



**botschek**  
bodenkunde

## **Gestalterische Anpassung einer historischen Anlage an die Auswirkungen des Klimawandels im Schlosspark Brühl - Gutachtenteile: Böden, Geologie, Hydrologie und Klimatologie**

### Inhalt

|   |    |
|---|----|
| 1. Geologie und Böden.....  | 2  |
| 1.1. Kartenauswertungen .....                                       | 2  |
| 1.2. Bodenprofile im Schlosspark .....                              | 4  |
| 1.3. Bodenkartierung im Schlosspark .....                           | 10 |
| 1.4. Empfehlungen.....  | 14 |
| 2. Hydrologie.....  | 16 |
| 2.1. Eigene Erhebungen.....   | 17 |
| 2.2. Empfehlungen.....  | 17 |
| 3. Klimatologie .....   | 20 |
| 4. Gesamtwasserhaushalt und Waldentwicklung im Schlosspark Brühl .. | 22 |
| 4.1. Wasserbedarf von Bäumen .....                                  | 27 |
| 4.2. Empfehlungen.....  | 28 |
| 5. Ausblick .....   | 28 |
| 6. Quellen.....   | 30 |

# 1. Geologie und Böden

## 1.1. Kartenauswertungen

Der Schlosspark befindet sich geographisch in der Köln-Bonner Rheinebene, genauer auf der lößbedeckten Mittelterrasse des Rheins.

Den geologischen Untergrund bilden daher Holozäne Ablagerungen der Bach- und Flusstäler (Geologische Karte 1: 100.000, Tim-Online 2023, Blatt Köln). Die Preußische Geologische Karte (im Maßstab 1:25.000, Abb. 1) verzeichnet für den Schlosspark Löß über Mittelterrassenmaterial über miozänen Braunkohlenstufen. Der Löß ist dabei 9-16 dm mächtig, liegt über 3-7 dm mächtigem Lehm und Sand über Kies und Sand.

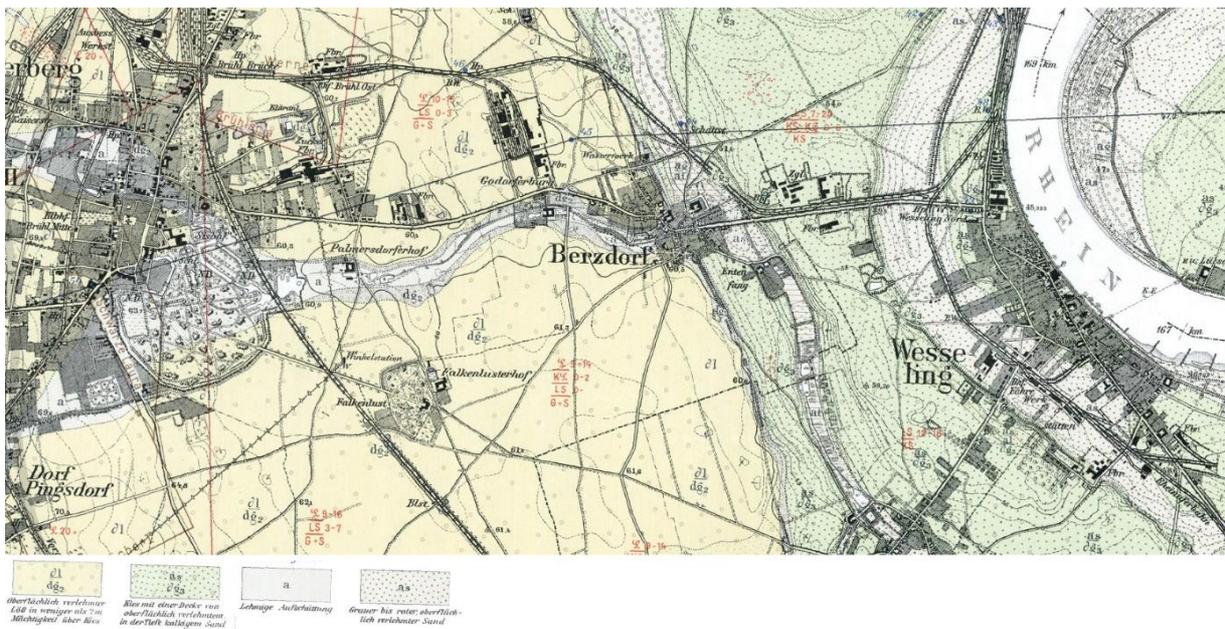


Abbildung 1: Übersicht über die Preußische Geologische Karte im Maßstab 1:25.000 (Berliner Lithographisches Institut 1930).

Laut Bodenkarte 1: 50.000 (Tim-Online 2023a, Blatt Köln) haben sich dort Kolluvisol-Pseudogleye und Pseudogleye-Kolluvisole entwickelt. Pseudogleye entstehen, wenn im Untergrund eine stauende Schicht vorhanden ist und es zu einem jahreszeitlich bedingten Wechsel von Vernässung und Austrocknung kommt. Durch das gestaute Niederschlagswasser kommt es zu Sauerstoffmangel, und der erzeugt eine biochemische Reduktion und einen Farbwechsel im Boden. Es bilden sich gebleichte Bereiche. Wenn die Staunässe dann in der wärmeren Jahreszeit



verschwindet, fallen die gelösten Eisen- und Manganverbindungen als Rostflecken oder Konkretionen aus.

Kolluvisole sind tiefgründig humose, locker gelagerte Akkumulationsböden am Hangfuß oder in Tälern, die keine Staunässemerkmale haben.

Zwischen den Pseudogleyen und Kolluvisolen haben sich im Schlosspark aber Übergangstypen gebildet, die sowohl staunass als auch tiefgründig humos sind. Der dominierende, bodenbildende Prozess ergibt den Haupt-Bodentyp, in der Schreibweise hinten stehend.

Im Schlosspark bestehen die Böden aus mittel tonigem Schluff (stellenweise karbonathaltig) und schluffigem Lehm aus holozänem Kolluvium über Kies und Sand aus alt- und mittelpleistozänen Terrassenablagerungen. Diese Böden besitzen eine sehr hohe bis hohe Verdichtungsempfindlichkeit. Die Kolluvisole sind schutzwürdige fruchtbare Böden (Geologischer Dienst NRW 2022).

Schaut man sich die detailliertere Bodenkarte der forstlichen Standorterkundung im Maßstab 1:5.000 (Geologische Dienst NRW 2010, Abb. 2) an, dann untergliedern sich die Böden im Schlosspark in Parabraunerden, Pseudogley-Parabraunerden, Parabraunerde-Pseudogleye, Aufschüttungs-Regosole, Kolluvisole sowie Abgrabungs-Braunerde-Pseudogleye. Es sind also verschiedene Übergangstypen vertreten, wobei Parabraunerden durch Tonverarmungs- und -anreicherungshorizonte infolge vertikaler Tonverlagerung gekennzeichnet sind. Die Bodentypen zeigen auch eine gewisse menschliche Überprägung mit Abgrabungs- und Aufschüttungsböden. Dabei bestehen die Aufschüttungsböden aus natürlichem Material, und sie sind äußerst tiefgründig (über 20 dm). Allerdings gibt es Einschränkungen durch anthropogene Bodenverdichtungen. Auch diese Karte verzeichnet schutzwürdige fruchtbare Böden im Untersuchungsgebiet. Außerdem sind viele Böden schutzwürdig, weil sie im 2-Meter-Raum viel Wasser speichern können und ihre Regulations- und Kühlungsfunktion hoch eingestuft wird.

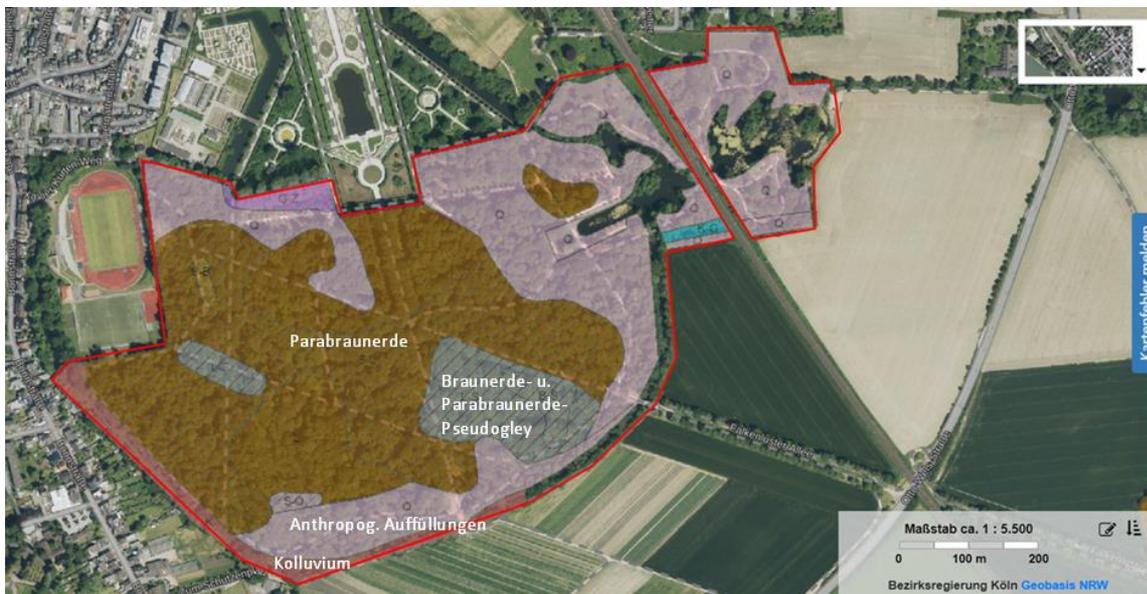


Abbildung 2: Bodenkarte zur forstlichen Standortkartierung 1: 5000 (Geologischer Dienst NRW 2010)

Des Weiteren stehen für benachbarte, landwirtschaftliche Flächen großmaßstäbige Bodenkarten auf der Grundlage der amtlichen Bodenschätzung zur Verfügung, die eine detaillierte Übersicht über die Böden und deren Eigenschaften zulassen. Diese Karte auf Grundlage der Bodenschätzung im Maßstab 1:5.000 (Bodenkarte auf Grundlage der Bodenschätzung, Tim-Online 2023b) zeigt für die südlich an den Schlosspark angrenzenden Flächen Klassenzeichen von „L3 Lö 80/91“. Das Kürzel „L“ steht für Lehm und die Zahl 3 für die mittlere Zustandsstufe, die den Entwicklungsstand eines Bodens kennzeichnet. Das Kürzel „Lö“ steht für eine Entstehung auf Löss. Mit der Zahlenkombination „80/91“, der zuerst genannten Bodenzahl und der darauffolgenden Ackerzahl, wird das landwirtschaftliche Ertragspotential an dieser Stelle als sehr gut bewertet. Die Bodenzahl wird auf Grundlage der beschriebenen Bodeneigenschaften bestimmt. Mit der Ackerzahl kann diese aufgrund ertragsmindernder oder ertragsfördernder, sonstiger Faktoren wie beispielsweise klimatischer Verhältnisse korrigiert werden. Damit ergeben sich für die Böden im Schlosspark ein sehr gutes Ertragspotential, wenn man nach landwirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet.

## 1.2. Bodenprofile im Schlosspark

Es wurden vier Standorte mittels Bodenprofilen untersucht. Diese befinden sich im Park verteilt (Abb. 3) und sollen unterschiedliche Qualitäten des Baumbestands und der Bodenausstattung abbilden. Deshalb wurde ein Standort mit gutem Buchenaufwuchs ausgewählt (Bodenprofil 1), ein

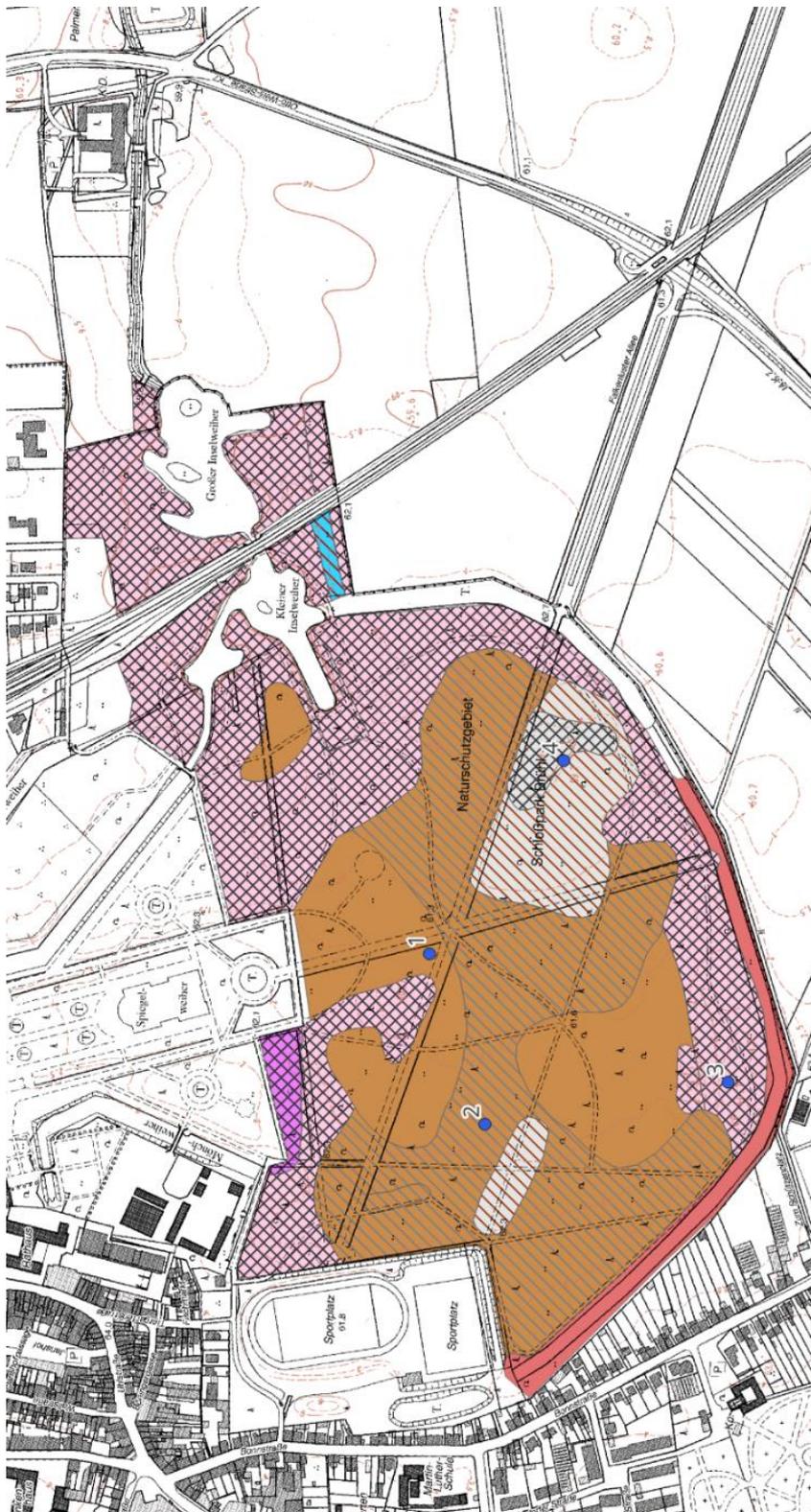


Abbildung 3: Lage der vier Bodenprofile im Schlosspark Brühl auf Grundlage der Bodenkarte 1: 5000 (Geologischer Dienst NRW 2010).



