

Scherfestigkeitsuntersuchungen auf Naterrasen-Sportplätzen

Masterarbeit

zu Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

Verfasserin: Barbara Holzinger (Bakk.techn.)

Betreuung:

O. Univ. Prof. Dr. Florin FLORINETH – BOKU Wien,
Dipl. Ing. agr. Wolfgang HENLE und Dipl. Ing. agr.
Hartmut SCHNEIDER – RASENFACHSTELLE der
Universität Hohenheim

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau



Wien, Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	4
Kurzfassung	5
Abstract	6
1. Einleitung	7
2. Literaturübersicht	9
2.1 Anforderungen an Sportrasenflächen	9
2.1.1 Konstruktionen nach DIN 18035-4 mit künstlicher Rasentragschicht	11
2.1.2 Konstruktionen mit Oberboden	12
2.1.3 Strapazierrasen	12
2.2 Scherfestigkeit als Festigkeitsparameter	13
2.3 Einflussparameter auf die Scherfestigkeit in einer Rasentragschicht	16
2.3.1 Bodenverdichtung	16
2.3.2 Zustand der Rasennarbe	17
2.3.3 Filzdicke	18
2.3.4 Wurzelwachstum	19
2.3.5 Bodenwassergehalt	19
2.3.6 Korngrößenverteilung	20
2.3.7 Lagerungsdichte	20
2.4 Untersuchung der Scherfestigkeit unter Freilandbedingungen	21
3. Versuchsthemen und Fragestellungen	22
4. Untersuchungsorte	23
4.1 Fußballplatz der Universität Hohenheim	25
4.2 Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen	27
4.3 Weiherstadion, Hechingen	29
4.4 Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart-Bad Cannstatt	31
4.5 Scholz-Arena, Aalen	33
4.6 Impuls-Arena, Augsburg	35
5. Untersuchungsmethodik	37
5.1 Versuchsplan	37
5.2 Untersuchung der Scherfestigkeit in unterschiedlichen Bodentiefen	38
5.2.1 Stollenschergerät an der Rasennarbe	39
5.2.2 Flügelsonde an der Oberfläche der Rasentragschicht	40

5.2.3	Flügelsonde in der Rasentragschicht	41
5.3	Untersuchung der Verdichtung des Bodens	42
5.4	Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens	45
5.5	Untersuchung des Zustands der Rasennarbe	47
5.6	Untersuchung der Filzmächtigkeit und der Durchwurzelung	52
5.7	Untersuchung des volumetrischen Bodenwassergehalts	54
5.8	Untersuchung der Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte und des gravimetrischen Bodenwassergehalts	55
5.9	Statistische Auswertung	57
5.9.1	Aufbereitung der ausgewerteten Daten	57
5.9.2	Zwei-Stichproben t-Test (Paarvergleichstest)	58
5.9.3	Korrelationsanalyse	58
6.	Ergebnisse	59
6.1	Sportplatz der Universität Hohenheim	59
6.2	Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen	62
6.3	Weiherstadion, Hechingen	66
6.4	Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart	70
6.5	Scholz-Arena, Aalen	73
6.6	Impuls-Arena, Augsburg	76
7.	Beantwortung der Fragestellungen und Diskussion der Ergebnisse	80
7.1	Labor- und Freilandprüfung	80
7.2	Scherfestigkeit und Bauweise	82
7.3	Scherfestigkeit und Bodentiefe	84
7.4	Scherfestigkeit und Eindringwiderstand	86
7.5	Scherfestigkeit und unterschiedliche Belastungszonen	88
7.6	Scherfestigkeit und Hauptwurzelhorizont	90
7.7	Scherfestigkeitsmessgeräte: Stollenschergerät vs. Flügelsonde	91
8.	Ausblick und Vorschläge für die Praxis	93
9.	Zusammenfassung und Resümee	96
10.	Quellenverzeichnis	99
10.1	Literatur	99
10.2	Normen und Richtlinien	103
10.3	Internet	104
10.4	Mündliche Mitteilungen	105

11.	Abbildungsverzeichnis	107
12.	Abkürzungsverzeichnis	110
13.	Diagrammverzeichnis	111
14.	Tabellenverzeichnis	113
15.	Anhang	115
15.1	Fragebogen für die Platzwarte und Messprotokolle	115
15.2	Tabelle t-Test: Prüfung der Bauweisen	124
15.3	Tabelle t-Test: Messtiefe und Scherfestigkeit	124
15.4	Tabelle t-Test: Belastungszonen und Scherfestigkeit	127
15.5	Tabelle t-Test: Hauptwurzelzone und Scherfestigkeit	133
15.6	Korrelationsanalysen: Eindringwiderstand und Scherfestigkeit	134
15.7	Korrelationsanalysen: Stollenschergerät und Flügelsonde	136

Danksagung

Mein Dank gilt

O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth für den interessanten Themenvorschlag und die Betreuung der Arbeit.

Dipl. Ing. agr. Wolfgang Henle und **Dipl. Ing. agr. Hartmut Schneider** von der Rasen-Fachstelle der Universität Hohenheim für ihre Hilfestellung und Betreuung der Arbeit, sowie viele wichtige Ratschläge und Informationen.

Der **Deutschen Rasengesellschaft** für die finanzielle Unterstützung.

Dem **Fördererkreis Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung** für die finanzielle Unterstützung.

Allen **Verantwortlichen der Sportplätze**, die die Untersuchungen genehmigt haben, sowie den zuständigen **Platzwarten** für ihre Auskunftsbereitschaft.

Herrn **Georg Armbruster** für die Hilfeleistung bei den Scherfestigkeitsmessungen und für wichtige Tipps.

Felix Teufel und **Ortrud Jäck** für ihre Unterstützung bei den Messungen.

Bakk. techn. Doris Seebacher für ihre Hilfsbereitschaft und weil ich immer auf sie zählen kann.

Meinem Freund **M. Sc. Matthias Bannwarth** für Anregungen und Hilfestellung beim Schreiben der Arbeit.

Meinem Opa **Ernst Holzinger sen.** für die Instandsetzung wichtiger Messinstrumente.

Meinen Eltern **Bruno** und **Elisabeth Holzinger** für Ermutigung und Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit.

Allen meinen **Freunden** und **Verwandten** für gute Gespräche, anregende Diskussionen und ermunternde Worte.

Kurzfassung

Scherfestigkeitsuntersuchungen auf Naturrasen-Sportplätzen

In Anlehnung an die neu vorgeschlagene Laborprüfung der Scherfestigkeit von Rasentragschichtgemischen im Entwurf der DIN 18035-4 (2007), wurde die Scherfestigkeit belastbarer Rasenflächen unter Freilandbedingungen untersucht. Die Messungen fanden von Juni bis September 2010 an sechs Fußballplätzen mit Naturrasenbelag in Süddeutschland statt. Gemessen wurde dabei an zwei Sportplätzen mit oberbodenhaltigem Aufbau und an vier Stadionplätzen mit sandigen Rasentragschichten nach DIN 18035-4 (1991). Für die Messungen wurden auf allen untersuchten Fußballplätzen jeweils vier identische Messparzellen unterschiedlich stark belasteter Bereiche der Spielfelder ausgewählt.

Ziel der Untersuchungen war Messwerte für die Scherfestigkeit unter natürlichen Bedingungen zu ermitteln und ihr Vergleich mit den geforderten Werten aus den Labormessungen nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007). Des Weiteren wurden beeinflussende Faktoren der Scherfestigkeit wie Bewuchs, Bodenverdichtung und -feuchtigkeit untersucht.

Zwei Verfahren wurden im Zuge der Messungen verglichen: Messungen mit einer Flügelsonde, wie sie in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) für die Laborprüfungen verwendet wird, erscheinen auch für vergleichende Messungen in situ als gut geeignet. Die in situ gemessenen Scherfestigkeitswerte bei Verwendung des gleichen Messgerätes, Messverfahrenes und Messtiefe, überschritten die bei der Laborprüfung geforderten Werten um bis zu 230 %. Besonderen Einfluss auf die Erhöhung der Scherfestigkeit zeigten die Spiel- und Pflegeintensität, sowie der Bewuchs. Bodenverdichtungen führten tendenziell zu einer höheren Scherfestigkeit. In Bereichen mit Bodenverdichtungen, vor allem durch intensives Spiel, zeigte sich aber eine Schädigung des erwünschten Pflanzenbestandes und ungenügendes Pflanzenwachstum. Es trat außerdem ein höherer Anteil unerwünschter Pflanzen auf, insbesondere stolonienbildende Gräser, die die Oberflächenscherfestigkeit lokal reduzierten. Die Untersuchungen zeigten, dass durch regelmäßige Bodenbearbeitung Verdichtungen in der Rasentragschicht reduziert werden können, ohne dabei die Scherfestigkeit herabzusetzen.

