Josef, Hörmann

# Härtemessung von Fußballrasensystemen

-

Anwendung des Clegg Impact Soil Testers zur Anpassung der Pflegemaßnahmen für die Vereinheitlichung der Spielfeldqualität sowie zur Kostenreduktion

**Abschlussarbeit**

Landwirtschaftliche Fachschule, Warth Österreich

Greenkeeper Akademie

**Betreuung: Dr. Selina Thanheiser**

St. Pölten, Januar 2024

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... 4

Tabellenverzeichnis ..... 6

Danksagung ..... 8

1 Einleitung ..... 9

2 Forschungsfragen und Zielsetzung ..... 11

3 Methodik ..... 12

3.1 Felduntersuchungen ..... 13

3.1.1 Probenahme ..... 19

3.1.2 Feuchtemessung Rasentragschicht ..... 20

3.1.3 Bestimmung der Höhe der Rasengräser ..... 20

3.1.4 Härtemessung mit dem Clegg Impact Soil Tester ..... 21

3.2 Laboruntersuchungen ..... 25

3.2.1 Bestimmung des Wassergehalts ..... 25

3.2.1 Bestimmung der Korngrößenverteilung ..... 26

3.2.3 Bestimmung des Anteils an organischer Substanz ..... 29

4 Ergebnisse ..... 30

4.1 Ergebnisse der Felduntersuchungen ..... 31

4.1.1 Wassergehalt der Rasentragschicht ..... 31

4.1.2 Höhe der Rasengräser ..... 32

4.1.3 Härtemessung ..... 32

4.2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen ..... 38

4.2.1 Wassergehalt ..... 38

4.2.2 Korngrößenverteilung ..... 38

4.2.3 Organische Substanz ..... 39

5 Wirtschaftlicher Teil: Anpassung der Pflegemaßnahmen ..... 40

6 Fazit ..... 46

Zusammenfassung ..... 49
Anhang ..... 50
Literaturverzeichnis ..... I
Normenverzeichnis ..... III

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtsfotographie - Stadion Hybridrasenspielfeld Fibersand .... 14

Abbildung 2: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 1..... 15

Abbildung 3: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 2..... 16

Abbildung 4: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 3..... 17

Abbildung 5: Übersichtsfotographie - Kunstrasenspielfeld 1 (Gummigranulat) .... 18

Abbildung 6: Übersichtsfotographie - Kunstrasenspielfeld 2 (Korkgranulat)..... 19

Abbildung 7: TDR-Sonde – Bestimmung des Wassergehalts ..... 20

Abbildung 8: Prism Gauge - Bestimmung der Rasenhöhe..... 21

Abbildung 9: Clegg Impact Soil Tester 2,25 kg (Hersteller: SD-Instrumentation, Modell: Store blue) ..... 22

Abbildung 10: Lageskizze der Messpunkte für das Stadionspielfeld (Fibersand) und den Naturrasen 1 (selbst erstellt) ..... 24

Abbildung 12: Lageskizze der Messpunkte für das Naturrasenspielfeld 2 und 3 (selbst erstellt)..... 24

Abbildung 14: Lageskizze der Messpunkte Kunstrasenspielfeld 1 (Gummi) und 2 (Kork) (selbst erstellt) ..... 25

Abbildung 16: Clegg Impact Value 5 (CIV5), Clegg Impact Soil Tester (CIST) 2,25 kg Untersuchung am 24.10.23 | Naturrasen 1 Untersuchung am 1.12.23..... 33

Abbildung 17: Beurteilung der Härtewerte (Clegg Impact Values - CIV) ..... 34

Abbildung 15: Vergleich der Härtewerte beider Kunstrasenspielfelder (links, Gummigranulat / rechts Korkgranulat)..... 36

Abbildung 19: Stadion - Fibersand - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (36%). ..... 40

Abbildung 20: Naturrasenspielfeld 1 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (22%). ..... 41

Abbildung 21: Naturrasenspielfeld 2 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (8%). ..... 42

Abbildung 22: Naturrasenspielfeld 3 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (30%). ..... 42

Abbildung 23: Graphische Darstellung der prozentual zu bearbeitenden Fläche je Spielfeld (links), Spielfeldspezifische Kosteneinsparung (rechts) ..... 46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte der Ungleichförmigkeitszahl Cu nach EN ISO 14688-2 (2004) ..... 27

Tabelle 2: Beurteilung der geometrischen Form der Körnungslinie nach Heibaum (2007) ..... 28

Tabelle 3: Übersicht über die Feld- und Laboruntersuchungen für das Hybridrasen- und die drei untersuchten Naturrasenspielfelder ..... 30

Tabelle 4: Höhe der Rasengräser und Clegg Impact Value (CIV1) und (CIV5) .... 32

Tabelle 5: Spielfeldspezifischen Mittelwerte der Härtemessung (Gm) ..... 33

Tabelle 6: Bewertung der Messergebnisse nach Hersteller ..... 34

Tabelle 7: Spielfeldspezifische Spannweite der Härtewerte CIV5 [Gm] CIST 2,25 kg ..... 37

Tabelle 8: Wassergehalt gravimetrisch (M.-%) ..... 38

Tabelle 9: Krümmungszahl und Ungleichförmigkeitszahl ..... 39

Tabelle 10: Anteil an organischer Substanz ..... 39

Tabelle 11: Übersicht über den Anteil der zu bearbeitenden Messpunktflächen je Spielfeld ..... 43

Tabelle 12: Auflistung der Einzelpreise einer Aerifiziermaßnahme inkl. Mannstunden und Spoons ..... 43

Tabelle 13: Beispiel - Kostenaufstellung Spoonbestellung (Oktober 2023) ..... 44

**Abstract**

Measuring the hardness of sports turf surfaces is currently not part of the standard scope of investigations carried out by expert offices in German-speaking countries that are active in this field. Since the hardness of a soccer pitch influences the playing behavior of soccer players with regard to the unpredictability of ball rebound and is decisive for the risk of injury, it is important to quantify the hardness of soccer pitches and to assess the parameters that influence it. In addition, the question arises to what extent the different turf systems (natural, hybrid and artificial turf) differ from each other in terms of hardness and to what extent this new method can be applied in practice to improve the uniformity of the pitch surface and at the same time save maintenance costs. The aim of this work is to classify the measurement results with the Clegg Impact Soil Tester (CIST) for different soccer turf systems and to apply the method in practice to standardize the pitch quality. For this purpose, a hybrid turf pitch with fiber sand, three differently aged natural grass pitches and two differently filled artificial turf pitches (rubber and cork granules) were examined. It was found that the hardness of the pitches and turf systems tested differed significantly from one another, and clear differences in hardness were also found within the various systems. The results indicate that age and the associated proportion of organic matter have a significant influence on the hardness of a pitch. This work shows that the use of hardness measurement in practice can lead to considerable cost savings in maintenance and at the same time offers the possibility of harmonizing pitch quality, regarding the hardness.

## Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um meinen aufrichtigen Dank an all diejenigen auszudrücken, die mich während des Schreibprozesses meiner Abschlussarbeit unterstützt und inspiriert haben.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Betreuungsperson, Frau Dr. Selina Thanheiser. Ihre fachliche Expertise, ihre Geduld und ihre wertvollen Ratschläge waren von unschätzbarem Wert für den Erfolg meiner Arbeit. Ich bin dankbar für die Unterstützung und die konstruktive Kritik, die sie mir entgegengebracht hat.

# 1 Einleitung

Die Härte der verschiedenen Sportrasensysteme ist hinsichtlich der Vereinheitlichung, um eine konstante Qualität auf einem Spielfeld zu haben, unvermeidbar. Die einheitliche Qualität eines Spielfeldes ist für verschiedenste Punkte, wie zum Beispiel die Rasenqualität, das Verletzungsrisiko sowie das Ballsprung- und Ballrollverhalten wichtig. Um die Härte bestimmen zu können kann Sie mit dem CIegg Impact Soil Test (CIST) exakt gemessen werden.

Der CIST wurde in den späten 1960er Jahren von Dr. Baden Clegg an der Fakultät für Bauingenieurwesen der University of Western Australia entwickelt. Die Messung der Härte erfolgt mit einem Präzisionsbeschleunigungssensor, der an einem (Verdichtungs-) Hammer angebracht ist. Gemessen wird der Wert ($G_{max}$), das heißt die maximale negative Beschleunigung beim Auftreffen des Hammers auf die Prüfoberfläche. Er bezieht sich auf die Tragfähigkeit beziehungsweise Steifheit des Bodens (Woodward, Woodside 2004, S.14). Heute sind fünf Modelle des Clegg Impact Soil Testers erhältlich. Jene mit einem Fallgewicht von 20 kg, 10 kg und 4,5 kg kommen hauptsächlich im Straßenbau zum Einsatz. Für Sportoberflächen, wie Golfgreens, Fußballfelder, Tennisplätze, Cricket- und Rugbyspielfelder werden leichtere Modelle wie das 2,25 kg oder das 0,5 kg Modell verwendet. Der Test von Naturrasen und Rasen mit Synthetikanteil erfolgt normalerweise mit dem 2,25 kg Modell (SD-Instrumentation 2014).

Hybridrasensysteme sollen ebenso wie Kunstrasensysteme zu einer einheitlichen Spielfeldqualität beitragen und die Spieleigenschaften wie, erwähnt das Ballroll- und Ballabsprungverhalten verbessern, den Kraftabbau fördern und eine multifunktionelle Sportinfrastruktur gewährleisten (Desso Sports Systems 2017). Sie sind nötig, um auch im Winter eine entsprechende Spielfeldqualität gewährleisten zu können. Zudem sind Hybridrasensysteme und Kunstrasensysteme im Herbst und Frühjahr, bei hohen Niederschlägen widerstandsfähiger (Schaal 2017). Die Untersuchung der Härte von verschiedenen Fußballrasensystemen, ist vor dem Hintergrund des erhöhten Verletzungsrisikos auf zu harten oder zu weichen Sportbelägen relevant.

Bereits seit 2018 ist die Härtemessung im Arbeitsbuch für das Greenkeeping von der deutschen Fußballliga (DFL) in die Statuen mit aufgenommen. Vorgegeben sind 70 Messpunkte je Spielfeld, wobei insgesamt bei der ersten Messung je Messpunkt ein Wert von maximal 100 Gm erreicht werden darf (DFL, 2018).

Im Handbuch für Rasenqualität der österreichischen Fußballbundesliga aus diesem Jahr (2023) ist die Härtemessung ebenfalls neu mit aufgenommen worden. Vorgegeben sind hier sechs Messstellen, die sich nach der Lage (Nordseite, Südseite) auf dem Spielfeld orientieren. Ein einfacher Vergleich der maximalen Beschattung zwischen dem Stadionspielfeld am Campus in St. Pölten und beispielsweise dem Stadionspielfeld von Rapid Wien zeigt eine Beschattung von ca. 20 Meter der nördlichen Spielfeldhälfte im Winter in St. Pölten und eine maximale Beschattung von ca. 50 m im Rapidstadion in Wien. Hieran zeigt sich, dass eine Vereinheitlichung der Messpunktverteilung, die sich aufgrund der Beschattung an den Himmelsrichtungen orientiert, nicht zielführend sein kann, da die Beschattung eines Spielfelds vom Standort und der Umgebung (Gebirge, Gebäude, Vegetation, zum Beispiel Waldflächen) sowie von der Lage der Tribünen und vom Stadiondach abhängig und daher immer unterschiedlich ist. Davon abgesehen, gibt die aktuell gültige europäische Norm zur Härtemessung mindestens 20 Messpunkte für eine Fläche von 5.000 m² vor. Die aktuell gültigen Vorgaben zur Härtemessung der österreichischen Fußballbundesliga entsprechen somit nicht der für die Messung vorgesehenen aktuell gültigen europäischen Norm DIN EN 14954 (2005). Darüber hinaus ist nicht angegeben, wie viele Messungen je Messpunkt nötig sind, welcher der zu interpretierende Messwert ist und wie hoch die Messwerte maximal bzw. wie niedrig die Messwerte mindestens sein dürfen. Letzteres kann damit begründet werden, dass es noch keine aktuellen Studien bezüglich der Härtemessung mit dem CIST und der Gesundheit der Fußballspieldenden gibt. Zur Anzahl der Messungen je Messpunkt wären von der Norm DIN EN 14954 (2005) fünf Messungen je Messpunkt vorgeschrieben.

In den USA ist die Messung der Härte von Sportoberflächen in der ASTM 1702-96 (2002) (Standard Test Method for Measuring Shock-Attenuation Characteristics of Natural Playing Surface Systems Using Lightweight Portable Apparatus), vorgeschrieben. Es handelt sich dabei um ein Standardtestverfahren zur Messung

von Stoßdämpfungseigenschaften von natürlichen Spieloberflächensystemen unter Verwendung von leichten tragbaren Geräten. Gemäß der Norm ist ein Fallgewicht von 2,25 kg ± 0,05 kg und eine Fallhöhe 45,7 cm ± 0,3 cm vorgegeben. In der Praxis ist je Messpunkt eine Messung durchzuführen. In der ASTM sind vier Messpunkte für eine homogene Untersuchungsfläche vorgegeben.

Aus den unterschiedlichen Vorgaben und Anwendungen geht hervor, dass das Messverfahren an sich noch nicht vollumfänglich verstanden wurde. Eine Vergleichbarkeit der Messungen ist bei den Abweichungen vom Vorgehen (z.B. Anzahl der Messungen je Messpunkt) nicht möglich. Außerdem fehlen Bewertungsrichtlinien, die auf Studien basieren, die tatsächlich auch mit Fußballspielenden unter medizinischen Gesichtspunkten durchgeführt worden sind, um die Messwerte entsprechend interpretieren zu können.

Im Zuge der Forschungsarbeit wurde der Vorstand der österreichischen Fußballbundesliga (ÖFB) auf die fehlenden bzw. fehlerhaften Angaben per E-Mail hingewiesen.

## 2 Forschungsfragen und Zielsetzung

Der mit dem CIST gemessene Clegg Impact Value (CIV) korreliert in Abhängigkeit des Materials mit der sogenannten *California Bearing Ratio* (CBR) und ist somit allgemein als Messwert für die Bodenfestigkeit anerkannt. Im Vergleich zur Ermittlung des CBR-Wertes bietet der CIST eine schnelle und kostengünstige in situ Alternative für die Messung der Härte. Er wird immer häufiger für die Prüfung von Sportoberflächen eingesetzt (Al Amoudi et al. 2002, S.512).

Da dieses Gerät zunächst hauptsächlich im Straßenbau zum Einsatz kam, gibt es nur wenige Studien über seinen Einsatz auf Sportoberflächen. Dies könnte der Grund dafür sein, weshalb gewisse methodische Uneinigkeiten bestehen.

Diese Arbeit widmet sich daher den folgenden Fragestellungen:

1. In welchem Ausmaß unterscheiden sich die verschiedenen Systeme (Hybridrasen, Naturrasen und Kunstrasen) in der Härte und wie einheitlich ist die Härte eines jeden Systems?

2. Wie kann die neue Methode der Härtemessung von Fußballspielfeldern ist der Praxis angewandt werden, um die Einheitlichkeit der Spielfeldqualität zu erhöhen und gleichzeitig die Kosten für die Pflege zu senken?

Das Ziel der Arbeit ist eine Einstufung beziehungsweise Beurteilung der Messergebnisse mit dem CIST für unterschiedliche Fußballrasensysteme sowie die Anwendung der Härtemessung in der Praxis zur Vereinheitlichung der Spielfeldqualität.