Standort mit sehr ausgedünntem Baumbestand (Bodenprofil 2), ein Standort mit ausgesprochen artenarmer Vegetation (Bodenprofil 3) und ein vierter Standort mit zahlreichen abgestorbenen Bäumen (Bodenprofil 4).

An diesen vier Bodenprofilen wurden eine Profilbeschreibung gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung durchgeführt und Bodenproben für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes, des Gesamtstickstoffgehaltes, des pH-Wertes und der pflanzenverfügbaren Nährstoffe (Phosphor, Kalium und Magnesium) entnommen. Die bodenphysikalischen Parameter (Wasserspeichervermögen, Wasserleitfähigkeit) wurden anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung abgeleitet. Die bodenkundlichen Profilbeschreibungen befinden sich im Anhang 1.

An der Stelle 1 liegt eine anthropogen umgelagerte Braunerde vor. Der anthropogene Einfluss wird durch eingemischte Ziegelbruchstücke bis in eine Tiefe von ca. 112 cm dokumentiert. Eine Braunerde ist ein Bodentyp mit einem verbraunten, verlehnten Unterbodenhorizont ohne Stauwassereinfluss.

An der Stelle 2 liegt eine pseudovergleyte Parabraunerde vor. Dabei dominieren die Parabraunerdemerkmale, es kommen aber untergeordnet noch Stauwassereinflüsse hinzu. Eine Parabraunerde ist ein durch Tonverlagerung entstandener Bodentyp.

Die Stelle 3 wird von wenig entwickelten, aufgeschütteten oder anthropogen umgelagerten, verbraunten Böden eingenommen. Das Bodenprofil 3.2. liegt unmittelbar neben Profil 3 und unterscheidet sich davon aufgrund seiner sandigen Körnung im Unterboden.

An der Stelle 4 hat sich ein anthropogen umgelagerter Pseudogley entwickelt. Er ist mit Ziegelbruchstücken angereichert.

Trotz des anthropogenen Einflusses weisen die Bodenprofile 1 bis 3 eine sehr hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit und ein hohes Wasserspeichervermögen im 2 m-Raum auf (Tabelle 1). Das Profil 4 ist durch ein sehr hohes Biotopentwicklungspotential gekennzeichnet.

Alle Profile weisen eine extrem hohe bis hohe nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum auf (Tabelle 1). Dies bedeutet, dass der Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden in allen Profilen extrem hoch bis hoch ist. Das liegt zum einen an der schluffig-tonigen Bodenart, die viel Wasser speichern kann und zum anderen auch an dem sehr hohem Humusgehalt im Oberboden, der die Wasserspeicherkraft zusätzlich verbessert. Zudem ist die Bezugstiefe, die effektive Durchwurzelungstiefe im Laubwald sehr hoch.



Die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist in den Bodenprofilen 1, 2 und 3.2 sehr hoch, im Profil 4 hoch und im Profil 3 extrem hoch. In allen Profilen kann Wasser also relativ schnell versickern, so dass kein Wasserstau entsteht. Einzig in Profil 4 ist durch den stauenden Horizont ab 70 cm Bodentiefe eine Wasserversickerung eingeschränkt.

Die pH-Werte liegen gemäß pH-Klassifizierung der AG Boden (2005) im „sehr stark sauren“ und „sehr schwach sauren“ Bereich. Die Oberböden weisen dabei die höchsten pH-Werte von 5-6,2 auf (Anhang 2 Tabelle A1). Diese Werte kennzeichnen ein günstiges Milieu in Waldböden. Im Unterboden nehmen die pH-Werte in allen Profilen ab.

Die Humusgehalte liegen in den Oberböden bei 4 bis 9 % (Anhang 2 Tabelle A1) und sind damit mittel bis stark humos unter Wald. Die Übergangshorizonte weisen auch noch Humusgehalte von 1 bis 4 % auf und sind somit schwach bis mittel humos.

Die Humusform der Auflage ist in den meisten Bodenprofilen typischer Mull oder Modermull. Diese Formen bilden sich bevorzugt unter krautreichen Laubwäldern unter günstigen Wasser- und Luftverhältnissen, in denen die Streu rasch zerkleinert und abgebaut wird.

Der Gesamtstickstoffgehalt liegt in den Oberböden bei 0,2 bis 0,4 %, was typisch für Waldböden ist.

Aus dem Humus- und Gesamt-Stickstoffgehalt lässt sich das C/N-Verhältnis berechnen, ein Maß für die biologische Aktivität des Bodens. C/N-Verhältnisse kleiner als etwa 20 : 1 bedeuten eine hohe biologische Aktivität, während bei einem Verhältnis von größer als 25 : 1 die Mikrobentätigkeit im Boden gehemmt ist. In den untersuchten Böden liegt das C/N-Verhältnis bei 23-28 und ist somit im mittleren Bereich der Mikrobentätigkeit.

Die Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium sind in Anhang 2 Tabelle A1 in Milligramm je 100 Gramm ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) angegeben und werden in Anhang 2 Tabelle A2 unter Berücksichtigung der Bodenart in die Versorgungsstufen A (sehr niedrig), B (niedrig), C (anzustreben), D (hoch) und E (sehr hoch) für Acker- und Grünlandböden gemäß Landwirtschaftskammer NRW (2015) eingeordnet. Eine vergleichbare Einstufung ist für Waldböden nicht bekannt.

Die verfügbaren Phosphorgehalte liegen in den Oberböden in den Gehaltsklassen A bis C. C ist die optimale Versorgungsstufe und liegt in Profil 3 und 3.2 vor. A und B sind sehr niedrige und niedrige Versorgungsstufen. Im Unterboden dominieren dann in allen Profilen die Gehaltsklassen A und B.



**botschek**  
bodenkunde

Die verfügbaren Kaliumgehalte der Oberböden sind in den Profilen 2, 3 und 3.2. optimal und in den anderen Profilen niedrig bis sehr niedrig. Im Unterboden schwanken sie zwischen den Versorgungsklassen A und B, also sehr niedrig und niedrig.

Anders sieht es bei den verfügbaren Magnesiumgehalten aus. Diese sind in den Oberböden aller Profile im sehr hohen Bereich (i.e. Versorgungsstufe E). In den Unterböden schwanken sie zwischen B und E, meist aber in den Gehaltsklassen D und E, also hoch und sehr hoch.

Damit sind die Oberböden im Schlosspark eher gering mit Phosphat versorgt (Ausnahme Profil 3 mit einer optimalen Versorgung). Die Kaliumverfügbarkeit ist in den Oberböden der Profile 2, 3, 3.2 optimal; in den anderen Profilen gering. Alle Oberböden sind mit Magnesium überversorgt. Die Unterböden hingegen sind schlecht mit Phosphat und Kalium und ebenfalls gut mit Magnesium versorgt.

**Tabelle 1: Bestimmung der physikalischen und chemischen Bodenparameter mit anschließender Bodenfunktionsbewertung (gemäß Geologischer Dienst NRW 2022)**

|            | eff. Durch-<br>wurzelungs-<br>tiefe (We) | nutzbare<br>Feldkapazität<br>We | Feld-<br>kapazität<br>We | Luft-<br>kapazität<br>We | Kationen-<br>austausch-<br>kapazität | gesättigte<br>Wasserleit-<br>fähigkeit<br>(kf) | Stauwasser-<br>Stufe | Grundwasser-<br>Stufe | Bodenfunktionen  |
|------------|--|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|----------------------|-----------------------|--|
| Profil 1   | 16,5                                     | 381                             | 579                      | 97                       | 205                                  | 135  | 1                    | 0                     | sehr hohe nat.<br>Bodenfruchtbarkeit und<br>Wasserspeicherfunktion |
| Profil 2   | 17,5                                     | 408                             | 659                      | 115                      | 234                                  | 251  | 1                    | 0                     | sehr hohe nat.<br>Bodenfruchtbarkeit und<br>Wasserspeicherfunktion |
| Profil 3   | 13,5                                     | 289                             | 431                      | 108                      | 163                                  | 585  | 0                    | 0                     | sehr hohe nat.<br>Bodenfruchtbarkeit und<br>Wasserspeicherfunktion |
| Profil 3.2 | 16,5                                     | 384                             | 592                      | 62                       | 182                                  | 116  | 0                    | 0                     | sehr hohe nat.<br>Bodenfruchtbarkeit und<br>Wasserspeicherfunktion |
| Profil 4   | 7  | 172                             | 267                      | 44                       | 109                                  | 53   | 4                    | 0                     | Biotopentwicklungspotential  |

### 1.3. Bodenkartierung im Schlosspark

Um einen besseren flächenhaften Überblick über die Bodeneigenschaften im Schlosspark zu bekommen, wurden zudem mit dem Pürckhauer Bohrstock die Bereiche um die Bodenprofile bodenkundlich kartiert. Dabei wurden ebenso Bodenart, Bodenfarbe, Hydromorphie Merkmale, Humusgehalte, Bodenfeuchte und Lagerungsdichte erfasst. Die bodenphysikalischen Parameter (Wasserspeichervermögen, Wasserleitfähigkeit) wurden wie in den Aufgrabungen anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung abgeleitet. Bodenchemische Untersuchungen wurden hier nicht durchgeführt. Die bodenkundlichen Profilbeschreibungen im Tabellenformat sind in der Anhang 3 zu finden.

Die Abbildung 4 zeigt die Lage der 21 Bohrstöcke im Schlosspark.

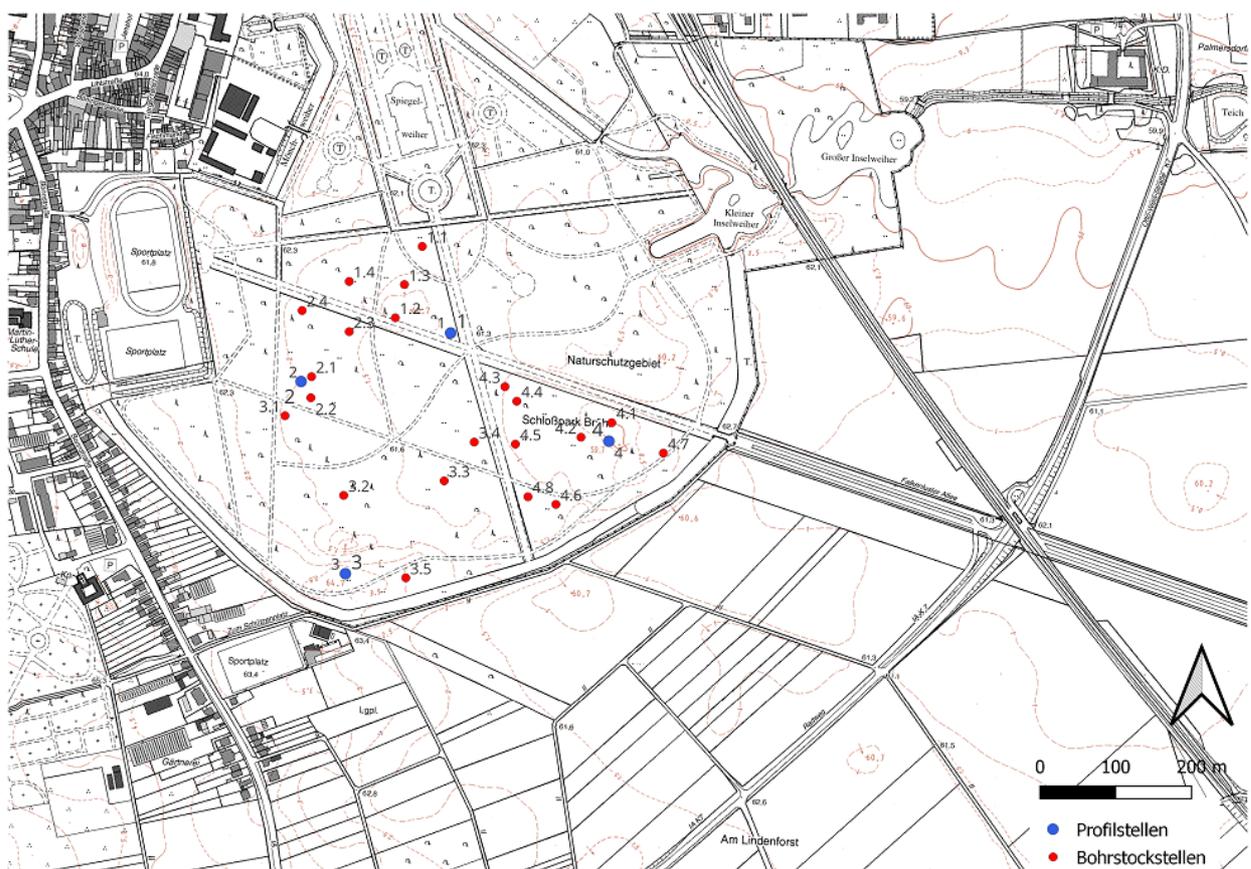


Abbildung 4: Lage der Bohrstockstellen in rot und Lage der Profilstellen in blau dargestellt (Maßstab 1: 5000).