Abstract

Investigations concerning the shear resistance on natural turf sports grounds

According to current standardized regulations of natural turf sports grounds (DIN 18035-4, 2007), it is necessary to carry out new analyses concerning the shear resistance in root zones. Recently root zone mixtures have been investigated in laboratories under the use of special vanes. On the basis of these new investigations, in this study, the shear resistance of natural turf sports grounds was tested under field conditions. For this purpose, measurements on six soccer pitches in southern Germany were performed from June to September 2010. Two pitches, built with natural soil, and four sites, built with a sandy based root zone mixture regarding the DIN 18035-4 (1991), were investigated. In all investigated soccer pitches, identical measurements were carried out in characteristic zones with different intensive play. The aim of these investigations was to determine measured values for the shear resistance under field conditions and to compare these values to the standardized values given by the DIN 18035-4 (2007). Additionally, interactive factors concerning the shear resistance such as soil compaction and humidity together with natural cover have been examined.

Furthermore two different methods of examining shear resistance have been tested: The use of vanes for laboratory shear resistance measurements in root zone mixtures (following DIN 18035-4, 2007) can also be recommended for in situ measurements. Using comparable methods as well as measuring in the same depths, the shear resistances measured have exceeded the shear resistance demanded for laboratory analyzes up to 230 %. The biggest increase in shear resistance was caused by intensive use and high maintenance management as well as by the plant species covering the ground. Soil compaction generally increased shear resistance, especially on highly intensive played areas but caused a degradation and insufficient regeneration of the existing turf. Consequently, undesirable plants have developed, e.g. stoloneous grasses, which resulted in a reduction of the local shear resistance. Analyses performed in this study implied that regularly performed management operations, such as aerification, reduce soil compactions effectively without degrading its shear resistance.

1. Einleitung

Für die Festigkeit des Bodens ist in der Vegetationstechnik die Scherfestigkeit, die weitgehend durch die Bodenart und den Pflanzenbewuchs bestimmt wird, seit längerer Zeit ein wichtiger Begriff. Für Bauwerke, bei denen nicht nur Baustoffe wie Stein, Beton oder Erde, sondern auch lebende Pflanzen als „Baumaterial“ eingesetzt werden, müssen die gewünschten Pflanzenarten mit den Standortbedingungen zurecht kommen und den geforderten Kriterien an die Baustoffe entsprechen. Zu solchen Bauwerken mit einer Kombination toter und lebender Materialien zählen auch Sportplätze mit einer natürlichen Rasendecke.

Fußball ist eine beliebte Sportart, sowohl für sportlich Aktive als auch als Zuschauersport. Naturrasen stellt in vielen Fällen den Belag der Fußballplätze dar und unterliegt einer immensen Belastung durch das Spiel. Lediglich der Rasentyp Strapazierrasen hält bei entsprechender Pflege dieser Belastung stand (DIN 18917, 2002). Für eine bestmögliche regelkonforme Sportausübung soll der beispielbare Untergrund trittstabil und tragfähig sein, aber trotzdem eine weiche und somit verletzungsmindernde Oberfläche aufweisen.

In der Vegetationstechnik und der Ingenieurbiologie werden die stabilisierenden Eigenschaften von Pflanzen auf den Boden und auf eine höhere Bodenscherfestigkeit beschrieben (FLORINETH und KLOIDT, 2007; TOBIAS, 1991). Eine erhöhte Scherfestigkeit des Bodens geht oftmals mit Verdichtungserscheinungen einher. Hohe Verdichtungsgrade können zu hohen Bodenscherfestigkeitswerten führen, limitieren jedoch die Gräseretablierung und -regeneration und haben somit negative Auswirkungen auf den Pflanzenbestand (LIESECKE und SCHMIDT, 1978). Eine hohe Scherfestigkeit steht im Gegensatz zu starken Bodenverdichtungen nicht für pflanzenschädigende Bedingungen. Vielmehr wird die Bodenscherfestigkeit durch den Einsatz geeigneter Pflanzen unterstützt und gefördert. Aus diesem Grund sind hohe Bodenverdichtungen für Sportrasenflächen unerwünscht, eine hohe Scherfestigkeit ist hingegen wichtig und erwünscht. Die Scherfestigkeit gilt neben Wasserdurchlässigkeit und Tragfähigkeit schon seit längerer Zeit als wichtiges Kriterium für belastbare Rasenflächen (SKIRDE, 1974).

In der DIN 18035-4: Sportplätze-Rasenflächen werden die Anforderungen für die Anlage von Sportrasenflächen im Freien beschrieben. Seit Mai 2007 wird die derzeitige Ausgabe der DIN 18035-4 überarbeitet und liegt im Entwurf vor. Gegenüber der immer noch gültigen Norm von 1991 wurden einige Passagen überarbeitet und abgeändert, sowie zusätzliche Anforderungen und Prüfmethoden eingeführt. Eine dieser neuen Anforderungen im Entwurf der DIN 18035-4 (2007) ist ein Kennwertbereich für die Scherfestigkeit des Rasentragschichtgemisches, ermittelt im Bodенlabor. Kennwerte für die Scherfestigkeit der Rasentragschicht im eingebauten Zustand nach Bewuchsetablierung, Nutzung und Pflege werden nicht angegeben. In den geforderten Labormessungen werden somit entscheidende Einflussparameter auf die Scherfestigkeit nicht berücksichtigt.

Dies war ein ausschlaggebender Grund, die Scherfestigkeit als vegetationstechnische Eigenschaft von Naturrasen unter Freilandbedingungen zu untersuchen. Entscheidend für die durchgeführten Untersuchungen war die Einbeziehung der Einflussfaktoren auf die Bodenschерfestigkeit. Für die Versuche standen sechs Fußballfelder unterschiedlichen Alters und Aufbaus mit differierender Pflege und Nutzungsintensität zur Verfügung. Im Gegensatz zu den Scherfestigkeitsuntersuchungen im Entwurf der DIN 18035-4 (2007) wurden die Messungen unter den Voraussetzungen einer bereits erfolgten Bewuchsetablierung, einer sportlichen Nutzung und einhergehender unterschiedlicher Pflege der Plätze durchgeführt.

2. Literaturübersicht

2.1 Anforderungen an Sportrasenflächen

Rasensportanlagen werden aktuell meist nach standardisierten Regelwerken, wie den DIN-Normen, Ö-Normen oder FLL-Richtlinien (Bau von Golf- und Reitplätzen) gebaut. Für den Bau von Rasensportplätzen interessante Werke sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Wichtige Normen für den Bau von Rasensportplätzen in Deutschland und Österreich

DIN 18035-1	Sportplätze – Teil 1: Freianlagen für Spiele und Leichtathletik, Planung und Maße
DIN 18035-2	Sportplätze – Teil 2: Bewässerung
DIN 18035-3	Sportplätze – Teil 3: Entwässerung
DIN 18035-4	Sportplätze – Teil 4: Rasenflächen
DIN 18035-5	Sportplätze – Teil 5: Tennenflächen
DIN V 18035-6	Sportplätze – Teil 6: Kunststoffflächen (Vornorm)
DIN V 18035-7	Sportplätze – Teil 7: Kunststoffrasenflächen (Vornorm)
DIN EN 12484-1	Bewässerungsverfahren - Automatische Rasenbewässerungssysteme - Teil 1: Festlegung der Aufgaben und Ausrüstungen durch den Eigentümer; Deutsche Fassung EN 12484-1:1999
ÖNORM B 2605	Sportanlagen im Freien-Spielfelder und Leichtathletikanlagen: Planungsrichtlinien und Ausführungshinweise
ÖNORM B 2606-1	Sportplatzbeläge: Naturrasen

Bei den Normen handelt es sich grundsätzlich um qualifizierte Empfehlungen. Ihre Anwendung ist dementsprechend freiwillig. Grundsätzlich wird empfohlen, sich bei Ausschreibungen an den aktuellen Normen zu orientieren. Wenn eine Ausschreibung „nach Norm“ erfolgt, ist die Einhaltung der jeweiligen Norm bei der Planung und Bauausführung zwingend, auch im Sportplatzbau. Sinn und Zweck der Sportplatzbau-Normen sind ein einheitliches Konstruktionsschema von Sportplätzen und die Verwendung funktionierender Gräsermischungen nach Anforderungen der aktuellen Regelsaatgutmischungen. Für die Konstruktionen von Sportplätzen gibt es

diverse Bauvorschläge, je nach Ansprüchen und lokalen Boden- und Klimaverhältnissen (DIN 18035-4, 1991).

