>2</sub>-Horizont (B-3) besitzt einen etwas höheren Feuchtegrad und ist gleichermaßen von einem feinen Einzelkorngefüge geprägt. Seine dunkelbraune Färbung wird nach unten hin von einzelnen kleinen Manganflecken durchbrochen. Die Durchwurzelung unterscheidet sich nur unwesentlich von dem darüber liegenden Horizont durch eine geringfügige Abnahme des Feinwurzelanteils. Beide Ap-Horizonte besitzen ein homogenes Erscheinungsbild und heben sich durch eine scharfe, wellenförmige, circa 35 cm tief liegende Begrenzung deutlich von dem darunterliegenden Horizont ab. Beide Abschnitte weisen außerdem einen hohen Sandgehalt auf. Der darauffolgende rotbraune Bv-Horizont (B-4) erreicht eine Tiefe von ungefähr 55 cm und ist ebenfalls sandig. Die starken Redoxmerkmale, in Form von braunen, verschmierten Streifen und Manganflecken, prägen das Einzelkorn- bis Subpolyedergefüge und nehmen nach unten hin ab. Auf der rechten Seite des Bodenprofils, in der Nähe des Obstbaums, dominiert ein ausgeprägter Grobwurzelanteil den Horizont und auch einzelne Feinwurzeln sind zu finden. Eine wellige, horizontal verlaufende Linie bildet die Untergrenze. Der tiefer liegende IITv(Swd)-Horizont (B-5) unterscheidet sich in seiner Bodenart deutlich von den vorherigen Horizonten und erreicht eine Tiefe von 70 cm. Er hat einen hohen Tongehalt, ist weniger durchwurzelt und besitzt eine höhere Lagerungsdichte als die darüberliegenden Horizonte. Die veränderte Körnung wird durch das angestaute Wasser oberhalb der Horizontgrenze erklärt. Das scharfkantige Polyedergefüge ist mit einer Vielzahl an Rostflecken versehen, die eine marmorierte Musterung erzeugen. Eine darunterliegende Steinlage umreißt die Grenze hin zum IITvCv<sub>1</sub>(Swd)-Horizont (B-6), der bis zu einer Tiefe zwischen 70-100 cm reicht.

Er ist durch einen hohen Grobbodenanteil aus verwittertem Muschelkalkstein ausgezeichnet, welcher aus folgenden Kornfraktionen besteht: Mittelkies (6,3 bis < 20 mm), Grobkies (20 bis < 63 mm) und einer großen Zahl an gerundeten Steinen (63 bis < 200 mm). Ein festes, toniges Polyedergefüge mit Mikroporen und einzelnen Feinwurzeln durchzogen, fasst die Gesteinsfragmente in eine Matrix. Durch die heterogene Verteilung an Grob- und Feinboden, reicht die Farbe von Gelbbraun über Grau bis zu vereinzelt orangefarbenen Rostflecken. Nach unten hin trennt eine scharfe, stark nach rechts geneigte Grenze, den basalen IITvCv<sub>2</sub>(Swd)-Horizont (B-7) vom steinigen Abschnitt. Er reicht bis zu 111 cm in die Tiefe. Die Fließwege rund um die im sechsten Horizont sich befindenden Steine leiten Wasser, das sich auf dem siebten Horizont aufstaut. Durch den Wasserstau herrschen reduzierte Bedingungen und es kommt zu einzelnen punktförmigen Rostkonkretionen. An manchen Stellen wechselt die braungraue Farbe der Tonanreicherungserscheinungen in ein ausgeprägtes Grüngrau. Auffällig ist auch der braungefärbte, vertikale Wurzelgang einer verwitterten Grobwurzel, der sich links nahezu über den gesamten Horizont zieht (s. Tabelle 1, Abbildung 7). Den erhobenen Daten zu entnehmen, handelt es sich bei diesem Profil um eine *Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk*. Diese Feststellung wird in *Abschnitt 6* weiter erläutert.

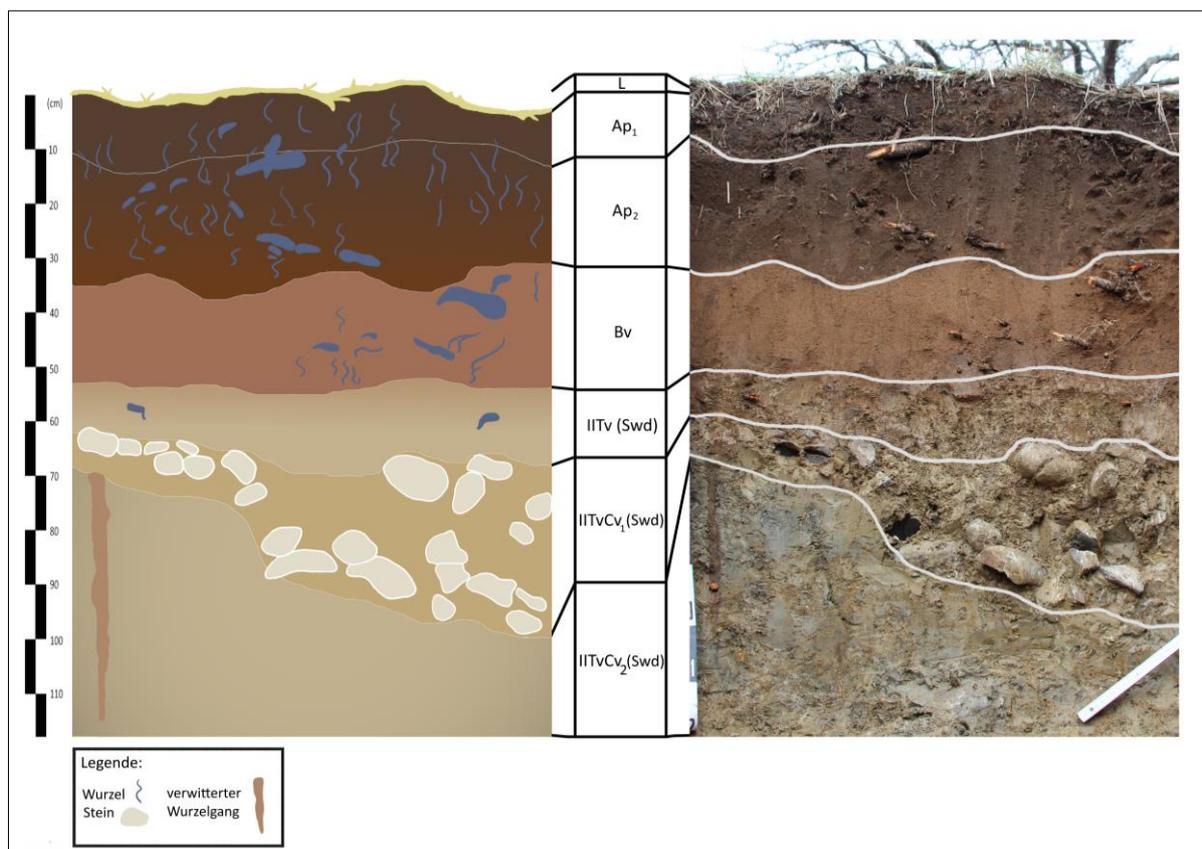


Abbildung 7: Skizze vom Bodenprofil B (*Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk*) mit Originalfoto, Horizonte B-1 bis B-7, Eigene Darstellung.

Tabelle 1: Geländedaten des Profil B (Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk) mit Bodenansprache nach (AD-HOC-AG BODEN, 2005) mit Farbbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS.

| Probe | Horizont      | Tiefe (in cm) | Horizont - untergrenze | Farbe (nach MUNSELL)             | Bodenart | Feuchte | Sonstige Merkmale         |
|-------|---------------|---------------|------------------------|----------------------------------|----------|---------|---------------------------|
| B-1   | L             | 0             |                        |                                  |          |         | Gras- und Streulage       |
| B-2   | Ap1           | 0 - 12,5      | e - w, de, h           | 10YR 3/3                         | St2      | feu 2   |                           |
| B-3   | Ap2           | 12,5 - 35     | w, sc, h               | 10YR 3/4                         | St2      | feu 3   |                           |
| B-4   | Bv            | 35 - 55       | e - w, sc, h           | 7,5YR 5/6                        | St2      | feu 3   | Manganflecken im Übergang |
| B-5   | IITv (Swd)    | 55 - 70       | w, sc, h               | 10YR 5/6<br>10YR 6/2             | Tu2      | feu 3   | Wasserstau auf Horizont   |
| B-6   | IITvCv1 (Swd) | 70 - 100      | e-w, sc, g             | 2,5Y 7/4<br>2,5Y 6/4             | Tu2      | feu 3   | Steinlage                 |
| B-7   | IITvCv2 (Swd) | 100 - 111     |                        | 2,5Y 6/1<br>2,5Y 6/6<br>10YR 6/8 | Tu2      | feu 3-5 | Wasserstau auf Horizont   |

Die mit dem Doppelring-Infiltrometer gemessene Infiltrationsrate, wurde an einem Standort innerhalb des Geländes der Bienenstation durchgeführt, der etwa 40 Meter entfernt von dem beprobten Bodenprofil liegt. Der vorhergegangene Versuch, die Beprobung nahe dem Profil durchzuführen, musste abgebrochen werden, da mit jener hohen Geschwindigkeit, mit der das Wasser infiltrierte, nicht genug Flüssigkeit nachgeliefert werden konnte. Die Infiltrationskapazität des Bodens nahm mit der Zeit ab und stabilisierte sich dann auf einen Wert um 2,1 cm/min. Damit entspricht die Infiltration der erwarteten Kapazität eines sandhaltigen Bodens (s. Abbildung 8, ROYAL EIJKELKAMP (2022)).

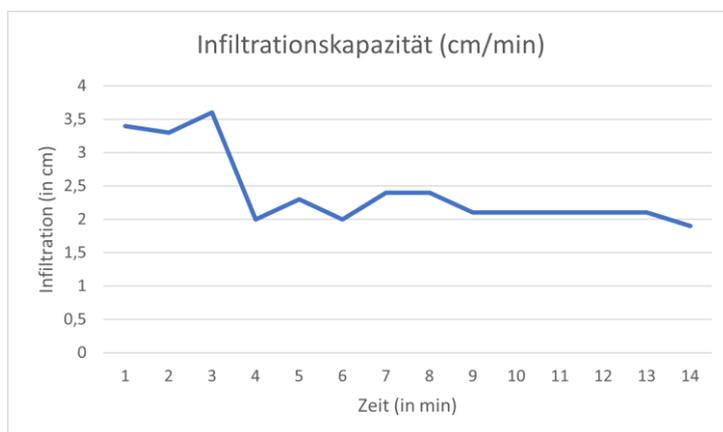


Abbildung 8: Diagramm zu Infiltrationskapazität der Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk bei der Bienenstation, 40 m Distanz zum B-Profil, Eigene Darstellung.

### Laborergebnisse

In den Horizonten B-2 bis B-4 dominiert die Sandfraktion die Korngrößenverteilung mit mindestens 75%. Den größten Teil macht dabei der Mittelsand aus, der in den Horizonten B-3 und B-4 einen Anteil von über 66% erreicht. Darauf folgen der Grobsand und schließlich der Feinsand

mit jeweils weniger als 5%. Der Anteil an Ton und Schluff macht in allen drei oberen Horizonten weniger als ein Viertel aus. Bei allen drei Horizonten handelt es sich demnach um einen *schwach tonigen Sand* (St2). Im nachfolgenden B-4 Horizont überwiegt der Feinbodenanteil, und er grenzt sich damit scharf von den oberen ab. Alle Fraktionen sind hier in etwa gleich verteilt. Der Sand erreicht Werte von weniger als 30%, gefolgt von über 30% Schluff und nahezu 40% Ton. In B-6 und B-7 nimmt die Menge an Ton weiter zu und formt Werte von etwa 54% und 57%. Danach folgen Schluff mit etwa 30% und Sand mit weniger als 10%. Entsprechend der Korngrößenverteilung sind die drei unteren Horizonte der Bodenart *schwach schluffiger Ton* (Tu2) zuzuordnen (s. Abbildung 9, Tabelle 1, Tabelle 2, AD-HOC-AG BODEN (2005)).