Durch die Bodenkartierung und die sich anschließende Bodenfunktionsbewertung konnten Bereiche mit ähnlicher effektiver



**botschek**  
bodenkunde

Durchwurzelungstiefe<sup>1</sup> und gleichem Wasserspeichervermögen flächenhaft erfasst werden. Die Karte zur effektiven Durchwurzelungstiefe ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei lässt sich ein großer Teilbereich von Norden nach Süden (in dunkelgrün markiert) mit einer extrem hohen Durchwurzelungstiefe ausmachen. Die stauwasserbeeinflussten Bereiche im Osten der Untersuchungsfläche weisen mittlere bis hohe effektive Durchwurzelungstiefen auf.

---

<sup>1</sup> Die effektive Durchwurzelungstiefe ist eine rechnerisch ermittelte Größe. Sie entspricht nicht der Tiefe, bis zu der Pflanzenwurzeln tatsächlich in den Boden eindringen können (Durchwurzelbarkeit, physiologische Gründigkeit).

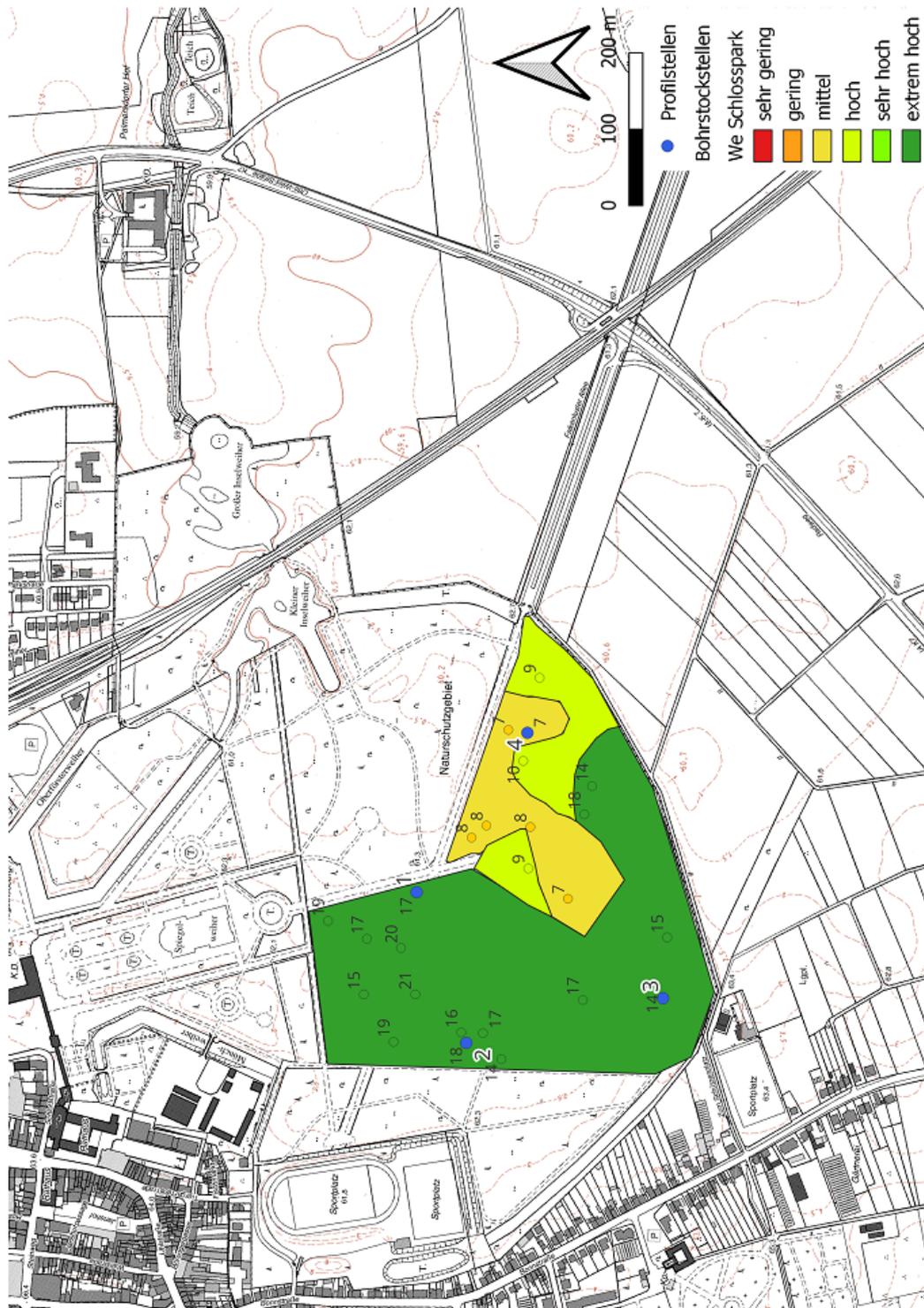


Abbildung 5: Karte zur effektiven Durchwurzelungstiefe im Schlosspark.

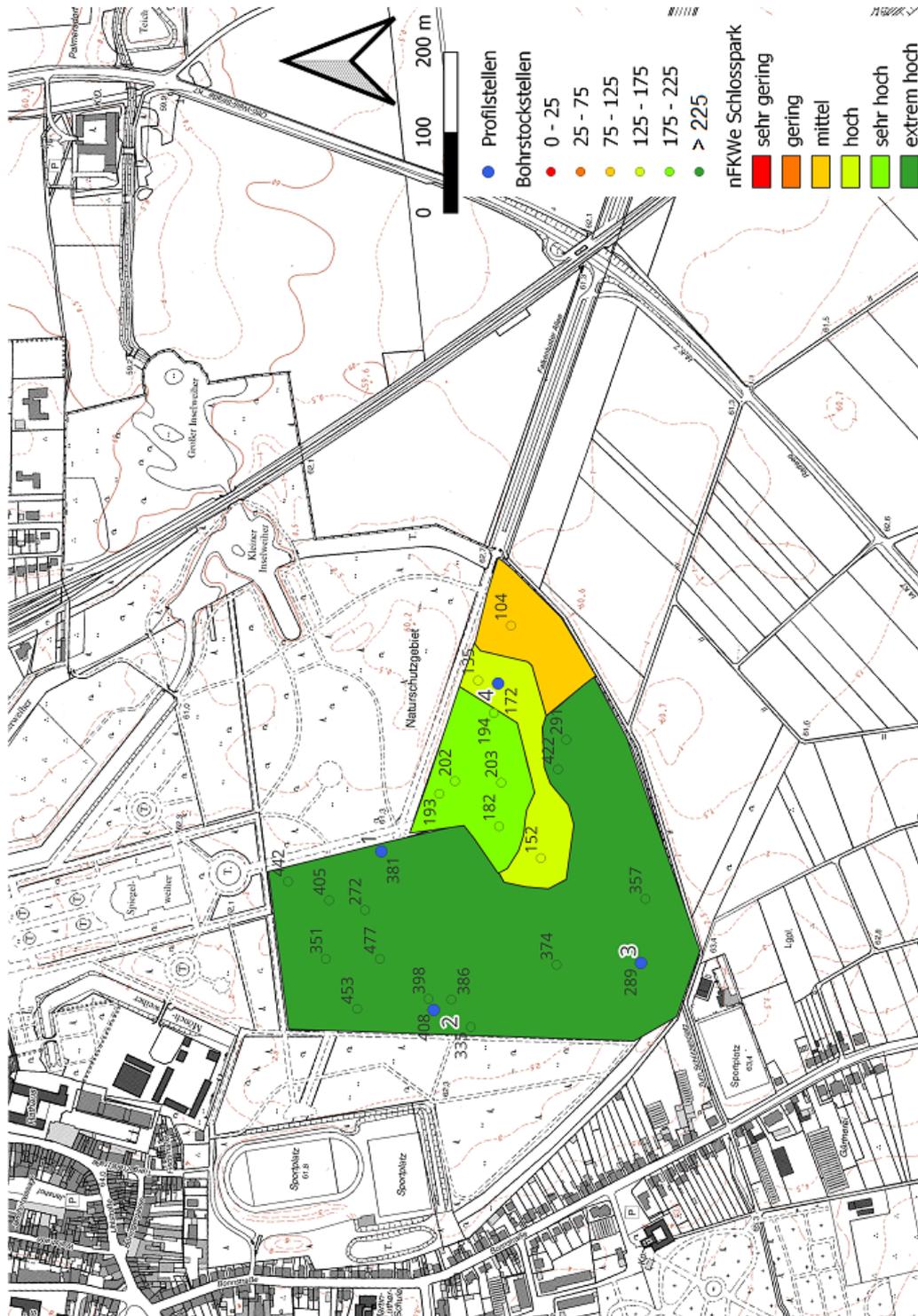


Abbildung 6: Karte zur nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum im Schlosspark.



Die Auswertungskarte zur nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, also dem Wasserspeichervermögen von pflanzenverfügbarem Wasser ist in Abbildung 6 dargestellt. Dabei erkennt man wieder einen großen Teilbereich von Norden bis Süden mit extrem hohem Wasserspeichervermögen (i.e. dunkelgrüne Flächen). Die stauwasserbeeinflussten Bereiche und die verdichteten Böden im Osten der Untersuchungsfläche weisen nur mittlere bis hohe Wasserspeichervermögen auf.

Die Auswertung zu den Bodenfunktionen zeigt ebenfalls einen großen Teilbereich im Norden bis Süden der Flächen mit gutem Wasserspeichervermögen (Abb. 7). Kleinere Teilbereiche darin sind auch mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit ausgestattet. Und die Pseudogley-Standorte mit einem mittleren bis hohen Stauwassereinfluss weisen ein Biotopentwicklungspotential auf.

#### **1.4. Empfehlungen**

Die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften im Schlosspark Brühl sind zwar anthropogen beeinflusst, sie werden aber vorwiegend von den natürlichen Ausgangsgesteinen und standorttypischen Bodenentwicklungen bestimmt. Empfehlungen für eine durchgreifende Verbesserung der Wachstumsbedingungen der Waldvegetation lassen sich daraus nicht ableiten.



## 2. Hydrologie

Die Hydrologische Karte 1:100.000, Blatt Köln (Tim-Online 2023) verzeichnet für den Schlosspark ebenfalls Lockergestein der jüngeren Mittelterrasse mit fluviatilen Sanden und Kiesen. Auch die Hydrologische Karte 1:25.000 Blatt Brühl (Landesamt für Wasser und Abfall 1991) zeigt Unteres Mittelterrassenmaterial mit sandigem Mittel- und Grobsand, Feinkies und Mittelsand über Unterflözrhythmus mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von  $7 \times 10^{-3}$ , einem sehr hohen Wert.

Gemäß Grundwassermessstellen liegt der höchste gemessene Grundwasserspiegel zwischen 44 und 45 m NHN, also rund 18 m unter der Geländeoberfläche am süd-westlichen Rand des Parks und weiter östlich an der Falkenluster Allee rund 17 m unter der Geländeoberfläche (Elwasweb.de, Erftverband, Abb. 8).

Die Grundwasserdifferenz zwischen 1955 und 2021 beträgt – 1 m, d.h. der Grundwasserspiegel war 1955 1 m höher als heute (Auskunft vom Erftverband, Abb. 8). Das macht aber bei einer Tiefe von 17-18 m für die Pflanzenwurzeln keinen Unterschied. Aus dieser Tiefe findet auch kein kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser mehr statt. Der wäre maximal aus einer Tiefe von 2,5 m als Abstand zwischen Grundwasseroberfläche und Untergrenze des Wurzelraums noch möglich.

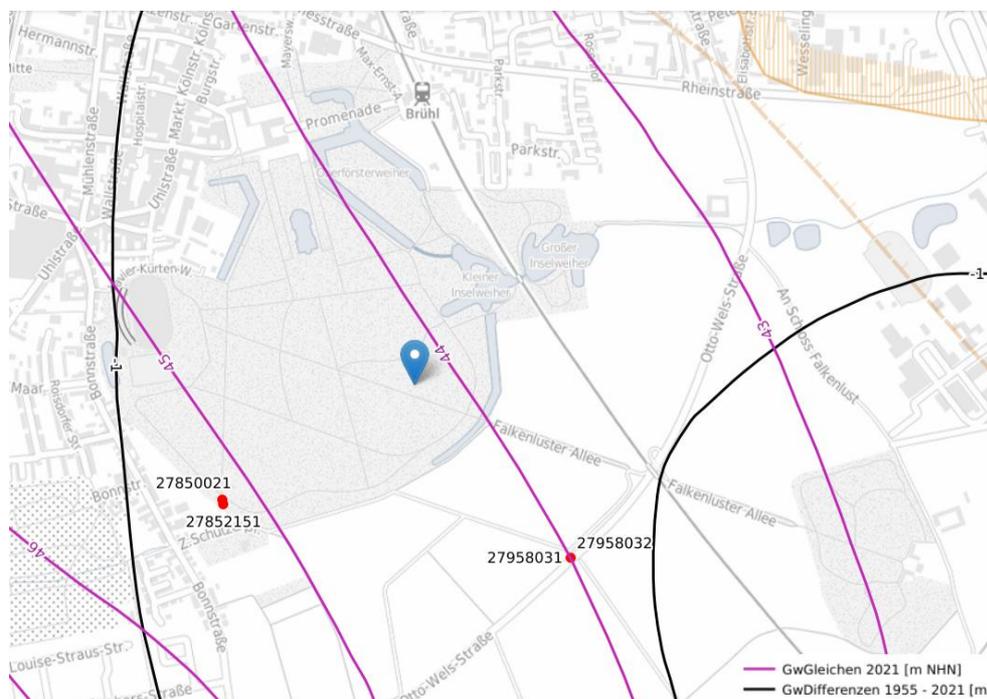


Abbildung 8: Grundwassergleichen und Grundwasserdifferenzen 1955-2021 (Quelle: Erftverband).