Die vorliegende Arbeit hat als Grundlage die DIN 18035-4: Sportplätze-Rasenflächen. Das erste Mal wurde die DIN 18035-4 im Oktober 1974 herausgegeben. Die Ideen und das Bewusstsein der Notwendigkeit einer Norm, die einheitliche Standards für Sportplätze regelt, gab es schon einige Zeit vorher. So gewann der Bodenaufbau von Sportplätzen bereits in den 1960er Jahren immer mehr an Interesse. Zu dieser Zeit wurden Sportplätze in der Regel noch ohne Rasentragschichten und oft ohne Drainagen gebaut, sondern meist auf dem unveränderten, höchstens etwas mit Sand verbesserten Oberboden und mit Wiesenmischungen als Rasendecke angelegt. Die positiven Eigenschaften von Sand als Bodenhilfsstoff zur Erhaltung der Grobporen auch unter Belastung, zum Erhalt und zur Förderung der Wasserdurchlässigkeit und zur Verbesserung des Luftaustausches und der Durchwurzelbarkeit des Bodens waren zu dieser Zeit bereits bekannt (MÜLLER-BECK, 1977). Was jedoch im Sportplatzbau fehlte, waren konkrete, einheitliche Regelungen und Prüfungen im Labor für die eingesetzten Substrate und die entsprechenden Bodenaufbauten. So existierten auch keine genormten, geprüften Platzaufbauten in den Fußballstadien bei der Fußball-WM 1974 in der Bundesrepublik Deutschland. Vor dem Halbfinale Deutschland gegen Polen machte ein Starkregenereignis das Fußballfeld im Frankfurter Waldstadion quasi unbespielbar. Das Spiel wurde dennoch angepfiffen. 62.000 bereits ins Stadion gereiste Zuschauer und ein enger Turnierplan machten eine Absage unmöglich. Das Spiel ging als legendäre „Wasserschlacht von Frankfurt“ in die Fußballgeschichte ein (ORTH, 2008). Heute herrscht die Meinung, dass die Rasentragschicht für solche Regenereignisse entsprechend wasserdurchlässig sein muss um für ein Spiel faire Bedingungen zu schaffen und Spielabsagen zu vermeiden. Um dies zu gewährleisten wurden basierend auf Expertenwissen genormte Aufbauten eingeführt, mit der Verwendung von Materialien, die nach DIN 18035-4 genauen Prüfungen zu unterziehen sind.

Für unterschiedliche Ansprüche und Möglichkeiten, gibt es differenzierte Konstruktionsvorschläge für den Bau eines Rasensportplatzes.

2.1.1 Konstruktionen nach DIN 18035-4 mit künstlicher Rasentragschicht

Sportplätze mit hohen Ansprüchen haben meist als Grundanforderung eine schnelle Wasserableitung für eine ganzjährige Funktionsfähigkeit des Platzes. Dafür bieten sich Bauweisen nach DIN 18035-4 an. Es handelt es sich dabei um Bodenaufbauten mit künstlich hergestellten Tragschichtsubstraten. In der DIN 18035-4 gibt es dazu vier differenzierte Konstruktionsbeispiele, die die Wasserdurchlässigkeit des vorhandenen Baugrundes, dessen Bearbeitbarkeit und die örtlichen Niederschlagsverhältnisse berücksichtigen (PÄTZOLD, 1992). Konstruktionsbeispiel 1 wird eingesetzt, wenn aufgrund von genügend Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes, keine zusätzliche Entwässerungseinrichtung vorzunehmen ist. Die Konstruktionsbeispiele 2 bis 4 kommen zum Einsatz, wenn die Wasserdurchlässigkeit (zum Teil auch die Tragfähigkeit oder Bearbeitbarkeit) des Baugrunds unzureichend ist und sie verfügen jeweils über eine auf die Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes ausgerichtete Drainageeinrichtung (DIN 18035-4, 1991). Unterhalb der Rasennarbe erfolgt bei allen vier Konstruktionsbeispielen nach DIN 18035-4 immer der Einbau einer Rasentragschicht mit einem hohen Sandanteil, die eine schnelle Entwässerung auch nach starken Niederschlagsereignissen ermöglicht. Notwendigerweise sollen Rasentragschichten scherfest, tragfähig und gut wasserdurchlässig sowie leicht durchwurzelbar sein und dennoch ausreichend Nährstoffe und Wasser in pflanzenverfügbarer Form speichern können (BAADER und SKIRDE, 1987). Hoher Pflegeaufwand und künstliche Bewässerungseinrichtungen sind kostspielige aber meist unvermeidbare Aufwendungen um diese Anforderungen zu erfüllen. Für eine normgerechte Rasensportfläche mit Winterspielbetrieb wird bei SKIRDE (1974) von drei Grundanforderungen gesprochen:

- genügend Tragfähigkeit
- ausreichende Scherfestigkeit
- günstige Entwicklungsvoraussetzungen für die Rasendecke

Konstruktionen nach DIN 18035-4 gelten für Sportplätze, die regelmäßig bespielbar sein sollen. Wenn Nutzungseinschränkungen, verursacht durch Witterung oder stärkere Frequentierung, hingenommen werden können, sind Sportplätze von dieser

Norm nicht betroffen (PÄTZOLD, 1992). Dann können Bodenaufbauten, die nicht nach DIN 18035-4 erfolgen, zum Einsatz kommen.

2.1.2 Konstruktionen mit Oberboden

Auf Konstruktionen mit Oberboden, die nicht nach DIN 18035-4 erfolgen und vergleichsweise kostengünstiger sind, kann wie erwähnt zurückgegriffen werden, wenn die Ansprüche eines Rasensportplatzes an eine ganzjährige und uneingeschränkte Bespielbarkeit nicht so hoch gesteckt sind. Die Konstruktion mit Oberboden besteht aus dem anstehenden Boden, der mit Sand abgemagert wird um den Grobporenanteil zu erhöhen und somit die Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu verbessern. Gleichzeitig werden durch das Einbringen von Sand die Gefahren der Bodenverdichtungen durch Spiel und Pflege vermindert. Als vorteilhaft bei dieser Konstruktion wird zudem angenommen, dass der anstehende Boden als Wasserspeicher dient. Dadurch wird der Speicherraum für Nährstoffe vergrößert und zur Belebung der biologischen Aktivität der Rasentragschicht beigetragen (SKIRDE, 1980; NONN, 1988). Aufgrund des Verzichts auf einen wasserdurchlässigen, künstlichen Aufbau sind diese Plätze gegenüber äußeren Einflüssen, wie Frost und starkem Regen, jedoch deutlich empfindlicher.

In der Planung und im Bau von Sportrasenflächen, die einer regelmäßigen Nutzung unterliegen sollen, wird der Gebrauch von Normen und Richtlinien als sehr sinnvoll erachtet. Rasensportplätze nach diesen „Regeln der Technik“ (PÄTZOLD, 1992, S.406) können einerseits einheitliche Standards gewährleisten, andererseits wird eine Sicherheit und Transparenz bezüglich technischer Sachverhalte geboten. Davon sollen Planer und Architekt, Bauherr, ausführender Betrieb und nicht zuletzt die zukünftigen Nutzer und Nutzerinnen eines Naturrasen-Sportplatzes profitieren.

2.1.3 Strapazierrasen

Für Naturrasen-Sportplätze kommt der Rasentyp Strapazierrasen zum Einsatz (DIN 18035-4, 1991). Dieser zeichnet sich durch besondere Belastungsfähigkeit, Verträglichkeit gegenüber Tritt und Schnitt, hohem Narbenbildungsvermögen,

dunklem Farbaspekt und guter Regenerationsfähigkeit aus (FLORINETH, 2009; HENLE et al., 2010; NONN et al., 2007).

Mit einer Benutzung von Rasensportplätzen wird das Bodensubstrat durch die teils starken Belastungen mit der Zeit verändert. Die Hauptbelastungen auf Rasensportplätzen tragen jedoch die lebenden Pflanzen (NONN, 1988). Die Gräser müssen elastisch sein, ein gesundes und kräftiges Wachstum von Wurzeln und Spross aufweisen. Nur dann kann sich die Grasnarbe nach Beschädigungen, Krankheiten und Stresssituationen, unterstützt durch Pflegeprogramme, schnell wieder regenerieren (TURGEON, 2005). Als geeignete Grasarten für derartige Zwecke haben sich *Lolium perenne* und *Poa pratensis* erwiesen (HENLE et al., 2010; KLAPP und OPITZ VON BOBERFELD, 2006; RSM, 2011). Diese Gräserarten eignen sich durch ihre Wuchsformen und ihr starkes Wurzelwachstum auch gut zur Bodenfestigung (HENLE et al., 2010; TOBIAS, 1991). Will man eine Bodenfestigung durch die Gräser und deren Regenerationsfreudigkeit fördern, sind geeignete Bodenaufbauten und entsprechende Pflegemaßnahmen notwendig (NONN, 1988). Auch SCHULZ (2008) beschreibt den Aufbau der Rasentragschicht sowie bedarfsgerechte Düngung in Kombination mit ausreichender Bodenbearbeitung als Notwendigkeit, damit die Rasenfläche über die gesamte Dauer eines Fußballspiels den hohen Anforderungen an Scherfestigkeit, Ebenflächigkeit und Wasserdurchlässigkeit gerecht werden kann.