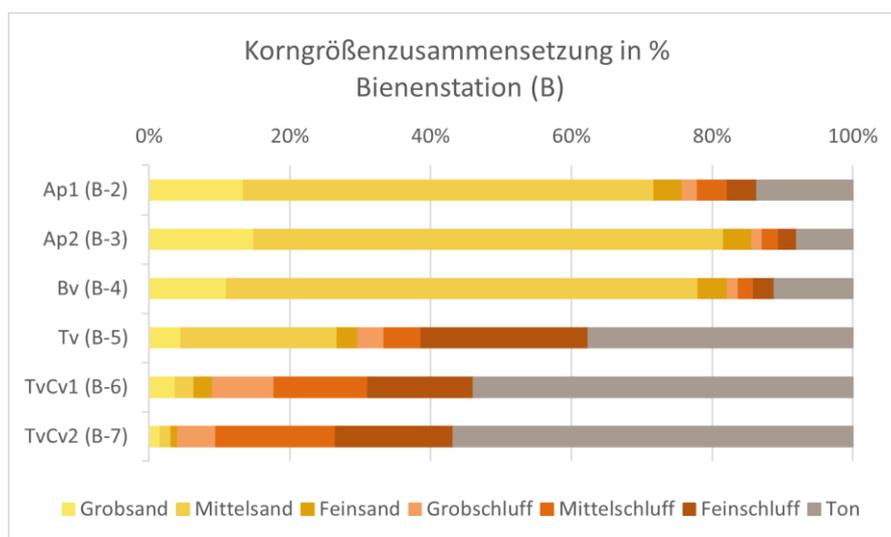


Abbildung 9: Profil B: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte B-2 bis B-7 in %, Eigene Darstellung.

Ähnlich wie bei der Korngrößenverteilung, unterscheiden sich die oberen drei Horizonte in Bezug auf den Wassergehalt stark von den darunterliegenden Horizonten. Mit einem Wert von weniger als 0,1% ist der B-3 Horizont am trockensten, danach folgen B-2 und B-4. Der B-5 Horizont beinhaltet mit 1,8% am meisten Wasser. Daran schließen B-6 und B-7 mit abnehmenden Gehalten von 1,4 und 1,3% an (s. Abbildung 10).

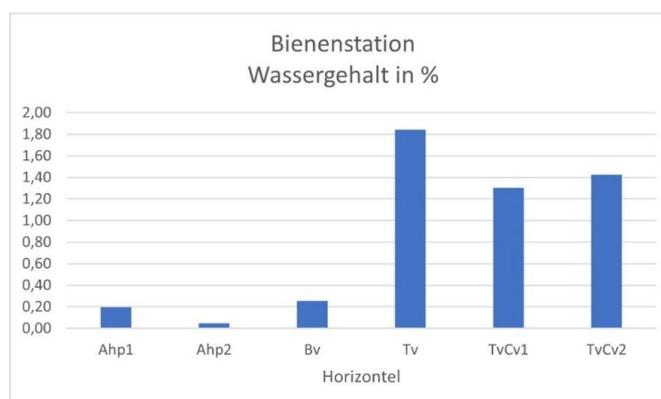


Abbildung 10: Diagramm zum Wassergehalt der Horizonte B2-B7 in %, Bienenstation, Eigene Darstellung.

Der pH-Wert bewegt sich in allen sechs Horizonten in einem *neutralen* Bereich. Der Wert von 7,03 in B-2 nimmt in den drei darunter liegenden Horizonten ab, um dann nach unten hin wieder bis auf 7,31 anzusteigen. B-6 und B-7 tendieren in einen *schwach alkalischen* Bereich, B-4 ist mit 6,18 *schwach sauer*.

Im Gegensatz zu den darunterliegenden Schichten ist der Carbonatanteil in den oberen drei Horizonten sehr gering (c2 bis c3). Nach einem deutlichen Anstieg ab B-5 erreicht er bei B-6 seinen Maximalwert von fast 19,73% (c4), um dann in B-7 wieder um mehr als zehn Prozentpunkte zu sinken.

In den oberen vier Horizonten weist der Humusgehalt, wie zu erwarten, von oben nach unten eine abnehmende Tendenz auf, bis er im B-5 Horizont erneut leicht ansteigt (h2 bis h3). Durch die Korrektur der Messwerte nach der Methode von BLUME et al. (2011), stellt sich bei den zwei untenliegenden Horizonten ein Wert von 0% ein. B-6 und B-7 sind demnach *>humusfrei<* (h1) (s. AD-HOC-AG BODEN (2005)).

Die Trockenrohdichte ( $\rho_t$ ), welche mit Hilfe der Stechzylinderproben ermittelt wurde, beträgt für B-2  $\rho_t = 1,35$  und für B-3  $\rho_t = 1,33$ . Nach der Einstufung von AD-HOC-AG BODEN (2005) weisen die zwei oberen Horizonte eine *>geringe<* Trockenrohdichte auf ( $\rho_t2$ ). Der Wert für B-4 ist mit 1,56 etwas höher, so dass die Trockenrohdichte als *>mittel<* einzustufen ist ( $\rho_t3$ ). Für den untersten Horizont B-7 wurde ein Wert von 1,6 festgestellt. Demnach lässt er sich der Kategorie *>hoch<* zuordnen ( $\rho_t4$ ) (s. Tabelle 2, AD-HOC-AG BODEN (2005)).

Tabelle 2: Labordaten des Profils B, Standardanalysen nach (Blume et al., 2011, AD-HOC-AG BODEN (2005)).

| Probe | Horizont      | Korngrößenzusammensetzung in % |        |      |            |      |        |       |            |       | pH-Wert<br>(CaCl <sub>2</sub> ) | CaCO <sub>3</sub><br>in % | C <sub>org</sub><br>in % | kf [m/s]               | $\rho_t$ |
|-------|---------------|--------------------------------|--------|------|------------|------|--------|-------|------------|-------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|----------|
|       |               | gS                             | mS     | fS   | $\Sigma S$ | gU   | mU     | fU    | $\Sigma U$ | T     |                                 |                           |                          |                        |          |
| B-2   | Ap1           | 13,42                          | 58,316 | 4,05 | 75,78      | 2,13 | 4,26   | 4,22  | 10,61      | 13,61 | 7,03                            | 3,08                      | 2,54                     | $3,6107 \cdot 10^{-4}$ | 1,35     |
| B-3   | Ap2           | 14,92                          | 66,745 | 4,04 | 85,71      | 1,43 | 2,34   | 2,52  | 6,29       | 8,00  | 6,35                            | 1,58                      | 1,26                     | $5,3464 \cdot 10^{-4}$ | 1,33     |
| B-4   | Bv            | 11,07                          | 66,987 | 4,12 | 82,18      | 1,56 | 2,15   | 2,95  | 6,66       | 11,16 | 6,18                            | 1,37                      | 0,91                     | $3,0528 \cdot 10^{-4}$ | 1,56     |
| B-5   | IITv (Swd)    | 4,55                           | 22,197 | 2,97 | 29,72      | 3,72 | 5,19   | 23,77 | 32,68      | 37,60 | 6,36                            | 7,31                      | 1,06                     |                        |          |
| B-6   | IITvCv1 (Swd) | 3,77                           | 2,66   | 2,59 | 9,02       | 8,74 | 13,309 | 14,99 | 37,04      | 53,94 | 7,25                            | 19,37                     | 0,00                     |                        |          |
| B-7   | IITvCv2 (Swd) | 1,59                           | 1,57   | 0,93 | 4,09       | 5,45 | 16,959 | 16,70 | 39,11      | 56,80 | 7,31                            | 9,19                      | 0,00                     | $4,2625 \cdot 10^{-8}$ | 1,6      |

### Hydraulische Leitfähigkeit

Die hydraulische Leitfähigkeit wurde für B-2, B-3 und B-4 nach der Methode der konstanten Füllhöhe gemessen, und wird durch den kf-Wert beschrieben. Auffällig ist, dass sich alle Mittelwerte der oberen drei Horizonte in einer Spannweite von  $k_f = 3,05 \cdot 10^{-4}$  bis  $5,34 \cdot 10^{-4}$  bewegen. Bei den ungemittelten Werten, die hier nicht abgebildet sind, schwanken die zwei ersten Proben von B-2 um  $k_f = 2,2 \cdot 10^{-4}$ , während die dritte Probe mit einem Wert von  $k_f = 6,4 \cdot 10^{-4}$  stark abweicht. In den beiden darauffolgenden Horizonten bildet sich ein ähnliches Muster ab.

Auch hier gleichen sich zwei der drei ermittelten Werte, wohingegen der dritte Wert abweicht. Die ansteigende Leitfähigkeit in B-3 bewegt sich in zwei Proben um den Wert von  $4 \cdot 10^{-4}$  m/s und wird durch einen alternierenden Wert der dritten Probe mit  $7,04 \cdot 10^{-4}$  m/s, in ihrem Mittelwert nach oben verschoben. Im B-4 Horizont sinkt die Leitfähigkeit in zwei Proben wieder auf  $k_f \leq 2,0 \cdot 10^{-4}$  m/s mit einer abweichenden Probe von  $5,7 \cdot 10^{-4}$  m/s (s. Tabelle 2). Trotz leichter Varianzen, besitzen alle drei Horizonte nach der Einstufung von AD-HOC-AG BODEN (2005) eine *>extrem hohe<* gesättigte Wasserleitfähigkeit.

Ganz im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der Stechzylinderprobe aus dem untersten Horizont. Hier ergab sich im Mittelwert ein  $k_f$  von  $4,26 \cdot 10^{-8}$  m/s, woraus sich eine *>sehr geringe<* gesättigte Wasserleitfähigkeit ableiten lässt. Bei der Versuchsdurchführung war, kurze Zeit nach vollständiger Sättigung der Probe, die Veränderung der Füllhöhe zunächst stärker und nahm dann im Laufe der nächsten Tage immer weiter ab. Die  $k_f$ -Werte in den gemessenen Zeiträumen wurden gemittelt, sodass die zeitliche Veränderung der Leitfähigkeit über die Wochen hinweg nicht mehr nachzuvollziehen ist (s. Tabelle 2).

## 5.2. Geografisches Institut

### *Geländedaten – GI*

Die Baugrube, aus dem das Profil GI stammt, liegt nördlich des Geografischen Instituts, nahe einer Straße auf einem leicht nach Westen geneigten Relief. Sie weist eine Tiefe von etwa 400 cm auf, wobei das beprobte Bodenprofil auf drei Horizonte mit einer Gesamtmächtigkeit von 153 cm beschränkt ist. Unter einer aufgeschütteten Schicht aus grauen, künstlichen Schuttfragmenten ohne Vegetationsbedeckung (yY) steht der obere Ap-Horizont an. Er reicht bis zu 29 cm nach unten und ist dunkelbraun gefärbt, mit einzelnen grauen, kantigen Steinen, die aus der aufliegenden Fragmentschicht in den darunterliegenden Bereich hineinragen. Außerdem durchziehen unregelmäßige Manganflecken und -streifen den Horizont. Nach einer eben bis wellig verlaufenden, scharfen Grenzlinie, folgt der Bv-Tv-Horizont mit einer Tiefe von bis zu 56 cm. Sein gelbliches Braun trennt ihn optisch von den umgebenden Schichten. Der Grobbodenanteil besitzt einen mittleren Grusgehalt pro Volumen. Die oberen, sandigen Horizonte sind beide verdichtet und formen ein Polyedergefüge. Einzelne, mittel bis flach verlaufende Feinwurzeln, lockern das Substrat auf. Im deutlichen, horizontal verlaufenden Übergangsbereich hin zum IITv-Cv-Horizont, wurden Schluffsteine mit einem Durchmesser von bis zu 3 cm gefunden. Sie sind in die Bodenmatrix eingebettet und heben sich durch ihre leuchtend gelbe Farbe vom umgebenden Graubraun ab. Der grau- bis olivbraune basale Horizont ragt in das anstehende Gestein hin zu einer

Tiefe von circa 153 cm, wo unverwitterte Muschelkalkstücke liegen. In dem tonigen Polyedergefüge sind außerdem einzelne Manganflecken zu erkennen (s. Abbildung 11, Tabelle 3). Den erhobenen Daten zu entnehmen, handelt es sich bei diesem Profil um eine *Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk*. Diese Feststellung wird in *Abschnitt 6* weiter erläutert.