## 2.1. Eigene Erhebungen

Die Messungen der Bodenfeuchte, der Bodentemperatur und der Wasserspannung wurden monatlich von April 2023 bis September 2023 an den vier Profilstandorten im Schlosspark durchgeführt.

Dabei zeigte sich, dass insbesondere der Stauwasserboden von Bodenprofil 4 in trockenen Zeiten (i.e. Juni) eine sehr geringe Bodenfeuchte und hohe Wasserspannungen aufwies (Abb. 9 und 11). Der Braunerde-Standort von Bodenprofil 1 konnte die Feuchtigkeit besser speichern (Abb. 9 und 11). Insgesamt reagiert der Bodenwasserhaushalt verzögert zur Niederschlagssumme.

Die Bodentemperatur entspricht weitgehend der Lufttemperatur an allen vier Profilstandorten (Abb. 10).

## 2.2. Empfehlungen

Der überwiegende Teil des Schlossparkwaldes stockt auf Standorten mit günstigen pedohydrologischen Eigenschaften. Trotzdem kommt es in trockenen Perioden während der Vegetationszeit zu Defiziten an pflanzenverfügbarem Wasser, weil der Wald den im Boden gespeicherten Wasservorrat komplett verbraucht. Da kein Grundwasseranschluss besteht, der Wasser nachliefern könnte, ist der Schlosspark auf Sommerniederschläge angewiesen. Es empfiehlt sich eine Anpassung der Baumartenzusammensetzung an die hydrologischen Standortbedingungen.



**botschek**  
bodenkunde

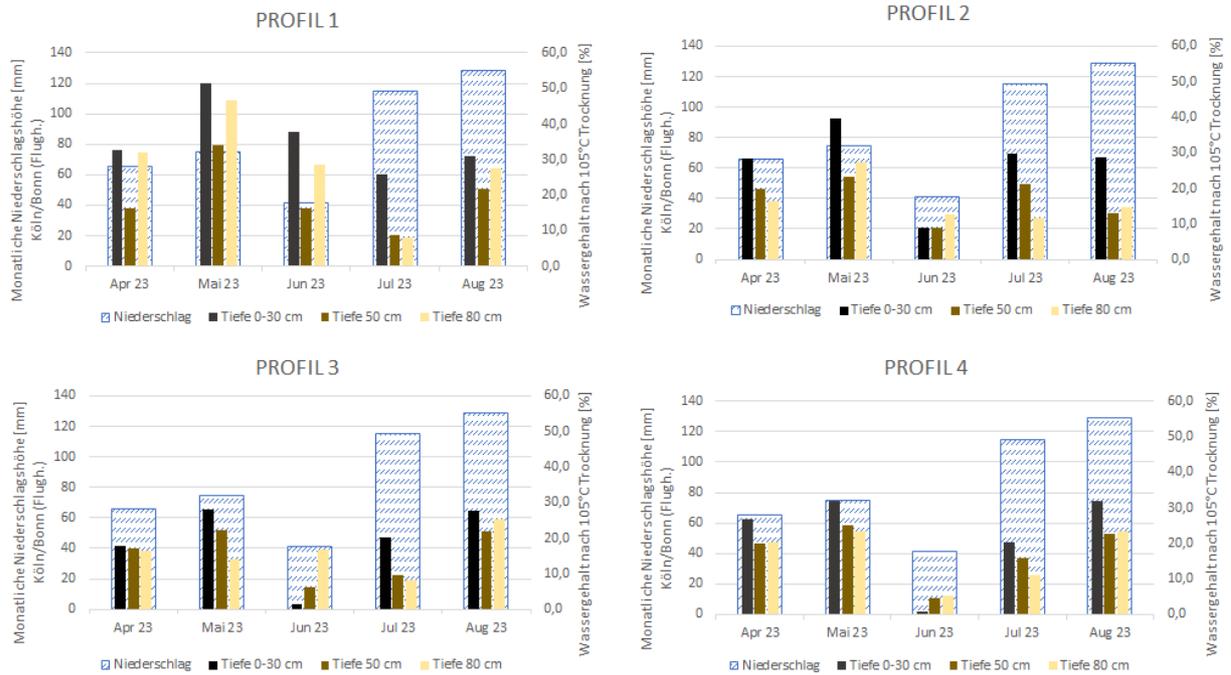


Abbildung 9: Wassergehalt der vier Profilstandorte im Schlosspark und monatlicher Niederschlag an der Station Köln/Bonn Flughafen.

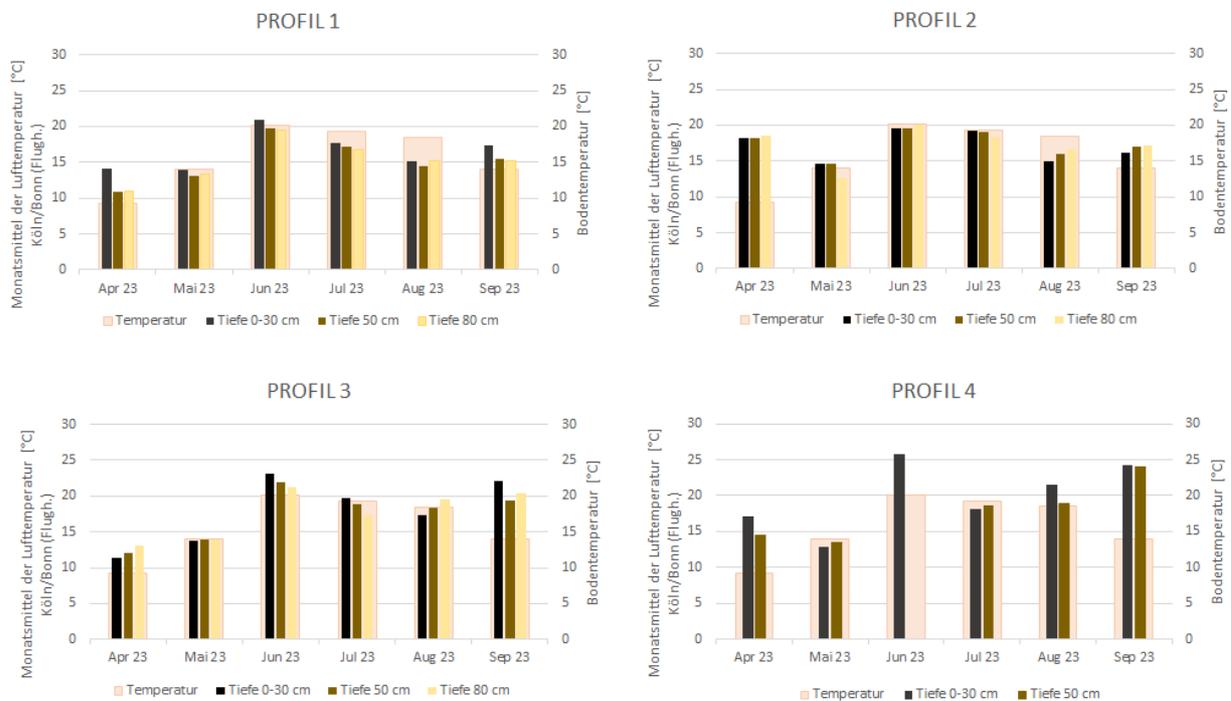


Abbildung 10: Bodentemperatur an den vier Profilstandorten im Schlosspark und Monatsmitteltemperatur an der Station Köln/Bonn Flughafen.



**botschek**  
bodenkunde

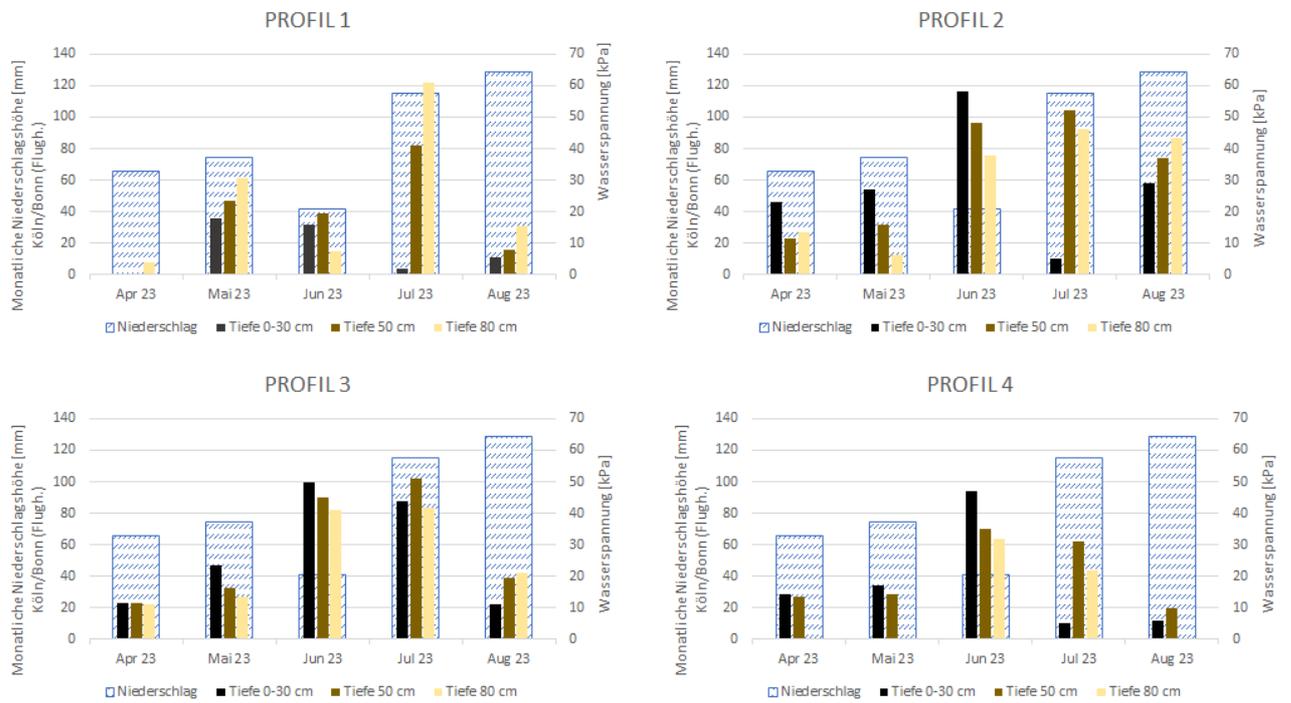


Abbildung 11: Wasserspannung in kPa an den vier Profilstandorten im Schlosspark und monatlicher Niederschlag an der Station Köln/Bonn Flughafen.



### 3. Klimatologie

Der Schlosspark liegt in Brühl im Rhein-Erft-Kreis und damit in der Großlandschaft der Niederrheinischen Bucht. Die Niederrheinische Bucht gehört mit 10,9 °C Jahresdurchschnittstemperatur zu den wärmsten Gebieten in NRW. Im Gegensatz dazu steht eine mittlere jährliche Niederschlagssumme von 726 mm, welche unter dem NRW-Durchschnitt von 870 mm liegt.

#### Rückblick

Die Jahresmitteltemperatur in NRW ist seit 1881 um 1,8 K gestiegen (DWD 2023, Abb. 12). Durch höhere Temperaturen früher im Jahr verschiebt sich der Beginn der Vegetationsperiode nach vorne. Auch die Jahresniederschläge sind seit 1881 um 75 mm gestiegen (DWD 2023). Die Niederschläge sind im Frühling, Herbst und Winter angestiegen, während im Sommer ein Rückgang um 14 mm verzeichnet wurde. Wenn man den Zeitraum 1991-2022 berücksichtigt, fällt allerdings ein signifikant fallender Trend der Jahresniederschlagssummen auf.

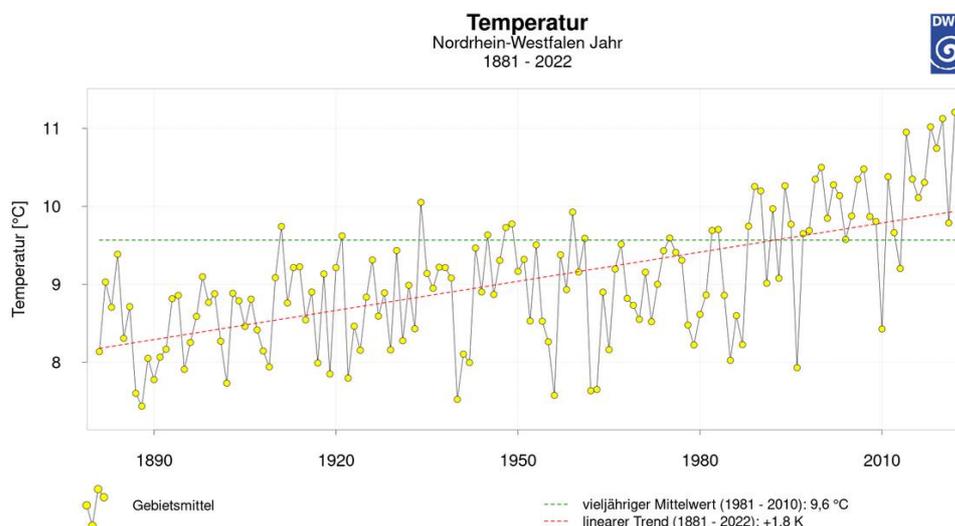


Abbildung 12: Entwicklung der Temperatur von 1881 bis 2022 in Nordrhein-Westfalen (Quelle: DWD 2023).