2.2 Scherfestigkeit als Festigkeitsparameter

Scherfestigkeit ist ein in der Materialwissenschaft, Geologie und Bodenkunde häufig verwendeter Parameter. *In der Materialwissenschaft ist die Scherfestigkeit der Widerstand, den ein Festkörper horizontalen Scherkräften entgegensetzt.* Die Scherkräfte sind dabei die zusammenhaltenden Kräfte, im Gegensatz zu den Reibungskräften, welche oberflächlich wirken. Angegeben wird die Scherfestigkeit als Spannungskraft pro Fläche [kN/m²]. Sie gilt als Kenngröße der Belastungsfähigkeit eines Werkstoffs (DEUTSCHE ENZYKLOPÄDIE, 2010). In der Bodenkunde und Geologie ist die Scherfestigkeit für die mechanischen Eigenschaften von Böden und Gesteinsformationen eine wichtige Größe. Bei bodenmechanischen Berechnungen zählt die Scherfestigkeit zu den bodenfestigenden Eigenschaften des Baugrundes. Sie dient zur Berechnung der Standsicherheit von Böschungen und Dämmen und zur

Gründbarkeit von Gebäuden und Straßen (FLORINETH und KLOIDT, 2007). Physikalisch setzt sich die Scherfestigkeit aus der Reibung der einzelnen Bodenpartikel und der Haftfestigkeit des Materials zusammen, was gemeinsam als Kohäsion bezeichnet wird (Keszdi, 1969, Bd.1, S.174 in TOBIAS, 1991, S. 48). Streng genommen spricht man nur bei bindigen Böden von Kohäsion. Der Effekt der Kohäsion kann aber auch andere Ursachen haben, wie die Verzahnung der Bodenkörner (Strukturkohäsion), die kapillare Saugspannung (Kapillarkohäsion) oder die Armierung durch Wurzeln und somit auch in rolligen (sandigen) Böden auftreten (Schneider, 1981, S.18 in TOBIAS, 1991, S. 48).

In der Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik gilt die Scherfestigkeit als Bemessungsgrundlage für die stabilisierende Wirkung von Pflanzen und als Maß für die Bodenfestigkeit (FLORINETH und KLOIDT, 2007). Somit zählt sie auch zu den wichtigen Kriterien für belastbare Rasenflächen. Die Verbundwirkung Boden - Wurzel durch die Vegetation wird als Verstärkung der Scherfestigkeit des Bodens angesehen. Dabei ist die Scherfestigkeit umso höher, je mehr Wurzeln im Boden vorhanden sind (TOBIAS, 1991). Für die technischen Anforderungen von Bauwerken mit Pflanzenbewuchs sind geeignete Pflanzenkombinationen ausschlaggebend. Pflanzen, die sich zur Bodenfestigung eignen, kommen natürlicherweise an Standorten mit häufigen Bodenbewegungen vor. Bei nassen Verhältnissen führt die Vegetation zu einer verhältnismäßig hohen Festigkeitsförderung. Im Gegensatz dazu kann bei trockenen Bodenverhältnissen die Kohäsion allein eine höhere Scherfestigkeit bewirken als die armierende Wirkung der Wurzeln (TOBIAS, 1991).

An Naturrasen-Sportplätzen können die Druck- und Schubspannungen, die bei den dynamischen Bewegungsabläufen durch die SportlerInnen auf die Rasendecke und –tragschicht auftreten, über die Scherfestigkeit ermittelt werden (SCHMIDT, 1979). Hält die Rasennarbe diesen dynamischen Belastungen nicht stand und wird verletzt, entstehen unerwünschte Unebenheiten und Stolperfallen. Während eines Spiels ist es nicht möglich, entstandene Schäden sofort zu beseitigen. Dadurch kann die Benutzbarkeit eines Spielfeldes, kurz- oder längerfristig, grob eingeschränkt werden (BISCHOFF, 2009).

Eine „ausreichende“ Scherfestigkeit gilt demnach als Indiz für eine gute Strukturfestigkeit und hohe Belastungsfähigkeit bei Sportanlagen und wird für

belastbare Rasenflächen mit Sportfunktion verstärkt gefordert (NONN, 1988; SKIRDE, 1974).

So wird die Scherfestigkeit auch im Entwurf der DIN 18035-4 (2007) erstmals als Kriterium für Anforderungen an die Rasentragschicht geprüft. Beschrieben wird die Scherfestigkeit hier als die „zusammenhaltenden Kräfte“ in der Rasentragschicht. Die Prüfung nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) erfolgt als Laborprüfung und bezieht sich nur auf die Bestimmung der Scherfestigkeit am Rasentragschichtgemisch. Als Messgerät dazu dient eine Geonor Flügelsonde, Typ H 600, der Größe 20 x 40 mm, mit vier Flügeln. Geprüft wird im Proctorzylinder mit definierter Proctordichte und definiertem Proctorwassergehalt. Die Flügelsonde wird 40 mm senkrecht in den Probenkörper eingedrückt und anschließend langsam und gleichmäßig gedreht. Der Wert ist dann an einer aufgebrachten Messskala abzulesen. Zwei Probenkörper und je drei Messwiederholungen ergeben sechs Einzelwerte. Angegeben wird die ermittelte Scherfestigkeit als Scherwiderstand in kPa (Kraft pro Fläche). Die Werte sollen zwischen 25 und 40 kPa liegen (DIN 18035-4, Entwurf, 2007). 1 kPa entspricht dabei 1 kN/m². Es wird darauf hingewiesen, dass sich diese Anforderungen durch natürliche Einflüsse und durch Benutzung einer Fläche mit der Zeit verändern. Die Werte gelten deshalb für den Zeitpunkt der Kontrollprüfungen (DIN 18035-4, Entwurf, 2007, S.8).

Unter natürlichen Bedingungen und nach einer Zeit der Bewuchsetablierung unter sportlicher Nutzung wird die Scherfestigkeit einer Rasentragschicht nicht von Proctordichte und Proctorwassergehalt beeinflusst. Dann beeinflussen im Wesentlichen Art und Zustand der Rasendecke, Zusammensetzung und Dichte der Rasentragschicht sowie Wurzeltiefgang und -intensität die Scherfestigkeit einer durchwurzelten Rasentragschicht (MORHARD, 2004; SCHMIDT, 1979).

2.3 Einflussparameter auf die Scherfestigkeit in einer Rasentragschicht

2.3.1 Bodenverdichtung

Ein Maß für die Bodenfestigkeit stellt neben der Scherfestigkeit die Bodendichte dar, ermittelt durch den Eindringwiderstand (PRÄMAßING, 2008; TOBIAS, 1991). Verdichteter Boden weist einen erhöhten Eindringwiderstand auf (ALBRACHT und NONN, 2009). Dichtere Bodenlagerungen steigern die Festigkeit des Bodens und sind somit für die Anforderungen an die Tragfähigkeit eines Sportplatzes vorteilhaft. Starke Bodenverdichtungen auf einem Sportplatz wirken sich allerdings negativ auf das Wachstum der Rasengräser aus. Geringeres Sprosswachstum, gehemmtes Wurzelwachstum und die Bildung weniger unterirdischer Ausläufer sind die Folge. Außerdem wird die Nährstoffaufnahme für die Rasengräser erschwert und die Wasseraufnahme eingeschränkt. Die Gräser werden anfälliger auf Krankheiten, Trocken- und Hitzestress (HENLE et al., 2010).

Nach SCHLICHTING et al. (1995) vermag der Eindringwiderstand auch als Maß für die Durchwurzelbarkeit eines Bodens zu dienen. Für die Entwicklung von Gräserwurzeln ist ein Eindringwiderstand von 1,4 MPa noch angemessen. Nach Untersuchungen von COOK et al. (1996) ist bei einer Bodenfestigkeit von über 2,3 MPa jedoch kaum noch Wurzelwachstum möglich. Bei guter Durchwurzelung kann ferner auf eine gute Wasserdurchlässigkeit der Rasentragschicht geschlossen werden (SKIRDE, 2008).