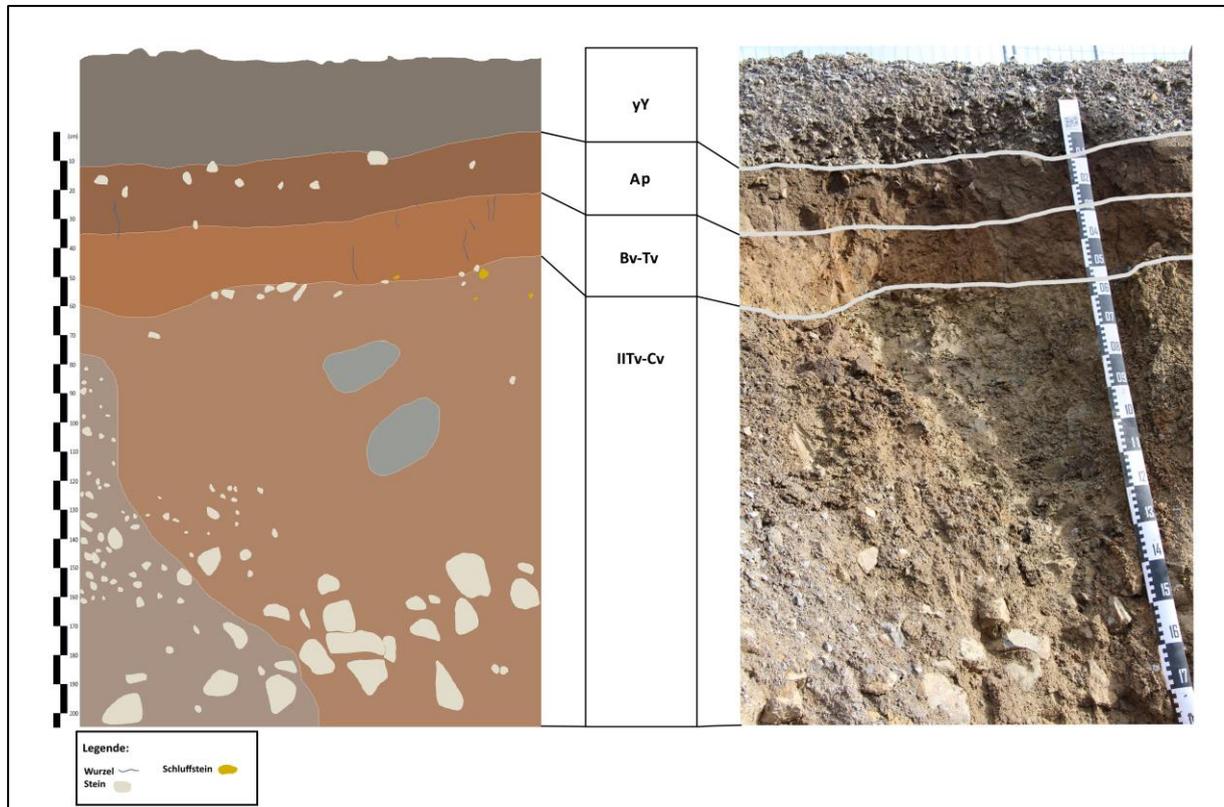


Abbildung 11: Skizze vom Bodenprofil GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) mit Originalfoto, Horizonte GI-1 bis GI-3, Eigene Darstellung.

Tabelle 3: Geländedaten des Profils GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk), Bodenansprache nach (AG BODEN 2005) mit Farbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS.

| Probe | Horizont | Tiefe (in cm) | Horizont - untergrenze | Farbe (nach MUNSELL) | Bodenart | Feuchte | Sonstige Merkmale   |
|-------|----------|---------------|------------------------|----------------------|----------|---------|---|
| GI-1  | Ap       | 0 - 29        | e - w, sc, h           | 10YR 3/3             | Ts3      | feu 2   | vereinzelt Manganflecken, darüber Bauschuttanlage (ca. 30 cm) |
| GI-2  | Bv-Tv    | 29 - 56       | e - w, de, h           | 10YR 5/8             | Ts3      | feu 3   | Grus und kantige Steine                                       |
| GI-3  | IITvCv   | 56 - 150      |                        | 2,5Y 5/2<br>2,5Y 4/4 | Tl       | feu 3   | kleine Schluffsteine (0,3-0,8 cm)                             |
| GI-4  |          | 56,0          |                        | 2,5YR 7/8            |          |         | Schluffsteine (0,5-4 cm) in toniger Matrix                    |

## Geländedaten – GI (Kryoturbationsstruktur)



Abbildung 12: Skizze des Bodenprofils, ca. vier Meter von GI (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) entfernt, Darstellung einer Kryoturbations-Tasche im Muschelkalk (Steine in Weiß), Eigene Darstellung.

Etwa vier Meter von dem aufgenommenen Bodenprofil GI entfernt lässt sich eine taschenförmige Struktur im Aufschluss der Baugrube erkennen. Die oberen drei Horizontschichten gleichen äußerlich den drei Proben GI-1 bis GI-3, sowohl in ihrer Körnung und dem Gefüge als auch in ihrer Farbe. Im Übergang vom zweiten zum dritten Bodenhorizont ist eine Mulde innerhalb der stark verwitterten, in ihrer geschichteten Struktur noch erkennbaren Muschelkalkplatten auszumachen. Unterhalb des tonigen Horizonts befinden sich großflächige, ebenfalls mit grobem Muschelkalkskelett versehene Bodenabschnitte in unterschiedlicher Färbung. Die leicht nach links absinkende Lagerung der Muschelkalkplatten, ist an der Störungsstelle um etwa 40 cm eingefallen und wird von einem rotbraunen, sandigen Material ausgefüllt. An dieser Stelle wurden keine zusätzlichen Bodenproben zur Laboranalyse entnommen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Horizonte auch in den Standartwerten der Laboranalyse den Ergebnissen des GI(I)-Profils ungefähr entsprechen. Genauere Untersuchungen dieses Standortes sind für die Fragestellung der Arbeit zu vernachlässigen.

### Laborergebnisse

Die Korngrößenzusammensetzung der beiden oberen Proben GI-1 und GI-2 aus GI unterscheidet sich nur geringfügig durch einen nach unten hin zunehmenden Ton- und abnehmenden Sand- sowie Schluffgehalt. Beide gehören zur Bodenart der *mittel sandigen Tone (Ts3)*. In GI-3 steigt der Tonanteil weiter an und dominiert mit über 60% die Korngrößenverteilung. Auffällig ist auch die

große Menge an Schluff von über 25%. Es handelt sich hier um einen *lehmigen Ton (TI)* (s. Abbildung 13, AD-HOC-AG BODEN (2005)). Der Wassergehalt im Profil nimmt von oben nach unten hin zu und bewegt sich dabei im Bereich von einem Prozent. Anders als bei der Korngrößenverteilung lassen sich im Blick auf den pH-Wert kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Horizonten feststellen. Alle Proben bewegen sich innerhalb der Skala von 7 bis 7,2 und befinden sich damit in einem *neutralen* Bereich. Der Carbonatgehalt in GI-1 und GI-2 ist mit etwas mehr als 5% (c3) nahezu identisch, bis er sich in GI-3 mehr als verdoppelt und als *>carbonatreich<* (c4) zu bezeichnen ist. Einen Anteil an organischer Masse weist nur die erste Probe auf, während GI-2 und GI-3 vernachlässigende bis keine Humusgehalte beinhalten, alle Horizonte sind demnach *>humusfrei bis sehr schwach humos<* (h0-h1) (s. Tabelle 4, AD-HOC-AG BODEN (2005)).

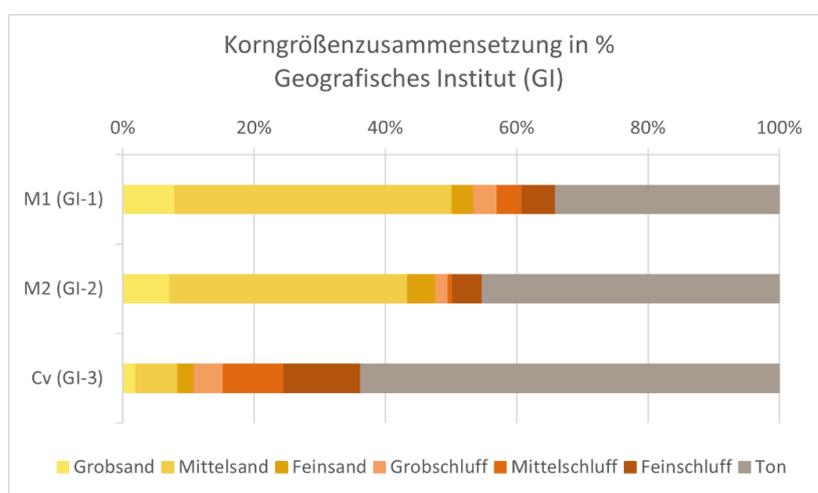


Abbildung 13: Profil GI: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte GI-1 bis GI-3 in %, Eigene Darstellung.

Tabelle 4: Labordaten des Profils GI, Standardanalysen nach (Blume et al., 2011).

| Probe | Horizont | Korngrößenzusammensetzung in % |       |      |       |      |      |       |       |       | pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> ) | CaCO <sub>3</sub> in % | Corg in % |
|-------|----------|--------------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------------------------------|------------------------|-----------|
|       |          | gS                             | mS    | fS   | Σ S   | gU   | mU   | fU    | Σ U   | T     |                              |                        |           |
| GI-1  | Ap       | 7,96                           | 42,21 | 3,31 | 53,48 | 3,59 | 3,75 | 5,14  | 12,49 | 34,03 | 7,16                         | 5,39                   | 0,45      |
| GI-2  | Bv-Tv    | 7,18                           | 36,24 | 4,27 | 47,68 | 1,91 | 0,72 | 4,47  | 7,10  | 45,22 | 7,00                         | 5,29                   | 0,00      |
| GI-3  | IITvCv   | 2,05                           | 6,38  | 2,50 | 10,93 | 4,42 | 9,22 | 11,68 | 25,32 | 63,75 | 7,18                         | 13,61                  | 0,00      |

### 5.3. Universitätsbibliothek

#### Geländedaten

Wie das Profil GI entstammt auch das Profil UB einer Baugrube, die bis zu den anstehenden Muschelkalkbänken aufgegraben ist. Das Bodenprofil selbst ist 160 cm mächtig und in drei Horizonte untergliedert. Der oberste Ap-Horizont ist von einer dünnen Vegetationsschicht bedeckt und geht bis zu 28 cm in die Tiefe. Fein- und Grobwurzeln durchlaufen auf dieser Ebene den Boden. Er besteht hier aus einem sehr homogenen Einzelkorngefüge mit einem mittleren Grusanteil. Nach einer ebenen bis welligen, horizontalen und deutlich verlaufenden Grenze

wechselt die dunkelbraune Farbe hin zu einem dunklen Gelbbraun. Es folgt der Bv-Tv-Horizont, der sich bis zu 65 cm nach unten zieht. Er enthält, wie auch der aufliegende Horizont, einen hohen Sandgehalt und einen grusigen Grobbodenanteil. Das homogene, lockere Einzelkorngefüge schließt wenige Feinwurzeln mit ein. Dunkelbraune Flecken in der Matrix lassen auf Redoxprozesse schließen. Eine leicht diffuse, horizontale Begrenzung formt den Übergang zum basalen Horizont IITv-Cv. Er erreicht eine Tiefe von 166 cm und erstreckt sich damit über einen Meter in die Vertikale. Der tonige Bereich wird von einer stark verwitterten Muschelkalkbank durchzogen und besitzt daher einen hohen Steinanteil. Die Matrix rund um den gräulich-weißen Muschelkalk hat eine graubraune Farbe mit stellenweise grünlichen Färbungen. Nach unten hin wird der Horizont von Kalksteinschutt begrenzt (s. Abbildung 14, Tabelle 5). Den erhobenen Daten zu entnehmen, handelt es sich bei diesem Profil, wie bei dem Profil GI um eine *Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk*. Diese Feststellung wird in *Abschnitt 6* weiter erläutert.

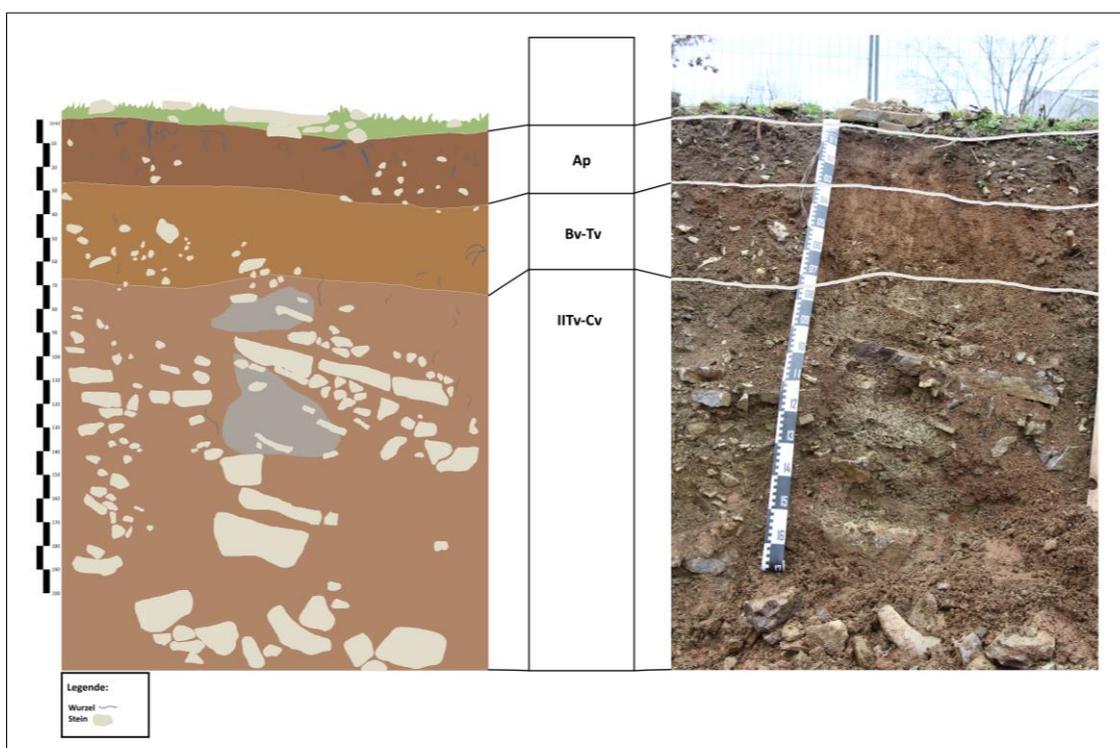


Abbildung 14: Skizze vom Bodenprofil UB (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk) mit Originalfoto, Horizonte UB-1 bis UB-3, Eigene Darstellung.