Ein weiterer Parameter ist die klimatische Wasserbilanz, die aus der Differenz von Niederschlagssumme und Verdunstung berechnet wird. Ist der Niederschlag höher als die Verdunstung, so ist die Wasserbilanz positiv und man spricht von einem humiden, also feuchten Klima. Der umgekehrte



Fall, also eine negative Wasserbilanz, nennt man trocken oder arid. Im Frühling und Sommer zeigt sich eine Abnahme der aktuellen Mittelwerte von 1991-2020 gegenüber den Werten von 1961-1990 und im Herbst und Winter kam es zu einer Zunahme der klimatischen Wasserbilanz (Klimaatlas NRW 2023). Dabei ist die klimatische Wasserbilanz im Sommer im Mittel bei -27 mm also trocken und im Winter bei +197 mm, also ein feuchtes Klima. Im Jahresdurchschnitt ist die klimatische Wasserbilanz auch von 316 mm (Zeitraum 1961-1990) auf 289 mm (Zeitraum 1991-2020) zurückgegangen. Also steht den Pflanzen weniger Niederschlag zur Verfügung, denn die Bodenwasservorräte werden im Frühling nicht ausreichend aufgefüllt. Beispielsweise wurde 2018 in NRW erstmals seit Messbeginn eine negative Wasserbilanz verzeichnet (Klimaatlas NRW 2023).

Durch die Kombination von steigenden Lufttemperaturen und verlängerten Vegetationsperiode kommt es zu einem höheren Wasserbedarf der Vegetation. Dieser Wasserbedarf kann voraussichtlich vor allem in extrem niederschlagsarmen Zeiten zukünftig nicht mehr gedeckt werden; dies kann zu vermehrten Vitalitätsausfällen bei Bäumen führen (Klimaatlas NRW 2023).

Höhere Lufttemperaturen und zunehmende Sonnenscheindauer führten in den vergangenen Jahren zu einem Anstieg der Bodentemperaturen (Klimaatlas NRW 2023). Aktuell (1991-2020) liegt der jährliche Mittelwert der Lufttemperatur in 2 m Höhe 10,7 °C in Köln-Bonn. Die Bodentemperatur liegt immer etwas höher als die Lufttemperatur. In Köln-Bonn beträgt sie in 5 cm Tiefe 12,1 °C und in 50 cm Tiefe 12,0 °C. Dies ist ein signifikant steigender Trend zum Zeitraum 1961-1990. Dort lag die Bodentemperatur in 5 cm und 50 cm Bodentiefe bei 10,7 °C.

Als Indikator wird die Bodenfeuchte als volumetrischer Wassergehalt in Prozent (Vol.-%) für die Bodentiefen 5 cm, 20 cm (Oberboden) und 50 cm (Unterboden) verwendet. Die Daten zur Bodenfeuchte stammen von der Klimastation in Gevenich (Niederrheinisches Tiefland, Klimaatlas NRW 2023). Dort kam es zu einer signifikanten Abnahme der Bodenfeuchte von 2012 bis 2021 um -15,7 Vol.-% (5 cm), -15,8 Vol.-% (20 cm) und -12,3 Vol.-% (50 cm). Diese Werte sind Jahresmittelwerte und nicht mit unseren gemessenen Tageswerten der Bodenfeuchte vergleichbar.

### **Zukünftige Klimaentwicklung**

Der Klimawandel betrifft den Schlosspark in Nordrhein-Westfalen ähnlich wie Deutschland als Teil Mitteleuropas. Daten und Informationen zu Folgen des Klimawandels für die Niederrheinische Bucht werden vom LANUV und



dem Klimaatlas NRW bereitgestellt. Diese gründen auf Modellierungen des Deutschen Wetterdienstes.

Der Temperaturanstieg und die Niederschlagszunahme seit Messbeginn fallen in der Niederrheinischen Bucht etwas geringer aus als im Landesmittel (LANUV NRW 2019).

Für die Darstellung der möglichen zukünftigen Entwicklung des Klimas in NRW wird ein Modellensemble verschiedener Modellkombinationen globaler und regionaler Klimamodelle (Klimaprojektionen) ausgewertet. Dabei wurden drei Klimaszenarien berücksichtigt: das „Klimaschutz“-Szenario (RCP2.6; *representative concentration pathway*), das „moderate“ (RCP4.5) und das „weiter-wie-bisher“-Szenario (RCP8.5).

Für die mittlere Temperatur projizieren alle Szenarien einen weiteren Anstieg um bis zu 4° C bis zum Jahr 2100 bei einem Szenario ohne verstärkten Klimaschutz. Der Temperaturanstieg steigert sich hin zur fernen Zukunft (2071-2100) in den drei Szenarien, wobei das RCP8.5 in allen Jahreszeiten die stärkste Zunahme aufweist (LANUV NRW 2019).

Beim mittleren Jahresniederschlag reicht die Spanne über alle Klimaszenarien hinweg von einer leichten Abnahme bis zu einer Zunahme des Niederschlags (LANUV NRW 2019). Im Sommer projiziert der Großteil der Modelle eine Abnahme des Niederschlags (um bis zu -15 % bis zum Jahr 2100 bei einem Szenario ohne verstärkten Klimaschutz). Im Winterhalbjahr wird eine Zunahme der Niederschlagshöhen (um bis zu 18 % bis zum Jahr 2100 bei einem Szenario ohne verstärkten Klimaschutz) erwartet.

Insgesamt gibt es nur geringe Abweichungen gegenüber den Werten für NRW.

Für einen genaueren Überblick auf die Klimabedingungen im Schlosspark folgt das nächste Kapitel, welches den Gesamtwasserhaushalt und die Waldentwicklung im Schlosspark beleuchtet.

#### **4. Gesamtwasserhaushalt und Waldentwicklung im Schlosspark Brühl**

Für den Standort des Schlossparks Brühl wird eine klimatische Wasserbilanz der Vegetationsperiode (KWBv) von -77 mm angenommen (Geologischer Dienst NRW 2010). Die nutzbare Feldkapazität für das Gebiet des Schlossparks variiert in Abhängigkeit von den Bodentypen (Tabelle 2 und 3).



Tabelle 2: Bodeneigenschaften in Abhängigkeit von den Bodentypen (Geologischer Dienst NRW 2010).

| Bodentyp (BK 05)  | Pseudogley-Parabraunerde    | Syrosem, Ranker und andere gering entwickelte Böden | Braunerde- und Parabraunerde-Pseudogley |
|---|-----------------------------|---|---|
| Forstliche Vegetationsperiode (Tage >10°C)                | 195 Tage                    | 195 Tage  | 195 Tage                                |
| Gesamtwasserhaushalt                                      | sehr frisch                 | frisch  | mäßig wechselfeucht                     |
| Nährstoffversorgung                                       | im Mittel mäßig basenhaltig | im Mittel mäßig basenhaltig                         | im Mittel mäßig basenhaltig             |
| Wasserspeichervermögen des Bodens (nFK)                   | 217 mm                      | 189 mm  | 208 mm                                  |
| Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWBv) | -77 mm                      | -77 mm  | -77 mm                                  |

Tabelle 3: Berechnungen der nFK im effektiven Wurzelraum nach bodenkundlicher Kartieranleitung und eigener Profilaufnahme

|            | eff. Durchwurzelungstiefe (We) | nFK <sub>We</sub> |
|------------|--------------------------------|-------------------|
| Profil 1   | 16,5                           | 381               |
| Profil 2   | 21                             | 488               |
| Profil 3   | 13,5                           | 289               |
| Profil 3.2 | 16,5                           | 384               |
| Profil 4   | 7                              | 172               |

Aus der KWBv und der nFK erfolgt auf Grundlage der Karte zur forstlichen Standorterkundung eine Einstufung des Gesamtwasserhaushalts (Abb. 13 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese wird zur Beurteilung der Standorteignung für Baumarten verwendet (Schulte-Kellinghaus et al., 2020).

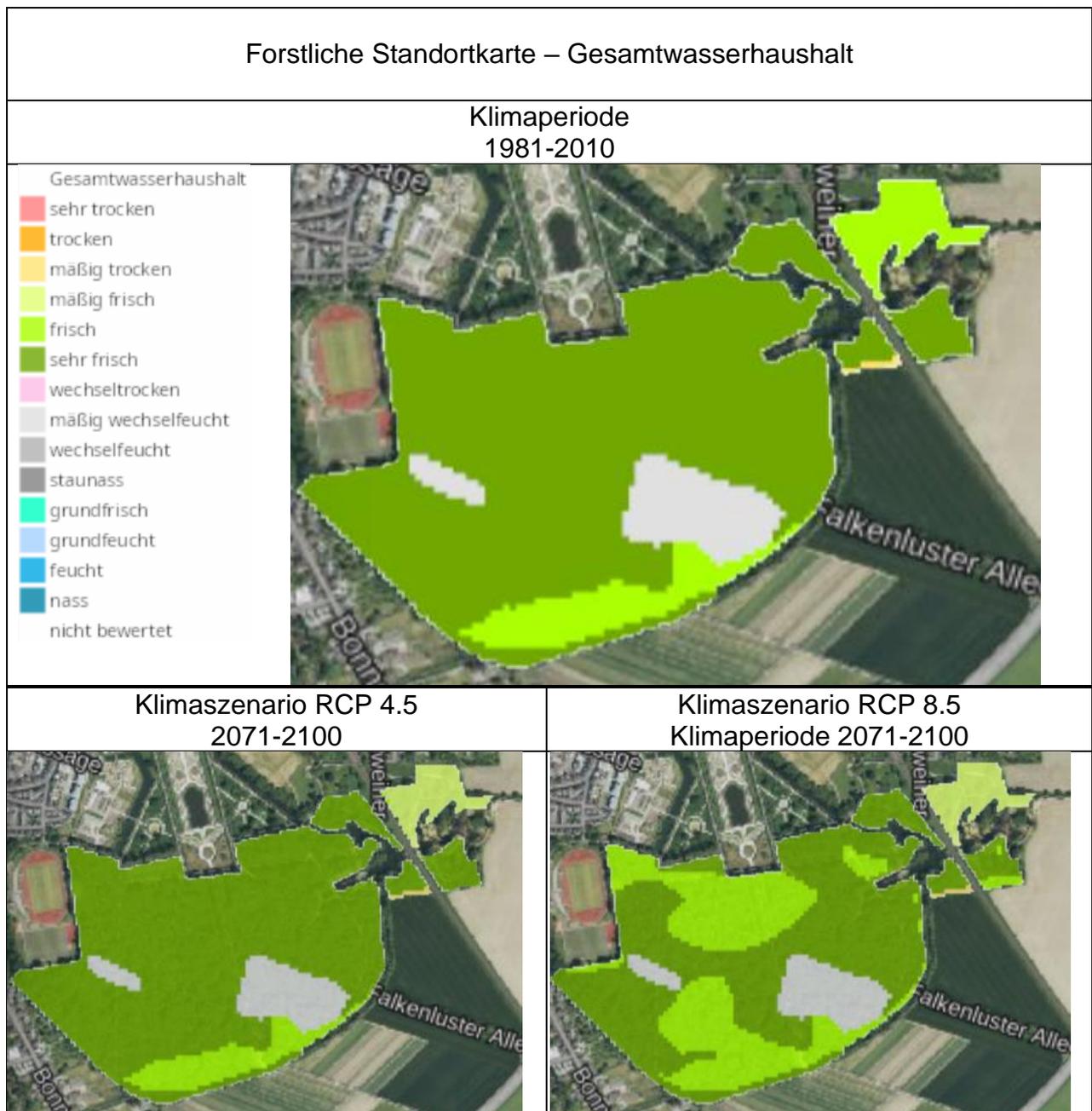


Abbildung 13: Gesamtwasserhaushalt nach forstlicher Standorterkundung für die Klimaperiode 1981-2010 und Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 (Geologischer Dienst NRW 2010).

Die Entwicklung des Gesamtwasserhaushalts zeigt für RCP 4.5 keine Veränderung (im Hauptgebiet des Schlossparks) zu den aktuell vorherrschenden Feuchtestufen. Für RCP 8.5 nimmt der Anteil frischer Standorte zu und die sehr frischen Standorte nehmen ab (Abbildung 13).

Die „mäßig wechselfeuchten“ Bereiche decken sich mit Braunerde- und Parabraunerde-Pseudogley Standorten mit stärkerer Stauwasserprägung (Schulte-Kellinghaus et al., 2020; GD NRW 2010).

Aufgrund der Länge der Vegetationsperiode und der Trophiestufe sind zunächst keine weiteren Baumarten auszuschließen, lediglich der Gesamtwasserhaushalt begrenzt die Baumartenauswahl auf den sickerwassergeprägten Böden leicht (Abb. 14). Dies betrifft die Baumarten Traubeneiche, Spitzahorn, Sandbirke, Moorbirke und Schwarzerle, die bei frischem und sehr frischem Wasserhaushalt bedingt standortgerecht sind. Die stauwassergeprägten Böden haben hingegen eine deutlich geringere Baumauswahl zur Verfügung.