LIESECKE und SCHMIDT (1978) verweisen darauf, dass sehr hohe Scherfestigkeitswerte Zeiger für starke Bodenverdichtungen sein können. Dadurch kann der Anteil luftführender Poren in der Rasentragschicht ungünstig beeinflusst werden. Untersuchungen von Van Wijk (1974) ließen auf relativ hohe positive Korrelationen von Eindringwiderstand und Scherfestigkeit schließen. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten lagen demnach bei 0,77 bis 0,8 (Van Wijk, 1974 in MÜLLER-BECK, 1977, S.122). Höhere Lagerungsdichten resultieren aus Bodenverdichtungen und führen zu steigendem Oberflächenabfluss, verminderter Wasserleitfähigkeit und einem verändertem Temperaturhaushalt (HENLE et al., 2010).

2.3.2 Zustand der Rasennarbe

Die Qualität und Dichte der Rasennarbe wird durch Belastungen deutlich beeinträchtigt. Schnelles Antreten, kurzes Abstoppen, rasches Drehen und Wenden erfordern den Einsatz von Stollenschuhen, wodurch die Rasendecke stark beansprucht wird (SCHMIDT, 1979). Bei sehr starker Verletzung der Rasennarbe auf einem Spielfeld kann es stellenweise vorkommen, dass der unbedeckte Boden bespielt wird. Dieser ist den Belastungen ungeschützt ausgesetzt, es können beim Bespielen Vertiefungen und Einbuchtungen in der Bodenoberfläche entstehen. Daraus folgt eine unebene Spielfeldoberfläche mit Stolperfallen und erhöhtem Verletzungsrisiko für die SportlerInnen. Dieser Umstand macht die Erhaltung einer dichten Rasennarbe auf einem Spielfeld auf jeden Fall erstrebenswert (SOROCHAN et al., 1999).

Bei der Ansaat von Sportrasenflächen legt man bereits zu Beginn Wert darauf, Gräserarten und -sorten zu wählen, die sich den Nutzungsanforderungen entsprechend entwickeln und nach der Etablierung den technischen Anforderungen bezüglich Bodenfestigung entsprechen. Die aktuellen Regelsaatgutmischungen RSM 3.1 Sportrasen - Neuanlage bzw. RSM 3.2. Sportrasen - Regeneration beschreiben den Einsatz der Arten und Sorten von Gräsern. Auf die Verwendung einer aktuellen RSM bei der Ansaat wird auch in der DIN 18035-4 verwiesen. Für die Neuanlage von Sportrasen sollten 2 Sorten *Lolium perenne* und 3 Sorten *Poa pratensis* verwendet werden. Auch ein gewisser Anteil *Festuca rubra trichophylla* kann bei einer Ansaat zur Fertigrasenproduktion mit eingebracht werden. Die Mindesteignung der Gräserarten erfolgt nach Strapazierrasenprüfung (RSM, 2011).

Pflanzen mit starken Wurzeln und einer guten Regenerationsfähigkeit erweisen sich bei mechanischen Belastungen als deutlich vorteilhaft. Unterirdische Ausläufer, so genannte Rhizome, wie sie bei *Poa pratensis* gebildet werden (KLAPP und OPITZ VON BOBERFELD, 2006), wirken noch besser auf die Scherfestigkeit der Rasennarbe als Wurzeln (TOBIAS, 1991; TURGEON, 2005). Wichtig ist, dass eine dichte Rasennarbe ausgebildet wird, dafür eignet sich eine Kombination aus Horst- und Ausläufergräsern am Besten (FLORINETH und KLOIDT, 2007; TOBIAS, 1991). Trittfestigkeit und Regenerationsfreudigkeit spielen zusätzlich eine entscheidende Rolle für die Eignung von Gräsern für Strapazierrasen. *Lolium perenne*, ein

horstbildendes Gras, das unter Belastung Wurzeln an den Knoten bilden kann und somit zur Bildung von geschlossenen Rasenflächen befähigt ist, gilt als noch trittresistenter als *Poa pratensis* und verfügt über ein tieferes Wurzelsystem. Außerdem ist die Dauer des Auflaufens von *Poa pratensis* mit 14 bis 24 Tagen für Nachsaaten auf Sportrasenflächen als problematisch lang zu betrachten. *Lolium perenne* etabliert sich mit einer Aufaufdauer von 7 bis 15 Tagen entsprechend schneller und ist deshalb als Regenerationssaatgut für Sportrasenflächen noch wichtiger als *Poa pratensis* (HENLE et al., 2010). Für höher gelegene und schattige Lagen kann anstatt einer Sorte *Poa pratensis* eine Sorte *Poa supina* verwendet werden (FLORINETH, 2009; RSM, 2011). Der Einsatz mehrerer Sorten einer Grasart ist sinnvoll, da die Sorten unterschiedlich anfällig auf Krankheiten und Stresssituationen reagieren. Das Risiko eines großflächigen Krankheitsbefalls oder Ausfalls des Rasens wird dadurch minimiert.

Bei der Abnahme einer Sportrasenfläche ist nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007, S. 15) bei Verwendung von Fertiggrasen eine projektive Bodenbedeckung von mindestens 98% zu erreichen. Der Fremdartenanteil darf 2% nicht überschreiten, wovon höchstens die Hälfte *Poa annua* und/oder *Poa trivialis* ausmachen darf.

2.3.3 Filzdicke

Rasenflächen unterliegen durch den physiologisch bedingten Prozess der Triebneubildung und dem Absterben alter Pflanzenteile einer permanenten Anreicherung von organischer Substanz, die als Rasenfilz bezeichnet wird. Dieser besteht aus zum Teil noch lebenden Pflanzenteilen vermischt mit abgestorbenen, sich bereits zersetzenden Pflanzenresten und befindet sich zwischen der Bodenoberfläche und der ersten chlorophyllhaltigen Rasenebene (HENLE et al., 2010; HOPE und SCHULZ, 1983). Rasenfilz bildet sich verstärkt auf abgemagerten, biologisch schwach aktiven Böden (HARDT, 2006), wie auf sandigen Rasentragschichten aus. Besonders Gräser, die oberirdische Ausläufer bilden, neigen zu einer verstärkten Filzanhäufung. Bis zu einer Stärke von 5 mm kann Filz als unproblematisch betrachtet werden (DIN 18035-4, Entwurf, 2007, S. 15). Stärkere Filzbildung kann sich jedoch auf den Zustand belastbarer Rasenflächen sehr nachteilig auswirken. Eine 1 cm dicke Filzschicht kann etwa 10 Liter Wasser pro m² speichern (NONN, 1988). Zudem ist die organische Substanz in der Lage, große

Mengen an Nährstoffen festzuhalten (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010). Diese beiden Effekte der Filzanhäufung in Rasenflächen können zur Verflachung des Wurzelwerkes der Gräser beitragen. Der Anreiz für die Gräser, in die Tiefe zu wurzeln, wird dadurch unterbunden. Bei Trockenheit ist dann unter Umständen in tieferen Bodenschichten ein zu geringes Wurzelwerk vorhanden, um die Gräser daraus mit Wasser zu versorgen. Eine starke Filzanhäufung gilt zudem als schlecht tritt- und scherfest, was für die Sportausübung nachteilig ist. Die Oberfläche bildet unter diesen Umständen eine sehr weiche Grasnarbe aus, deren Rasenstücke beim Bespielen leicht herausgetreten werden können. Durch eine sehr weiche Grasnarbe wird auch das Ball-Rücksprungverhalten negativ beeinflusst (HENLE et al., 2010).

2.3.4 Wurzelwachstum

Der obere Bereich des Bodens, unterhalb des Rasenfilzes, ist gekennzeichnet durch die Hauptwurzelzone, in der der Boden von den Wurzeln noch fest zusammengehalten wird. Es folgt der Abbruchhorizont, unter dem der Bodenbereich nur schwach-locker bewurzelt ist und von den Wurzeln nicht mehr kompakt gehalten wird (SKIRDE et al., 2005). Grundsätzlich soll auf Naturrasensportflächen ein tiefreichender Hauptwurzelhorizont bis etwa 100 mm vorliegen (FLORINETH und KLOIDT, 2007). TOBIAS (1991) beschreibt, dass aktives Wurzelwachstum und Gesamtwurzelmasse im Boden am meisten zur Erhöhung der Scherfestigkeit beitragen. Für die Bodenfestigung besonders wirkungsvoll gilt die bereits erwähnte Kombination aus horst- und ausläuferbildenden Gräsern.

2.3.5 Bodenwassergehalt

Die Festigkeit des Bodens wird vom aktuellen Bodenwassergehalt stark beeinflusst (LIESECKE und SCHMIDT, 1976; PRÄMAßING, 2008; SCHAFFER, 1960; TOBIAS, 1991). Untersuchungen von PRÄMAßING (2008) ergaben eine starke negative Korrelation zwischen dem Eindringwiderstand und dem Bodenwassergehalt. Auch Untersuchungen von TOBIAS (1991) zeigen eine reduzierte Festigkeit des Bodens, wenn er durchnässt ist. Hingegen besitzt ausgetrockneter Boden eine höhere Scherfestigkeit, da bei Trockenheit durch verstärkte Transpiration der Vegetation die Kapillarkohäsion erhöht wird. Zusammen mit der Evaporation kann diese Austrocknung des Bodens auf die Scherfestigkeit einen stärkeren Einfluss haben als die bodenfestigende Wirkung durch die Vegetation.