Tabelle 5: Geländedaten des Profils UB (Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk), Bodenansprache nach (AG BODEN 2005) mit Farbestimmung nach MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS.

| Probe | Horizont | Tiefe (in cm) | Horizont - untergrenze | Farbe (nach MUNSELL) | Bodenart | Feuchte | Sonstige Merkmale               |
|-------|----------|---------------|------------------------|----------------------|----------|---------|---------------------------------|
| UB-1  | Ap       | 0 - 28        | e-w, de, h             | 10YR 3/3             | Ts3      | feu 3   | Grob- und Feinwurzeln           |
| UB-2  | Bv-Tv    | 28 - 65       | e - w, di, h           | 10YR 4/6             | Ts3      | feu 3   | Grus, homogenes lockeres Gefüge |
| UB-3  | IITvCv   | 65 - 153      |                        | 2,5Y 5/3<br>2,5Y 5/2 | Tt       | feu 3   |                                 |

## Laborergebnisse

Der Anteil an Feinbodenmaterial macht in UB-1 die Hälfte der Korngrößenverteilung aus. Auf einen Sandgehalt von etwas über 50%, folgt der Ton und anschließend die Schlufffraktion. UB-2 beinhaltet eine erhöhte Ton- und abnehmende Sandmenge. Auch hier ist der Schluffanteil am geringsten ausgeprägt. Beide Horizonte können daher als *mittel sandiger Ton* (Ts3) charakterisiert werden. Mit dem Übergang zu UB-3 nimmt der Prozentsatz an Sand ab und es kommt zu einem starken Anstieg des Feinmaterials auf über 65% Ton und mehr als einem Viertel Schluff. Auf Grund des dominierenden Tonanteils, lässt sich diese Probe der Bodenart *reiner Ton* (Tt) zuordnen. Der Wassergehalt bewegt sich bei allen drei Proben um etwa ein Prozent, mit einer leichten Zunahme nach unten hin. Der pH-Wert steigt von *neutral*, in UB-1, nach unten hin auf über 7,2% an und beschreibt in UB-2 und UB-3 *schwach alkalische* Eigenschaften. Die zwei oberen Proben sind *>carbonathaltig<* (c3) während der Carbongehalt in UB-3 um eine Stufe ansteigt und demnach den *>carbonatreichen<* (c4) Substraten angehört. Der Humusanteil beläuft sich in UB-2 auf weniger als 0,5% und ist in den darauffolgenden Horizonten nicht vorhanden. Daher werden alle drei Horizonte als *>humusfrei bis sehr schwach humos<* (h0-h1) bezeichnet. (s. Tabelle 6, AD-HOC-AG BODEN (2005)).

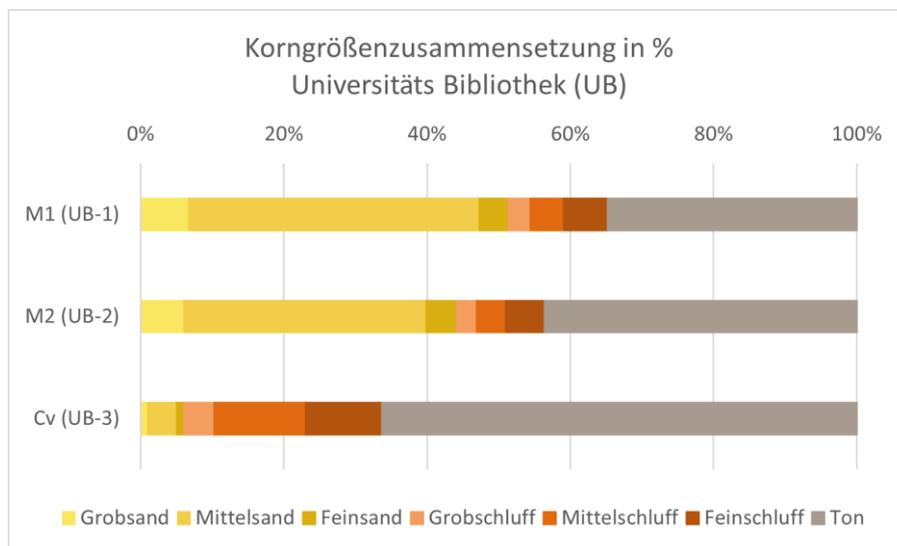


Abbildung 15: Profil UB: Diagramm zur Korngrößenzusammensetzung der Horizonte UB-1 bis UB-3 in %, Eigene Darstellung.

Tabelle 6: Labordaten des Profils UB, Standardanalysen nach (Blume et al., 2011).

| Probe | Horizont | Korngrößenzusammensetzung in % |        |      |       |      |       |       |       |       | pH-Wert<br>(CaCl <sub>2</sub> ) | CaCO <sub>3</sub><br>in % | Corg<br>in % |
|-------|----------|--------------------------------|--------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------|--------------|
|       |          | gS                             | mS     | fS   | Σ S   | gU   | mU    | fU    | Σ U   | T     |                                 |                           |              |
| UB-1  | Ap       | 6,72                           | 40,605 | 4,02 | 51,34 | 3,08 | 4,66  | 6,16  | 13,90 | 34,76 | 7,15                            | 5,71                      | 0,44         |
| UB-2  | Bv-Tv    | 6,08                           | 33,817 | 4,24 | 44,13 | 2,76 | 4,09  | 5,45  | 12,30 | 43,57 | 7,27                            | 5,76                      | 0,00         |
| UB-3  | IIITvCv  | 0,97                           | 4,099  | 1,01 | 6,08  | 4,20 | 12,75 | 10,65 | 27,60 | 66,32 | 7,42                            | 14,78                     | 0,00         |

## 6. Profilinterpretation der Bodenprofile B, GI(I) und UB

Das Profil B befindet sich auf einer Streuobstwiese und unterscheidet sich in seiner relativen Ungestörtheit der Ap-Horizonte von den Profilen GI und UB, die Teil einer Baufläche sind und daher starken anthropogenen Eingriffen unterliegen. Trotz geringerer Einwirkungen, handelt es sich auch bei dem Profil in der Bienenstation um keinen rein natürlich gewachsenen Boden. Die Horizontgrenze des Ap<sub>2</sub> Horizonts bei einer Tiefe von circa 35 cm, lässt auf eine ehemalige Bodenbearbeitung schließen. Durch eine ackerbauliche Nutzung, die ein regelmäßiges Durchmischen der oberen Bodenschichten zur Folge hatte, bildete sich so ein Pflughorizont. Der hohe Sandgehalt in den A- und B-Horizonten ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Deckschicht aus Flugsand zurückzuführen, die aus dem Pleistozän stammt und damals aus dem Maintal Richtung Westen auf die Hubland-Anhöhe geweht wurde (HOFFMANN, 1967b). Nach der Gliederung der Substratgenese von AD-HOC-AG BODEN (2005), ist die Deckschicht dem Substrattyp *(p)a-s(Sa)* zuzuordnen. Sowohl optisch, als auch anhand der Laborwerte lässt sich eine deutliche Unterteilung des Bienenstation-Profiles an der Trennlinie zwischen dem Bv- und Tv-Horizont treffen. Die drei unteren, mit Ton angereicherten Horizonte unterscheiden sich in ihrer Korngrößenzusammensetzung stark, da sie aus einem anderen Ausgangssubstrat gebildet wurden. Sie sind aus dem anstehenden Gestein des Oberen Muschelkalks entstanden. Durch Lösung von Carbonaten aus dem Kalk während pleistozäner Warmzeiten bildete sich ein toniger Lösungsrückstand. Der daraus entwickelte Boden wird als Terra fusca bezeichnet. Die typisch gelbe Färbung der Terra Fusca ist in dem Profil nicht stark ausgeprägt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Stattdessen dominieren hier Grauschattierungen, sodass sich die Frage stellt, wie stark der genannte Bodentyp noch erhalten ist. Die drei unteren Horizonte lassen sich dem Substrattyp *cc-t(^c-m)* (chemisch verwitterter Ton aus Muschelkalk) zuordnen. Der hohe Tongehalt führt zu einem Anstauen von Wasser, wodurch sich die Swd-Merkmale in den Terra fusca Horizonten erklären lassen. Die braune Farbe in den oberen Horizonten ist auf fein verteilte Brauneisen zurückzuführen, die durch Oxidation von Eisenionen der Bodenmineralien während des Prozesses der Verbraunung entstanden sind (STAHR & SAUER, 2024). Zusätzlich trägt ein schwach bis mittelhumoser Bodenanteil durch organische Substanz zu einer dunkleren Färbung der Ap-Horizonte bei. Entsprechend der Schichtfolge und Bodenmerkmale, lässt sich das B-Profil als *Braunerde aus Flugsand über pseudovergleytem Terra fusca Rest aus Muschelkalk*, [=BB:a(p)-s(Sa)/sSS:cc-t(^c-m)] charakterisieren (AD-HOC-AG BODEN, 2005).

Während sich die Horizonte im B-Profil optisch deutlich voneinander abgrenzen lassen, gehen die Horizonte der beiden Profile GI und UB stärker ineinander über. Der Tongehalt des IITv (Swd)-Horizonts aus dem Profil der Bienenstation, liegt zwischen den Tongehalten der Ap- und Bv-Tv

Horizonte der Baugruben. Ihre Sandgehalte in den oberen Horizonten sind um 20% geringer als die innerhalb der drei oberen Horizonte bei der Bienenstation. Dies könnte auf eine stärkere Einarbeitung von Flugsand in den Ton der darunter liegenden Terra fusca innerhalb der Horizonte von GI und UB hinweisen. Dadurch befindet sich prozentual weniger Sand in den oberen Schichten.

Der neutrale bis leicht alkalische pH-Wert in allen Horizonten der drei Bodenprofile, ist vermutlich auf das carbonathaltige Ausgangsgestein des Oberen Muschelkalks zurückzuführen. Auch der starke Anstieg der Carbonatgehalte in den unteren Horizonten lässt sich damit erklären. Im Gegensatz zu den gerundeten Steinen aus dem B-Profil, sind die Steinbestandteile der grushaltigen Horizonte aus den Profilen GI und UB kantig und weniger strukturiert in ihrer Anordnung. Anhand der eben genannten Eigenschaften unterscheiden sich das UB- und GI- Profil von dem Aufschluss bei der Bienenstation. Vergleicht man die beiden Baugrubenprofile untereinander, ist eine starke Ähnlichkeit in nahezu allen Parametern festzustellen. Dies gilt besonders in Bezug auf die beiden oberen Horizonte. Mit einer geringen Distanz von etwa hundert Metern (GOOGLE EARTH, 2022), ist eine solche Übereinstimmung nicht ungewöhnlich. Der einzige signifikante Unterschied, durch den sich die beiden Profile unterscheiden, ist das Auftreten von Schluffsteinen im IITvCv-Horizont des GI-Profiles und damit stellenweise einhergehende starke Gelbfärbung. Ansonsten gleichen sich die beiden Böden auch farblich. Das Grau der IITvCv-Horizonte lässt sich möglicherweise auf verwitterten Mergel zurückzuführen und ist somit eine geologische, nicht durch Bodenbildungsprozesse veränderte Farbe (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Bei der Datenerfassung im Gelände, konnte im UB-Profil in den beiden oberen Horizonten eine geringere Lagerungsdichte und ein lockeres Gefüge festgestellt werden. Dagegen sind die entsprechenden Schichten in GI stark verdichtet. Dies könnte auf die Nähe zu einer Straße zurückzuführen sein, deren Nutzung eine starke Bodenverdichtung zur Folge hat. Die Schluffsteine, die in GI im Übergang von GI-2 und GI-3 gefunden wurden, entstammen vermutlich einem Lösungsrückstand aus Kalksteinen, wodurch sich „schluffig-brekziöse Residuen“ ausbilden können (LGRB (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE ROHSTOFFE UND BERGBAU), 2023b). Sowohl in ihrem Substrat als auch in ihren Eigenschaften, gleichen sich GI und UB. Die oberen Horizonte Ap und Bv-Tv sind in beiden Profilen mächtiger als 40 cm und bilden deswegen einen eigenständigen Boden (AG AD-HOC-AG BODEN, 2005). Beide Böden sind demnach als *Braunerde über Terra fusca-Rest aus Muschelkalk* [= BB:(ts)/CF: cc-t(^c-m)] zu charakterisieren.