Es wurde hierfür ein Hybridrasenspielfeld (Fibersand), drei Naturrasenspielfelder (eines neu errichtet, eines saniert und ein 30 Jahre altes Spielfeld) sowie zwei Kunstrasenspielfelder (eines korkbefüllt und eines gummibefüllt) gemessen und untersucht.

Das methodische Vorgehen orientiert sich an den Untersuchungen von Frau Dr. Selina Thanheiser, die in ihrer Abschlussarbeit eine erste Beurteilungshilfe für die Härtemessung unterschiedlicher Fußballrasensysteme (Hybrid- und Naturrasen) entwickelt hat. Die Ausführungen zur Methodik sind teils und mit Einverständins der Autorin übernommen und werden entsprechend zitiert. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Ergebnisse miteinander zu vergleichen und auf die bereits bestehende Forschungsarbeit aufzubauen bzw. daran anzuknüpfen.

## 3 Methodik

Um zu untersuchen, wie groß die Unterschiede in der Spielfeldhärte zwischen Naturrasen-, Hybridrasen- und Kunstrasensystemen sind und inwieweit sich die verschiedenen Kunstrasensysteme sowie unterschiedlich alte Naturrasenplätze bezüglich der Härte unterscheiden, wurden drei unterschiedlich alte Naturrasenspielfelder, zwei Kunstrasenspielfelder und ein Hybridrasenspielfeld gemessen.

Das Naturrasenspielfeld 1 war zum Zeitpunkt der Messungen einen Monat alt, war unbearbeitet und unbespielt. Das Naturrasenspielfeld 2 ist über 30 Jahre alt. Das Naturrasenspielfeld 3 war zum Zeitpunkt der Messungen zwei Monate alt. Das

geprüfte Kunstrasenspielfeld 1 ist ein gummigranulatbefüllter Kunstrasenplatz, das Kunstrasenspielfeld 2 ein korkbefüllter Kunstrasenplatz.

Zudem sind spielfeldspezifische Parameter während der Felduntersuchungen wie die Rasenhöhe, die Mächtigkeit der Filzschicht der volumetrische Wassergehalt mittels TDR-Sonde, die Bodenfestigkeit mit dem Penetrometer gemessen worden.

Für die Laboruntersuchungen wurde je Spielfeldviertel eine Probe aus der Rasentragschicht entnommen. Je Spielfeld wurde aus den vier entnommenen Proben eine Mischprobe hergestellt.

Einsparungsmaßnahmen auf Basis der Untersuchungen zu erstellen, wurden im Rahmen der Arbeit sowohl Lohnkosten auf Stundenbasis als auch Materialkosten zusammengetragen.

### 3.1 Felduntersuchungen

Die Felduntersuchungen fanden am 24.10.2023 und am 1.12.2023 statt. Am 24.12.2023 wurden die Naturrasenplätze 2 und 3 sowie das Hybridrasenspielfeld und die beiden Kunstrasenspielfelder 1 und 2 gemessen. Am 1.12.2023 wurde der Naturrasenplatz 1 untersucht.

Zunächst werden die einzelnen und untersuchten Spielfelder kurz vorgestellt. Von jedem Spielfeld ist im folgenden Text eine Übersichtsfotographie sowie eine kurze Beschreibung enthalten.

Abbildung 1 zeigt das Stadionspielfeld. Es handelt sich um ein Hybridrasenspielfeld mit einer Rasentragschicht aus Fibersand. Unter Hybridrasensystemen sind grundsätzlich drei Typen zu unterscheiden: Jene, die sowohl eine Armierung der Tragschicht als auch der Rasennarbe besitzen, wie zum Beispiel das GrassMaster System. Jene mit einer Armierung der Tragschicht wie beispielsweise der FiberSand oder das Produkt FS Pro und Systeme mit einer Armierung der Rasennarbe wie das CombiGrass System (Baader 2015). Der FiberSand ist ein Konzentrat, mit dem die Rasentragschicht eines bestehenden Spielfeldes verstärkt werden kann. Die Wurzeln der Gräser verwachsen mit den Kunststofffasern, wodurch die Grasnarbe verstärkt wird. Im Vergleich zu den anderen beschriebenen Systemen besteht bei den Fibersystemen ein hundertprozentiger Naturrasen (EuroSportsTurf 2017).

Abbildung 1: Übersichtsfotographie - Stadion Hybridrasenspielfeld Fibersand

Zum Zeitpunkt der Messungen bestand das aktuelle System ca. 2,5 Jahre. Grundsätzlich muss ein solches Spielfeld ca. alle zwei Jahre, in etwa zwei Zentimeter, abgefräst werden. Der Grund hierfür ist, dass sich im oberen Rasentragschichtbereich organisches Material ansammelt, das insbesondere den Lufthaushalt aber auch die Wasserdurchlässigkeit negativ beeinflusst. Nach dem Abfräsen wird der Rasen neu angesät. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen dieses Spielfeldes war das Abfräsen noch nicht erfolgt. Das Spielfeld wird multifunktional genutzt, unter anderem sowohl von der Herrenkampfmannschaft als auch von der Frauenkampfmannschaft, teilweise von den Nationalmannschaften, als Triathlonwechselzone oder auch als Footballspielfeld. Von allen untersuchten Spielfeldern wird das Spielfeld im Stadion am wenigsten benutzt.

In der folgenden Abbildung ist der Naturrasenplatz 1 zu sehen.

Abbildung 2: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 1

Dieser ist zum Zeitpunkt der Messungen komplett unbenutzt gewesen und wurde noch nie bespielt. Zudem wurden bis zu diesem Zeitpunkt auch noch keine Pflegemaßnahmen auf dem Spielfeld durchgeführt. Entstanden ist der Platz durch das Abfräsen einer bestehenden, über 30 Jahre alten Rasentragschicht, dem Einbringen von Schlitzdrainagen und das Aufbringen von Sandmaterial sowie ein anschließendes Verzahnen und das Verlegen von Rollrasensoden.

In der folgenden Abbildung ist das Naturrasenspielfeld 2 zu sehen.

Abbildung 3: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 2

Ebenso wie der Naturrasenplatz 1 ist das Naturrasenspielfeld 2 über 30 Jahre alt. Dieser Platz ist gemeinsam mit dem Naturrasenspielfeld 3 einer der am stärksten genutzten Plätze unter den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Plätzen.

Die Abbildung 4 zeigt den Naturrasenplatz 3.

Abbildung 4: Übersichtsfotographie - Naturrasenspielfeld 3

Das Spielfeld ist neu. Es ist im August 2023 fertiggestellt worden. Die Nutzung liegt bei den beiden Naturrasenplätzen 2 und 3 bei über 30 Stunden in der Woche. Somit zählen sie zu den stärker genutzten Plätzen mit höherer Belastung. Eine Besonderheit des Naturrasenplatzes 3 ist, dass dieser keine fixen Standtore besitzt. Das ist für die vorliegende Forschungsarbeit insofern relevant, als dass sich der Torraum, der einen stark beanspruchten Bereich eines Spielfeldes darstellt, nicht unbedingt immer an derselben Stelle befindet. Das könnte sich in der Verteilung der Härtewerte zeigen.

In der nachfolgenden Abbildung ist das Kunstrasenspielfeld 1 zu sehen.

Abbildung 5: Übersichtsfotographie - Kunstrasenspielfeld 1 (Gummigranulat)

Das Kunstrasenspielfeld 1 ist mit einem weitestgehend gleichförmigen braunen Gummigranulat befüllt. Das zunächst verwendete schwarze Gummigranulat führte bei höheren Temperaturen während der Sommermonate zu einem intensiven Geruch und hohen Temperaturen an der Spielfeldoberfläche, weshalb es nachträglich im Zuge einer Sanierungsmaßnahme durch das braune Gummigranulat ersetzt wurde (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 6 zeigt das Kunstrasenspielfeld 2.

Abbildung 6: Übersichtsfotographie - Kunstrasenspielfeld 2 (Korkgranulat)

Das Kunstrasenspielfeld ist mit einem Kork-Sandgemisch verfüllt. Das Material ist gegenüber des Gummigranulats temperaturbeständiger und geruchsneutral. Da es sich um ein Materialgemisch handelt, besitzt es ein breites Korngrößenspektrum und somit eine höhere Verdichtungswilligkeit. Die Körnung des Granulats wirkt sich zudem auch auf den Granulattransport durch den Wind und Pflegemaßnahmen aber auch durch das Schneeräumen in den Wintermonaten aus. Insbesondere die Bespielbarkeit im Winter macht die Kunstrasenspielfelder auf einem Campus wie in St. Pölten unverzichtbar.

### 3.1.1 Probenahme

Es wurde pro Spielfeld aus jedem Viertel eine Probe mittels Lochstecher ausgestochen. Diese wurden von der Rasentragschicht entnommen und begutachtet. Alle vier Proben je Spielfeld wurden dann zusammen als Mischprobe verpackt, beschriftet und für die Untersuchungen ins Labor gebracht.

### 3.1.2 Feuchtemessung Rasentragschicht

Der Wassergehalt im Boden hat Auswirkungen auf die Härte eines Platzes. Um eine fachgerechte Messung durchführen zu können, ist es unumgänglich, diese Werte zu kennen. Hierfür wurden Proben aus der Rasentragschicht entnommen und ins Labor gebracht, um diese Werte zu kennen. Im Labor wird im Gegensatz zur Felduntersuchung der gravimetrische Wassergehalt, also der Wassergehalt bezogen auf das Trockengewicht bestimmt. Es wurden zusätzlich vor Ort mittels Fieldscout TDR 350 Spectrum mehrere Messungen durchgeführt, um den volumetrischen Wassergehalt zu bestimmen. Beide Messungen können miteinander verglichen werden, allerdings nur bis zu einem gewissen Anteil an organischer Substanz in der Rasentragschicht. Daher wurden beide Messungen durchgeführt.

Abbildung 7: TDR-Sonde – Bestimmung des Wassergehalts

### 3.1.3 Bestimmung der Höhe der Rasengräser

Da die Rasenhöhe bei der bei einer Härtemessung eine wichtige Rolle spielt, wurde bei allen Plätzen vor der Härte, die Höhe der Rasengräsen ermittelt. Für die genaue Höhenmessung wurde ein spezielles Messgerät verwendet der sogenante Prism Gauge, welcher in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

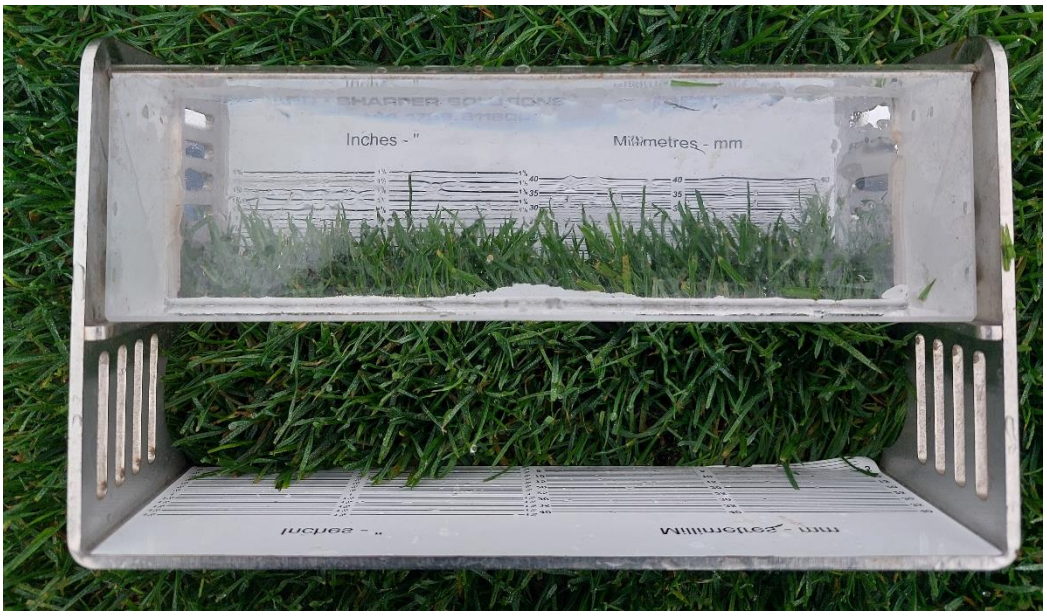



Abbildung 8: Prism Gauge - Bestimmung der Rasenhöhe

### 3.1.4 Härtemessung mit dem Clegg Impact Soil Tester

Hierfür wurde zuerst ein Raster erstellt, das 50 Messpunkte enthielt. 10 Messpunkte gleich verteilt auf die Länge des Spielfeldes und davon im gleichen Abstand 5 Reihen. Nach diesem Raster ergaben sich die 50 Messpunkte. Der Rasen wurde nach diesem Raster gemessen. Jeder Messpunkt wurde fünf Mal nacheinander gemessen und die Werte notiert. Zur Messung selbst: Der Clegg Impact Soil Tester wurde auf den zuvor ermittelten Messpunkt gesetzt. Die Hebevorrichtung wurde bis zur Markierung gehoben und fallen gelassen. Das Gerät berechnete die Härte durch den Aufschlag, dieser wurde notiert und das ganze dann weitere vier Male wiederholt.

Abbildung 9: Clegg Impact Soil Tester 2,25 kg (Hersteller: SD-Instrumentation, Modell: Store blue)

Der CIST besteht aus einem (Verdichtungs-) Hammer (vgl. Abbildung 9). Dieser fällt in einem Führungsrohr, aus einer definierten Höhe (450 mm), auf die Prüfoberfläche. Die Messung erfolgt mit einem Präzisionsbeschleunigungssensor, (Clegg 1976, S. 1). Beim Auftreffen auf die Oberfläche wird ein elektrischer Impuls generiert, dessen Stärke abhängig von der Oberflächenfestigkeit ist. Gemessen wird die negative Beschleunigung des Hammers das bedeutet die Geschwindigkeit, mit der sich der Hammer, beim Auftreffen auf die Oberfläche verlangsamt. Die gemessenen Werte werden auf einer digitalen Ausleseeinheit angegeben und gespeichert.

Hierbei beschreibt $G_{max}$ die maximale negative Beschleunigung (a) beim Aufprall auf die Testoberfläche als Vielfaches der Gravitationsbeschleunigung *g* (Clegg 1992, S. 1).

Der Berechnung der Härtewerte liegt folgende Formel zu Grunde:

$$G_{max} \quad (1)$$

*$G_{max}$ = maximaler Wert von G während des Aufpralls*

*a = negative Beschleunigung [m/s²]*

*g = Fallbeschleunigung [m/s²]*

Die Messung der Härte erfolgt mit dem CIST 2,25 kg (Modellnummer: CIST/883/2K25K/Stor/Blu) (vgl. Abbildung 9) in Anlehnung an DIN EN 14954 (2005). Die Norm schreibt für eine Fläche von 5.000 m² eine minimale Anzahl von 20 Messpunkten vor. Gemäß FIFA (2016) beträgt die maximale Größe eines Fußballspielfeldes 10.800 m². Da die untersuchten Fußballspielfelder unterschiedliche Größen aufweisen, wurden die Messungen einheitlich an 50, gleichmäßig über das jeweilige Spielfeld verteilten Messpunkten durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit herstellen zu können.