2.3.6 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung hat erheblichen Einfluss auf bodenphysikalische Eigenschaften wie Wasserdurchlässigkeit und Scherfestigkeit (KOLB und MANSOURIE, 1982; LEHMACHER, 2006; MÜLLER-BECK, 1977; MÜNSTER, 2008; TOBIAS, 1991). Auch die Neigung zu Bodenverdichtungen wird von der Korngrößenverteilung beeinflusst. Zu geringe Wasserdurchlässigkeit, Nutzungsbeeinträchtigungen und Verschlechterung der Vegetationsbedingungen sind oftmals die Folge von einer nicht ordnungsgemäßen Kornabstufung und einem zu hohen Anteil der Feinfraktionen (PRÄMABING, 2008). In der DIN 18035-4 ist deshalb ein Kornverteilungsbereich für die Rasentragschicht beim Einbau angegeben (DIN 18035-4, 1991). Neben der Korngrößenverteilung spielt auch die Kornform und Kornrauhigkeit für die Kohäsion eines Rasentragschichtgemisches eine wichtige Rolle. Eine ausreichend weite Kornabstufung sowie eine gedrungene, kantige Kornform mit einer rauen Kornoberfläche wirken sich positiv auf die Scherfestigkeit und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens aus (DIN 18035-4, Entwurf, 2007; MÜLLER-BECK, 1977; SKIRDE, 1981).

2.3.7 Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte beschreibt das Verhältnis der trockenen Bodenmasse zum gesamten Bodenvolumen (SCHLICHTING et al., 1995). Belastungen, wie etwa Spielbetrieb und Mähen, führen in Rasentragschichten zur Veränderung der Lagerungsdichte (ARMBRUSTER, 2003; KOLB und MANSOURIE, 1982; MORHARD, 2004). Mit der Erhöhung der Lagerungsdichte verbunden sind auch Änderungen der Porengrößenverteilung und folgend eine Abnahme der Wasserdurchlässigkeit der Rasentragschicht. Dadurch beeinflusst die Lagerungsdichte auch das Gräserwachstum und den Zustand der Rasennarbe (KOLB und MANSOURIE, 1982; MORHARD, 2004). Nach Untersuchungen von KOLB (1984) nimmt mit zunehmender Lagerungsdichte der projektive Deckungsgrad der Rasennarbe ab. FLORINETH (2009) spricht von einer maximalen Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ für den guten Zustand eines Naturrasen-Sportplatzes.

2.4 Untersuchung der Scherfestigkeit unter Freilandbedingungen

Untersuchungen zur Scherfestigkeit im Freiland, sowohl in der Landwirtschaft als auch an Naturrasen-Sportplätzen, wurden schon in den 1960er Jahren durchgeführt. So benutzte SCHAFFER (1960) einen Flügelbohrer für seine Abscherwiderstandsmessungen bei Ackerböden, der ähnlich aufgebaut war wie die moderne Flügelsonde aber mit Abmessungen von 100 x 50 mm. Untersuchungen zur Scherfestigkeit an Sportplätzen führte MÜLLER-BECK (1977) mit einem Flügelbohrer mit Abmessungen von 100 x 40 mm durch. Seinen Untersuchungen nach liegen gute Scherfestigkeitswerte für die Bespielbarkeit eines Sportplatzes zwischen 200 und 250 cmkP, was umgerechnet nach SCHAFFER (1960) einem Scherwiderstand von 0,75 bis 0,93 kg/cm² entspricht. SKIRDE (1981) verweist nach seinen Untersuchungen an Naturrasen-Sportplätzen auf Werte der Mindest-Scherfestigkeit von 0,7 bis 0,75 kg/cm² für ausreichend belastbare Rasenflächen. Bei den Abscherwiderstandsmessungen von LIESECKE und SCHMIDT (1976) mit einer Flügelsonde von 100 x 50 mm an belasteten Rasenflächen zeigte sich ein deutlicher Einfluss vom Wassergehalt und von der Messtiefe auf den Abscherwiderstand. Eindeutige Korrelationen zu anderen Kenngrößen konnten allerdings nicht festgestellt werden. SCHMIDT (1979) führte Messungen zur Scherfestigkeit an Naturrasen-Sportplätzen mit einem Stollenschergerät nach DIN 18035-5 (Sportplätze-Tennenflächen), einer Flügelsonde (40 x 40 mm) und einer Drucksonde (Druckkegel 1 cm²) durch. In diesen Untersuchungen erfassten die Flügel- und Drucksonde eine geringere Scherfestigkeit in Bereichen, wo die Wachstumsbedingungen für die Rasengräser günstiger waren. Der Scherwiderstand, ermittelt durch das Stollenschergerät war hier höher, da die Stollen mit einer Länge von 15 mm eher die Festigkeit der Rasendecke berücksichtigten, die Flügel- und Drucksonde mit einer Eindringtiefe von 40 bzw. 50 mm berücksichtigten eher die Festigkeit der Rasentragschicht.

Neuere Untersuchungen zu den Anforderungen an Fertiggrasen für Sportplätze prüften die Scherfestigkeit unter dem Einsatz einer Flügelsonde mit Abmessungen von 40 x 20 mm, wie sie in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) vorgeschlagen wird. Diesen Untersuchungen nach werden für Scherfestigkeitswerte im oberflächennahen Wurzelbereich von Dicksoden bei einem Wassergehalt von LK 60 eine deutliche Überschreitung von 20 kPa gefordert (SKIRDE et al., 2009).

3. Versuchsthemen und Fragestellungen

Im Vorfeld der Untersuchungen wurden folgende Versuchsthemen überlegt und dazu interessante Fragestellungen formuliert:

Thema 1: Ermittlung von in situ-Werten und Vergleich mit den geforderten Laborwerten nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007)

- a. Welche tatsächlichen Werte für die Scherfestigkeit an Rasensportplätzen gibt es unter Freilandbedingungen für Bauweisen mit Oberboden oder mit künstlicher Rasentragschicht?
- b. Werden die gemessenen Werte für die Oberflächenscherfestigkeit durch die Bauweise beeinflusst?
- c. Sind die Werte aus den in situ-Messungen vergleichbar mit den geforderten Werten im Entwurf der DIN 18035-4 (2007)?

Thema 2: Ermittlung von beeinflussenden Faktoren und deren Einfluss auf die Scherfestigkeit

- a. Haben unterschiedliche Messtiefen einen Einfluss auf die Scherfestigkeitswerte?
- b. Haben unterschiedliche Belastungszonen auf einem Spielfeld einen Einfluss auf die gemessenen Scherfestigkeitswerte?
- c. Gibt es auch bei mäßiger Bodenverdichtung gute Werte für die Scherfestigkeit?

Thema 3: Vergleich der Messmethoden für die Scherfestigkeit

- a. Welche Messmethode für die Oberflächenscherfestigkeit erscheint aussagekräftiger: Stollenschergerät oder Flügelsonde?

4. Untersuchungsorte

Um auf die Fragestellungen einzugehen, fanden von Juni bis September 2010 in Süddeutschland (Abb.1) Freilandmessungen und Untersuchungen zu den Zuständen der Rasennarben und der Rasentragschichten auf sechs für Fußball genutzten Sportplätzen statt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Aufstellung der Fußballplätze für die Freilanduntersuchungen und Datum der Messungen

Fußballplatz	Datum der Messungen
Hohenheim: Sportplatz der Universität	11. Juni 2010, 30. Juni 2010
Reutlingen: SSV Reutlingen 05	16. Juni 2010, 1. Juli 2010
Hechingen: FC Hechingen 07	05. Juli 2010
Stuttgart: VfB Stuttgart	06. Juli 2010
Aalen: VfR Aalen	15. Juli 2010
Augsburg: FC Augsburg	28. Sept. 2010

Für die ersten beiden Untersuchungen, am Sportplatz der Universität Hohenheim und im Stadion an der Kreuzeiche in Reutlingen, standen noch nicht alle Messgeräte zur Verfügung. Es wurde jeweils der erste Termin am 11. Juni und 16. Juni wahrgenommen und ein zweiter Termin für 30. Juni und 1. Juli vereinbart. Alle witterungsabhängigen Messungen wurden dabei zweimal durchgeführt.