Die aufgenommene Verschüttung in der Baugrube bei GI lässt auf periglaziale Dynamiken in Form von Solifluktionenprozessen schließen, die zu einer Verformung der Muschelkalkschichten beigetragen haben. Eine ähnliche Solifluktionsaktivität, die zur Umlagerung der Kalksteine führte,

ist auch für das schräg über das B-Profil verlaufende Steinband an der Sohle des IITvCv<sub>1</sub>(Swd)-Horizonts zu vermuten. Die abgerundete Form der Gesteinsfragmente wiederum könnte auf den Einfluss eines kleinen, lokalen und längst versiegten Fließgewässers zurückzuführen sein (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018, LGRB (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE ROHSTOFFE UND BERGBAU), 2023a).

#### *Gliederung periglazialer Lagen*

Zur allgemeingültigen Gliederung der Horizontabfolge soll eine solche Einteilung in dieser Arbeit auf Basis der „Gliederung periglazialer Lagen“ nach dem Kartierschlüssel der AG AD-HOC-AG BODEN (2005) durchgeführt werden. Demnach werden die Horizonte in eine Hauptlage (LH), Mittellage (LM) und Basislage (LB) unterschieden. Entsprechend dieser Charakterisierung, lassen sich die zwei unteren IITvCv(Swd) Horizonte der Basislage zuordnen. Die Mittellage ist durch ihren niedrigeren Carbonatgehalt und geringeren Schuttanteil von der Basislage zu unterscheiden und besitzt ein breites Korngrößenspektrum. Diese Beschreibung trifft auf den IITv(Swd) Horizont zu, der eine ausgeglichene Korngrößenverteilung von je circa einem Drittel Sand, Schluff und Ton aufweist. Die Hauptlage ist von vollständiger Skelettfreiheit geprägt und weist eine geringere Lagerungsdichte als die Mittellage auf. Der Bv Horizont lässt sich demnach als Hauptlage bezeichnen. Da die beiden Ap Horizonte gestört wurden, ist hier ursprüngliches Hauptlagen Material lediglich zu vermuten. Auch durch den starken Anstieg des Sandgehalts in den oberen Schichten, ist diese Lage von der darunter liegenden zu trennen (s. Tabelle 2, (BULLMANN, 2010). Auf Grund der Störung in der Lagerung durch anthropogene Einwirkungen und Verdichtung, fällt eine solche Einteilung in Lagen bei den Profilen GI und UB schwer. Der hohe Sandanteil in den oberen Profilen lässt vermuten, dass es auch hier zu Flugsandablagerungen kam, obwohl diese Flächen in der geologischen Karte nicht dem Flugsandgebiet zugeordnet werden. Möglicherweise handelt es sich hier um eine Übergangszone hin zum südöstlich angrenzenden Flugsandgebiet (s. Abb 4).

## 7. Diskussion

Nach dem Bayrischen Landesamt für Umwelt, werden alle drei untersuchten Bodenprofile den *podsoligen Braunerden* und *Gley-Braunerden aus Flugsand* zugeordnet (s. Abbildung 5, (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT), 2023b)). Nach intensiver Analyse und Interpretation der Profile, wird deutlich, dass eine differenziertere Charakterisierung vorgenommen werden muss, um die kleinmaßstäbigen Varianzen innerhalb der Böden zu berücksichtigen. Voraussetzung für die Ausbildung eines (Kalk)gleys ist ein dauerhafter Grundwassereinfluss, der auf den Boden einwirkt, so dass dieser ständig reduzierten Bedingungen ausgesetzt ist. Diese Umstände herrschen meist in den Auengebieten und am Talgrund vor (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018, STAHR *et al.*, 2020). Bei keinem der drei Bodenprofile trifft dies zu. Auch die sichtbare Ausbildung eines Bodengefüges spricht gegen einen ganzjährigen Wassereinfluss (BULLMANN, 2010). Demnach lassen sich die Profile nicht dem Bodentyp der Gley-Braunerden zuordnen. Zunächst können keine Anzeichen für suffixiale Podsolierungserscheinungen innerhalb der Horizonte festgestellt werden. Bei GI und UB ist ein Fehlen dieser Merkmale auch auf den stark gestörten Oberboden zurückzuführen. Dadurch kann eine potentielle Versauerung der oberen Horizonte heute nicht mehr nachvollzogen werden. Auch die pH-Werte weisen nicht auf eine solche Versauerung hin. Das Profil der Bienenstation dagegen ist nahezu vollständig in seinem natürlichen Wachstum erhalten. Auch hier lassen sich keine Hinweise auf eine Podsolierung finden, wie etwa die Bleichung innerhalb der oberen Horizonte durch eine Sauerbleichung von Quarzkörnern (STAHR *et al.*, 2020).

Die Rost- und Manganflecken, die ihre orangene und rötliche Farbe durch Lepidokrokit und Hämatit erhalten, könnten zudem eine Folge der Pseudovergleyung sein, die in den tonreichen Horizonten des B-Profiles zu beobachten ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Es handelt sich dabei um einen reduktomorphen Prozess, der zur Umverteilung von Eisen und Mangan führt. Mit der Verlagerung von Eisen- und Manganoxiden, kommt es durch den Wasserstau zur Konzentration der Stoffe, die anschließend unter oxidativen Bedingungen ausgefällt werden. Durch diese Prozesse entsteht eine Dreifarbigkeit der Horizonte. Diese besondere Färbung ist im IITvCv<sub>2</sub>(Swd) Horizont deutlich erkennbar. Das Grau entsteht durch die Bleichung, orangene und rote Flecken durch Verrostung und das umgebende Gelbbraun entstammt der Ursprungsfarbe des Bodentyps. Bei regelmäßigem Wechsel zwischen reduktiven und oxidativen Bedingungen, wird der Bleichungsbereich immer größer und der Horizont vergraut durch das Ausschwemmen von Eisen und Mangan. Eine ähnliche Marmorierung des Bodenkörpers wurde von BULLMANN (2010) bei einem tonigen Lösslehm über Kalksteinbraunlehm in Thüringen nachgewiesen, mit Sw und Sd

Erscheinungen innerhalb der Basis. Auch BOLDT (2001) beobachtete Phänomene des Pseudogleys in Mainfranken insbesondere beim Auftreten eines zunehmenden Tonanteils in der Basislage auf Böden in ebenem Relief. Demnach scheint eine solche anfängliche Pseudovergleyung in ähnlichen Bodenbildungen ebenfalls aufzutreten. In den Reduktionsphasen kommt es für gewöhnlich zum Absterben der Pflanzenwurzeln. Diese Eigenschaft pseudovergleyter Böden bildet eine Erklärung für das Fehlen von Pflanzenwurzeln in den unteren Horizonten des Profils B, sowie die Ausbildung eines braunefärbten Gangs einer abgestorbenen und dann verwitterten Wurzel (s. Abbildung 7). Da die Vergleyung hier nicht schon im Muschelkalk, dem Ausgangsgestein, angelegt ist, handelt es sich bei dem Profil der Bienenstation um eine sekundäre Pseudovergleyung (STAHR et al., 2020).

### *Terra fusca*

Der hohe Tongehalt in den tiefer liegenden Horizonten aller drei Bodenprofile ist nach der Definition der Charakterböden der Mainfränkischen Platte durch MÜLLER (1996), auf die Bildung von Kalksteinverwitterungslehmen zurückzuführen. Die Ausbildung des hier entstandenen Bodentyps der Terra fusca kann bis ins Tertiär zurückreichen und fand hier vermutlich in den Interglazialen statt. Es handelt sich hier also um eine weit über das Holozän hinausgehende Entstehungsgeschichte (BOLDT, 2001, TERHORST & FELIX-HENNINGSSEN, 2004, BULLMANN, 2010). Diese weit zurückliegenden Zeiträume lassen sich nach (TERHORST & FELIX-HENNINGSSEN, 2004) dadurch erklären, dass die geringen Lösungsrückstände von Carbonatgestein einen sehr langen Zeitraum benötigen, um eine derartig mächtige Bodenbildung zu erlangen. Nach den Analysen von STAHR et al. (2020) können Böden aus Kalkstein in einem Zeitraum von 10.000 Jahren eine Mächtigkeit von 4,5 cm bis höchstens 30 cm aufbauen. Auch wenn zur Bildung der Terra fusca Böden in Franken noch kein abschließender Forschungsstand vorliegt, gibt es Forschungsarbeiten, welche die Entwicklung auf eine in situ Neubildung von Ton aus Kalkstein zurückführen (BULLMANN, 2010, LUCKE et al., 2017). In einem Untersuchungsgebiet in der Schwäbischen Alb wurde die Mächtigkeit untersuchter Terra fusca Horizonte hingegen explizit auf die Beimengung von äolischem Fremdmaterial zurückgeführt (TERHORST & FELIX-HENNINGSSEN, 2004). Bezogen auf die Bodenprofile am Hublandcampus lässt sich keine konkrete Aussage dazu treffen, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine Mineralanalysen durchgeführt wurden. In einem Untersuchungsgebiet in der Ostthürischen Triaslandschaft, dokumentierte sie eine Terra fusca-Rendzina auf Mittlerem Muschelkalk (BULLMANN, 2010). Diese Beobachtungen bieten Anlass zu der Vermutung, dass sich ohne den Einfluss des Flugsandes auf dem Gelände der Bienenstation ebenfalls eine Terra fusca-Rendzina gebildet hätte. Die erfassten Daten der Tv-Horizonte aller drei Profile entsprechen in vielen Eigenschaften einem typischen Terra fusca Profil. So weisen alle Terra fusca-Horizonte von

B, GI und UB mit ihrem Polyedergefüge ein für Kalksteinbraunlehme typisches Bodengefüge auf (BULLMANN, 2010). Auch die Vergesellschaftung der Terra fusca mit einer Braunerde, wie sie auf dem Hubland-Campus auftritt, ist kennzeichnend. Der Tonanteil im B-Profil von bis zu knapp 60% liegt leicht unter dem erwarteten Gehalt einer Terra fusca von  $\geq 65\%$  (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018). Neben dem Tonanteil, zeigt auch die Farbe der Terra fusca auf dem Campus eine Abweichung von den charakteristischen Attributen des Bodentyps. Die Farbe einer Terra fusca auf Plateauböden ist meistens durch ein gelbliches Braun dominiert (LUCKE et al., 2017). Ein solcher intensiver Gelbstich fehlt jedoch in den analysierten Profilen (s. Abbildung 7). Diese Beobachtung unterstützt die Annahme, dass es sich hier um Terra fusca-Reste handelt, die durch nachfolgende Verwitterungsprozesse umgeformt wurden.

Ein von LUCKE et al. (2017) aufgenommenes und analysiertes Braunerde - Terra fusca Profil in Franken, in der Nähe von Weißenburg, weist in den Tv bis TvCv Horizonten pH-Werte im neutralen Bereich auf. Genauso wie die Kalklehmhorizonte aller drei Profile auf dem Hubland-Campus. Die Carbonatgehalte hingegen fallen bei dem Weißenburg Profil sehr viel geringer aus, als in den analysierten Profilen. Besonders auffällig ist der Anstieg des  $\text{CaCO}_3$  Gehalts in B-6 auf fast 20%. Grund dafür könnte der hohe Kalksteinschuttanteil in diesem Horizont sein. Zum einen besteht die Möglichkeit von Auswaschungserscheinungen, wenn der Ton nahe der unverwitterten Kalksteine liegt. Zum anderen kann es bei der Aufbereitung zu einer versehentlichen Zerkleinerung von groben Muschelkalkstücken bei der Probenaufbereitung gekommen sein, was die Laborwerte in dieser Hinsicht leicht verfälschen würde. In Bezug auf die Korngrößenzusammensetzung ähneln nahezu alle Horizonte des zum Vergleich herangezogenen Profils von LUCKE et al. (2017) denen der Bienenstation in ihrem Tonanteil. In den Schluff- und Sandanteilen wiederum unterscheiden sich die beiden Profile. Grund dafür sind verschiedene Ausgangssubstrate, aus denen sich die darüber liegende Braunerde gebildet hat. In dem Aufschluss nahe Weißenburg handelt es sich bei der darüber liegenden Deckschicht um eine Lössablagerung anstelle der Flugsanddecke wie sie auf dem Unicampus am Hubland zu finden ist (HOFFMANN, 1967b, LUCKE et al., 2017).