In MULNV NRW (2019) werden der Gesamtwasserhaushalt, der Nährstoffhaushalt (Basengehalt) und die Vegetationszeit (Wärmehaushalt) zur Empfehlung standortgeeigneter Waldentwicklungstypen (WET) verwendet (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vorgeschlagene standortgeeignete Waldentwicklungstypen (WET) nach Bodentyp (GD NRW, 2010).

| Bodentyp<br>(BK 05)  | Pseudogley-<br>Parabraunerde   | Syrose, Ranker und<br>andere gering<br>entwickelte Böden   | Braunerde- und<br>Parabraunerde-<br>Pseudogley  |
|--|--|--|---|
| Bewertung nach<br>Waldbaukonzept<br>NRW -<br>Standorttypen | <b>4 30 20:</b><br>Vegetationszeit 160 -<br>200 Tage; frisch bis<br>sehr frisch,<br>grundfrisch bis<br>grundfeucht;<br>mesotroph (mäßig<br>basenhaltig) [Stand:<br>Waldbaukonzept<br>2021] | <b>4 30 20:</b><br>Vegetationszeit 160 -<br>200 Tage; frisch bis<br>sehr frisch,<br>grundfrisch bis<br>grundfeucht;<br>mesotroph (mäßig<br>basenhaltig) [Stand:<br>Waldbaukonzept<br>2021] | <b>4 40 20:</b><br>Vegetationszeit 160 -<br>200 Tage; mäßig<br>wechselfeucht bis<br>wechselfeucht;<br>mesotroph (mäßig<br>basenhaltig) [Stand:<br>Waldbaukonzept<br>2021] |
| voll kompatibel  | WET 12, 20, 23   | WET 12, 20, 23   | WET 12, 40  |
| eingeschränkt<br>kompatibel                                | WET 29, 14, 21, 27, 28   | WET 29, 14, 21, 27, 28   | WET 14, 21  |

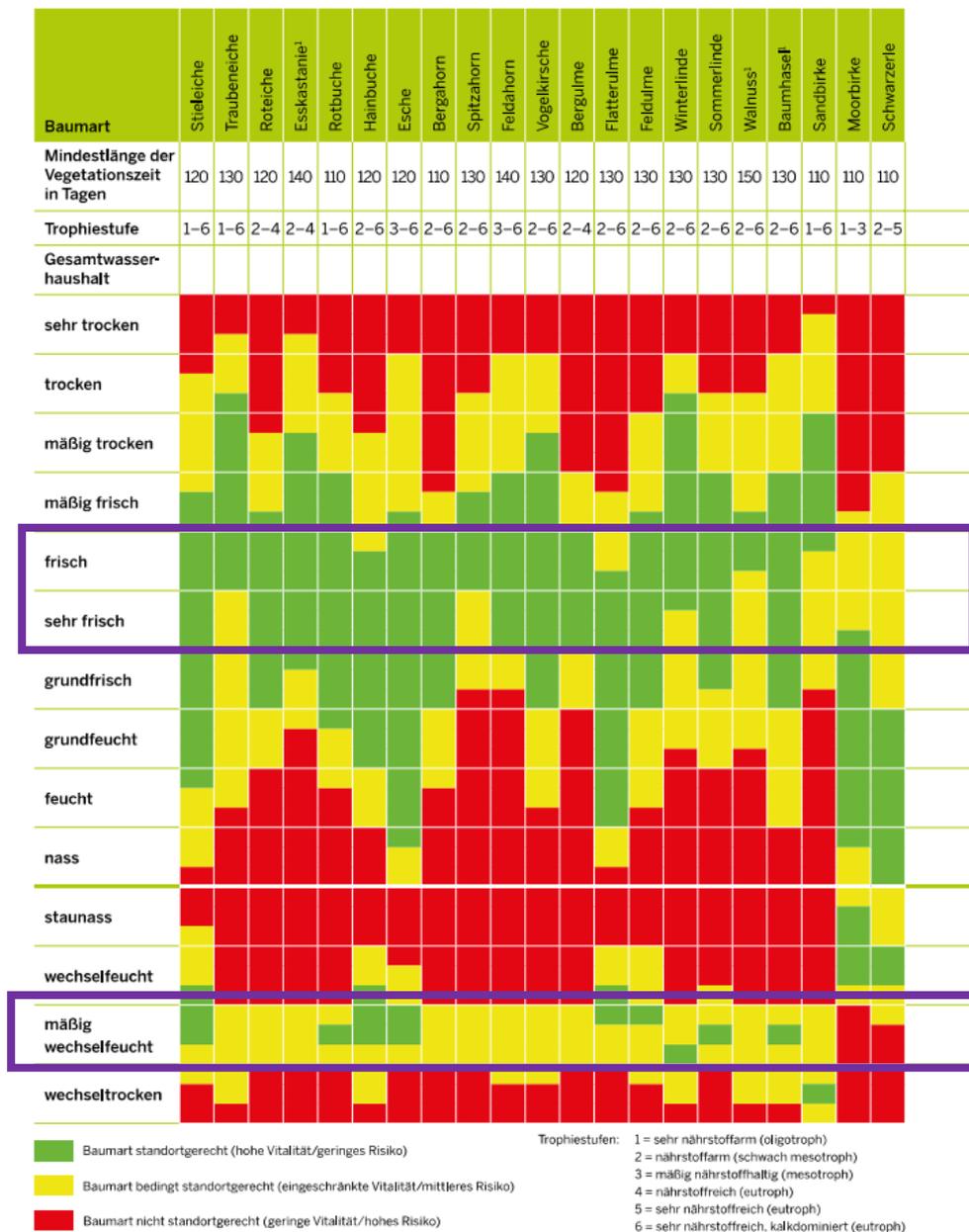


Abbildung 14: Standortansprüche von Waldbaumarten, violette Kästen markieren die im Schlosspark auftretenden Gesamtwasserhaushaltsstufen (MULNV NRW, 2019 ergänzt).

Nur Waldentwicklungstyp 12 Eiche-Buche/ Hainbuche ist über alle Bodentypen hinweg „voll kompatibel“. Die Stauwasser geprägten Standorte unterscheiden sich in den vorgeschlagenen WET von den anderen Bodentypen.



WET 12 entspricht den Waldlebensraumtypen Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald (9160), Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald (9170) und in Teilen dem Waldmeister-Buchenwald (9130). Das Bestandsziel für den WET 12 sind 70 % Eichen, bis zu 30 % Buche/Hainbuche, bis zu 10 % Begleitbaumarten sowie Zwischen- und Unterstand aus Buchen/Hainbuchen (MULNV NRW, 2019).

WET 20 und 23 sind Buchenmischwälder, die für die Bodentypen der Parabraunerde und der Ranker voll kompatibel sind. WET 40 sind Laubmischwälder mit Schwarzerle, die für die Pseudogley-Standorte voll kompatibel sind.

Die Eignung der Stieleiche für den Schlosspark ist sowohl in der aktuellen Klimaperiode als auch für beide Klimaszenarien im gesamten Parkgebiet standortgerecht. Die Traubeneiche ist für fast das gesamte Gebiet bedingt standortgerecht für das Klimawandelszenario RCP 8.5 nimmt der Anteil standortgerechter Bereiche leicht zu (GD NRW, 2010).

#### **4.1. Wasserbedarf von Bäumen**

Der Wasserbedarf von Bäumen kann für die Vegetationsperiode mit 3 mm pro Tag überschlagen werden (Collin, 2019). Für Laubbäume entspricht die Vegetationsperiode der Wasserverbrauchsperiode, da mit Ende der Vegetationsperiode und dem Blattfall der Wasserverbrauch endet.

Ein grober Überschlag des Wasserverbrauchs der Waldvegetation während der Vegetationsperiode ergibt bei 160 – 200 Tagen Vegetationsperiode zwischen 480 und 600 mm Wasserbedarf.

Dieser kann bei der angenommenen nFK von 217-189 mm (GD NRW, 2010) für keinen der Bodentypen ohne weitere Niederschläge gedeckt werden.

Die Vegetation ist in der Zwischenzeit auf im Boden gespeichertes Wasser zur Deckung des Wasserbedarfs angewiesen.

Betrachtet man die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ermittelten nFK-Werte im Schlosspark Brühl (381 - 488 mm) (Tabelle 3), würde eine niederschlagsunabhängige Versorgung einiger genügsamer Laubbaumarten (z. B. Buche) bei gefülltem Wasservorrat zu Beginn der Vegetationsperiode an den Profilstandorten 1, 2, 3.2 bestehen.

Die nutzbaren Feldkapazitäten an Profilstandort 4 (Tabelle 3) sind deutlich niedriger im Vergleich zu den anderen Standorten, sodass das Trockenstressrisiko in Dürreperioden hier aufgrund des geringen Bodenwasservorrats höher ist. Diese sollte durch die Wahl von wechselfeuchteverträglichen Baumarten berücksichtigt werden.

Grundsätzlich kommt es durch die Niederschlagsabnahme im Frühling, sowie die Stagnation im Sommer und die durch die Temperaturerhöhung



verstärkte Verdunstung zur Austrocknung des Bodens. Falls nicht ausreichend Bodenwasser vorhanden ist, führt dies zu einer Verringerung der Pflanzenproduktivität.

## 4.2. Empfehlungen

Insgesamt treten durch den Klimawandel lediglich geringe Änderungen des Gesamtwasserhaushaltes und damit der Wuchsbedingungen für Baumarten auf. Die Baumartenwahl sollte auf „frische“ und nicht nur „sehr frische“ Standorte ausgelegt werden, um die Trockenheitstoleranz der gewählten Arten an trockenere Vegetationsperioden anzupassen.

Die Sickerwasser-Standorte sind auf gefüllte Wasservorräte zu Beginn von Trockenperioden und möglichst hohe Bodenwasserspeicherkapazitäten angewiesen. Die Schwankungen in der Bodenfeuchte erfordern auf den Stauwasserstandorten Baumarten, die wechselfeuchte Bodenbedingungen vertragen. Diese Standorte haben zudem eine geringere nutzbare Feldkapazität (nFK), daher ist hier die Wahl der Baumarten besonders bedacht zu treffen. Die Wahl mehrerer WETs oder Lebensraumtypen sollte nicht ausgeschlossen werden, um eine bessere Anpassung an die unterschiedlichen Bodenbedingungen zu gewährleisten. Die Wahl eines eichengeprägten WETs (z. B. WET 12) erscheint aufgrund der standortgerechten Eignung der Stieleiche als sinnvoll. Die Auswahl des WET 12 muss unter Berücksichtigung der anderen Gutachten überdacht werden, dabei sollten vor allem die stauwassergeprägten Standorte betrachtet werden.

## 5. Ausblick

Unsere geologisch-bodenkundlichen Untersuchungen im Schlosspark Brühl haben die Kenntnisse über die Verteilung und wichtige Eigenschaften seiner Böden erweitert. Sie können als Grundlage für die weitere waldbauliche Planung, aber auch ganz allgemein für ökologische Fragestellungen herangezogen werden. Eine Verdichtung der Bohrungen im zentralen Bereich des kartierten Teil des Schlossparks und die Einbeziehung seiner nördlichen und westlichen Teile wäre allerdings sinnvoll. Damit wären auch für diese Bereiche Aussagen möglich.

Die hydrologischen Messungen dokumentieren die gute Wasserspeicherung in weiten Teilen des Schlossparks, und sie helfen bei der Kennzeichnung problematischer Standorte. Allerdings beschränken sich die Messungen auf den kurzen Zeitraum von April bis September 2023.



**botschek**  
bodenkunde

Damit stehen keine Messergebnisse für das Winterhalbjahr zur Verfügung. Durchgehende, ganzjährige Messungen sind notwendig, weil wir dann die hydrologisch wichtigen, feuchten Wintermonate in die Untersuchung einbeziehen könnten. Darüber hinaus würde sich die Aussagekraft der Untersuchung durch mehrjährige Messungen deutlich verbessern.

Klimatologische Studien beziehen sich meist auf größere Räume als unser Untersuchungsgebiet im Schlosspark Brühl. Immerhin konnten wir auf Mess- und Modellergebnisse des Landes Nordrhein-Westfalen zurückgreifen und diese auf den Schlosspark anwenden. Dieser Ansatz wird aber dem Inselcharakter des Schlossparks nicht wirklich gerecht. Es liegt nahe, dass sich Temperatur, Luftfeuchte und weitere Parameter im Tages- und im Jahresverlauf deutlich von der agrarisch-industriell-städtischen Umgebung unterscheiden. Um eine Datenbasis zu schaffen, sind entsprechende Messungen im Schlosspark erforderlich, die für einen Abgleich mit bestehenden Messstationen in der Kölner Bucht herangezogen werden könnten.

Gez. Johannes Botschek und Franziska Lauer-Uckert



## 6. Quellen

Collin, S. (2019): Wie viel Wasser braucht der Wald? Online verfügbar unter: <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/waldboden/wald-und-gesamtwasserhaushalt>, abgerufen am: 06.06.2023.

DWD (2023): Zeitreihen  
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html#buehneTop>

Geologischer Dienst NRW (2010): Bodenkarte der forstlichen Standorterkundung im Maßstab 1:5.000, Verfahren Brühl Forst F0603. Blatt Brühl und Blatt Brühl Ost.

Geologischer Dienst NRW (2022): Die Karte der schutzwürdigen Böden von NRW. 3 Auflage.  
[https://www.gd.nrw.de/wms\\_html/bk50\\_wms/pdf/BFE.pdf](https://www.gd.nrw.de/wms_html/bk50_wms/pdf/BFE.pdf)

Klimaatlas NRW (2023): Klima NRW Monitoring - Umwelt  
<https://www.klimaatlas.nrw.de/index.php/klima-nrw-monitoring/umwelt>

Landwirtschaftskammer NRW (2015): Düngung mit Phosphat, Kali, Magnesium. – Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.  
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/phosphat-kalium-magnesium-pdf.pdf>

LANUV NRW (2019): Daten und Fakten zum Klimawandel Niederrheinische Bucht  
[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/Klima\\_neu\\_2018/LANUV\\_Klima\\_Datenblatt\\_08\\_Niederrheinische\\_Bucht\\_WEB\\_StandSep19.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/Klima_neu_2018/LANUV_Klima_Datenblatt_08_Niederrheinische_Bucht_WEB_StandSep19.pdf)

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) (2019): Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen - Empfehlungen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. [https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/Waldbaukonzept\\_NRW.pdf](https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/Waldbaukonzept_NRW.pdf)

Schulte-Kellinghaus, S., Weller, A., Wolff, I. (2020): Erweiterung der Forstlichen Standortkarte von Nordrhein-Westfalen auf der Grundlage von Klimaprojektionen und zur Entwicklung von Karten zur Eignung von Baumarten und Waldentwicklungstypen – Projektbericht.



**botschek**  
bodenkunde

[https://www.gd.nrw.de/zip/bo\\_dk\\_forst-standortkarten\\_projektbericht-2020.pdf](https://www.gd.nrw.de/zip/bo_dk_forst-standortkarten_projektbericht-2020.pdf)

Tim-Online (2023): Geologische Karte von NRW 1: 100.000, Blatt Köln. WMS-Anwendung.

Tim-Online (2023a): Bodenkarte von NRW 1:50.000, Blatt Köln. WMS-Anwendung.

Tim-Online (2023b): Bodenkarte auf Grundlage der Bodenschätzung, Blatt 5107/22 Brühl Ost und 5107/28 Schwadorf.

Berliner Lithographisches Institut (1930): Preußische Geologische Karte im Maßstab 1:25.000.