Bei einer einheitlichen Zahl an Messpunkten können die Ergebnisse miteinander verglichen werden. Es ist außerdem möglich einzelne Spielfeldbereiche zu vergleichen. Wie beschrieben, wurden fünf Messungen je Messpunkt durchgeführt. Einheitliche Abstände zwischen den Messpunkten sind nicht vorgegeben, eignen sich aber für einen Vergleich der Spielfelder, weshalb das Schrittmaß zur Messung der Abstände zwischen den Messpunkten verwendet wurde.

Die Lage der Messpunkte für das Stadionspielfeld (Fibersand) und für den Naturrasen 1 ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

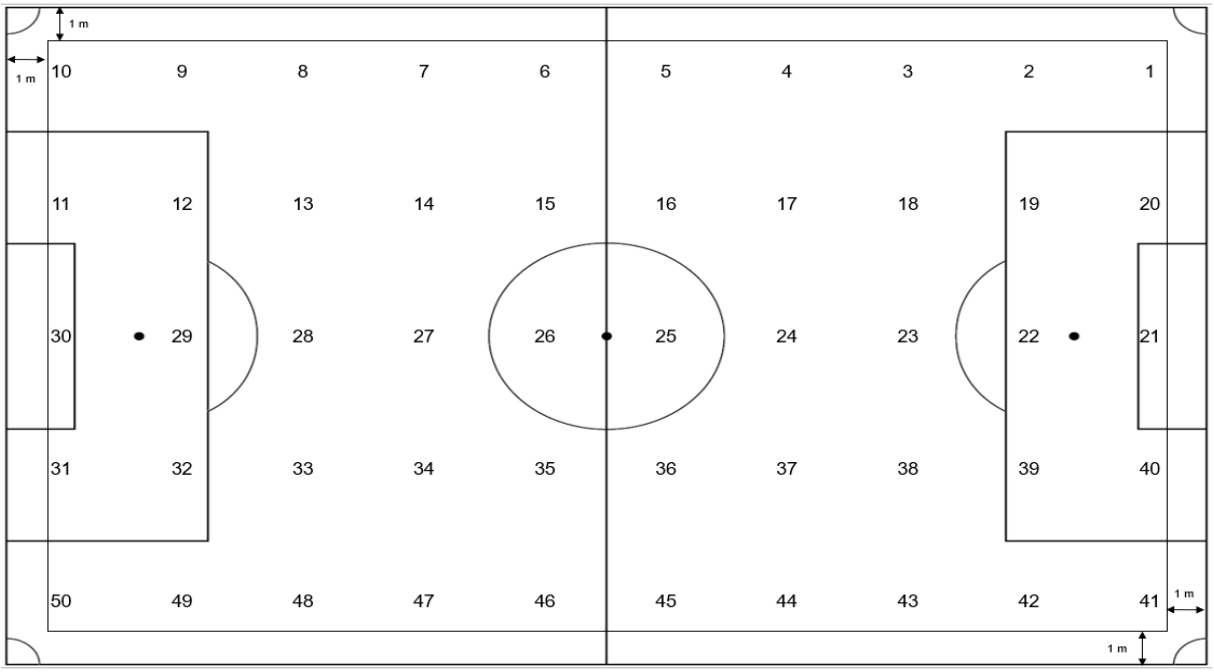



Abbildung 10: Lageskizze der Messpunkte für das Stadionspielfeld (Fibersand) und den Naturrasen 1 (selbst erstellt)

Die Lage der Messpunkte für das Naturrasenspielfeld 2 und 3 ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

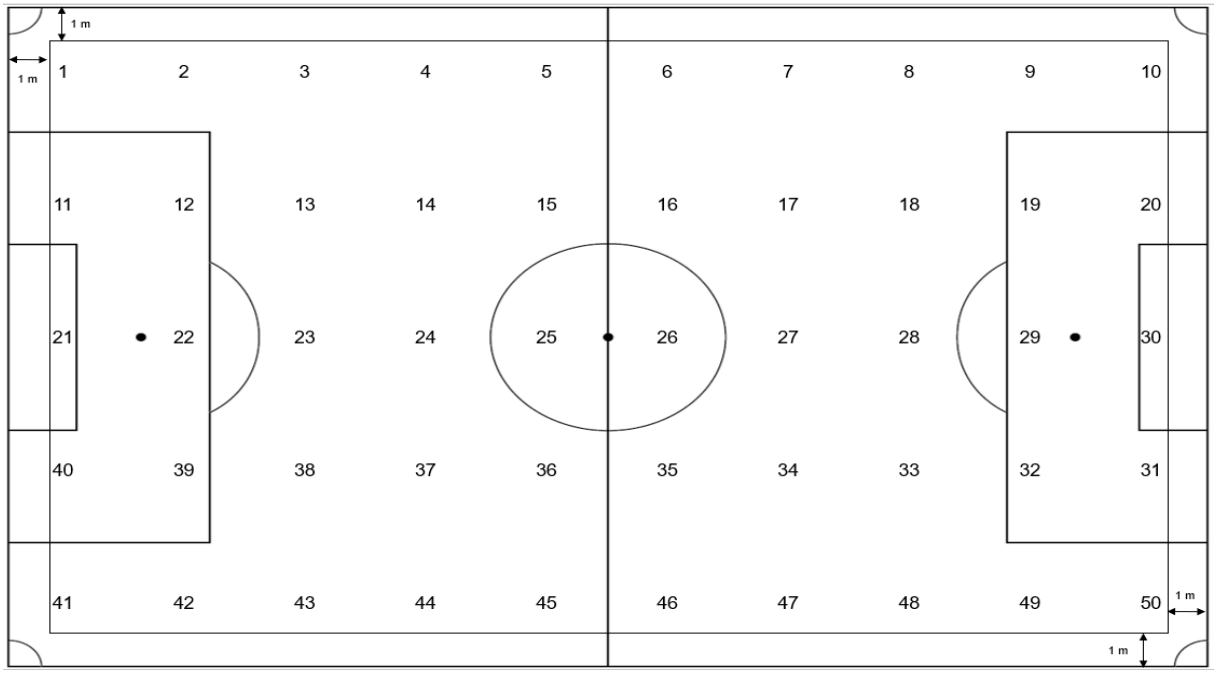



Abbildung 11: Lageskizze der Messpunkte für das Naturrasenspielfeld 2 und 3 (selbst erstellt)

Die Lage der Messpunkte für das Kunstrasenspielfeld 1 und 2 ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

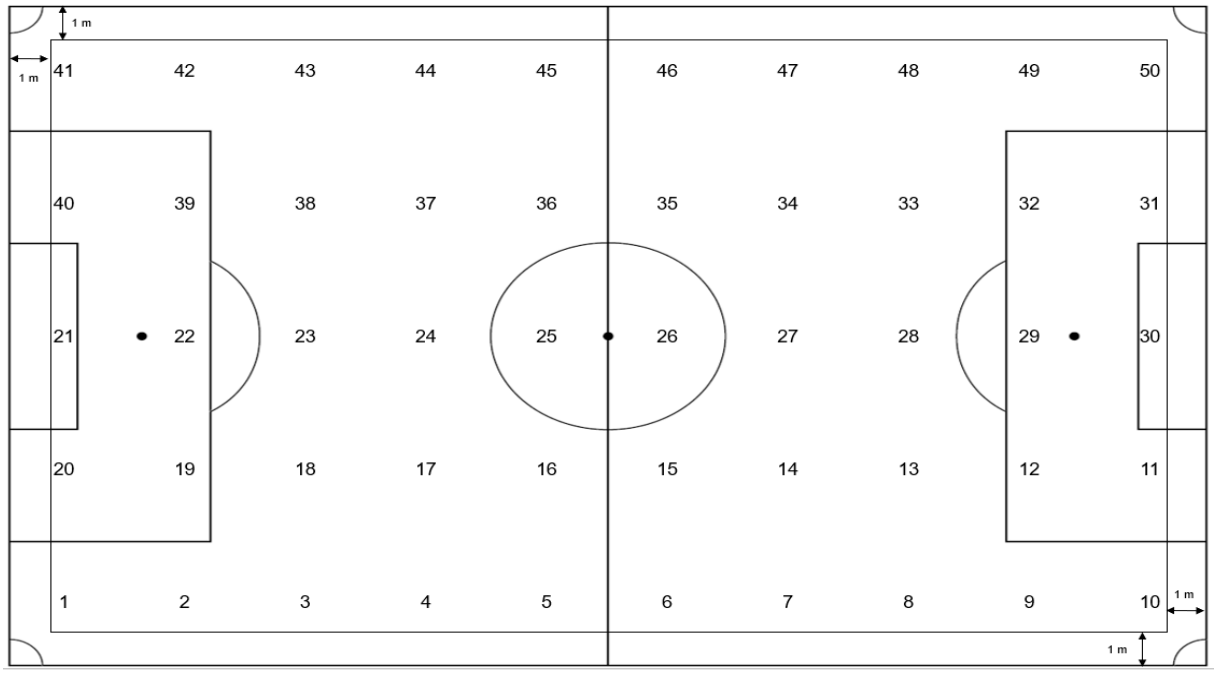



Abbildung 12: Lageskizze der Messpunkte Kunstrasenspielfeld 1 (Gummi) und 2 (Kork) (selbst erstellt)

Abweichungen von den Vorgaben ergeben sich bei der Fallhöhe und dem Fallgewicht. Das verwendete Modell hat ein Fallgewicht von 2,25 kg und eine Fallhöhe von 450 mm (Thanheiser 2018). Es ist von einer Tiefenwirkung von ca. 120 mm auszugehen (Clegg 1976, S. 2). Die Ergebnisse der Härtemessung sind in Kapitel 4.1.3 dargestellt.

## 3.2 Laboruntersuchungen

### 3.2.1 Bestimmung des Wassergehalts

Der Wassergehalt der Rasentragschichtproben wird im Labor für jedes Spielfeld (Hybrid- und Naturrasen) mittels Ofentrocknung mit 105 Grad nach DIN 18121 (2012) bestimmt, da die Tragfähigkeit des Bodens durch den Wassergehalt beeinflusst wird. Bei dieser Untersuchung wird folgenderweise vorgegangen:

- Schritt 1: leeres Gebinde wird mittels Analysenwaage abgewogen und notiert
- Schritt 2: Die Mischprobe von einem Feld, die luftdicht verschlossen war, wird in das Gebinde gefüllt und nochmal gewogen und das Gewicht wieder notiert.
- Schritt 3: Dann kommt das Gebinde samt Mischprobe in den Trockenofen mit den besagten 105 Grad.

Die Mischprobe wird bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann erneut gewogen. Das Gewicht der feuchten Mischprobe im Verhältnis zu der dann vorhandenen Trockenprobe ergibt, den vorhanden gewesenen Wassergehalt in Gewichts- bzw. Massenprozent (M.-%).

Eine Messung mit der TDR-Sonde (*Time-Domain-Reflectometry*) wäre eine erheblich schnellere Methode. Diese wurde zusätzlich beim Feldversuch mitgemacht und nicht gewertet, da die Ergebnisse zu ungenau sind, da starke Abweichungen vorhanden waren, die auf eine nicht ausreichende Eichung des Geräts oder Randeffekte, wie zum Beispiel den Anteil an organischer Substanz zurückzuführen sind. Die Messung des Wassergehalts in Volumenprozent kann nur bis zu einem gewissen Anteil an organischem Material mit der Messung des Wassergehalts in Massenprozent verglichen werden. Ab einem bestimmten Anteil sind die Werte nicht mehr miteinander zu vergleichen.

### 3.2.1 Bestimmung der Korngrößenverteilung

Die Festigkeit und Tragfähigkeit eines Bodens ist von der Korngrößenverteilung abhängig (Scheffer et al. 2010, S.171). Aus der Körnung einer Materialprobe können die Ungleichförmigkeitszahl $C_u$ sowie die Krümmungszahl $C_c$ berechnet werden. Diese bodenphysikalischen Kennwerte geben Aufschluss über wesentliche Bodeneigenschaften, wie zum Beispiel über die Verdichtungsfähigkeit des Bodens. Die Ungleichförmigkeitszahl $C_u$ drückt die mittlere Neigung der Körnungslinie aus. Sie ist als das Verhältnis zwischen dem Siebdurchgang $d_{60}$ und dem Siebdurchgang $d_{10}$ definiert und wird wie folgt berechnet:

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (2)$$

$C_u$ = Ungleichförmigkeitszahl

*$d_{10}$ = Korngröße beim Siebdurchgang 10 M.-%*

*$d_{60}$ = Korngröße beim Siebdurchgang 60 M.-%*

Je kleiner die Ungleichförmigkeitszahl ist, desto steiler verläuft die Sieblinie. In Deutschland wird die Ungleichförmigkeitszahl nach DIN 18196 (2006) interpretiert.

Die europäische Norm ISO 14688-2 (2004) enthält für die Ungleichförmigkeitszahl $C_u$ die Grenzwerte, die in Tabelle *1* dargestellt sind.

Tabelle 1: Grenzwerte der Ungleichförmigkeitszahl Cu nach EN ISO 14688-2 (2004)

| | | |
|---|---|---|
| eng gestuft | $C_u < 6$ | steil verlaufend |
| mittel gestuft | $C_u = 6 - 15$ | mäßig steil verlaufend |
| weit gestuft | $C_u > 15$ | flach verlaufend |

Quelle: Prinz, Strauß 2011, S.12

Die Krümmungszahl $C_c$ dient der Kennzeichnung der Krümmung der Körnungslinie. Sie wird wie folgt berechnet:

$$C_c = (d_{30})^2/(d_{10} * d_{60}) \quad (3)$$

*$C_c$ = Krümmungszahl*

*$d_{10}$ = Korngröße beim Siebdurchgang 10 M.-%*

*$d_{30}$ = Korngröße beim Siebdurchgang 30 M.-%*

*$d_{60}$ = Korngröße beim Siebdurchgang 60 M.-%*

Nach EN ISO 14688-2 (2004) weisen eng gestufte Böden eine Krümmungszahl $C_c$ von kleiner als eins auf. Die Krümmungszahl weit gestufter Böden liegt zwischen eins und drei. Eine Einordnung der geometrischen Form der Korngrößenverteilungslinie ist nach Heibaum (2007) für hydraulischen Fragestellungen Tabelle *2* zu entnehmen.

Tabelle 2: Beurteilung der geometrischen Form der Körnungslinie nach Heibaum (2007)

| | |
|---|---|
| linear | Gleichmäßiger Kurvenverlauf zwischen $d_{15}$ und $d_{85}$ |
| ausfallsgekörnt | Zwischenkörnungen fehlen und die Linie ist unterhalb $d_{30}$ flach |
| aufwärtskonkav | Körnungslinie ist unterhalb $d_{30}$ flach, steigt dann aber steil an |

Quelle: Heibaum (2007) verändert nach Prinz, Strauß 2011, S.12.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung zur Darstellung der jeweiligen Körnungssummenkurve für das Hybridrasenspielfeld und die Naturrasenspielfelder erfolgte an der jeweils entnommenen Probe durch Siebanalyse nach Nassabtrennung der Feinteile gemäß DIN 18123-4 (2011). Die Probenmenge für die Ermittlung der Körnung ist von der maximalen Korngröße des Probematerials abhängig.

Bei der Untersuchung werden zunächst die Feinteile der Materialprobe über einem Sieb mit einer Maschenweite von 63 µm mit Wasser abgetrennt. Das nasse Material wird anschließend in einem Trockenschrank bei 105 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet, was bedeutet, dass sich das Gewicht durch weitere Trocknung nicht mehr verändert, die Masse also konstant bleibt. Die trockene Probe wird dann in einen Siebsatz mit den folgenden Maschenweiten gegeben: 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm. Der Siebturm inklusive Material wird

für zehn Minuten in eine Rüttelmaschine gestellt. Anschließend werden die Siebe einzeln ausgewogen und die jeweiligen Gewichte notiert.