### *Periglaziale Deckschichten*

Eine solche Unterscheidung der Substrate periglazialer Bodenbildungen in Flugsanddecke (Translokationssubstrat) und Terra fusca (Untergrundsubstrat), ist nach KOPP & SCHWANECKE (2007) besonders für braunerdeartige Böden wichtig. Klassischerweise wird die Bildung der Braunerde aus periglazialen Sedimenten von der mitteleuropäischen Bodenkunde außerhalb des Glazials eingeordnet, wonach die Bodenbildung auch in Franken erst vor 10.000 Jahren eingesetzt habe. Forschungen von ALTERMANN *et al.* (2008) bieten jedoch Grund zur Annahme, dass schon im letzten

Spätglazial innerhalb des Pleistozäns, anfängliche Verbraunungsprozesse stattgefunden haben könnten. Zur Kennzeichnung periglazial bedingter Differenzierungen innerhalb der Pedosphäre, wird das „Konzept der periglazialen Deckschichten“ herangezogen. Dieses Konzept zur Beschreibung der Böden und ihrer Genese, wurde erst in der vierten Auflage des deutschen Bodenkartierungsschlüssels aufgenommen (SEMMELE & TERHORST, 2010). Trotz einer solchen Neuerung herrscht in der Forschung nach wie vor keine Klarheit über eine umfassende Profildifferenzierung von periglazial geprägten Böden (ALTERMANN et al., 2008).

In einer umfassenden Studie untersuchte BULLMANN (2010) verschiedenste Ausprägungen periglazialer Deckschichten auf Muschelkalk in der ostthürischen Triaslandschaft. Dabei ließen sich die verschiedenen Lagen insbesondere durch Unterschiede in der Korngröße voneinander abgrenzen. Angelehnt an ihre Forschung wurden auch die Lagen in dem Profil der Bienenstation anhand der Korngrößencharakteristik differenziert. In allen drei Profilen auf dem Hubland-Campus, gleichen sich die Verhältnisse der einzelnen Sandfraktionen zum Gesamtsandanteil. Der Mittelsand macht, mit einem Anteil von etwa 80% pro Gesamtmenge an Sand, die größte Einheit aus. Diese Korngrößenverteilung ist typisch für den Flugsand (s. Abschnitt 2). Die Basislage hingegen weist einen hohen Tongehalt auf, der auf die Kalksteinbraunlehmfließerde zurückzuführen ist. Dadurch ist diese Lage durch lithologische Gesteinsmerkmale aus Kalksteinbraunlehmschutt und Kalksteinschutt bestimmt. Eine solche Gliederung, so BULLMANN (2010), sei typisch für periglaziale Böden in Muschelkalkregionen.

Die Mächtigkeit des äolisch verlagerten Materials sowie die Ablagerung von feineren und gröberen Sedimenten wird grundsätzlich stark von Expositionsunterschieden, dem Ausgangssubstrat und Klimaveränderungen innerhalb der Ablagerungszeit beeinflusst (BOLDT, 2001, KÜHN, 2003). Entsprechend der topografischen Lage der drei Profile und ihrer Ausrichtung zum Main, ist in den Profilen der Baugruben eine höhere Mächtigkeit der Decklagen zu erwarten, da diese näher zur sich westlich befindenden Innenstadt liegen. Von dort aus wurde der Flugsand vermutlich auf die Anhöhe des Hublands verlagert. Durch Eingriffe in den Boden nahe der Universitätsgebäude, ist die ehemalige Dimension der Deckschicht heute nicht mehr nachzuvollziehen. Auf einer Grafik zur Dokumentation der Baumaßnahmen am Hubland Süd, nach der Grundsteinlegung Mitte der 1960er Jahre, sind die baulich stark beeinflussten Areale des Campus einsehbar. Rund um die Rohbauten wurden die Flächen als Baustraßen genutzt und damit intensiv beansprucht. Die beiden Standorte der Profile GI und UB liegen außerhalb des gestörten Bereichs, dennoch wurden sie durch bauliche Eingriffe beeinflusst und später als Rasenflächen mit einzelnen Solitärbäumen gepflegt. Vor der Grundsteinlegung in den 1960ern hatten

Bauernfamilien die Flächen auf dem Gelände Hubland Süd ackerbaulich genutzt und somit den Oberboden weiter verändert (UNIVERSITÄT WÜRZBURG, FLADE, 2014).

### *Hydrologische Eigenschaften*

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist nach (AG SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2018) die am stärksten streuende physikalische Bodeneigenschaft, da die Messwerte in besonderer Weise von der Bodenmorphologie abhängen. Starke Abweichungen können beispielsweise durch eine auftretende Wasserleitbahn bei vertikaler Probenentnahme oder einen Wurzelgang entstehen. Diese Veränderung der Messwerte durch morphologische Unterschiede war in allen drei Proben der oberen Bodenhorizonte B-2, B-3 und B-4 festzustellen. In mehreren Proben, die eine höhere Leitfähigkeit aufwiesen als die anderen Proben desselben Horizonts, wurden bei anschließender Untersuchung Wurzelgänge entdeckt. Dieser erhöhte Wurzelanteil lässt sich auf den Ort der Probenentnahme zurückführen. Die Stechzylinder wurden auf der rechten Seite des Profils entnommen, die durch einen nahegelegenen Baum tendenziell mehr Wurzeln aufweist. Mit jeweils einem Ausreißer pro Horizont, hat sich der Mittelwert der kf-Werte erhöht. Es kann also sein, dass bei der Messung eine höhere hydraulische Leitfähigkeit ermittelt wurde, als tatsächlich in den Horizonten vorherrscht. Die starken Unterschiede in der hydraulischen Leitfähigkeit zwischen den oberen Bodenabschnitten und dem untersten Horizont sind auf die variierende Körnung zurückzuführen. Diese steht grundsätzlich in engem Zusammenhang mit den hydrologischen Eigenschaften eines Bodens. Die hohe Wasserleitfähigkeit der Proben B-2, B-3 und B-4 ist demnach auf den gesteigerten Sandgehalt der Schichten zurückzuführen, während die tonigen B-7 Proben einen geringen Wert anzeigen (s. Tabelle 2). Die Infiltrationskapazität des Bodens innerhalb der Bienenstation beschreibt durch ihre sukzessive Abnahme im Laufe der Zeit, bis hin zur Stabilisierung um 2,1 cm/min, den nach ROYAL EIJKELKAMP (2022) erwarteten Kurvenverlauf (s. Abbildung 8). Da die Messung im Gelände nur über einen Zeitraum von etwa 20 Minuten durchgeführt wurde, ist es möglich, dass sich der Einfluss der tiefer liegenden, stauenden und tonigen Schicht in den ermittelten Werten nicht nachvollziehen lässt. Stattdessen dominiert der Einfluss der oberen, sandhaltigen Horizonte. Diese Annahme bestätigt sich bei der Umrechnung der Geländedaten zur Infiltrationskapazität aus dem Doppelring-Infiltrationsversuch in den kf-Wert. Dabei ergibt sich ein Wert von  $k_f = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Dieses Ergebnis liegt im Bereich der kf-Werte der oberen Bodenhorizonte, die mit dem Permeameter im Labor bestimmt wurden. Anders als die Labordaten können die im Feld ermittelten Messwerte je nach Wetterlage variieren. Am Tag der Beprobung herrschte andauernder Regen, wodurch der Boden schon vorgesättigt war. Es kann daher sein, dass die Infiltration an einem trockeneren Tag noch stärker

ausgefallen wäre (AG AD-HOC-AG BODEN, 2005, ROYAL EIJKELKAMP, 2022). Durch die leichte Abweichung des Messstandorts vom Bodenprofil der Bienenstation, sind die Ergebnisse des Doppelring-Infiltrometers nicht unmittelbar auf das B-Profil zu übertragen. Es ist jedoch anzunehmen, dass sie sich auf Grund der geringen räumlichen Distanz nicht stark voneinander unterscheiden. Auch der sich gleichende kf-Wert bestätigt diese Annahme.

### *Pleistozäne Strukturen*

Nur einen Kilometer nordwestlich des Geografischen Instituts, wurde bei einem Bodenaufschluss im Frauenland, auf dem Gelände der Franz-Oberthür-Schule, eine Dolinen Struktur im Untergrund entdeckt (KÖRBER, 1962). Tertiäre Karsterscheinungen und Untergrundbewegungen dieser Art sind typisch für den Oberen Muschelkalk. Trotz standortnaher Karstaufschlüsse handelt es sich bei der Struktur in Profil GI augenscheinlich nicht um eine Lösungserscheinung des Kalks (MÜLLER, 1996). Der Form nach ist die Ausbildung einer periglazialen Struktur hier wahrscheinlicher. Der Prozess der Solifluktion, der die Bildung von Fließerden beinhaltet, ist nach SCHENK (1955) das Grundprinzip aller periglazialen Strukturbildungen im Boden. Infolge des Wechsels von Kalt- und Warmzeiten und der dabei stattfindenden Frosteinwirkung, bildeten sich Wölbungen im Untergrund. BULLMANN (2010) definiert ein Auftreten von eingeregelteten Kalksteinschuttkomponenten durch Deformationsprozesse als möglichen Nachweis für den Fließerdencharakter eines Bodens. Diese Fließerden beinhalten, durch Transport von Frostschutt, häufig einen erhöhten Anteil an Schluff. Die Schluffsteine, die im Profil GI(1) gefunden wurden, könnten sich daraus gebildet haben. Neben periglazialen Formungsprozessen stellen, nach LUCKE et al. (2017), auch Wind und Bioturbation, die kleine Aggregate aus Schluff in Kalksteinrisse transportierten, einen möglichen Erklärungsansatz für das Auftreten der Schluffsteine dar.

Einen noch stärkeren Einfluss auf den Boden, als die Solifluktion, hatte im Pleistozän die Kryoturbation (MÜCKENHAUSEN, 1965). Bei diesem Prozess entstanden oft taschenartige Segmentstrukturen. Die Formung der Muschelkalkstruktur bei GI(2) weist auf einen solchen sogenannten *Taschenboden* hin (MÜCKENHAUSEN, 1965, GEYER, 2002). HEMPEL (1955) beobachtete im Göttinger Muschelkalk eine ähnliche Anordnung von Kalkschutt, der sich taschenartig in die Kalkbänke einbettet. Die formbildenden Dynamiken im Pleistozän setzten vor allem dann ein, wenn schon toniges Material aus vorherigen Verwitterungsepisoden vorhanden war. Auf Grund der starken Wasseranreicherung in tonhaltigen Böden, wurde so die Ausbildung von Froststrukturen unter periglazialen Bedingungen begünstigt. Ohne eine derartige tonige Schicht, kann in Muschelkalk sonst meist nur wenig Wasser gehalten werden, was die Bildung von Fließerden einschränkt (HEMPEL, 1955, SCHENK, 1955). Bei der Entstehung der

Kryoturbationsstruktur im GI-Profil war die Terra Fusca vermutlich noch stärker erhalten und fungierte möglicherweise als eine solche tonige, wasserhaltende Schicht. Auch der nach rechts absinkende IITvCv<sub>1</sub>(Swd) Horizont des B-Profiles könnte durch einen frostdynamischen Prozess entstanden sein. Hier liegt ebenfalls eine eingeregelt Kalksteinschicht, eingebettet in einen Terra Fusca Rest, vor. Als Entstehungszeitraum der Froststrukturen auf dem Hubland-Campus, lässt sich das Altpleistozän vor circa 0,95 Millionen Jahren vermuten. Nach BOLDT (2001) kam es in dieser Episode zu einer Zunahme der Froststrukturbildung in Mainfranken. Hierüber kann man jedoch nur mutmaßen, da keine entsprechenden Bodenuntersuchungen zur genaueren Altersbestimmung durchgeführt wurden.