## **Anhang 1: Erläuterungen zu den bodenkundlichen Profilbeschreibungen und Bodenkundliche Profilbeschreibungen**

Die Beschreibungen wurden nach den Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) vorgenommen. Sie beinhalten die in der Bodenkunde üblichen Bezeichnungen der Bodenhorizonte, die ihre Eigenschaften den Prozessen der Bodengenese verdanken. Die Bezeichnungen sind wie folgt aufzuschlüsseln:

Haupthorizonte sowie organische und mineralische Ausgangssubstanzen werden durch große Buchstaben (=Hauptsymbole) bezeichnet:

- A** Oberbodenhorizont, oberster mineralischer, mit organischer Substanz vermischter Horizont (A: 1. Buchstabe im Alphabet)
- B** Unterbodenhorizont, mineralischer Horizont unter A- oder E-Horizont, durch Tonmineralneubildung oder Tonverlagerung mit Ton angereichert, durch Eisen- und Aluminium-Freisetzung oder – Verlagerung mit freiem Eisen und Aluminium angereichert oder durch Humusverlagerung mit organischer Substanz angereichert (B: 2. Buchstabe im Alphabet)
- C** Untergrundhorizont, Ausgangsgestein, aus dem der Boden entstanden ist (C: 3. Buchstabe im Alphabet)
- G** Unterbodenhorizont mit Grundwassereinfluss (G von Grundwasser)
- S** Unterbodenhorizont mit Stauwassereinfluss (S von Stauwasser)

Die Haupthorizonte können durch kleine Zusatzbuchstaben näher definiert bzw. in Unter- oder Subhorizonte unterteilt werden. Die in dieser Untersuchung verwendeten, nachgestellten Zusatzbuchstaben zur Charakterisierung pedogener Merkmale haben folgende Bedeutungen:

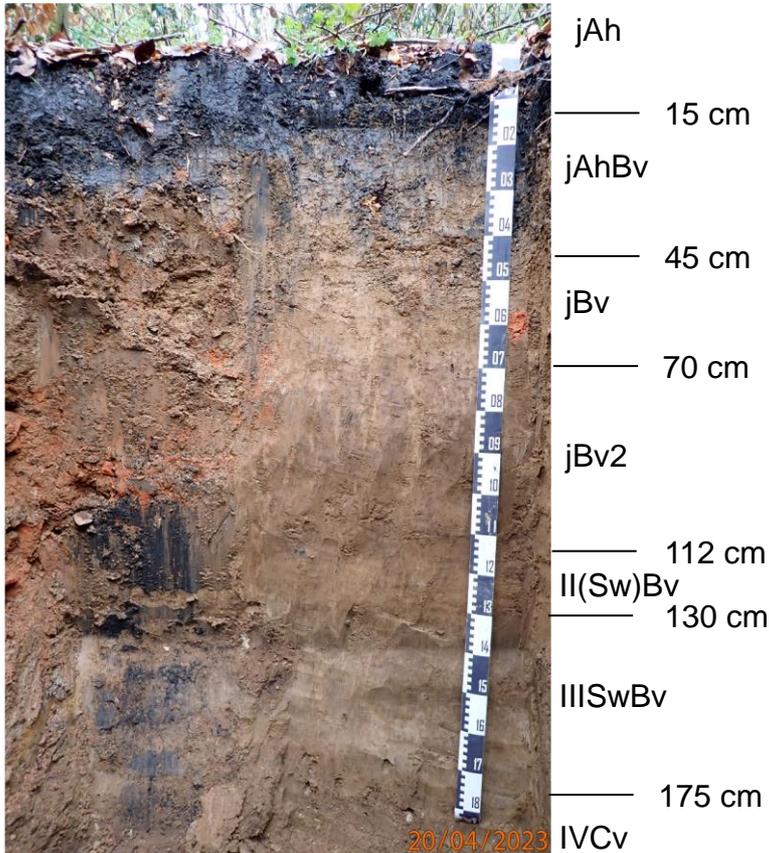
- d** dicht (wasserstauend)
- h** humos
- o** oxidiert
- t** tonangereichert
- v** verwittert, verbraunt, verlehmt
- w** stauwasserleitend

Die dem Hauptsymbol vorangestellten Zusatzsymbole charakterisieren geogene und anthropogene Merkmale:

- j** anthropogen umgelagertes Natursubstrat

**II, III** römische Ziffern werden dem Horizont vorangestellt und beschreiben einen Schichtwechsel.

**Profil 1:**



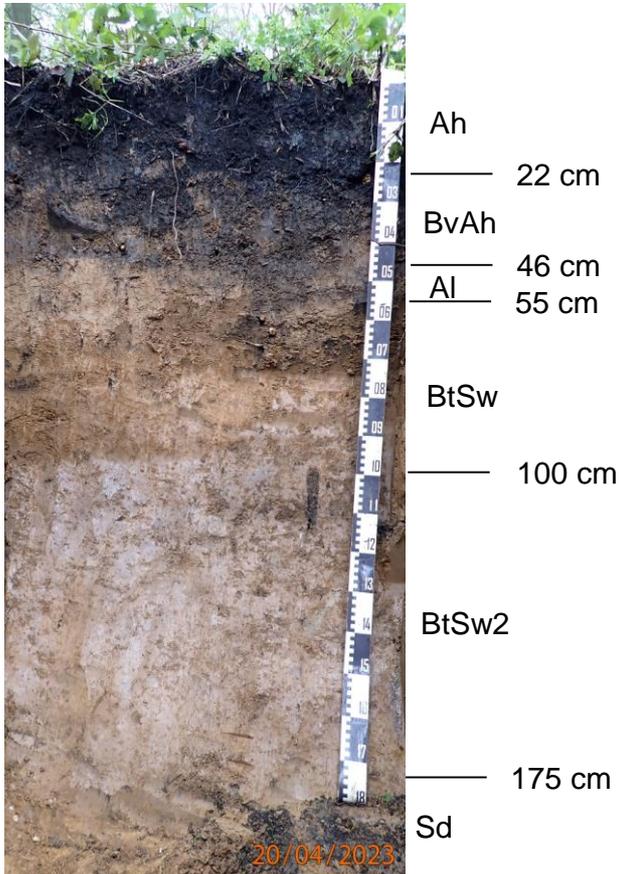
|              |                    |   |
|--------------|--------------------|---|
| <b>jAh</b>   | <b>0 - 15 cm</b>   | schwarzer (7,5YR 2,5/1, feucht), stark humoser, carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; hoher Anteil an Feinwurzeln und geringer Anteil an Grobwurzeln, deutliche und horizontale Horizontgrenze zum |
| <b>jAhBv</b> | <b>15 - 45 cm</b>  | schwarzer (7,5YR 2,5/1) und brauner (7,5YR 5/4), carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge; geringe bis mittlere Lagerungsdichte; feucht; mittlerer Anteil an Feinwurzeln und sehr geringer Anteil an Grobwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum             |
| <b>jBv</b>   | <b>45 - 70 cm</b>  | brauner (7,5Y 5/4, feucht), carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte; feucht; geringer Anteil an Feinwurzeln diffuse Horizontgrenze zum  |
| <b>jBv2</b>  | <b>70 - 112 cm</b> | brauner (7,5Y 4/4, feucht), carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe Lagerungsdichte; feucht; 1 - < 2 % schwarze   |



**botschek**  
bodenkunde

|                 |                     |  |
|-----------------|---------------------|--|
|                 |                     | Flecken (mit einem Durchmesser von 1 mm),<br>diffuse Horizontgrenze zum  |
| <b>II(Sw)Bv</b> | <b>112 - 130 cm</b> | kräftig brauner (7,5Y 4/6, feucht), carbonatfreier,<br>mittel lehmiger Sand; Einzelkorngefüge, hohe<br>Lagerungsdichte; feucht; 1 - < 2 %<br>hellrostfarbene Marmorierung und 1 - < 2 %<br>gebleichte Marmorierung, diffuse<br>Horizontgrenze zum                      |
| <b>IIISwBv</b>  | <b>130 - 175 cm</b> | brauner (7,5Y 5/4, feucht), carbonatfreier, mittel<br>toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe<br>Lagerungsdichte; schwach feucht; 2 - < 5 %<br>hellrostfarbene Marmorierung und 2 - < 5 %<br>gebleichte Marmorierung, deutliche und<br>horizontale Horizontgrenze zum |
| <b>IVCv</b>     | <b>175 - 200 cm</b> | dunkel brauner (7,5Y 3/4, feucht), schwach<br>mittel- und feinkiesiger (Grobbodenanteil 10 %),<br>carbonatfreier, mittel lehmiger Sand;<br>Einzelkorngefüge; hohe Lagerungsdichte; feucht.   |

**Profil 2:**



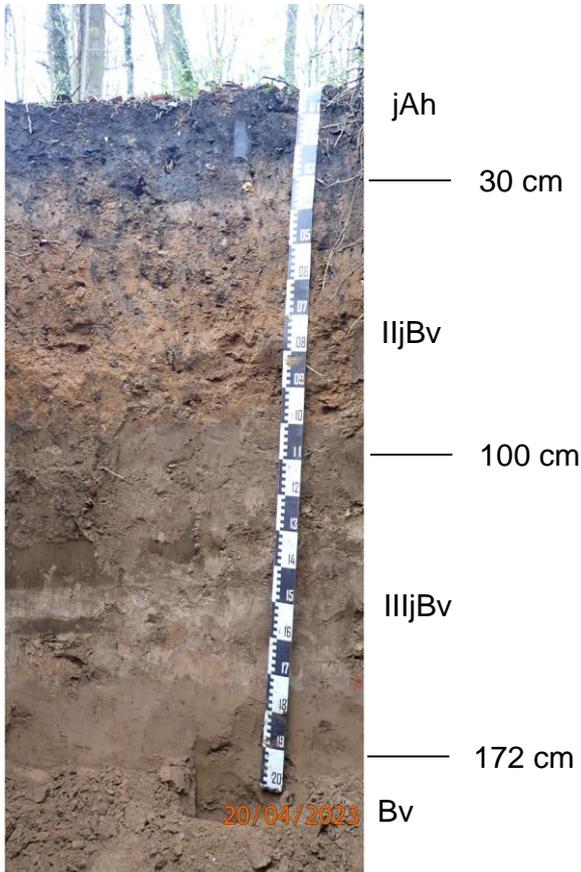
|             |                    |   |
|-------------|--------------------|---|
| <b>Ah</b>   | <b>0 - 22 cm</b>   | schwarzer (7,5YR 2,5/1, feucht), stark humoser, carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Krümelgefüge; geringe Lagerungsdichte; feucht; sehr hoher Anteil an Feinwurzeln und hoher Anteil an Grobwurzeln, deutliche und horizontale Horizontgrenze zum |
| <b>BvAh</b> | <b>22 - 46 cm</b>  | gelblich brauner (10YR 5/4), schwach humoser, carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge; geringe Lagerungsdichte; feucht; mittlerer Anteil an Feinwurzeln und hoher Anteil an Grobwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum                 |
| <b>Al</b>   | <b>46 - 55 cm</b>  | hell gelblich brauner (10YR 6/4, feucht), carbonatfreier, mittel toniger Schluff; Subpolyedergefüge, geringe Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; geringer Anteil an Feinwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum                                      |
| <b>BtSw</b> | <b>55 - 100 cm</b> | brauner (7,5YR 4/4, feucht), carbonatfreier, stark toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe Lagerungsdichte; feucht; 2 - < 5 %  |



**botschek**  
bodenkunde

|              |                      |  |
|--------------|----------------------|--|
|              |                      | hellrostfarbene Marmorierung und 2 - <5 %<br>gebleichte Marmorierung, sehr geringer Anteil<br>an Feinwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum   |
| <b>BtSw2</b> | <b>100 - 175 cm</b>  | brauner (7,5YR 5/3, feucht), carbonatfreier, stark<br>toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe<br>Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; 2 - < 5 %<br>hellrostfarbene Marmorierung und 2 - < 5 %<br>gebleichte Marmorierung, diffuse<br>Horizontgrenze zum |
| <b>Sd</b>    | <b>175 - 220 cm+</b> | gelblich brauner (10YR 5/8, feucht),<br>carbonatfreier, reiner Schluff;<br>Subpolyedergefüge, sehr hohe Lagerungsdichte;<br>feucht; 1 - < 2 % hellrostfarbene Marmorierung<br>und 1 - < 2 % gebleichte Marmorierung.   |

**Profil 3:**



|               |                     |  |
|---------------|---------------------|--|
| <b>jAh</b>    | <b>0 - 30 cm</b>    | schwarzer (7,5YR 2,5/1, feucht), stark humoser, carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Krümelgefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht; sehr hoher Anteil an Feinwurzeln und mittlerer Anteil an Grobwurzeln, deutliche Horizontgrenze zum  |
| <b>IIjBv</b>  | <b>30 - 100 cm</b>  | kräftig brauner (7,5YR 5/6), schwach humoser, schwach mittel- und grobkiesiger (Grobbodenanteil 10 %), carbonatfreier, schwach lehmiger Sand; Subpolyedergefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; sehr geringer Anteil an Feinwurzeln und mittlerer Anteil an Grobwurzeln, deutliche und wellige Horizontgrenze zum |
| <b>IIIjBv</b> | <b>100 - 172 cm</b> | hellbrauner (7,5YR 6/4, feucht) und brauner (7,5YR 4/4), carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte; feucht, 1 - < 2 % dunkelrostfarbene Flecken (mit einem Durchmesser von 2 mm) und 2 - < 5 % gebleichte Flecken (mit einem Durchmesser von 8 cm);                                       |



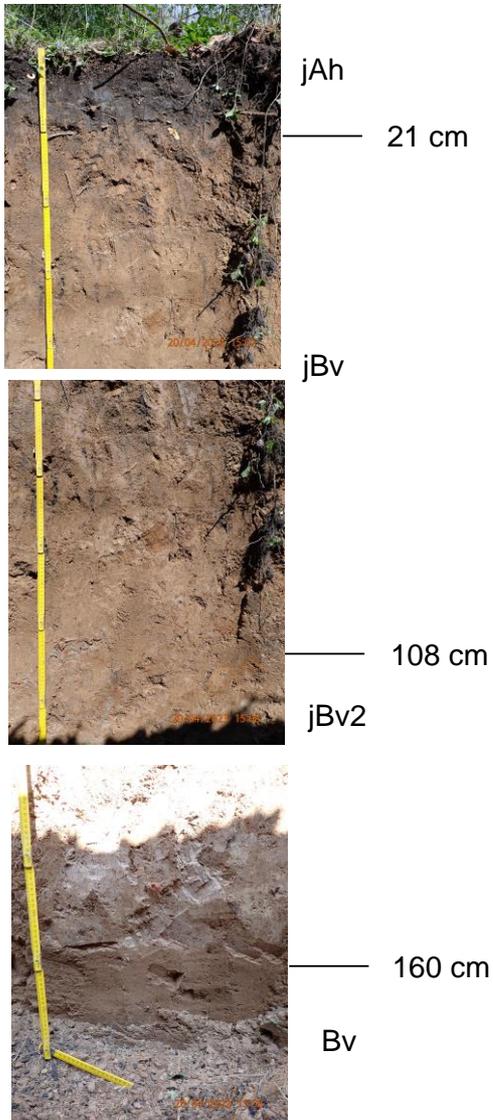
**botschek**  
bodenkunde

geringer Anteil an Fein- und Grobwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum

**Bv**      **172 - 300 cm+**      brauner (7,5YR 4/4, feucht), carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe Lagerungsdichte; feucht; < 1 % schwarze Flecken (mit einem Durchmesser von 1 mm), sehr geringer Anteil an Feinwurzeln.