Eine Körnungssummenkurve des Rasentragschichtgemisches wurde für jedes der untersuchten Hybrid- bzw. Naturrasenspielfelder erstellt. Im Rahmen der Auswertung werden die Ergebnisse der Korngrößenverteilungen abschließend manuell in die zugehörigen Sieblinienbänder gemäß ÖNORM B2606-1 (2021) und zum Vergleich gemäß ÖNORM B2606-1 (2009) eingezeichnet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.2.2 dargestellt.

### 3.2.3 Bestimmung des Anteils an organischer Substanz

Die organische Substanz wirkt sich positiv auf die Strukturstabilität von Böden aus. Aufgrund von Gefügebildung und Aggregierung ist sie für die Ausbildung einer stabilen Bodenstruktur entscheidend (Scheffer et al. 2010, S.51). Die Bestimmung des Anteiles an organischer Bodensubstanz erfolgte für jedes untersuchte Spielfeld durch Ermittlung des Glühverlustes nach DIN 18128 (2002) und Beurteilung nach DIN 18035 Teil 4 (2012). Die organische Substanz ist über den Glühverlust als Mittelwert an zwei repräsentativen Teilproben zu ermitteln. Ein Korrekturwert von 0,5 M.-% ist abzuziehen. Bei dem Versuch werden zwischen 5 g und 20 g Bodenprobe in einem Metallschälchen bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wird das Probenmaterial in jeweils zwei gewogene Porzellantiegel im Muffelofen bei 550 °C ± 25 °C vier Stunden geglüht. Abschließend werden die Proben erneut gewogen.

Die Berechnung des Glühverlustes erfolgt nach der folgenden Formel:

$$w_v = (m_b - m_c) / (m_b \times 100) \quad (4)$$

*$w_v$ Glühverlust in Massenprozent [M.-%]*

*$m_b$ Gewicht nach Ofentrocknung bei 105°C*

*$m_c$ Gewicht nach dem Glühen im Muffelofen bei 550°C*

Der Anteil an organischer Substanz an den entnommenen und hergestellten Mischproben aus der Rasentragschicht des Hybirdrasenspielfeldes und der

Naturrasenrasenspielfelder wurde jeweils, gemäß ÖNROM B2606-1 (2021), doppelt bestimmt. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Kapitel 4.2.3 tabellarisch dargestellt.

# 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen dargestellt und beschrieben. Unter den Felduntersuchungen sind die Ergebnisse der Härtemessung, des Wassergehalts mittels TDR-Sonde sowie die Höhe der Rasengräser der einzelnen Spielfelder zusammenfassend dargestellt. Im darauffolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen aufgezeigt. Sie umfassen die Bestimmung des Wassergehalts mittels Trocknung, der Korngrößenverteilung sowie die Bestimmung des Anteils an organischer Substanz.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Feld- und Laboruntersuchungen für das Hybridrasen- und die drei untersuchten Naturrasenspielfelder.

Tabelle 3: Übersicht über die Feld- und Laboruntersuchungen für das Hybridrasen- und die drei untersuchten Naturrasenspielfelder.

| Platz | Wasser-gehalt [V.-%] | Wasser-gehalt [M.-%] | organische Substanz [M.-%] | Höhe Rasen-gräser [mm] | Ungleich-förmigkeits-zahl [U] | CIV5 [Gm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stadion | 20,4 | 9,1 | 0,8 | 35 | 6,3 | 126 |
| Naturrasen 1 | 32,2 | 20,9 | 1,1 | 20 | 4,6 | 80 |
| Naturrasen 2 | 27,8 | 17,3 | 3,2 | 35 | 21,4 | 98 |
| Naturrasen 3 | 21,7 | 6,6 | 0,4 | 35 | 6,6 | 146 |

Die Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Härtemessung vom Wassergehalt der Rasentragschicht. Bei dem Stadionspielfeld sowie bei Naturrasen 3 sind insgesamt höhere Härtewerte und gleichzeitig im Vergleich auch geringere Wassergehalte festzustellen. Auch der organische Anteil hat eine Auswirkung auf die Härte des

Spielfeldes. Bei dem Naturrasenspielfeld 2 mit einem Anteil an organischer Substanz von 3,2 M.-% ist ein wesentlich geringerer Härtewert zu sehen, wie bei dem Naturrasenspielfeld 3 mit einem Anteil an organischer Substanz von 0,4 M.-%. Das ist insofern nicht verwunderlich, als dass die organische Substanz in der Rasentragschicht vor allem auch Wasser enthält, wodurch die Härte beeinflusst wird. Die Untersuchungsergebnisse belegen, ebenso wie auch die von Frau Dr. Thanheiser, dass je höher der Anteil an organischer Substanz in der Rasentragschicht ist, desto geringer ist auch die Härte des Spielfeldes.

Im weiteren Verlauf werden nun die Ergebnisse aller Untersuchungen im Einzelnen detailliert vorgestellt.

## 4.1 Ergebnisse der Felduntersuchungen

In diesem Kapitel werden alle durchgeführten Felduntersuchungen beschrieben. Die Ergebnisse sind jeweils tabellarisch dargestellt.

### 4.1.1 Wassergehalt der Rasentragschicht

Die folgende Tabelle zeigt den Wassergehalt der Rasentragschichten der einzelnen Spielfelder in Volumenprozent (V.-%), der mittels TDR-Sonde (vgl. Kapitel 3.1.2) gemessen wurde.

| **Platz** | **Wassergehalt [V.-%]** |
|---|---|
| Stadion | 20,4 |
| Naturrasen 1 | 32,2 |
| Naturrasen 2 | 27,8 |
| Naturrasen 3 | 21,7 |

Die Ergebnisse der Wassergehaltsmessungen liegen zwischen 21,7 V.-% und 32,2 V.-%. Während der Messung des Stadions und der Naturrasenspielfelder 2 und 3 war leichter Nieselregen zu verzeichnen. Die Messung des Naturrasenspielfeldes 1 fand bei trockener Witterung statt, was sich nicht in den Messergebnissen widerspiegelt und die zweite Wassergehaltsmessung im Labor auf gravimetrischer Basis rechtfertigt (vgl. Kapitel 3.2.1).

### 4.1.2 Höhe der Rasengräser

Die Höhe der Rasengräser hat einen Einfluss auf die Härte des Spielfeldes. Es ist davon auszugehen, dass je höher die Rasenhöhe ist, desto geringer ist die Härte des Platzes.

Tabelle 4: Höhe der Rasengräser und Clegg Impact Value (CIV1) und (CIV5)

| **Platz** | **Höhe der Rasengräser [mm]** | **CIV 1** | **CIV 5** |
|---|---|---|---|
| Stadion | 35 | 94 | 127 |
| Naturrasen 1 | 20 | 56 | 80 |
| Naturrasen 2 | 35 | 80 | 97 |
| Naturrasen 3 | 35 | 104 | 145 |

Die Ergebnisse in der Tabelle zeigen, dass die Höhe der Rasengräser nicht ausschließlich ausschlaggebend ist, da die höchsten Härtewerte nicht bei dem Spielfeld gemessen wurden, bei dem die geringste Höhe der Rasengräser gemessen wurde. Somit ist davon auszugehen, dass die weiteren untersuchten Parameter einen größeren Einfluss auf die Härtewerte haben, die mit dem CIST gemessen werden.

### 4.1.3 Härtemessung

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Härtemessung dargestellt. In der folgenden Abbildung ist eine Übersicht über die Härte der untersuchten Spielfelder zu sehen. Dargestellt wird der Clegg Impact Value fünf (CIV5), der nach der gültigen Norm DIN EN 14954 (2005) zu interpretierende Wert.

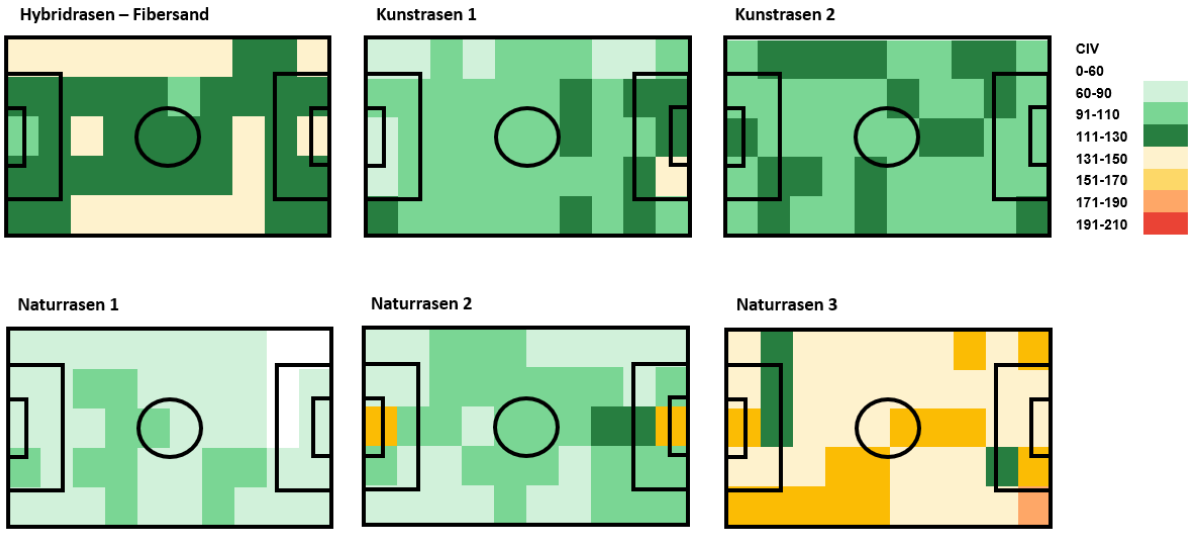



Abbildung 13: Clegg Impact Value 5 (CIV5), Clegg Impact Soil Tester (CIST) 2,25 kg Untersuchung am 24.10.23 | Naturrasen 1 Untersuchung am 1.12.23

Zu sehen ist, dass das Naturrasenspielfeld 3 die höchsten Härtewerte aufweist. Daran schließt sich das Hybridrasenspiefeld an. Zu sehen ist zudem, dass die beiden untersuchten Kunstrasenspielfelder weniger hart sind als die Naturrasenspielfelder 1 und 2. In der nachstehenden Tabelle ist eine Übersicht über die spielfeldspezifischen Mittelwerte der einzelnen Messungen enthalten, die zur Beurteilung herangezogen werden. Je Spielfeld wurden insgesamt 50 Messpunkte und an jedem Messpunkt fünf Messungen (CIV) durchgeführt. Die Tabelle enthält den Mittelwert über alle 50 Messpunkte der jeweils ersten Messung (CIV1), der zweiten Messung (CIV2) bis zur fünften Messung (CIV5).

Tabelle 5: Spielfeldspezifischen Mittelwerte der Härtemessung (Gm)

| Platz | CIV1 | CIV2 | CIV3 | CIV4 | CIV5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Stadion | 94 | 110 | 117 | 122 | 127 |
| Naturrasen 1 | 56 | 70 | 75 | 78 | 80 |
| Naturrasen 2 | 80 | 91 | 94 | 96 | 97 |
| Naturrasen 3 | 104 | 126 | 136 | 141 | 145 |
| Kunstrasen 1 | 93 | 99 | 101 | 103 | 103 |
| Kunstrasen 2 | 96 | 104 | 106 | 106 | 107 |

Insgesamt weist das Naturrasenspielfeld 3 die höchsten Härtewerte auf. Das Naturrasenspielfeld 1 weist insgesamt die geringsten Härtewerte auf, unabhängig davon, welche Messung interpretiert wird.

Nachfolgend sollen die Ergebnisse in die bestehende aktuelle Fachliteratur eingeordnet und beurteilt werden. Hierzu werden die Ergebnisse der Forschungsarbeit von Dr. Selina Thanheiser sowie die Vorgaben des Herstellers des Clegg Impact Soil Testers herangezogen. Die Beurteilungshilfe nach Thanheiser et al. (2018) ist Abbildung 14 zu entnehmen. Die Einstufung der Härtewerte des Herstellers (SD-Instrumentation) ist Tabelle 6 zu nehmen.

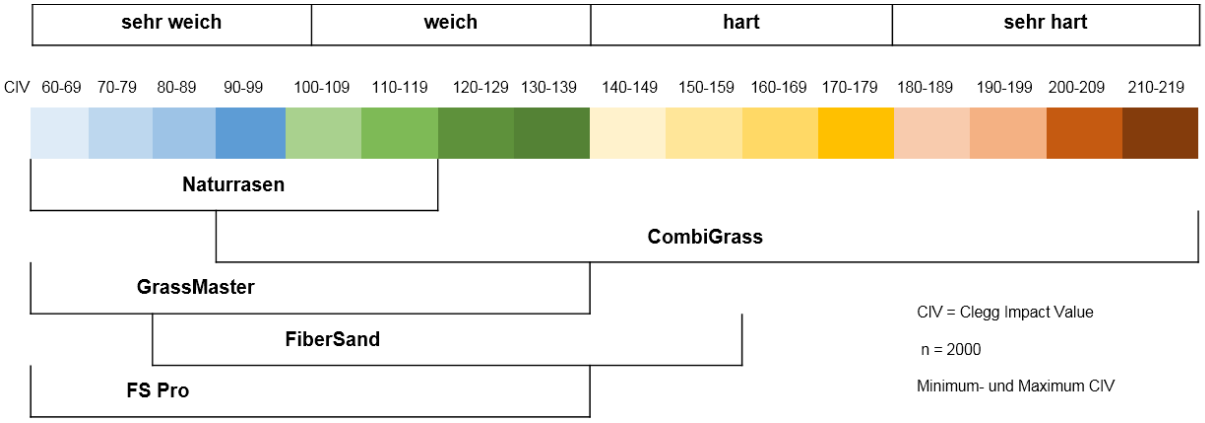



Abbildung 14: Beurteilung der Härtewerte (Clegg Impact Values - CIV)

Quelle: Thanheiser et al. (2018)

Tabelle 6: Bewertung der Messergebnisse nach Hersteller

| Clegg Impact Value 3 [Gm] | Nutzung |
|---|---|
| 45-90 | nicht professionell genutztes Spielfeld |
| 75-90 | professionelles Spielfeld (enges Spektrum) |
| 65-100 | professionelles Spielfeld |

Quelle: SD-Instrumentation (o.J.), S. 13

Für die nachfolgende Beurteilung werden die Mittelwerte des CIV3 und des CIV5 verwendet. Gemäß den Untersuchungen von Dr. Thanheiser liegt das untersuchte Hybridrasenspielfeld (Stadtion, Fibersand) bei Beurteilung des CIV5 mit 111 bis 150 Gm im Wesentlichen im Bereich "*weich"* bis "*hart"* (vgl. Abbildung 14). Der Mittelwert des CIV5 für dieses Spielfeld beträgt 126 Gm. Somit liegt dieser Wert im Bereich "*weich*".

Nach der Beurteilungshilfe des Herstellers soll der CIV3 interpretiert werden. Der Mittelwert des CIV3 liegt bei diesem Spielfeld bei 117 Gm und damit über den Vorgaben für ein professionell genutztes Spielfeld. Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Herstellerangaben ausschließlich für Naturrasenspielfelder dienen.