4. Untersuchungsorte

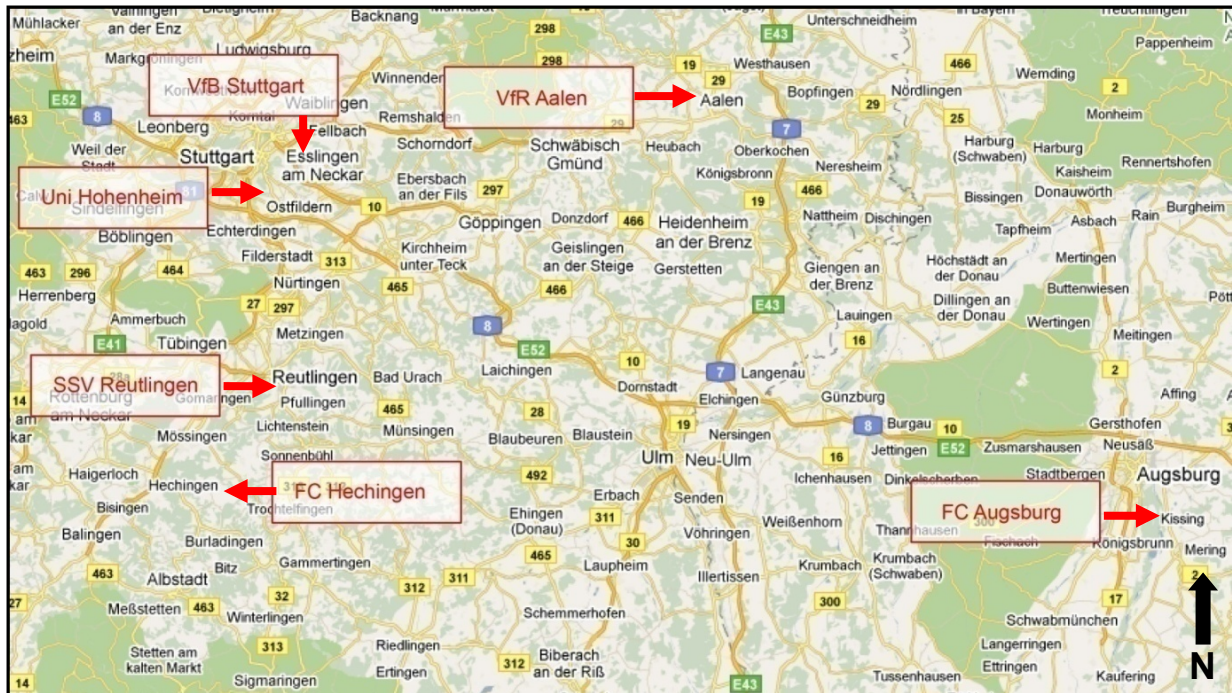


Abbildung 1: Verortung der sechs Fußballplätze in Baden-Württemberg und Bayern auf der Landkarte. 30.10.2010

Universitätssport sowie von Schulklassen eines nahe gelegenen Gymnasiums für den Sportunterricht. Der Platz wird etwa 20 Stunden pro Woche benutzt, wobei nicht nur Fußball gespielt wird. Wenn Fußball gespielt wird, dann allerdings oft auf querliegenden Kleinfeldern oder in den Platzhälften, sodass die räumliche Belastung des Platzes eigentlich nicht typisch für einen Fußballplatz ist. Der Spiel- und Trainingsbetrieb startet Anfang Mai und endet im November. Bei Schnee und Frost wird der Platz nicht benutzt (KLEIN, 2010).

Vor den Messungen am 11. Juni war das Wetter wechselhaft. Der Tag der Messungen begann sehr sonnig, um etwa 11 Uhr trat ein kurzes, aber starkes Regenereignis ein, gefolgt von Sonnenschein und sommerlichen 27 bis 29°C. Am 30. Juni war das Wetter vor und zum Messtermin trocken und warm mit Temperaturen über 30°C.

4.2 Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen

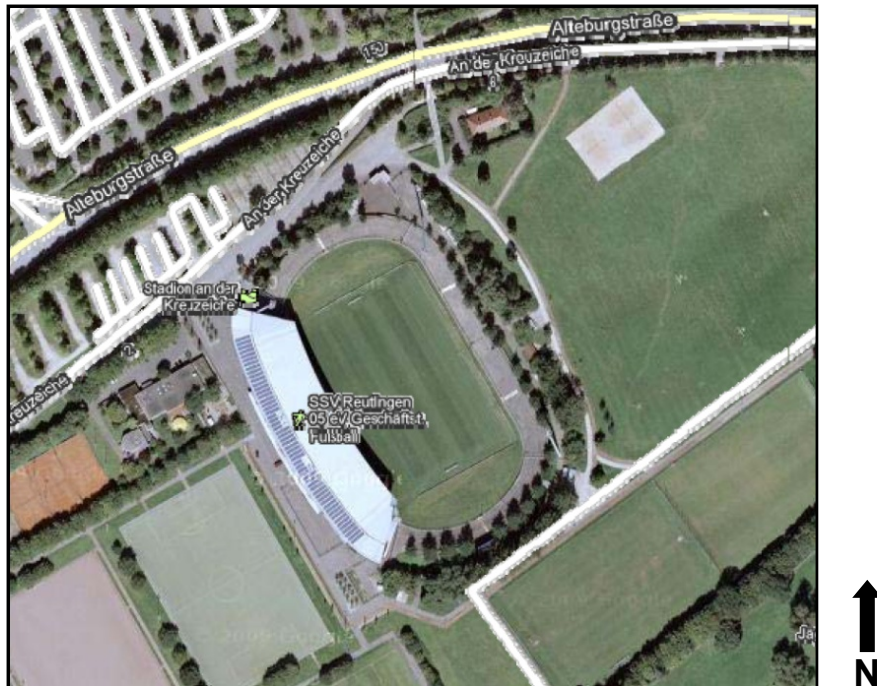


Abbildung 3: Luftbildaufnahme des Stadions an der Kreuzeiche, Reutlingen. 1.7.2010

Die Stadt Reutlingen liegt ca. 35 km südlich von Stuttgart im mittleren Albvorland. Das „Stadion an der Kreuzeiche“, Heimatstadion des SSV Reutlingen 05, liegt südwestlich vom Stadtzentrum. Der Platz ist annähernd Nord-Süd ausgerichtet. An der westlichen Seite befindet sich die Tribüne (Abb.3). 1998 wurde das Stadion an der Kreuzeiche gebaut und eine Rasenheizung verlegt. Seitdem ist der Rasen noch nie komplett ausgetauscht worden. Die Tribüne wurde 2003 gebaut. Seit diesem Zeitpunkt wird auf der West-Seite des Spielfeldes verstärktes Nässeauftreten im Rasen beobachtet. An der Tribünenseite zeigen sich stärkere Probleme bezüglich Wachstum und Regeneration des Rasens. Im Frühjahr 2010 ist in diesem Bereich auch vermehrt Schneeschimmel aufgetreten (GÖPPINGER, 2010). Gebaut wurde der Fußballplatz auf einem verbesserten Baugrund. Als Entwässerungseinrichtung wurde eine Rohrdrainage in einem Kiesbett verlegt und mit einer Kiesfüllung versehen. Entwässert wird über einen außen verlaufenden Sammler. Über der Rohrdrainage befindet sich eine 15 cm mächtige Drainschicht aus Quarzsand, in deren oberen Bereich die Rasenheizung verlegt wurde. Darüber befindet sich die Rasentragschicht, mit einer Mächtigkeit von 12 bis 15 cm. Als Rasen wurde

Fertigrasen verlegt. Die ursprüngliche Mischung bestand aus 50% *Poa pratensis* in Sorten und 50% *Lolium perenne* in Sorten (GÖPPINGER, 2010). Gepflegt wird das Spielfeld im Stadion an der Kreuzeiche von der Firma Garten Moser. Verantwortlicher für die Sportplatzpflege ist Herr Göppinger. Herr Marzin ist der Platzwart im Stadion an der Kreuzeiche. Der Rasen wird, je nach Aufwuchs, alle zwei bis drei Tage auf 3,5 bis 4 cm mit einem Sichelmäher gemäht. Aerifiziert wird in der Regel zweimal im Jahr, das erste Mal mit Vollspoons im Frühjahr, das zweite Mal mit Hohlspoons, als Teil der Regenerationspflege, im Sommer. Besandet wird entweder zweimal im Sommer oder einmal im Frühjahr und einmal im Sommer. Zweimal im Jahr wird der Rasenfilz durch Vertikutieren entfernt. Zusätzlich wird im Frühjahr gestriegelt, eine Pflegemethode bei der abgestorbenes Pflanzenmaterial aus dem Rasen heraus gekämmt wird. Im April 2010 wurde der mit Schneeschimmel befallene Teil des Platzes nachgesät. Das Regenerationssaatgut bestand aus 4 bis 5 Sorten von *Lolium perenne*. Bodenuntersuchungen wurden in letzter Zeit nicht durchgeführt. Gedüngt wird nach Erfahrung, Stickstoff wird in Form von Langzeitdünger gegeben. Im März erfolgt normalerweise eine Düngung mit ENTEC Compo, im April mit Floranid Turf, im Mai wird ein N-Langzeitdünger von Eurogreen gegeben und im Juni Floranid NK, was aufgrund des Kalium-Anteils eigentlich ein Herbstdünger ist. Herbizide wurden das letzte Mal vor 2 bis 3 Jahren eingesetzt. Die Bewässerung des Rasens erfolgt über eine fest installierte Bewässerungseinrichtung, die manuell gesteuert wird. Durch das Bewässerungsregime möchte man ein möglichst tiefreichendes Wurzelwachstum erzielen. Ausbesserungen mit Fertigrasen erfolgten in diesem Jahr kaum. Es wurden nur 6 m² in den Torräumen ausgetauscht (GÖPPINGER, 2010). Genutzt wird der Platz nur für Pflichtspiele der ersten Mannschaft des SSV Reutlingen 05. Dadurch ergibt sich eine Nutzungsintensität von zwei Stunden alle zwei Wochen. Gespielt werden kann, aufgrund der Rasenheizung, auch im Winter. Für den Trainingsbetrieb stehen genügend andere Plätze südlich des Stadions zur Verfügung.