**Profil 3.2:**



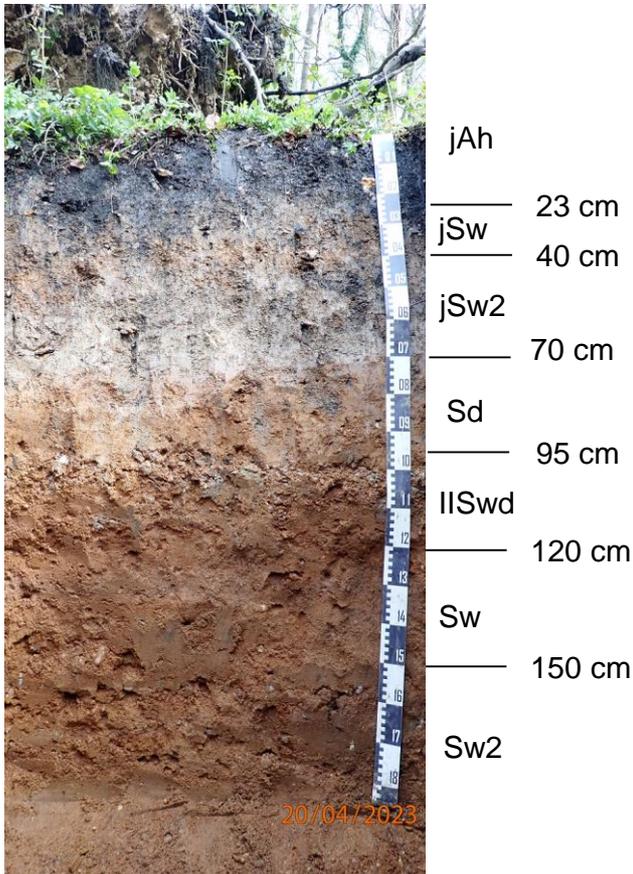
|            |                    |   |
|------------|--------------------|---|
| <b>jAh</b> | <b>0 - 21 cm</b>   | schwarzer (7,5YR 2,5/1, feucht), stark humoser, carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Krümelgefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht; sehr hoher Anteil an Feinwurzeln und mittlerer Anteil an Grobwurzeln, deutliche und horizontale Horizontgrenze zum   |
| <b>jBv</b> | <b>21 - 108 cm</b> | brauner (7,5YR 4/4), sehr schwach humoser, carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Subpolyederggefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht; 1 - < 2 % hellrostfarbene Flecken (mit einem Durchmesser von 2 mm), mittlerer Anteil an Feinwurzeln und sehr geringer Anteil an Grobwurzeln, diffuse und wellige Horizontgrenze zum |



**botschek**  
bodenkunde

|             |                      |  |
|-------------|----------------------|--|
| <b>jBv2</b> | <b>108 - 160 cm</b>  | kräftig brauner (7,5YR 4/6, feucht),<br>carbonatfreier, schwach toniger Schluff;<br>Subpolyedergefüge, mittlere Lagerungsdichte;<br>feucht, 2 - < 5 % hellrostfarbene Flecken (mit<br>einem Durchmesser von 2 mm) und 1 - < 2 %<br>gebleichte Flecken (mit einem Durchmesser von<br>5 cm; nach unten zunehmend); geringer Anteil<br>an Feinwurzeln und sehr geringer Anteil an<br>Grobwurzeln, diffuse und horizontale<br>Horizontgrenze zum |
| <b>Bv</b>   | <b>160 - 180 cm+</b> | brauner (7,5YR 4/4, feucht), carbonatfreier,<br>schwach toniger Schluff; Subpolyedergefüge,<br>mittlere Lagerungsdichte; feucht; sehr geringer<br>Anteil an Feinwurzeln.   |

**Profil 4:**



|             |                   |  |
|-------------|-------------------|--|
| <b>jAh</b>  | <b>0 - 23 cm</b>  | schwarzer (7,5YR 2,5/1, feucht), stark humoser, carbonatfreier, schwach toniger Schluff (mit Ziegelbruchstücken); Krümelgefüge; mittlere Lagerungsdichte; feucht; sehr hoher Anteil an Feinwurzeln und mittlerer Anteil an Grobwurzeln, deutliche und wellige Horizontgrenze zum   |
| <b>jSw</b>  | <b>23 - 40 cm</b> | brauner (7,5YR 4/2), carbonatfreier, mittel toniger Schluff (mit Ziegelbruchstücken); Subpolyederggefüge; mittlere bis hohe Lagerungsdichte; feucht; 2 - < 5 % hellrostfarbene Flecken (mit einem Durchmesser von 1 cm); mittlerer Anteil an Feinwurzeln und sehr geringer Anteil an Grobwurzeln, diffuse Horizontgrenze zum |
| <b>jSw2</b> | <b>40 - 70 cm</b> | grauer (7,5YR 5/1, feucht), carbonatfreier, mittel toniger Schluff (mit Ziegelbruchstücken); Subpolyederggefüge, mittlere Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht, 5 - < 10 % hellrostfarbenedes Mycelgeflecht; geringer Anteil an Feinwurzeln und mittlerer Anteil an   |



|              |                      |  |
|--------------|----------------------|--|
|              |                      | Grobwurzeln, diffuse und wellige Horizontgrenze zum  |
| <b>Sd</b>    | <b>70 - 95 cm</b>    | brauner (7,5YR 4/4, feucht), carbonatfreier, schwach toniger Schluff; Subpolyedergefüge, hohe Lagerungsdichte; sehr feucht; 5 - < 10 % hellrostfarbenes Mycelgeflecht und 1 - < 2 % gebleichte Flecken (mit einem Durchmesser von 2 cm), deutliche und horizontale Horizontgrenze zum  |
| <b>IISwd</b> | <b>95 - 120 cm</b>   | rötlich brauner (5YR 5/4, feucht), extrem stark kiesiger und grusiger (Grobbodenanteil 85 %), carbonatfreier, schwach schluffiger Sand; Einzelkorngefüge, hohe bis sehr hohe Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; 2 - < 5 % hellrostfarbene Flecken (mit einem Durchmesser von 3 mm) und 1 - < 2 % gebleichte Flecken (mit einem Durchmesser von 2 cm), deutliche und horizontale Horizontgrenze zum |
| <b>Sw</b>    | <b>120 - 150 cm</b>  | gelblich roter (5YR 4/6, feucht), mittel fein- und mittelkiesiger (Grobbodenanteil 15 %), carbonatfreier, reiner Sand; Einzelkorngefüge, mittlere Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; 2 - < 5 % hellrostfarbene Marmorierung und < 1 % gebleichte Marmorierung, diffuse Horizontgrenze zum  |
| <b>Sw2</b>   | <b>150 - 190 cm+</b> | rötlich brauner (5YR 4/4, feucht), carbonatfreier, reiner Schluff; Einzelkorngefüge, mittlere Lagerungsdichte; feucht bis sehr feucht; 2 - < 5 % hellrostfarbene Marmorierung und < 1 % gebleichte Marmorierung.   |



## Anhang 2: Laborergebnisse

Tabelle A1: Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium in den untersuchten Profilen

| Profil      | Horizont | cm        | pH  | Humus<br>% | Nt<br>% | C/N  | P2O5 | K2O | Mg<br>mg/100g |
|-------------|----------|-----------|-----|------------|---------|------|------|-----|---------------|
| Profil 1    | jAh      | 0-15      | 5,9 | n.b.       | n.b.    | -    | <1   | 3   | 11            |
|             | jAhBv    | 15-45     | 5,8 | 1,1        | < 0,05  | 22,0 | <1   | 2   | 7             |
|             | jBv      | 45-70     | 4,1 | -          | -       | -    | <1   | 3   | 5             |
|             | jBv2     | 70-112    | 4,2 | -          | -       | -    | 2    | 5   | 15            |
|             | II(Sw)Bv | 112-130   | 4,5 | -          | -       | -    | 4    | 4   | 15            |
|             | IIISwBv  | 130-175   | 4,7 | -          | -       | -    | 6    | 7   | 31            |
|             | IVCv     | 175-250+  | 4,6 | -          | -       | -    | 2    | 3   | 11            |
| Profil 2    | Ah       | 0-22      | 5,0 | 9,0        | 0,32    | 28,0 | 7    | 14  | 15            |
|             | BvAh     | 22-46     | 5,5 | 3,8        | 0,17    | 21,8 | 13   | 4   | 8             |
|             | Al       | 46-55     | 4,4 | -          | -       | -    | 5    | 3   | 4             |
|             | BtSw     | 55-100    | 3,9 | -          | -       | -    | 2    | 6   | 3             |
|             | BtSw2    | 100-175   | 4,4 | -          | -       | -    | 5    | 9   | 10            |
|             | Sd       | 175-220+  | 4,8 | -          | -       | -    | 3    | 7   | 15            |
| Profil 3    | jAh      | 0-30      | 6,2 | 8,9        | 0,39    | 22,6 | 10   | 15  | 27            |
|             | jBv      | 30-100    | 6,2 | -          | -       | -    | 4    | 3   | 6             |
|             | jBv2     | 100-172   | 4,4 | -          | -       | -    | 6    | 3   | 11            |
|             | Bv       | 172-300 + | 4,3 | -          | -       | -    | 5    | 3   | 11            |
| Profil 3.2. | jAh      | 0-21      | 6,2 | 8,9        | 0,39    | 22,6 | 10   | 15  | 27            |
|             | jBv      | 21-108    | 6,1 | -          | -       | -    | 5    | 4   | 7             |
|             | jBv2     | 108-160   | 4,2 | -          | -       | -    | 6    | 4   | 10            |
|             | Bv       | 160-180+  | 4,3 | -          | -       | -    | 5    | 3   | 11            |
| Profil 4    | jAh      | 0-23      | 5,8 | 3,9        | 0,17    | 23,2 | 2    | 6   | 11            |
|             | jSw      | 23-40     | 6,0 | -          | -       | -    | 1    | 5   | 9             |
|             | jSw2     | 40-70     | 5,8 | -          | -       | -    | 1    | 5   | 14            |
|             | Sd       | 70-95     | 4,2 | -          | -       | -    | 5    | 5   | 10            |
|             | IIISwd   | 95-120    | 4,1 | -          | -       | -    | 4    | 4   | 10            |
|             | Sw       | 120-150   | 4,0 | -          | -       | -    | 3    | 3   | 6             |
|             | Sw2      | 150-190+  | 4,1 | -          | -       | -    | 4    | 3   | 5             |



Tabelle A2: Einordnung der Gehaltsklassen des pH-Wertes und der pflanzenverfügbaren Nährstoffe (gemäß Landwirtschaftskammer NRW 2015)

| Profil      | Horizont | cm        | Gehaltsklassen |                               |                  |    |
|-------------|----------|-----------|----------------|-------------------------------|------------------|----|
|             |          |           | pH             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Mg |
| Profil 1    | jAh      | 0-15      | B              | A                             | A                | E  |
|             | jAhBv    | 15-45     | A              | A                             | A                | D  |
|             | jBv      | 45-70     | A              | A                             | A                | C  |
|             | jBv2     | 70-112    | A              | A                             | B                | E  |
|             | II(Sw)Bv | 112-130   | A              | B                             | B                | E  |
|             | IIISwBv  | 130-175   | A              | B                             | B                | E  |
|             | IVCv     | 175-250+  | A              | A                             | A                | E  |
| Profil 2    | Ah       | 0-22      | B              | B                             | C                | E  |
|             | BvAh     | 22-46     | A              | C                             | B                | D  |
|             | Al       | 46-55     | A              | B                             | A                | C  |
|             | BtSw     | 55-100    | A              | A                             | B                | B  |
|             | BtSw2    | 100-175   | A              | B                             | B                | D  |
|             | Sd       | 175-220+  | A              | A                             | B                | E  |
| Profil 3    | jAh      | 0-30      | C              | C                             | C                | E  |
|             | jBv      | 30-100    | E              | B                             | A                | D  |
|             | jBv2     | 100-172   | A              | B                             | A                | E  |
|             | Bv       | 172-300 + | A              | B                             | A                | E  |
| Profil 3.2. | jAh      | 0-21      | C              | C                             | C                | E  |
|             | jBv      | 21-108    | C              | B                             | B                | D  |
|             | jBv2     | 108-160   | A              | B                             | B                | D  |
|             | Bv       | 160-180+  | A              | B                             | A                | E  |
| Profil 4    | jAh      | 0-23      | B              | A                             | B                | E  |
|             | jSw      | 23-40     | B              | A                             | B                | D  |
|             | jSw2     | 40-70     | B              | A                             | B                | E  |
|             | Sd       | 70-95     | A              | B                             | B                | D  |
|             | IIISwd   | 95-120    | A              | B                             | B                | E  |
|             | Sw       | 120-150   | A              | B                             | B                | D  |
|             | Sw2      | 150-190+  | A              | B                             | B                | D  |