Der Naturrasenplatz 1 mit einem Mittelwert von 80 Gm (CIV5) ist nach Thanheiser et al. (2018) als *"sehr weich"* zu beurteilen. Nach Herstellerangaben erfüllt das Spielfeld mit 75 Gm (CIV3) die Anforderungen an ein professionell genutztes Spielfeld und liegt im engen Spektrum der Bewertungsvorgaben.

Der Naturrasenplatz 2 ist mit einem Mittelwert von 97 Gm (CIV5) nach Thanheiser et al. (2018) als *"sehr weich"* zu beurteilen. Nach Herstellerangaben erfüllt das Spielfeld mit 94 Gm (CIV3) die Anforderungen an ein professionell genutztes Spielfeld und liegt außerhalb des engen Spektrums der Bewertungsvorgaben.

Der Naturrasenplatz 3 ist mit einem Mittelwert von 145 Gm (CIV5) nach Thanheiser et al. (2018) als "*hart"* zu beurteilen. Nach Herstellerangaben erfüllt das Spielfeld mit 136 Gm (CIV3) die Anforderungen an ein professionell genutztes Spielfeld nicht und ist somit als „*zu hart*" zu beurteilen.

Die Bewertungsangaben von Thanheiser et al. (2018) beziehen sich auf Natur- und Hybridrasenspielfelder, jene des Herstellers des CIST beziehen sich ausschließlich auf Naturrasenspielfelder. In Ermangelung einer Bewertungsvorgabe für die Härte von Kunstrasenplätzen, findet ihre Beurteilung daher unabhängig statt.

Die Härte beider Kunstrasenplätze liegt ab der dritten Messung (CIV3) etwas über 100 Gm und verändert sich bis zur fünften Messung (CIV5) nicht mehr wesentlich. Das korkbefüllte Kunstrasenspielfeld 2 ist mit CIV5 von 107 Gm etwas härter als das gummibefüllte Kunstrasenspielfeld 1 mit CIV5 103 Gm.

In Abbildung 15 werden daher in einem nächsten Schritt CIV1 bis CIV5 der beiden Kunstrasenspielfelder dargestellt. Zudem ist der Abbildung eine Makroaufnahme des jeweiligen Granulats zu entnehmen.

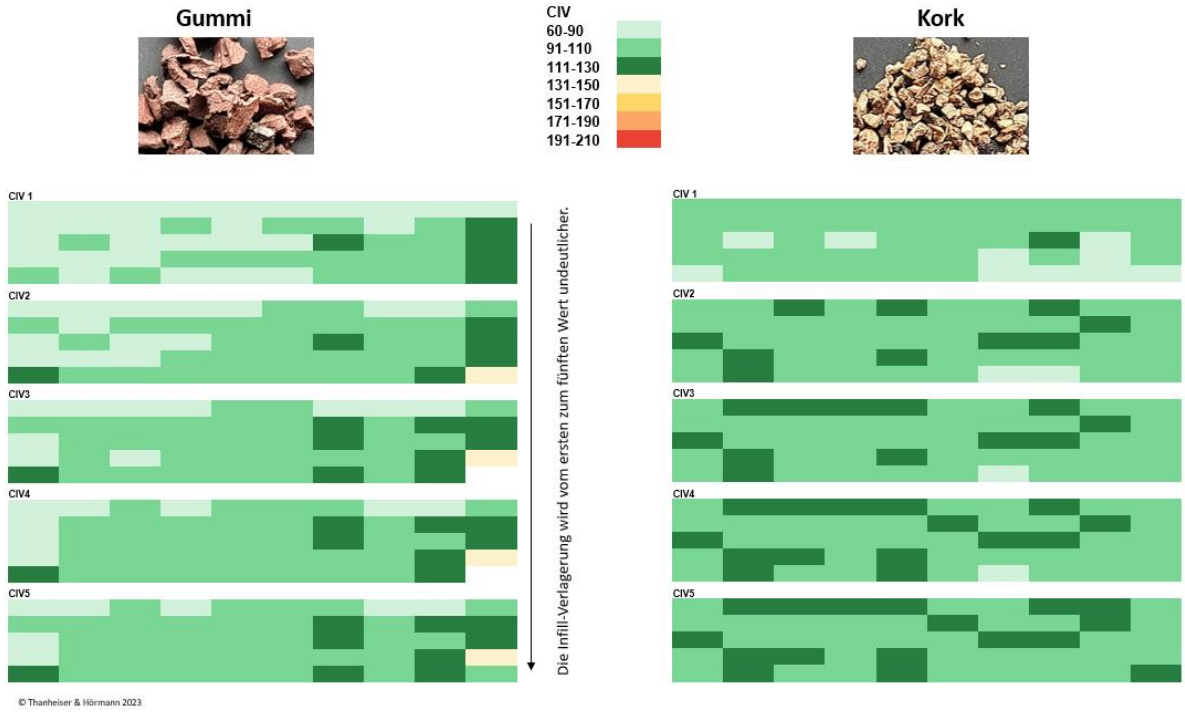



Abbildung 15: Vergleich der Härtewerte beider Kunstrasenspielfelder (links, Gummigranulat / rechts Korkgranulat)

Wie zu sehen, ist das Spielfeld mit dem Korkgranulat etwas härter als das Spielfeld mit dem Gummigranulat. Dies liegt an der Korngrößenverteilung der Granulate. Wie auf der Abbildung zu sehen, besitzt das Korkgranulat eine kleine Korngröße sowie eine höhere Ungleichförmigkeit, was zu einer höheren Verdichtungswilligkeit des Materials und somit zu höheren Härtewerten führen kann.

Zudem ist zu sehen, dass eine Verlagerung des Granulats nach rechts bzw. nach Osten stattfindet (vgl. Abbildung 15 links). Diese Verlagerung ist insbesondere bei dem Gummigranulat deutlich zu erkennen. Offenbar findet diese systematische Verlagerung durch den Wind statt. Hiervon ist auszugehen, weil die Verlagerung mit der Hauptwindrichtung übereinstimmt. Eigentlich ist das Korkgranulat an sich leichter, jedoch durch den Abrieb findet eine Veränderung der Korngrößenverteilung statt. Das Material wird mit der Zeit kleiner und ungleichförmiger und bietet dem Wind daher weniger Angriffsfläche, weshalb die Verlagerung bei diesem Material

offenbar nicht in gleichem Maße stattfindet, wie bei dem Gummigranulat. Zudem ist das Korkgranulat mit Sand vermischt, weshalb es einerseits eine differenzierte Korngrößenverteilung aufweist, was es verdichtungsfähiger macht und andererseits auch insgesamt wieder schwerer. Das Korkgranulat ist als Naturprodukt stärkeren Zersetzungsprozessen unterlegen als das Gummigranulat und daher auf die Zeit betrachtet weniger formstabil.

Zur Vereinheitlichung der Spielfeldqualität wäre es möglich, die Spielfelder gegen die Hauptwindrichtung zu bürsten, um das Granulat gleichmäßiger auf dem Platz zu verteilen. So kann durch die Analyse gezeigt werden, dass das Granulat nicht gänzlich verschwunden ist, sondern sich nur uneinheitlich auf dem Platz verteilt hat. Es ist insofern durch die Untersuchung eine Kosteneinsparung zu erreichen, als das nicht nochmal neues Granulat gekauft und aufgebracht werden muss, sondern das bereits vorhandene, nur wieder einheitlicher auf dem Platz verteilt werden muss.

Um darzustellen, wie einheitlich die Spielfelder hinsichtlich der Härte sind, ist in der folgenden Tabelle der minimale und maximale CIV5 eines jeden Spielfeldes dargestellt. Daraus ist die Spannweite der Härtewerte eines Spielfeldes ersichtlich.

Tabelle 7: Spielfeldspezifische Spannweite der Härtewerte CIV5 [Gm] CIST 2,25 kg

| Platz | Min CIV5 | Max CIV5 | Differenz |
|---|---|---|---|
| Stadion | 109 | 142 | 33 |
| Naturrasen 1 | 45 | 110 | 65 |
| Naturrasen 2 | 81 | 165 | 84 |
| Naturrasen 3 | 118 | 174 | 56 |
| Kunstrasen 1 | 83 | 136 | 53 |
| Kunstrasen 2 | 92 | 125 | 33 |

Die Spannweite der Härtewerte liegt insgesamt zwischen 33 Gm und 84 Gm. Zu sehen ist, dass das Naturrasenspielfeld 2 die größte Spannweite mit 84 Gm aufweist. Das Hybridrasensystem im Stadion ist ebenso einheitlich, was die Härte betrifft, wie das Kunstrasenspielfeld 2. Mit 33 Gm sind sie die einheitlichsten.

## 4.2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen dargestellt und interpretiert. Zunächst werden die, im Labor ermittelten gravimetrischen Wassergehalte der entnommenen Rasentragschichtproben dargestellt. Anschließend wird die Korngrößenverteilung der untersuchten Rasentragschichten sowie der jeweilige Anteil an organischer Substanz aufgezeigt. Die nachfolgenden Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf den Hybridrasenplatz sowie auf die Naturrasenspielfelder.

### 4.2.1 Wassergehalt

In der Tabelle 8 ist der gravimetrische Wassergehalt in Massenprozent (M.-%) der einzelnen Rasentragschichtproben angegeben. Die Ermittlung des Wassergehaltes erfolgte nach den Angaben in Kapitel 3.

Tabelle 8: Wassergehalt gravimetrisch (M.-%)

| **Platz** | **Wassergehalt [M.-%]** |
|---|---|
| Stadion (hybrid) | 9,1 |
| Naturrasen 1 (unbenutzt) | 20,9 |
| Naturrasen 2 (alt) | 17,3 |
| Naturrasen 3 (neu) | 6,6 |

Der höchste Wassergehalt konnte bei dem Naturrasenspielfeld 2 mit 17,3 M.-% festgestellt werden und entspricht auch dem Spielfeld mit dem höchsten Anteil an organischer Substanz (vgl. Tabelle 10). Der geringste Wassergehalt kann bei dem Naturrasenspielfeld 3 mit 6,6 M.-% festgestellt werden. Er entspricht auch dem Spielfeld mit dem geringsten Anteil an organischer Substanz.

### 4.2.2 Korngrößenverteilung

In der Tabelle 9 sind die Krümmungs- und die Ungleichförmigkeitszahl der Rasentragschichtmaterialien angegeben, die im Rahmen der Analyse der Korngrößenverteilung mit berechnet wurden. Je höher die Ungleichförmigkeitszahl ist, desto höher ist auch die Verdichtungswilligkeit eines Materials und umso höher müssten auch die ermittelten Härtewerte sein.

Tabelle 9: Krümmungszahl und Ungleichförmigkeitszahl

| Platz | Krümmungszahl [Cc] | Ungleichförmigkeitszahl [U] |
|---|---|---|
| Stadion | 1,6 | 6,3 |
| Naturrasen 1 | 1,3 | 4,6 |
| Naturrasen 2 | 4,7 | 21,4 |
| Naturrasen 3 | 0,9 | 6,6 |

Wie die Tabelle zeigt, sind die höchsten Werte der Ungleichförmigkeitszahl nicht bei dem Spielfeld zu finden, das die höchsten Härtewerte (Naturrasenspielfeld 3) aufweist. Das zeigt, dass die Härte nicht nur von der Korngrößenverteilung, sondern vielmehr vom Wassergehalt und dem Anteil der organischen Substanz in der Rasentragschicht abhängig ist.

Die Untersuchungsergebnisse der Korngrößenverteilung sind Anhang 1 zu entnehmen. Zudem wurden die Körnungslinien, zum Vergleich, in das entsprechende aktuelle Sieblinienband gemäß ÖNROM B2606-1 aus dem Jahr 2021 und ferner zum Vergleich in das Sieblinienband gemäß ÖNROM B2606-1 aus dem Jahr 2009 eingezeichnet. Zu sehen ist, dass die Rasentragschicht aus dem Stadion bei der Norm aus dem Jahr 2009 im Mittelsandkornbereich geringfügig rechts außerhalb des Sieblinienbandes verläuft und dass alle untersuchten Rasentragschichten die Anforderungen der ÖNROM B2606-1 (2021) hinsichtlich der Korngrößenverteilung erfüllen.

### 4.2.3 Organische Substanz

In der Tabelle 10 ist der Anteil an organischer Substanz der entnommenen und untersuchten Rasentragschichtproben dargestellt.

Tabelle 10: Anteil an organischer Substanz

| Platz | Anteil an organischer Substanz [M.-%] |
|---|---|
| Stadion (hybrid) | 0,8 |
| Naturrasen 1 (unbenutzt) | 1,1 |
| Naturrasen 2 (alt) | 3,2 |
| Naturrasen 3 (neu) | 0,4 |

Wie zu sehen, ist jenes Spielfeld mit dem höchsten Anteil an organischer Substanz in der Rasentragschicht, das mit der geringsten Härte. Somit kann festgestellt werden, dass die Parameter Wassergehalt und Organik maßgeblich sind für die Härte eines Fußballrasensystems, wobei die Kunstrasenspielfelder hiervon auszunehmen sind. Bei Letzteren ist vor allem das Granulat entscheidend für die Härte.

## 5 Wirtschaftlicher Teil: Anpassung der Pflegemaßnahmen

Die Pflege der Naturrasenspielfelder unterscheidet sich verständlicherweise von der Pflege des Hybridrasenspielfeldes im Stadion und den beiden Kunstrasenplätzen.

Zu den gängigen Pflegemaßnahmen, die sowohl bei den Naturrasenplätzen als auch bei dem Hybridrasenplatz angewendet werden und die sich auf die Härte eines Spielfeldes auswirken gehört zum Beispiel das Aerifizieren. Beim Aerifizieren wird der Boden sowohl gelockert als auch belüftet. Zudem kann das Aerifizieren auch für den Bodenaustausch verwendet werden. Dabei wird mit Hohlspoons Material aus der Rasentragschicht entnommen und Altmaterial abgesammelt. Anschließend wird Sand aufgebracht und eingeschleppt. Die Körnung des Sandes kann sich bei dieser Pflegemaßnahme ebenso auf die Härte auswirken wie die Lockerung. Der Grad der Intensität ist dabei auch abhängig vom Spoondurchmesser und der Spoonform bzw. Anzahl der Spoons sowie dem Brech- bzw. Neigungswinkel.

Nachfolgend soll für jedes Spielfeld der prozentuale Anteil berechnet werden, der durch die Pflegemaßnahme, Aerifizieren, bearbeitet werden muss, um die Einheitlichkeit der Spielfeldqualität hinsichtlich der Härte zu erhöhen. Als Grundlage wird die fünfte Messung je Messpunkt (CIV5) für die Berechnung herangezogen.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 132 | 135 | 139 | 142 | 133 | 135 | 131 | 128 | 116 | 142 |
| 129 | 117 | 121 | 122 | 117 | 110 | 116 | 128 | 126 | 124 |
| 109 | 116 | 135 | 118 | 114 | 113 | 125 | 140 | 119 | 133 |
| 122 | 121 | 117 | 113 | 124 | 119 | 116 | 132 | 123 | 130 |
| 125 | 128 | 141 | 138 | 132 | 139 | 131 | 134 | 123 | 121 |

Abbildung 16: Stadion - Fibersand - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (36%).