## 8. Bildungstafeln – Gestaltung und Pädagogik

In den letzten Jahren wurden in ganz Bayern Bodenlehrstationen eingerichtet, um Menschen ihre Mitwelt näher zu bringen und dadurch das Bewusstsein der Bevölkerung für die Bedeutung des Schutzes und der Erhaltung dieser essentiellen Ressource zu schärfen. Im Rahmen dieser Initiative wurden unter dem Motto „Wein & Boden“ zehn Stationen in den Weinbergen Unterfrankens errichtet (LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT)), die sich speziell mit dem Boden dieser Standorte befassen. Das Thema Bodenbildung gewinnt jedoch nicht nur in Bayern an Bedeutung. Deutschlandweite Projekte wie der „Bodenatlas 2024“, ein Kooperationsprojekt der Heinrich-Böll-Stiftung, des BUND und weiterer Naturschutzorganisationen, zielen darauf ab, der Öffentlichkeit die bedeutende Ressource „Boden“ näherzubringen (ANLAUF *et al.*, 2024). Auf politischer Ebene wird das Thema Bodenschutz erst seit Anfang der 2000er Jahre ernsthaft behandelt. Im Jahr 2006 startete eine bayrische Initiative mit dem Namen „Bodenschutzprogramm Bayern 2006“, welche Maßnahmen und Ziele zum Erhalt und zur Verbesserung der Böden im Bundesland festlegte (STMUGV (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ), 2006a). Im selben Jahr wurde von der EU eine Gesetzesinitiative gestartet, um sich mit dem Schutz der Böden auseinanderzusetzen. Doch noch immer gebe es, so ANLAUF *et al.* (2024), keinen ausreichenden Rechtsrahmen auf EU-Ebene.

Um Lehrenden und Studierenden an der Julius-Maximilians-Universität sowie Bewohner\*innen der Stadt Würzburg umfassende Informationen über die lokalen Bodenbeschaffenheiten am Hubland-Campus zu bieten, soll im Folgenden das Konzept einer Bodentafel erarbeitet werden. Die Vielzahl an Grafiken, die zur Veranschaulichung und Weitergabe des erworbenen Wissens erstellt wurden, bilden die Grundlage für das Tafeldesign.

### *Tafeldesign*

Die erste Tafel richtet sich an ein fachfremdes Publikum und ist daher inhaltlich übersichtlicher und weniger detailliert gehalten. Durch gelegentliche Wortspiele wie „Worauf stehst du?“ soll das Interesse der Betrachtenden geweckt werden. Neben Informationen über das Bodenprofil und den Standort am Hubland-Campus werden auch Informationen zum Bodenschutz, zur Bodenfauna und über die Wasserverfügbarkeit in der Würzburger Region vermittelt. Die Funktion von Böden als Wasserspeicher ist in Würzburg, einer Region mit trockenen Klimaverhältnissen und stark versiegelten Flächen, welche die Speicherfähigkeit zusätzlich verschlechtern, besonders bedeutsam (s. Abschnitt 3.4 und 3.5). Ein QR-Code führt mittels eines Links auf die

Institutsplattform, wo sowohl beide Tafeln als auch die vorliegende Bachelorarbeit in PDF-Format zu finden sind, um zusätzliche Informationen für Interessierte bereit zu stellen. Die Hintergrundfarbe der Tafel erinnert an die Farbeinteilung des untersuchten Bodenprofils an der Bienenstation. Der obere Bereich ist in Anlehnung an die Braunerde mit einem transparenten Braunton hinterlegt, während der untere Teil durch seine beige Farbgebung an die Terra fusca Horizonte erinnert (s. Anhang 1). Nach aktueller Planung soll diese Tafel in der Nähe der Mensateria aufgestellt werden, neben weiteren Schautafeln, die den Raum rund um Würzburg und aktuelle Forschungsarbeiten verschiedener Institute thematisieren.

Die zweite Tafel ist für Studierende der Physischen Geografie konzipiert und vermittelt tieferes Wissen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens sowie die Bodengenese am Hubland-Campus. Aufgestellt wird diese Übersicht voraussichtlich neben dem freigelegten Profil auf dem Gelände der Bienenstation, um eine methodisch leichtere Vermittlung des visuell erfassten Bodenprofils zu ermöglichen. Entsprechend der Zielgruppe sind auf dieser Tafel andere Inhalte und Gestaltungsansätze gewählt. Zusätzlich zu der Abbildung des Bodenprofils selbst sind die Labor- und Geländedaten des Profils tabellarisch und grafisch aufgearbeitet. Eine kurze naturräumliche Einordnung des Standorts befindet sich im unteren Bereich der Tafel. Der Hintergrund ist in diesem Fall in einem neutralen Weißton gehalten, um einen Fokus auf die wissenschaftlichen Inhalte zu legen. (s. Anhang 2). Auf zusätzliche Informationen zu Bodenschutz oder Bodenfauna wird hier verzichtet.

Beide Tafeln ähneln sich in ihrer Grundausrichtung und der übergreifenden Thematik. Die erste Tafel legt ihren Schwerpunkt auf die Bewusstseinsbildung rund um die eigene Umgebung. Hier ist eine Ergänzung des Posters durch weiterführende Informationsmöglichkeiten denkbar, wie beispielsweise durch die Aufstellung von Fühlboxen für ein haptisches Erleben der jeweiligen Bodenarten und ihren Korngrößen.

## 9. Fazit

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Untersuchung und Darstellung des Bodens am Hubland-Campus der Julius-Maximilians-Universität Würzburg hinsichtlich seiner heutigen Ausprägung und Genese. Durch die Auswertung von Geländedaten und im Labor erhobenen Parametern wurden die lokalen Gegebenheiten beschrieben und erste Rückschlüsse auf die Bodenentwicklung gezogen. Die ausführliche Aufnahme des Bodenprofils an der Bienenstation ermöglichte eine Sammlung zahlreicher Informationen an einem nahezu ungestörten Standort. Dies stellt auf dem Universitätsgelände aufgrund fortlaufender infrastruktureller Baumaßnahmen eine seltene Möglichkeit dar. Die beiden anderen Profile nahe des Geografischen Instituts (GI) und der Universitätsbibliothek (UB) sind durch anthropogene Einflüsse wie Verdichtung und Umlagerung geprägt. Trotz dieser baulichen Einwirkungen lassen sich im Vergleich mit dem Profil 1 (B) Analogien zur Ablagerungs- und Entwicklungsgeschichte erkennen.

Innerhalb aller drei erforschten Bodenquerschnitte auf dem Campusgelände konnten zwei eigenständige Phasen der Bodenbildung identifiziert werden. Diese unterscheiden sich sowohl in ihrem Ausgangsmaterial als auch in den zeitlichen und klimatischen Bedingungen ihrer Entstehung. Eine Braunerde aus Flugsand, der sich im Laufe des Peistozäns abgelagerte, liegt über dem im Tertiär entstandenen Terra fusca-Rest aus Muschelkalk. Auf Grund seiner hohen Tongehalte und der damit verbundenen wasserstauenden Eigenschaften weist letzterer Stauwasseranzeichen und eine leichte Pseudovergleyung auf. Damit wird der Boden zum Spiegel der Landschaftsgeschichte des Universitätscampus, die Millionen von Jahren in die Vergangenheit zurückreicht (MÜLLER, 1996). Rückschlüsse auf das tatsächliche Alter der Terra fusca und des Flugsandvorkommens konnten aufgrund fehlender Analysen nur unpräzise gezogen werden. Die Ablagerung des Flugsandes lässt sich lediglich grob in die Zeit des Würmglazials einordnen (siehe Abschnitt 3.3). Eine Möglichkeit zur genaueren Altersbestimmung der Böden bietet die OSL (optically stimulated luminescence), ein Verfahren zur Datierung der Genese verschiedener Bodenhorizonte (KÜHN, 2003). Diese Methode könnte auch im Profil der Bienenstation angewendet werden, um aussagekräftigere Daten über den zeitlichen Rahmen der Bodenentwicklung zu erhalten. Fest steht, dass der Flugsand sich während der Tieferlegung des Maintals in Folge von periglazialen Umformungen gebildet hat. Er stellt somit ein Überbleibsel der mitunter wichtigsten landschaftlichen Ausformungen rund um den Raum Würzburg dar und dient heute als Ausgangsmaterial der Braunerdevorkommen auf dem Hubland-Campus. Anhand dieser korrelierenden Entwicklung, lässt sich der von MÜLLER (1996) beschriebene Zusammenhang zwischen Landschafts- und Bodengenese innerhalb des Untersuchungsgebiets beobachten. Durch synergetische Einflussnahmen, auch über größere räumliche Distanzen hinweg, konnte hier die

Lebensgrundlage für viele Pflanzenarten und sich später ansiedelnde Bauernfamilien geschaffen werden. Als Zeugen kaltzeitlicher Prozesse definieren die Böden und lokalen Detailformungen die heutige Landschaft rund um den Hubland-Campus der Universität Würzburg.

Nach einer zunehmenden Bedeutung umweltpädagogischer Bildungsarbeit in den letzten Jahren, erscheint es sinnvoll das erworbene Wissen an Menschen in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsstandortes weiterzugeben. Durch den regionalen Bezug kann das Interesse fachfremder Personen geweckt und ein umfassenderes Verständnis für den eigenen Wohnort erzeugt werden. Auch die Studierenden der Geografie erhalten einen praktischen Bezug zu dem neu erworbenen Fachwissen. Die im ersten Teil der Arbeit dargestellten und analysierten Inhalte sollen durch die Ausgestaltung als Bildungstafeln auf dem Universitäts-Campus an Externe vermittelt werden. Neben den abgebildeten Inhalten kann dadurch auch die Sichtbarkeit der Arbeitsgruppe „Physische Geografie und Bodenkunde“ und laufender Forschungsprojekte erhöht werden. So rücken örtliche Ereignisse aus der Vergangenheit und Gegenwart in die Erfahrungswelt der Öffentlichkeit und formen das lokale Bewusstsein.

## Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung KA5*. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 438 pp.
- ALTERMANN, M., JÄGER, K.-D., KOPP, D., et al. (2008). Zur Kennzeichnung und Gliederung von periglaziär bedingten Differenzierungen in der Pedosphäre. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 6, 5-42.
- ANLAUF, A., BASSERMANN, L., BERGER, M., et al. (2024). *Bodenatlas - Daten und Fakten über eine lebenswichtige Ressource*. Heinrich Böll Stiftung, BUND, TMG – Think Tank for Sustainability, TMG Research gGmbH, 52 pp.
- AUGNER, D. (2011). *Laborversuche an Bodenproben - Ermittlung von Bodenkenngrößen*. 62. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium Bad Zwischenah, 16 pp.
- BAUMHAUER, R., KRAUSE, J., SCHÄFER, C., et al. (2020). Monitoring und Modellierung der Bodenfeuchte in Unterfranken im Projekt BigData@Geo. *Geographica Augustana* 31, 84-89.
- BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE) (2021a). *Digitale Geodaten - Blattschnitt der Topographischen Karte 1:25 000*. Erhältlich unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/blatt-und-kacheluebersichten/blattschnitt-der-topographischen-karte-1-25-000-tk25-b25.html> (letztes Abrufdatum: 04.04.2024).
- BKG (BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE) (2021b). *Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m (DGM200)*. Erhältlich unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/digitales-gelandemodell-gitterweite-200-m-dgm200.html> (letztes Abrufdatum: 06.05.2024).
- BLUME, H.-P., STAHR, K. & LEINWEBER, P. (2011). *Bodenkundliches Praktikum - Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 569 pp.
- BÖGLE, R. (2023). *Initiatorische Naturpädagogik: Neue naturnahe Ansätze zur Persönlichkeitsentwicklung in Familie, Kindertagesstätte, Schule, Jugendarbeit und Erwachsenenbildung*. Norderstedt: BoD—Books on Demand, 580 pp.
- BOLDT, K.-W. (2001). *Känozoische Geomorphogenese im nordöstlichen Mainfranken: Formung im globalen Wandel des klimatisch-strukturellen Wirkungsgefüges*. Würzburg: Universität Würzburg, 413 pp.
- BRÖNNIMANN, S. (2018). *Klimatologie*. Bern: UTB GmbH, 492 pp.
- BRUGGER, F., RUH, H. & SCHENK, C. (1990). *Ethik und Boden*. Liebefel-Bern: Nationales Forschungsprogramm "Nutzung des Bodens in der Schweiz", 90 pp.
- BÜDEL, J. (1957). Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens. In: Büdel, J. (Hrsg.), *Beiträge zur Geographie Frankens*. Würzburg: Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Würzburg, 5-46.
- BULLMANN, H. (2010). *Eigenschaften und Genese periglazialer Deckschichten auf Carbonatgesteinen des Muschelkalks in einem Teilgebiet der ostthüringischen Triaslandschaft*. Leipzig: Universität Leipzig, 196 pp.
- Daten zur Erfassung der Bodenfauna am Hubland-Campus (2013 bis 2023)*. Unveröffentlicht.
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (2023a). *Niederschlag - vieljährige Mittelwerte: 1991-2020*. Erhältlich unter: [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/climate/multi-annual/mean\\_91-20/Niederschlag\\_1991-2020.txt](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/multi-annual/mean_91-20/Niederschlag_1991-2020.txt) (letztes Abrufdatum: 04.05.2024).
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (2023b). *Temperatur - vieljährige Mittelwerte: 1991-2020*. Erhältlich unter: [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/observations\\_germany/climate/multi-annual/mean\\_91-20/Temperatur\\_1991-2020.txt](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/multi-annual/mean_91-20/Temperatur_1991-2020.txt) (letztes Abrufdatum: 03.05.2024).
- EUROSTAT (2023). *Verwaltungseinheiten/ Statistische Einheiten - NUTS 2021*. Erhältlich unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/nuts/local-administrative-units> (letztes Abrufdatum: 02.04.2024).