Die Abbildung 19 zeigt die Härtewerte der fünften Messung für das Stadionspielfeld. Rot umrandet sind die Bereiche, die bearbeitet werden sollen. Die Bearbeitung von 18 Messpunktbereichen wäre nötig, um die Spielfeldqualität zu vereinheitlichen. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 36 % bei insgesamt 50 Messpunkten. Eine ganzheitliche Bearbeitung würde die Härte zwar verringern, jedoch nicht zu einer einheitlicheren Spielfeldhärte führen. Die ausschließliche Bearbeitung der beiden Spielfeldrandbahnen würde bereits 30 % der Messpunktflächen betreffen. Davon ausgehend, dass die Bearbeitung des ganzes Spielfeldes (Aerifizieren) ca. drei Stunden dauert (in Abhängigkeit von den Spoons und der Geschwindigkeit) würde außerdem eine Zeiteinsparung von ca. 2 Stunden bzw. mehr als 60 % resultieren. Darüber hinaus kann diese Anpassung Material (Besandungssand) einsparen und führt zu einem reduzierten Verschleiß der Spoons beim Aerifizieren und somit zu einer längeren Lebensdauer und zu Kosteneinsparungen.

Außerdem ist bei dem Hybridrasenspielfeld im Stadion mit Fibersand anzumerken, dass das Fibermaterial zu einem höheren Spoonverschleiß führt. Im Vergleich zum Naturrasenspielfeld 2, mit einem wesentlich höheren Anteil an organischer Substanz in der Rasentragschicht, ist davon auszugehen, dass der höhere Sandanteil im Rasentragschichtgemisch des Hybridplatzes zu einem schnelleren Verschleiß der Spoons führt.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 71 | 77 | 88 | 87 | 78 | 81 | 70 | 70 | 54 | 65 |
| 77 | 77 | 110 | 101 | 75 | 81 | 78 | 67 | 56 | 61 |
| 87 | 73 | 83 | 94 | 92 | 72 | 75 | 63 | 55 | 70 |
| 107 | 82 | 98 | 97 | 79 | 71 | 95 | 92 | 68 | 75 |
| 72 | 80 | 87 | 93 | 82 | 88 | 94 | 72 | 78 | 78 |

Abbildung 17: Naturrasenspielfeld 1 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (22%).

Zu sehen ist, dass höhere Werte im nördlichen Spielfeldbereich gemessen wurden. Ein möglicher Grund könnte sein, dass dieser Bereich nahe der Zufahrt liegt. Insgesamt betrifft das 22 % der 50 Messpunkte.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 86 | 85 | 96 | 102 | 107 | 81 | 81 | 83 | 83 | 84 |
| 83 | 88 | 96 | 98 | 103 | 99 | 108 | 107 | 90 | 96 |
| 165 | 109 | 105 | 85 | 98 | 98 | 99 | 112 | 111 | 162 |
| 104 | 87 | 86 | 95 | 94 | 100 | 90 | 98 | 100 | 108 |
| 82 | 84 | 81 | 87 | 91 | 90 | 84 | 93 | 96 | 101 |

Abbildung 18: Naturrasenspielfeld 2 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (8%).

Beim Naturrasenspielfeld 2 wurden je im Torraum höhere Härtewerte gemessen. Eine auf die Untersuchung angepasste Pflegemaßnahme (Aerifizieren) würde 4 % der Messpunktfläche betreffen und die Einheitlichkeit des Spielfeldes hinsichtlich der Härte erhöhen.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 142 | 118 | 149 | 133 | 147 | 149 | 148 | 152 | 132 | 151 |
| 137 | 124 | 132 | 133 | 135 | 145 | 144 | 132 | 136 | 140 |
| 153 | 121 | 136 | 150 | 145 | 161 | 161 | 153 | 135 | 150 |
| 132 | 147 | 144 | 169 | 155 | 150 | 135 | 135 | 130 | 155 |
| 159 | 156 | 168 | 168 | 170 | 134 | 144 | 146 | 146 | 174 |

Abbildung 19: Naturrasenspielfeld 3 - Clegg Impact Value 5 (CIV5). Rot umrandet: zu bearbeitende Bereiche im Rahmen der Pflege zur Vereinheitlichung der Spielfeldhärte (30%).

Bei dem Naturrasenspielfeld 3 können im rechten bzw. östlich gelegenen Torraumbereich höhere Härtewerte festgestellt werden. Der höchste Wert (174 Gm) stimmt mit der aktuellen Zufahrt zum Platz überein. Die höheren Werte im westlich gelegenen Spielfeldbereich können möglicherweise mit der Baustellenzufahrt begründet werden.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über den prozentualen Anteil der Messpunktfläche je Spielfeld, der durch die Pflege bearbeitet werden muss, um die Spielfeldhärte zu vereinheitlichen.

Tabelle 11: Übersicht über den Anteil der zu bearbeitenden Messpunktflächen je Spielfeld

| Platz | Flächenanteil (%) |
|---|---|
| Stadion | 36% |
| Naturrasen 1 | 22% |
| Naturrasen 2 | 8 % |
| Naturrasen 3 | 30% |

Wie der Tabelle zu entnehmen sind beispielsweise 36 % der Fläche des Spielfeldes im Stadion zu bearbeiten, um die Oberflächenhärte zu vereinheitlichen. Nun soll eine Gegenüberstellung der Kosten stattfinden, die aufgrund der Untersuchungen hinsichtlich der Pflegemaßnahmen eingespart werden könnten. Die Zahlen stammen aus der Buchhaltung des Betriebs und wurden in Form der zugehörigen Rechnungen für diese Arbeit bereitgestellt. Zunächst ist in der nachstehenden Tabelle eine Auflistung aller Einzelpreise enthalten.

Tabelle 12: Auflistung der Einzelpreise einer Aerifiziermaßnahme inkl. Mannstunden und Spoons

| Posten / Material | Einheit | Anzahl | EP (€) netto |
|---|---|---|---|
| Stunde GK | Stunden | 1 | 26,66 |
| Korkgranulat | Tonne | 1 | 3780 |
| Quarzsand | Tonne | 1 | 40,51 |
| **Spoon** | | | |
| Vollspoon Durchmesser: 18 | mm | 1 | 5,85 |
| Hohl Spoon Durchmesser: 20 | mm | 1 | 11,65 |
| Vollspoon Durchmesser: 24 | mm | 1 | 13,4 |
| Versandkosten inkl. Verpackung | | 1 | 110 |

Die folgende Tabelle gibt ein Beispiel für eine Kostenaufstellung einer aktuellen Spoon-Bestellung von Oktober 2023. Da es sich um eine Bestellung aus Deutschland handelt, sind die Preise in diesem Fall brutto wie netto.

Tabelle 13: Beispiel - Kostenaufstellung Spoonbestellung (Oktober 2023)

| **Aktuelle Spoon** | **Einheit** | **Anzahl** | **EP (€)** | **GP (€)** | **Preis** |
|---|---|---|---|---|---|
| Vollspoon | mm | 128 | 5,85 | 748,8 | 748,8 |
| Hohlspoon | mm | 64 | 11,65 | 745,6 | 745,6 |
| Vollspoon | mm | 25 | 13,4 | 335 | 335 |
| Versandkosten inkl. | | 1 | 110 | 110 | 110 |
| | | | **Summe:** | 1939,4 | 1939,4 |

Im nächsten Schritt soll beispielhaft für das Hybridrasenspielfeld im Stadion dargestellt werden, wie hoch die Kosten für die Aerifizierung eines ganzen Spielfeldes (Mannstunden und Materialkosten) sind. Unter der Annahme, dass die Arbeitszeit drei Stunden beträgt, bei einem Stundensatz von 26,66 € (netto) und hierfür ein Satz Spoons (Vollspoon, 18 mm, 24 Stück) verwendet wird, würden die Kosten insgesamt 265,90 € betragen, wobei folgende Berechnung zugrunde liegt:

$$((26{,}66 + 20\ \%)x3)+(24x5{,}85) + 36 + \text{Richtsatz} = 265{,}90\ € \quad (5)$$

Auf den Nettostundenpreis in Höhe von 26,66 (vgl. Tabelle 11) wurden 20 % Mehrwertsteuer kalkuliert sowie der Stundenpreis auf die Arbeitszeit (3 Stunden) hochgerechnet. Addiert werden die Kosten für die Spoons (vgl. Tabelle 12), da bei dem Beispiel für das Hybridrasenspielfeld je Aerifiziermaßnahme ein Satz Vollspoons (18 mm) benötigt wird. Zudem werden anteilig (⅓) die Versandkosten in Höhe von 36 € hinzugerechnet. So ergibt sich ein Bruttogesamtpreis von 265,90 € für das Aerifizieren eines gesamten Hybridplatzes.

Zuzüglich wäre ein Richtsatz mit einzukalkulieren, der zum Beispiel Kosten für die Wartung und für die Verschleißteile umfasst. Zudem sind selbstverständlich auch noch Kraftstoffkosten hinzuzurechnen. Beide Werte konnten im Rahmen der Recherche für diese Arbeit nicht in Erfahrung gebracht werden. Gemäß Maschinenring Österreich ist ein Richtwert von 0,35 ct / PS zu verrechnen. Ausgehend von 10 € je Stunde zuzüglich 10 € Tankkosten je Stunde inklusive einem Puffer bezüglich der schwankenden Kraftstoffpreise wird für die Kalkulationen in dieser Arbeit ein Richtwert von insgesamt 26 € je Stunde angenommen.

Davon ausgehend, dass bei dem Hybridrasenplatz lediglich 36 % der Messpunktflächen aerifiziert werden müssten und unter der Annahme, das dies eine Zeitersparnis von zwei Stunden beträgt, ergibt sich hierfür die folgende Rechnung:

**alt:** ((26,66 + 20 %)x3)+(24x5,85) + 36 + 78 = 350,38 € (6)

**neu:** ((26,66 + 20 %)x1)+(8,64x5,85) + 36 + 26 = 142,20 € (7)

Bei dieser Kalkulation wird die Reduzierung der Mannstunden auf eine Stunde verwendet und für die Kosteneinsparung der Spoons werden die 36 % von 24 Spoons angenommen, was 8,64 Spoons entsprechen würde. Somit ergibt sich für die Maßnahme ein Preis von 142,20 € und somit eine Ersparnis von insgesamt 208,18 €.

Eine weitere, einfachere aber ungenauere Kalkulationsmöglichkeit wäre, die 36 % auf den gesamten Bruttopreis anzuwenden, was einem Preis von 126,14 € anstelle von 350,38 € und somit einer Ersparnis von 224,24 € entsprechen würde.

Es muss erwähnt werden, dass bei jedem Aerifiziervorgang alle Spoons also 100 % der Spoons und nicht nur 36 % der Spoons einen Verschleiß erfahren. Allerdings ist der Verschleiß bei einer Verringerung der Fläche und Zeit nicht so hoch, als würde das gesamte Spielfeld aerifiziert werden.

Die Visualisierung der Kosteneinsparungen erfolgt aus Gründen der leichteren Umsetzung mit Variante 2 der Kalkulationsmöglichkeit und ist in Abbildung 20

dargestellt. Als Basis für die Kalkulation wird der Gesamtpreis (brutto) von 350,38 € herangezogen. Einschränkend ist zu erwähnen, dass für einen Aerifiziervorgang des Naturrasenspielfeldes 2 beispielsweise nicht ein ganzer Satz Spoons benötigt wird, da die Rasentragschicht einen höheren organischen Anteil aufweist und das Spielfeld insgesamt geringere Härtewerte aufzeigt.

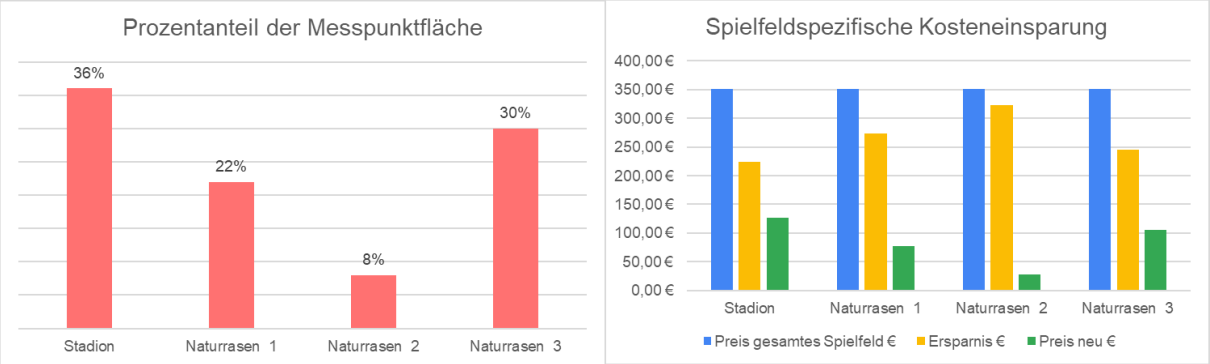



Abbildung 20: Graphische Darstellung der prozentual zu bearbeitenden Fläche je Spielfeld (links), Spielfeldspezifische Kosteneinsparung (rechts)

Wie in der Abbildung zu sehen, können insbesondere bei dem Nautrrasenspielfeld 2 Kosten eingespart werden, da hier nur 8 % der Messpunktflächen bearbeitet werden müssten, was einer Kosteneinsparung von rund 300 € entspricht.

## 6 Fazit

Weder die DFL noch der ÖFB haben die Härtemessung mit dem CIST entsprechend den Vorgaben der aktuell gültigen Norm in ihre Richtlinien mit aufgenommen. Keine der Richtlinien dieser Verbände empfiehlt eine Messung im Sinne des Erfinders Dr. Baden Clegg, der den vierten Messwert pro Messpunkt vorgegeben hat.

Im Zuge dieser Forschungsarbeit konnte festgestellt werden, dass sich die Härte der untersuchten Spielfelder und Rasensysteme deutlich voneinander unterscheidet. Aber auch unter ein und demselben System sind deutliche Unterschiede festgestellt worden. So beträgt der Mittelwert der Härte des noch unbenutzten Naturrasenspielfeldes 1 mit 80 Gm (CIV5) und jener des nur wenige Monate älteren Naturrasenspielfeldes 3 mit 145 Gm (CIV5).

Hieraus lässt sich ableiten, dass auch das Alter einen wesentlichen Einfluss auf die Härte hat. Durch Setzungen und witterungsbedingt kann sich die Härte mit der Zeit

erhöhen. Durch den Aufbau organischer Substanz und Pflegemaßnahmen, wie zum Beispiel aerifizieren, kann die Härte mit der Zeit geringer werden. Dies wird bei dem Naturrasenspielfeld 2, mit einem höheren Anteil an organischer Substanz deutlich, der sich mit der Zeit, also mit dem Alter in der Rasentragschicht aufbaut und der, insbesondere aufgrund seiner Wasserspeicherfähigkeit mit der Zeit zu geringeren Härtewerten führt (97 Gm CIV5).

Das Spielfeld mit dem Korkgranulat ist etwas härter als das Spielfeld mit dem Gummigranulat. Dies liegt an der Korngrößenverteilung der Granulate. Das Korkgranulat besitzt eine feinere Korngröße sowie eine höhere Ungleichförmigkeit, was zu einer höheren Verdichtungswilligkeit des Materials und somit offenbar zu höheren Härtewerten führt. Zudem konnte festgestellt werden, dass eine Verlagerung des Granulats durch den Wind stattfindet. Hiervon ist auszugehen, weil die Verlagerung mit der Hauptwindrichtung übereinstimmt. Eigentlich ist das Korkgranulat an sich leichter, jedoch durch den Abrieb und die Verwitterung findet eine Veränderung der Korngrößenverteilung statt. Das Material wird mit der Zeit kleiner und ungleichförmiger und bietet dem Wind daher weniger Angriffsfläche, weshalb die Verlagerung bei diesem Kork-Sand-Gemisch offenbar nicht in gleichem Maße stattfindet, wie bei dem Gummigranulat. Da das Korkgranulat mit Sand vermischt ist, weist es einerseits eine differenzierte Korngrößenverteilung auf, was es verdichtungsfähiger macht und andererseits auch insgesamt wieder schwerer. Das Korkgranulat ist als Naturprodukt stärkeren Zersetzungsprozessen unterlegen als das Gummigranulat und daher auf die Zeit betrachtet weniger formstabil.

Die Einheitlichkeit der Spielfeldqualität im Hinblick auf die Härte ist bei dem Hybridrasensystem im Stadion ebenso hoch wie bei dem korkbefüllten Kunstrasensystem. Unter den Naturrasenspielfeldern sind ähnlich hohe Werte festzustellen, wobei das älteste Spielfeld mit den höchsten Werten an organischer Substanz die größten Unterschiede in der Härte aufweist, also am uneinheitlichsten im Hinblick auf die Härte ist.

Eine ganzheitliche Bearbeitung durch das Aerifizieren würde die Härte eines Spielfeldes zwar verringern, jedoch nicht zu einer einheitlicheren Spielfeldhärte führen. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Anwendung der Härtemessung in der Praxis eine erhebliche Kosteneinsparung bei der Pflege möglich ist, wie der Wirtschaftsteil in Kapitel 5 beispielhaft darstellt.

Es ist davon auszugehen, dass eine einheitlichere Spielfeldqualität zu einem geringeren Verletzungsrisiko für die Fußballspieldenden führt. Studien hierzu sind nach der Literaturrecherche ebenso wenig bekannt, wie Studien zu den für Fußballspielenden optimalen Härtewerten, was den dringenden Bedarf für weitere Forschungsarbeiten in diese Richtung aufzeigt. "*Wie beeinflusst die Härte des Rasensystems das Verletzungsrisiko eines Fußballspielenden?*", "*Inwieweit besteht ein Zusammenhang zwischen Entzündungswerten der Fußballspielenden und der Härte eines Fußballrasensystems?"*, "*Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Härte und der Dehnfähigkeit der Muskulatur nach dem Spiel?"* oder *"Wie weich darf ein Spielfeld maximal sein, um die Performance hinsichtlich des Ballroll- und Ballsprungverhaltens im professionellen Fußball zu gewährleisten und dabei gleichzeitig das Verletzungsrisiko zu minimieren?".* Dies wären beispielhafte Fragestellungen für weitere Forschungen, denn bisher gibt es noch keine umfassende Studie, die sowohl medizinische als auch performancetechnische sowie bodenphysikalische Aspekte in diesem Zusammenhang miteinander verbindet.

## Zusammenfassung

Die Härtemessung von Sportrasenflächen zählt derzeit nicht zu dem standardmäßigen Untersuchungsumfang der Sachverständigenbüros im deutschsprachigen Raum, die in diesem Gebiet tätig sind. Da die Härte eines Fußballfeldes das Spielverhalten der Fußballspieler hinsichtlich der Unvorhersehbarkeit des Ballrücksprungs beeinflusst und ausschlaggebend für das Verletzungsrisiko ist, sind eine Quantifizierung der Härte von Fußballplätzen und die Einschätzung der Parameter, die sie beeinflussen, wichtig. Zudem stellt sich zunächst die Frage, inwieweit sich die unterschiedlichen Rasensysteme (Natur- Hybrid- und Kunstrasen) hinsichtlich der Härte voneinander unterscheiden und inwieweit diese neue Methode in der Praxis angewandt werden kann um die Einheitlichkeit der Spielfeldoberfläche zu verbessern und gleichzeitig Kosten für die Pflege einzusparen. Das Ziel dieser Arbeit ist zunächst eine Einstufung der Messergebnisse mit dem Clegg Impact Soil Tester (CIST) für unterschiedliche Fußballrasensysteme sowie die Anwendung der Methode in der Praxis zur Vereinheitlichung der Spielfeldqualität. Hierfür wurden ein Hybridrasenspielfeld mit Fibersand, drei unterschiedlich alte Naturrasenspielfelder sowie zwei unterschiedlich befüllte Kunstrasenspielfelder (Gummi- und Korkgranulat) untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Härte der untersuchten Spielfelder und Rasensysteme deutlich voneinander unterscheidet und auch innerhalb der verschiedenen Systeme sind deutliche Härteunterschiede festgestellt worden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Alter und der damit in Zusammenhang stehende Anteil an organischer Substanz einen wesentlichen Einfluss auf die Härte eines Spielfeldes haben. Diese Arbeit zeigt, dass durch die Anwendung der Härtemessung in der Praxis eine erhebliche Kosteneinsparung bei der Pflege möglich ist und gleichzeitig die Möglichkeit besteht, die Spielfeldqualität zu vereinheitlichen.

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Projektarbeit eigenständig verfasst habe und nur die von mir angeführten Unterlagen verwendet habe.

St. Pölten, 2.1.2024

Ort, Datum

Unterschrift

# Anhang

Anhang 1: Korngrößenverteilung Rasentragschicht Hybridrasenspielfeld Fibersand

## Korngrößenverteilung (DIN 18 123)

Anlage:

**Projektnummer: 3281123**

Auftraggeber: S. Thanheiser
Bezeichnung: St. Pölten

Lage: Hybrid Fiber
Tiefe: Rasentragsch.
Bodenart: S, u', fg'
Labornummer: 422/23
ausgeführt am: 23.11.23
durch: Hu.

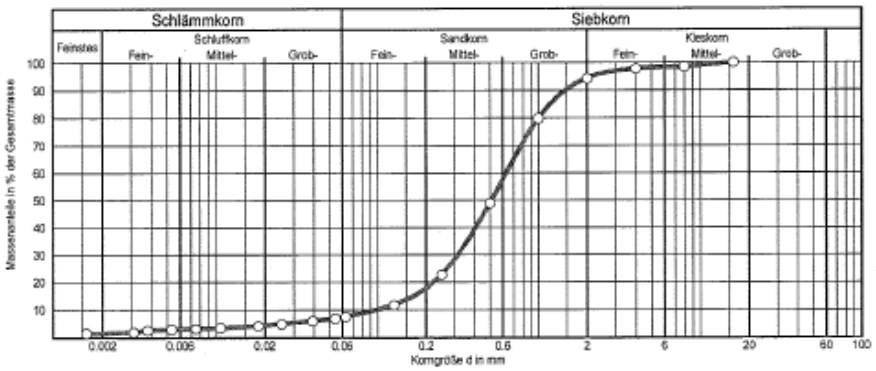
Art der Probe: Eimer
Art der Entnahme: gestört
Entnommen am: 23.10.23
Entnommen durch: ST
Eingang am: 23.10.23

*Siebung:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Siebdurchgang [%] |
|---|---|
| | |
| > 63.0 | |
| 31.5 - 63.0 | |
| 22.4 - 31.5 | |
| 16.0 - 22.4 | |
| 8.00 - 16.0 | 100.0 |
| 4.00 - 8.00 | 98.4 |
| 2.00 - 4.00 | 97.7 |
| 1.00 - 2.00 | 94.2 |
| 0.500 - 1.00 | 79.8 |
| 0.250 - 0.500 | 48.9 |
| 0.125 - 0.250 | 22.7 |
| 0.0630 - 0.125 | 11.7 |
| < 0.0630 | 7.5 |

*Sedimentation:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Sedimentation [%] | Massenanteile Gesamt [%] |
|---|---|---|
| | | |
| 0.054 | 90.2 | 6.8 |
| 0.039 | 78.9 | 5.9 |
| 0.025 | 64.5 | 4.8 |
| 0.018 | 54.6 | 4.1 |
| 0.011 | 45.2 | 3.4 |
| 0.0075 | 41.2 | 3.1 |
| 0.0053 | 36.9 | 2.8 |
| 0.0038 | 33.4 | 2.5 |
| 0.0031 | 24.5 | 1.8 |
| 0.0016 | 18.2 | 1.4 |
| | | |
| | | |
| | | |




Wassergehalt w = 9.1 %
Ungleichförmigkeitszahl U = 6.36
Krümmung $C_C$ = 1.60

$d_{10}$ = 0.099 mm
$d_{25}$ = 0.27 mm
$d_{30}$ = 0.32 mm
$d_{60}$ = 0.63 mm


Bodenlabor
BoPHYS GmbH
Gewerbeallee 5 • 04821 Brandis
Tel.: 034292-641080 • Fax: 034292-641081

Anhang 2: Korngrößenverteilung Rasentragschicht Naturrasenspielfeld 1

## Korngrößenverteilung (DIN 18 123)

Anlage:

Projektnummer: 3281123

Auftraggeber: S. Thanheiser
Bezeichnung: St. Pölten

Lage:
Tiefe: Rasentragsch.
Bodenart: mS-gS, fg, u'
Labornummer: 422/23
ausgeführt am: 23.11.23
durch: Bo.

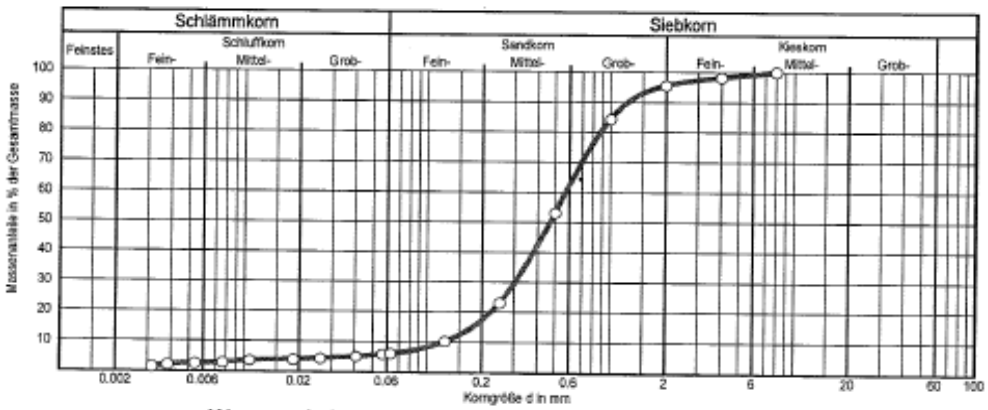
Art der Probe: Eimer
Art der Entnahme: gestört
Entnommen am:
Entnommen durch: ST
Eingang am: 23.10.23

*Siebung:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Siebdurchgang [%] |
|---|---|
| | |
| > 63.0 | |
| 31.5 - 63.0 | |
| 22.4 - 31.5 | |
| 16.0 - 22.4 | |
| 8.00 - 16.0 | |
| 4.00 - 8.00 | 100.0 |
| 2.00 - 4.00 | 98.1 |
| 1.00 - 2.00 | 95.5 |
| 0.500 - 1.00 | 84.3 |
| 0.250 - 0.500 | 53.1 |
| 0.125 - 0.250 | 23.0 |
| 0.0630 - 0.125 | 10.1 |
| < 0.0630 | 5.9 |

*Sedimentation:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Sedimentation [%] | Massenanteile Gesamt [%] |
|---|---|---|
| | | |
| 0.057 | 96.1 | 5.7 |
| 0.041 | 83.0 | 4.9 |
| 0.026 | 71.1 | 4.2 |
| 0.019 | 64.0 | 3.8 |
| 0.011 | 59.2 | 3.5 |
| 0.0077 | 46.0 | 2.7 |
| 0.0054 | 41.1 | 2.4 |
| 0.0038 | 32.5 | 1.9 |
| 0.0032 | 20.8 | 1.2 |
| | | |
| | | |
| | | |




Wassergehalt w = 20.9 %
Ungleichförmigkeitszahl U = 4.61
Krümmung $C_c$ = 1.30

$d_{10}$ = 0.12 mm
$d_{25}$ = 0.27 mm
$d_{30}$ = 0.30 mm
$d_{60}$ = 0.57 mm

BoPHYS GmbH
Bodenlabor
Gewerbeallee 5 • 04821 Brandis
Tel.: 034292-641080 • Fax: 034292-641081

Anhang 3: Korngrößenverteilung Rasentragschicht Naturrasenspielfeld 2

# Korngrößenverteilung (DIN 18 123)

Anlage:

## Projektnummer: 3281123

Auftraggeber: S. Thanheiser
Bezeichnung: St. Pölten

Lage: Naturrasen 2 (alt)
Tiefe: Rasentragsch.
Bodenart: S, u', fg'
Labornummer: 422/23
ausgeführt am: 23.11.23
durch: Bo.

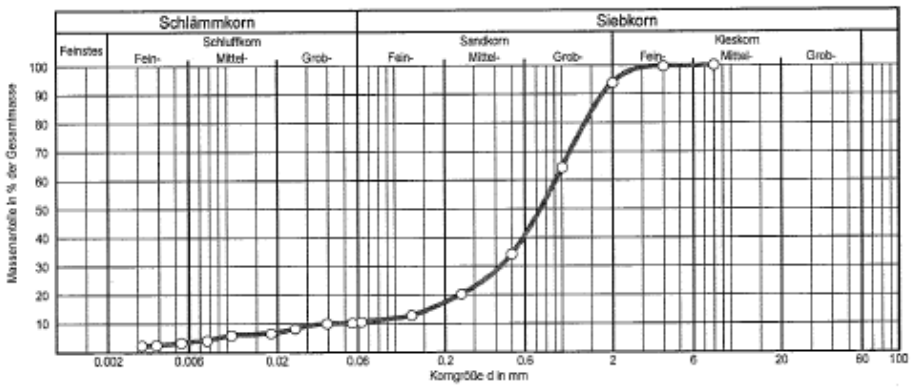
Art der Probe: Eimer
Art der Entnahme: gestört
Entnommen am: 23.10.23
Entnommen durch: ST
Eingang am: 23.10.23

*Siebung:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Siebdurchgang [%] |
|---|---|
| | |
| > 63.0 | |
| 31.5 - 63.0 | |
| 22.4 - 31.5 | |
| 16.0 - 22.4 | |
| 8.00 - 16.0 | |
| 4.00 - 8.00 | 100.0 |
| 2.00 - 4.00 | 99.6 |
| 1.00 - 2.00 | 93.9 |
| 0.500 - 1.00 | 64.4 |
| 0.250 - 0.500 | 34.2 |
| 0.125 - 0.250 | 20.2 |
| 0.0630 - 0.125 | 12.7 |
| < 0.0630 | 10.5 |

*Sedimentation:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Sedimentation [%] | Massenanteile Gesamt [%] |
|---|---|---|
| | | |
| 0.055 | 96.7 | 10.1 |
| 0.039 | 94.9 | 9.9 |
| 0.025 | 77.3 | 8.1 |
| 0.018 | 61.6 | 6.5 |
| 0.011 | 55.5 | 5.8 |
| 0.0077 | 38.4 | 4.0 |
| 0.0054 | 30.8 | 3.2 |
| 0.0039 | 22.8 | 2.4 |
| 0.0032 | 21.0 | 2.2 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |




Wassergehalt w = 17.3 %
Ungleichförmigkeitszahl U = 21.4
Krümmung $C_c$ = 4.73

$d_{10}$ = 0.043 mm
$d_{25}$ = 0.34 mm
$d_{30}$ = 0.43 mm
$d_{60}$ = 0.92 mm


Bodenlabor
BoPHYS GmbH
Gewerbeallee 5 • 04821 Brandis
Tel.: 034292-641080 • Fax: 034292-641081

Anhang 4: Korngrößenverteilung Rasentragschicht Naturrasenspielfeld 3

# Korngrößenverteilung (DIN 18 123)

Anlage:

## Projektnummer: 3281123

Auftraggeber: S. Thanheiser
Bezeichnung: St. Pölten

Lage: Naturrasen 3 (neu)
Tiefe: Rasentragsch.
Bodenart: mS-gS, fg, u'
Labornummer: 422/23
ausgeführt am: 23.11.23
durch: Bo.