- FLADE, R. (Hrsg.) (2014). *Würzburgs neuer Stadtteil am Hubland. Seine Geschichte vom 18. bis zum 21. Jahrhundert*. 223 S., Verlag Ferdinand Schöningh, Würzburg.
- FRANZ, S. & VOGG, G. (2019). *Botanische Begehung der Wuselflächen am 8.10.2019*. Unveröffentlicht.
- GEYER, G. (2002). *Geologie von Unterfranken und angrenzenden Regionen*. Gotha: Klett-Perthes, 588 pp.
- GOOGLE EARTH (2022). *Satellitenbild des Hubland-Campus*. Erhältlich unter: <https://earth.google.com/web/search/W%c3%bcrzburg/@49.78168657,9.96997482,273.67505548a,1208.66925254d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCUyUT6IE9EFAESlcYErRKALAGTyuRaMkAWZAIzhsShTyjFbAOgMKATA> (letztes Abrufdatum: 01.06.2024).
- HAGEDORN, H. (1999). *Äolische Sedimente in Mainfranken*. In: Pinkwart, W. & Schliephake, K. (Hrsg.) *Geographische Exkursionen in Franken und benachbarten Regionen*. Würzburg, 129-142 pp.
- HARTMANN, C., MOSER-REISCHL, A., RAHMAN, M.A., et al. (2023). The footprint of heat waves and dry spells in the urban climate of Würzburg, Germany, deduced from a continuous measurement campaign during the anomalously warm years 2018–2020. *Meteorologische Zeitschrift* 32, 49-65.
- HEMPEL, L. (1955). Studien über Verwitterung und Formenbildung im Muschelkalk. Ein Beitrag zur klimatischen Morphologie. In: Mortensen, H. (Hrsg.), *Göttinger Geographische Abhandlungen* Göttingen: Selbstverlag des Geographischen Instituts der Uni Göttingen, 112.
- HOCK, R., WÖFLING, M., UHL, B. (2018). Kartierung von Tagfaltern und Nachtfaltern auf dem „Blauen Hügel“ am Hubland in Würzburg. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg* 52, 132-158.
- HOFFMANN, U., BERGER, K., BRUNNACKER, K. (1967a). *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 - Blatt Nr.6125 Würzburg Nord*. München, 94 pp.
- HOFFMANN, U., BERGER, K., WITTMAN, O. (1967b). *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 - Blatt Nr.6225 Würzburg Süd*. München, 134 pp.
- JOCHUM, R., MARTIN, W., TRIDL, R. (2015). Geologie und Böden in Bayern. In: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (Hrsg.), *Unsere Böden - unser Leben. Exkursionsführer*. München, 22-28.
- KOPP, D. & SCHWANECKE, W. (2007). Die Bodenformen beispielhafter mitteleuropäischer Naturraumregionen unter dem Aspekt ihrer periglaziären Merkmalskombination aus Substrat-, Perstruktions und Horizontprofil. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 46, 17-34.
- KÖRBER, H. (1962). *Die Entwicklung des Maintals*. Würzburg: Im Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Würzburg in Verbindung mit der Geographischen Gesellschaft Würzburg, 170 pp.
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., et al. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259-263.
- KÜHN, P. (2003). *Spätglaziale und holozäne Lessivégenese auf jungweichselzeitlichen Sedimenten Deutschlands*. Greifswald: Geographisches Institut der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 167 pp.
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, B.U.V. (1956). *Topographische Karte 1:25.000 - 6225 Würzburg Süd*. München: Archiv Topographische Karten.
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, B.U.V. (2023a). *ATKIS® Basis-DLM*. Erhältlich unter: <https://ldbv.bayern.de/produkte/atkis-basis-dlm.html> (letztes Abrufdatum: 21.04.2024).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, B.U.V. (2023b). *Digitale Topographische Karte 1:25 000 (WMS)*. Erhältlich unter: [https://geodatenonline.bayern.de/geodatenonline/seiten/wms\\_tk25](https://geodatenonline.bayern.de/geodatenonline/seiten/wms_tk25) (letztes Abrufdatum: 23.04.2024).
- LEHMKUHL, F., PÖTTER, S., PAULIGK, A., et al. (2018). Loess and other Quaternary sediments in Germany. *Journal of Maps* 14, 330-340.
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) *Bodenstationen, Boden- und Geolehrpfade*. Erhältlich unter: <https://www.lfu.bayern.de/boden/bodenlehrpfade/index.htm> (letztes Abrufdatum: 25.05.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) *Umweltatlas-Bayern Bodenkundliche Karten*. Erhältlich unter:

- [https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de&dn=lfu\\_domain-boden](https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de&dn=lfu_domain-boden) (letztes Abrufdatum: 23.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) *Umweltatlas-Bayern Gewässernetz*. Erhältlich unter: <https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de&statelid=76d09259-7c03-4d6a-9092-597c03bd6a36> (letztes Abrufdatum: 29.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) *Umweltatlas-Bayern Hydrogeologie*. Erhältlich unter: <https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de&statelid=164bdcc8-4884-4aa3-8bdc-c848849aa3c5> (letztes Abrufdatum: 29.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2012). *Potentielle Natürliche Vegetation*. Erhältlich unter: [https://www.lfu.bayern.de/natur/potentielle\\_naturliche\\_vegetation/pnv\\_herunterladen/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/natur/potentielle_naturliche_vegetation/pnv_herunterladen/index.htm) (letztes Abrufdatum: 15.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2021a). *Bayerns Klima im Wandel - Klimaregion Mainregion*. Augsburg, 20 pp.
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2021b). *Naturräumliche Gliederung Bayerns - Naturraum-Einheiten (Meynen/Schmithüsen et. al.)*. Erhältlich unter: <https://www.lfu.bayern.de/natur/naturraume/index.htm> (letztes Abrufdatum: 05.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2023a). *Digitale Geologische Karte von Bayern 1:25.000*. Erhältlich unter: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index\\_detail.htm?id=11ffe982-2913-4d67-b688-b1747fb94789&profil=WMS](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_detail.htm?id=11ffe982-2913-4d67-b688-b1747fb94789&profil=WMS) (letztes Abrufdatum: 21.04.2024).
- LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2023b). *Übersichtsbodenkarte von Bayern 1:25.000*. Erhältlich unter: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index\\_detail.htm?id=052f9934-dd4b-4d3e-86d2-2c9eb6372e4e&profil=Download](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_detail.htm?id=052f9934-dd4b-4d3e-86d2-2c9eb6372e4e&profil=Download) (letztes Abrufdatum: 23.04.2024).
- LGRB (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE ROHSTOFFE UND BERGBAU) (2023a). *Böden im Muschelkalkgebiet*. Erhältlich unter: <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/bodenkunde/bauland-tauberland/bodenlandschaften/boeden-im-muschelkalkgebiet> (letztes Abrufdatum: 15.05.2024).
- LGRB (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE ROHSTOFFE UND BERGBAU) (2023b). *Muschelkalk*. Erhältlich unter: <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/geologie/schichtenfolge/trias/muschelkalk> (letztes Abrufdatum: 21.05.2024).
- LUCKE, B., KEMNITZ, H. & VITZETHUM, S. (2017). Isovolumetric replacement and aeolian deposition contributed to Terraes calcis genesis in Franconia (central Germany). *SOIL Discuss*, 1-52.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1965). Das natürliche Bodenprofil. In: Verein von Alterthumsfreunden im Rheinlande (Hrsg.), *Bonner Jahrbücher*. Verlag Butzon und Bercker - Keverlaer RhdL., 1-11.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1977). *Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der BRD*. Frankfurt: DLG-Verlag, 148 pp.
- MÜLLER, J. (1996). *Grundzüge der Naturgeographie von Unterfranken. Landschaftsökologie-Landschafts-genese-Landschaftsräumlicher Vergleich*. Gotha: Justus Perthes Verlag Gotha, 324 pp.
- OHLHAUT, G. (1907). *Das Landschaftsbild um Würzburg im 16. und 17. Jahrhundert: nach archivalischen und literarischen Quellen, vornehmlich aus der Zeit des Fürstbischofs Julius Echter von Mespelbrunn (1573-1617): ein Beitrag zur historischen Topographie Frankens*. Würzburg: Verlag von Göbel und Scherer, 104 pp.
- PAETH, H., SCHÖNBEIN, D., KEUPP, L., et al. (2023). Climate change information tailored to the agricultural sector in Central Europe, exemplified on the region of Lower Franconia. *Climatic Change* 176, 1-24.
- QGIS (2022). *QGIS Geographic Information System* <http://www.qgis.org>. QGIS Association.
- ROYAL-EIJKELKAMP (2022). *Laboratory permeameters - User manual*. 15 pp.
- ROYAL EIJKELKAMP (2022). *Double ring infitrometer - Operating instructions*. 10 pp.
- RUF, F., MITESSER, O., MUNGWA, S.T., et al. (2019). Natural Zeitgebers cannot compensate for the loss of a functional circadian clock in timing of a vital behaviour in *Drosophila*. *Journal of Biological Rhythms* 36 (3), 1-20.

- RUTTE, E. (1957). *Einführung in die Geologie von Unterfranken*. Würzburg: Laborarztverlag Würzburg, 168 pp.
- RUTTE, E. & WILCZEWSKI, N. (1983). *Mainfranken und Rhön*. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Bornträger, 217 pp.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2018). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin (Heidelberg): Springer Spektrum, 750 pp.
- SCHENK, E. (1955). *Die Mechanik der periglazialen Strukturböden*. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, 92 pp.
- SEMMELE, A. (1996). *Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland: Grundzüge, Forschungsstand, aktuelle Fragen, erörtert an ausgewählten Landschaften*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 199 pp.
- SEMMELE, A. & TERHORST, B. (2010). The concept of the Pleistocene periglacial cover beds in central Europe: A review. *Quaternary International* 222, 120-128.
- SKOWRONEK, A. (1982). Paläoböden und Losse in Mainfranken vor ihrem Landschaftsgeschichtlichen Hintergrund. *Würzburger geographische Arbeiten Würzburg* 57, 89-107.
- STAHR, K., KANDELER, E., HERRMANN, L., et al. (2020). *Bodenkunde und Standortlehre*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 327 pp.
- STAHR, K. & SAUER, D. (2024). Bodenbildende Prozesse. In: Joisten, H., Giani, L., Kochan, N., et al. (Hrsg.), *Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz: Ein Bildatlas*. Springer, 5-7.
- STAMATIS, G. (1986). *Hydrologische Untersuchungen im mittleren Bereich des Mairdreieck unter besonderer Berücksichtigung der Hydrochemie und der hydraulischen Zusammenhänge zwischen Talgrundwasser und Main im Stadtbereich Würzburg*. Würzburg: Universität Würzburg, 270 pp.
- STEINBRICH, A., WEILER, M. & LEISTERT, H. (2015). *Alles RoGeR? Modellierung von Sturzfluten aufgrund von Starkniederschlägen*. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. 115-125 pp.
- STMUGV (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (2006a). *Bodenschutzprogramm - Bayern*. Erhältlich unter: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/bodenschutz/index.htm> (letztes Abrufdatum: 03.06.2024).
- STMUGV (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (2006b). *Was ist Boden?*, 48 pp.
- TERHORST, B. & FELIX-HENNINGSSEN, P. (2004). Paläoböden in periglazialen Lagen der Mittelgebirge. *Handbuch der Bodenkunde*, 1-12.
- TOPOGRAPHIC MAP (2023). *Topografische Karte Würzburg*. Erhältlich unter: <https://de-de.topographic-map.com/map-sgls8/W%C3%BCrzburg/?center=49.78478%2C10.00982&zoom=13> (letztes Abrufdatum: 13.04.2024).
- UNIVERSITÄT WÜRZBURG (Universitätsarchiv) *Campus Hubland - Eine neue Uni am Stadtrand*. Erhältlich unter: <https://www.uni-wuerzburg.de/uniarchiv/die-geschichte-unserer-universitaet/schauplaetze/campus-hubland/> (letztes Abrufdatum: 23.04.2024).
- UP (UMWELTANALYTISCHE PRODUKTE GMBH) (2013). *Doppelringinfiltrometer – Art. 30475*. 2 pp.
- WITTMANN, O. (1991). *Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern - Übersichtskarte 1:1000000 und Abhängigkeitsbeziehungen der Bodennutzung*. München, 73 pp.