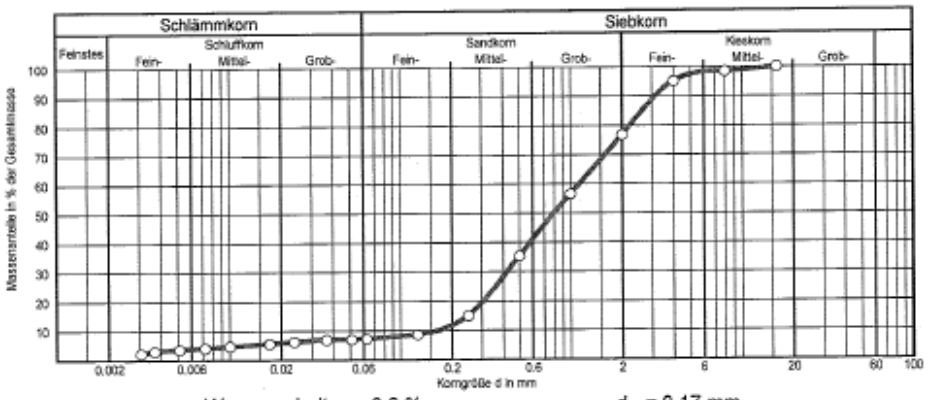
Art der Probe: Eimer
Art der Entnahme: gestört
Entnommen am: 23.10.23
Entnommen durch: ST
Eingang am: 23.10.23

*Siebung:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Siebdurchgang [%] |
|---|---|
| | |
| > 63.0 | |
| 31.5 - 63.0 | |
| 22.4 - 31.5 | |
| 16.0 - 22.4 | |
| 8.00 - 16.0 | 100.0 |
| 4.00 - 8.00 | 98.4 |
| 2.00 - 4.00 | 95.1 |
| 1.00 - 2.00 | 76.7 |
| 0.500 - 1.00 | 56.5 |
| 0.250 - 0.500 | 35.3 |
| 0.125 - 0.250 | 15.0 |
| 0.0630 - 0.125 | 8.5 |
| < 0.0630 | 7.1 |

*Sedimentation:*

| Korngröße [mm] | Massenanteile Sedimentation [%] | Massenanteile Gesamt [%] |
|---|---|---|
| | | |
| 0.051 | 97.3 | 6.9 |
| 0.037 | 95.5 | 6.8 |
| 0.024 | 85.4 | 6.1 |
| 0.017 | 75.9 | 5.4 |
| 0.010 | 64.4 | 4.6 |
| 0.0072 | 55.7 | 4.0 |
| 0.0051 | 49.6 | 3.5 |
| 0.0037 | 40.9 | 2.9 |
| 0.0031 | 29.7 | 2.1 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

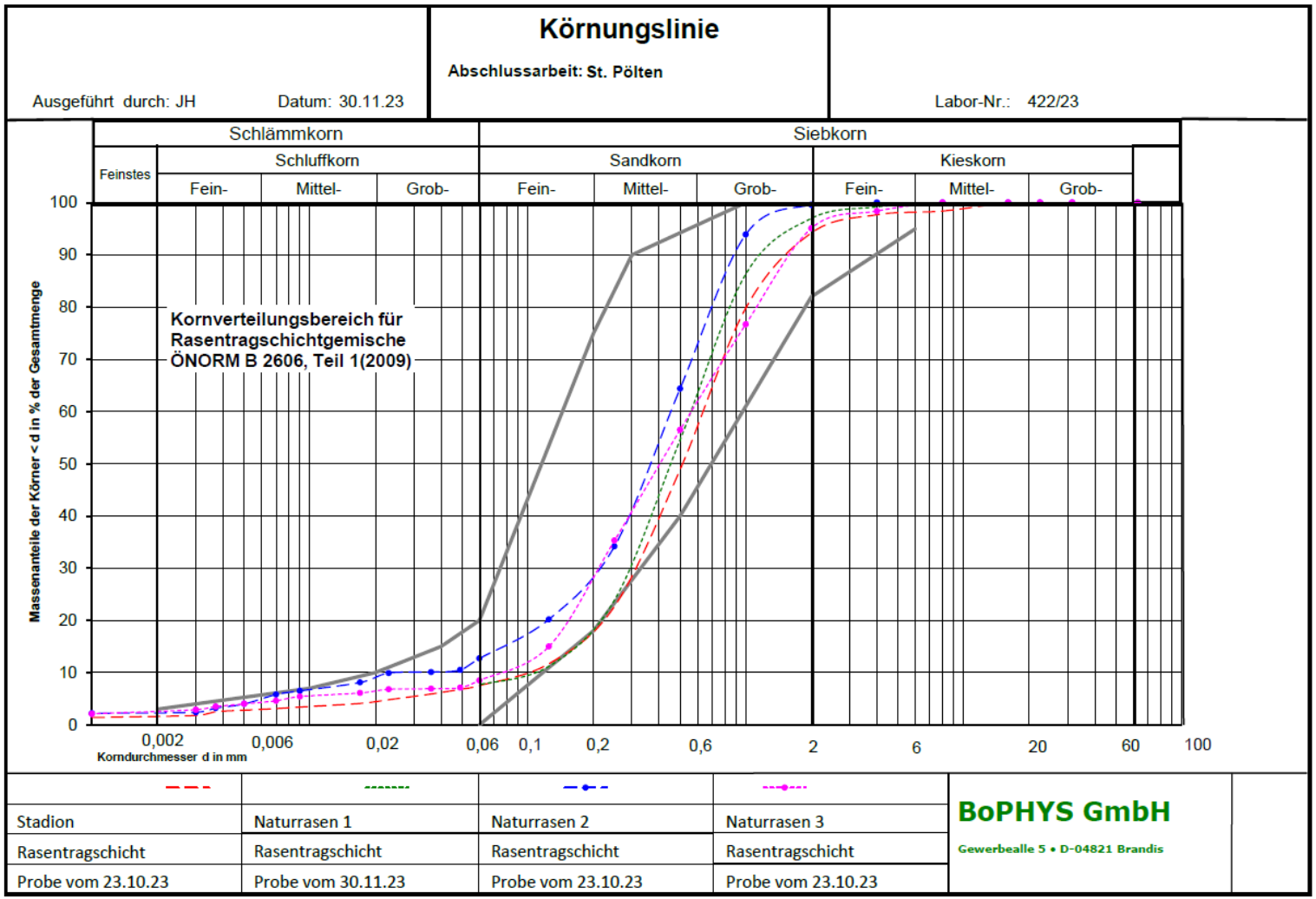



Wassergehalt w = 6.6 %
Ungleichförmigkeitszahl U = 6.69
Krümmung $C_c$ = 0.951

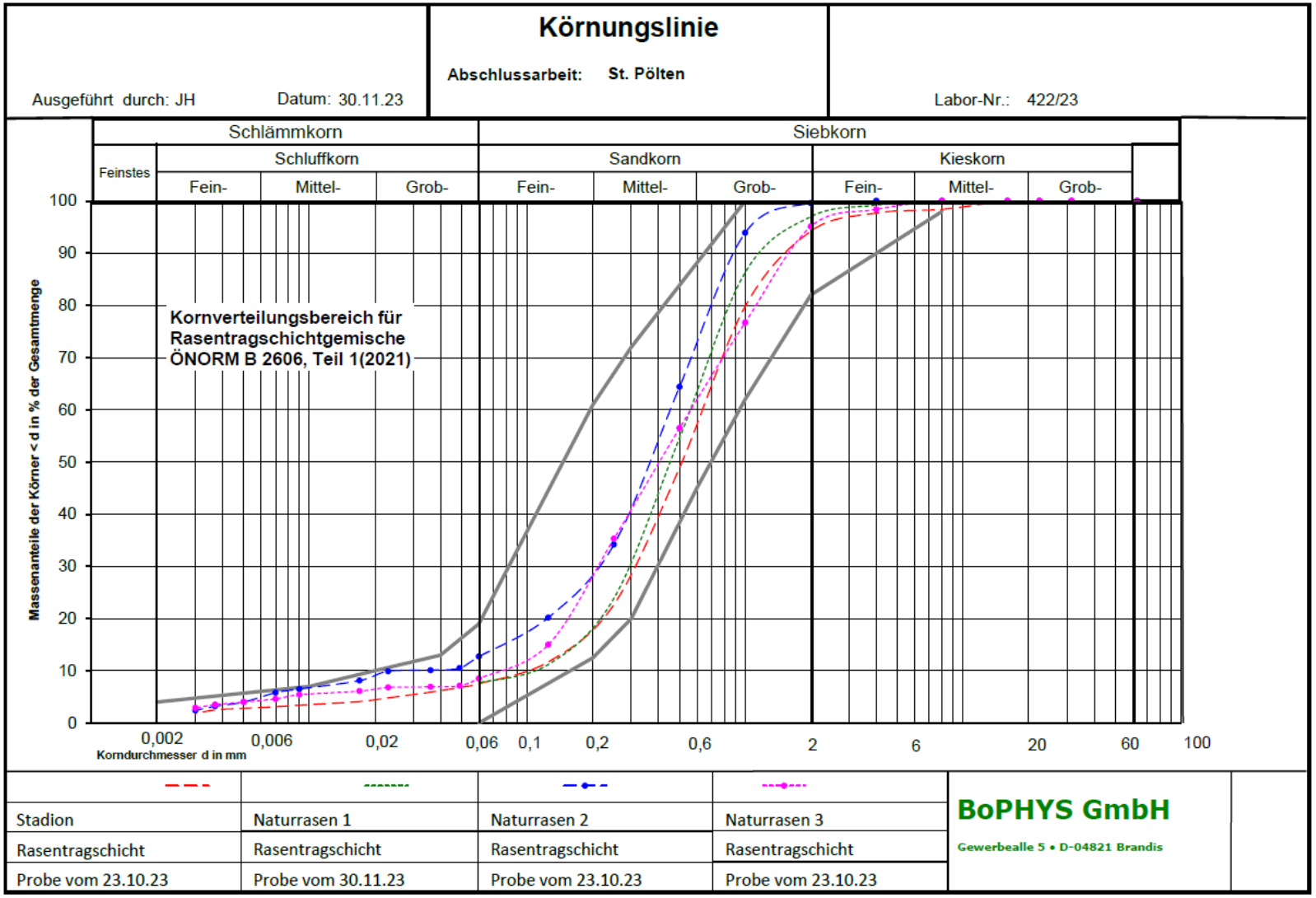
$d_{10}$ = 0.17 mm
$d_{25}$ = 0.36 mm
$d_{30}$ = 0.43 mm
$d_{60}$ = 1.1 mm


Bodenlabor
BoPHYS GmbH
Gewerbeallee 5 • 04821 Brandis
Tel.: 034292-641080 • Fax: 034292-641081

Anhang 5: Sieblinienband nach ÖNROM B2606-1 2009



Anhang 6: Sieblinienband nach ÖNROM B2606-1 2021



## Literaturverzeichnis

Al Amoudi, O. S. B., Asi, I. M., Wahhab, A.-A., Khan, A. Z. (2002): Clegg Hammer-California-Bearing Ratio Correlations. In: Journal of Materials in Civil Engineering. November / December 2002, S. 512-523

Baader, P. (2015): Vergleichende wissenschaftliche Untersuchungen an Systemen zur Kunststoffarmierung von Rasentragschichten und Rasennarben im Sportplatzbau. (kurz: Prüfung Hybridrasensysteme. Vortrag: Deutsche Rasengesellschaft. Basel

Clegg, B. (1976): An impact testing device for in situ base course evaluation. In: ARRB Proceedings. 8 (8), 1-6

Clegg, B. (1992): Clegg Impact Soil Tester. Testing recreation turf with the Clegg Impact Soil Tester. Newsletter, Baden Clegg PTY Ltd, Jolimont, Western Australia Verfügbar unter: http://sdinst.com/sites/default/files/downloads/nl11rev2.pdf Zugriff: 08.10.2017

DFL – Deutsche Fußballliga (2018): Qualitätssicherung für Stadionrasen. Arbeitsbuch für das Greenkeeping in der Bundesliga und 2. Bundesliga. Verfügbar unter: https://media.dfl.de/sites/2/2022/06/DE_DFL_Broschuere_Greenkeeping_Stadionrasen_Ansichts_PDF.pdf (Zugriff: 12.23)

Desso Sports Systems (2017): Verfügbar unter: http://www.dessosports.com/de/hybridrasen Zugriff: 01.10.2017

Heibaum, M. (2007): Hydraulische Anwendungen von Geokunststoffen. In: Geotechnik, 30:2, 95-107.

Prinz, H, Strauß, R (2011): Ingenieurgeologie. 5. bearb. und erw. Aufl., Heidelberg

Schaal, A. (2017): Planung und Bau von Fußball-Hybridrasenspielfeldern. Im Gespräch mit Selina Thanheiser, Augsburg, 03. August 2017 (Abschrift in Anhang)

EuroSportsTurf (2017): Verfügbar unter: https://www.eurosportsturf.com/ Zugriff: 21.09.2017

FIFA (2016): Spielregeln 2015/2016. Verfügbar unter: http://de.fifa.com/mm/Document/FootballDevelopment/Refereeing/02/36/01/11/LawsofthegamewebDE_German.pdf Zugriff:03.07.2016

Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R. Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde 16. Auflage. Spektrum Verlag. Heidelberg.

SD-Instrumentation (2014): Clegg Impact Soil Tester. Verfügbar unter: http://www.sdinst.com/ Zugriff: 11.04.2016

SD-Instrumentation (o.J.): CIST/883/Stor/Blu. Clegg Impact Soil Tester – 2,25 Kg Model. Single Drop  Display Reading in Gravities (Gm). Operating Manual. Version 1.25

Thanheiser S. (2017): Fotodokumentation während der Felduntersuchungen und Erstellung der Sieblinienbänder Thanheiser S., Grashey-Jansen S., Armbruster G.: Hardness measurement of soccer fields: Study on natural and hybrid turf soccer fields.

Woodward, W. D. H., Woodside, A. R. (2004): Predicting the performance of type 1 Slate Aggregate. Transport & Road Assessment Center, University of Ulster.

## Normenverzeichnis

ASTM 1702-96 (2002) - Standard Test Method for Measuring Shock-Attenuation Characteristics of Natural Playing Surface Systems Using Lightweight Portable Apparatus.

DIN EN 14954 (2005): Bestimmung der Härte von Naturrasen und ungebundenen mineralischen Belägen für Sportböden für den Außenbereich.

DIN 18035 Teil 4 (2012): Sportplätze - Rasenflächen

DIN 18121 Teil 2 (2012): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt

DIN 18123 Teil 4 (2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung

EN ISO 14688 Teil 2 (2004): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden

DIN 18196 (2006): Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN 18128 (2002): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes

ÖNROM B2606-1 (2009): Sportplatzbelege. Teil 1: Naturrasenspielfelder

ÖNROM B2606-1 (2021): Sportplatzbelege. Teil 1: Naturrasenspielfelder