Der Witterungsverlauf vor und am 16. Juni war kühl und bewölkt. Geregnet hat es die Tage vor, aber nicht bei den Messungen. Beim zweiten Termin, am 1. Juli, war das Wetter sehr sonnig und warm. Der Platz wurde am Morgen vor und zu Beginn der Messungen am 1. Juli beregnet.

4.3 Weiherstadion, Hechingen



Abbildung 4: Luftbildaufnahme des Weiherstadions Hechingen. 5.7.2010

Die Stadt Hechingen liegt am Westrand der Schwäbischen Alb, ca. 60 km südwestlich von Stuttgart entfernt. Das Weiherstadion ist die Heimat des FC Hechingen 07 (FC HECHINGEN 1907 e.V., 2006). Es ist Teil einer Sportanlage und liegt im Stadtgebiet „Im Weiher“, nördlich vom Stadtzentrum. Der Fußballplatz ist annähernd Nord-Süd ausgerichtet (Abb.4). Angelegt wurde der Platz 1959/60 in einem ehemaligen Feuchtgebiet. Man erkannte unter diesen Umständen offensichtlich schon die Notwendigkeit der Entwässerung des Platzes. Der Fußballplatz wurde bereits damals mit einer Kiesdrainage unterhalb der Rasentragschicht versehen. Ursprünglich bestand die Rasentragschicht aus Oberboden, erst nach und nach ist durch Besandungsgänge Sand eingebracht worden. Die erste Ansaat des Platzes erfolgte vermutlich mit einer Wiesenmischung (KURICINI, 2010). Durch die verwendeten Rasenmischungen zur Nachsaat wurde ein Bestand von *Poa pratensis*, *Poa supina* und *Lolium perenne* etabliert. Der Sportplatz des FC Hechingen wird von Herrn Kuricini gepflegt. Er mäht den Rasen zwei Mal pro Woche auf eine Schnitthöhe von 3 bis 4,5 cm mit einem Sichelmäher. Einmal im Jahr wird mit Hohlspoons aerifiziert. Alle zwei Jahre werden rund 4 Liter pro m² Sand ausgebracht. Dies geschah gerade erst vor dem Messtermin. Vor einiger Zeit wurde

als Bodenbearbeitungsmaßnahme eine Tiefenlockerung am Trainingsplatz, westlich neben dem Weiherstadion, ausprobiert. Als Folge ergaben sich große Probleme mit Unebenheiten am Platz. Da das Spielfeld im Weiherstadion auch über eine humose Rasentragschicht verfügt, wird vom Pflegezuständigen vermutet, dass Tiefenlockerungen auf humosen Rasentragschichten nicht gut funktionieren. Einmal jährlich wird mit der WM-Mischung von Eurogreen, die hauptsächlich aus *Lolium perenne* besteht, der Rasen nachgesät. Eine Bodenuntersuchung wird jährlich von Eurogreen durchgeführt. Zwei Mal im Jahr, im Frühjahr und Sommer, wird mit Eurogreen 2+ gedüngt. Im Herbst wird Floranid NK ausgebracht. Pestizide werden im Weiherstadion nicht eingesetzt. Beregnet wird der Platz mit einem Rollmobil, die Steuerung erfolgt manuell. Den Erfahrungen des Platzwartes nach speichert die Rasentragschicht sehr gut Wasser. Aus diesem Grund musste der Platz in den letzten Jahren nie bewässert werden (KURICINI, 2010). Das Spielfeld im Weiherstadion wird etwa 7 Stunden pro Woche von Mannschaften des FC Hechingen 07 für Ligaspiele genutzt. Zum Trainieren steht ein eigener Naturrasenplatz zur Verfügung. Prinzipiell wird das Weiherstadion das ganze Jahr hindurch bespielt, außer wenn Schnee liegt. Dann kann auf den kürzlich gebauten Kunstrasenplatz neben dem Trainingsplatz ausgewichen werden. Vor und zum Messtermin im Weiherstadion war es hochsommerlich mit Temperaturen über 30°C.

4.4 Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart-Bad Cannstatt



Abbildung 5: Luftbildaufnahme der Mercedes-Benz-Arena
Stuttgart. 6.7.2010

Stuttgart liegt in einem breiten Talkessel, zentral in Baden-Württemberg. Im Osten der Stadt, nördlich des Neckars, befindet sich die Mercedes-Benz-Arena, Teil des Neckarparks und des Stadtteils Bad Cannstatt. Die Arena ist Ost-West ausgerichtet (Abb.5). Bis 2008 hatte die Mercedes-Benz-Arena den Namen Gottlieb-Daimler-Stadion. Seit 2008 befindet sich das Stadium im Umbau und wird im Zuge dessen vergrößert. Zu diesem Zweck wurde das Spielfeld 1,3 Meter tief abgesenkt. Die Rasenfläche im Stadion wurde 2009 fertig gestellt (OPPENLÄNDER, 2010). Einige Bauarbeiten, wie an der Tribüne, waren zum Messtermin am 6. Juli 2010 noch nicht abgeschlossen. Auf dem Baugrund befindet sich eine durchgängige 8/16 Kies-Drainage. Darin wurden Drainrohre verlegt. Über dieser Drainage wurde eine Drainschicht eingebaut, in deren oberen Bereich die Rasenheizung liegt. Darauf wurde die 20 cm starke Rasentragschicht eingebaut. Der Fertigrasen wurde 2009 verlegt, mit einem anfänglichen Artenanteil von 30 % *Lolium perenne*, 65 % *Poa pratensis* und 5 % *Festuca rubra spec.* Der Anteil an *Festuca rubra* wurde durch Pflege und Nutzung nach dem Verlegen jedoch von den anderen Gräsern verdrängt. Herr Oppenländer und sein Team kümmern sich um die Pflege des Rasens in der

Mercedes-Benz-Arena. Gemäht wird dieser normalerweise zwei bis drei Mal pro Woche, direkt nach Düngegaben jedoch täglich. Im Winter wird auf maximal 2,6 cm gemäht, im Sommer auf 2,8 cm. Während der Saison wird mit einem Spindelmäher gemäht, außerhalb der Saison mit einem Sichelmäher. Nach jedem Spiel wird mit Kreuzspoons mit 500 Löchern pro m² bis in eine Tiefe von 12 cm aerifiziert. Zusätzlich wird zweimal im Jahr mit Kreuzspoons mit einem größeren Durchmesser von 1,2 cm 17 bis 18 cm tief aerifiziert. Vertikutiert wird erst bei sehr starkem Filzaufbau. Dafür wird das Spielfeld gestriegelt. Eine Nachsaat aus *Lolium perenne* und manchmal geringen Anteilen an *Poa pratensis* wird nach der Saison ausgebracht, wenn sich die Gräser besser etablieren können. Bodenuntersuchungen werden jährlich im Januar von zwei unabhängigen Instituten durchgeführt. An Rein-Stickstoff werden 30 bis 40 g pro m² und Jahr in verschiedenen Formen ausgebracht. Bei hohem Gehalt an Stickstoff wird verstärktes Pilzaufkommen beobachtet. Dieser Fall trat im Frühjahr dieses Jahres ein. Der Platz wurde daraufhin mit Fungiziden behandelt. Dünger wird erstmals zwei Wochen vor Saisonbeginn im August ausgebracht. Bei Bedarf wird zwei bis drei Tage vor den Spielen Eisen ausgebracht, wodurch der Rasen dunkelgrüner wird, jedoch nach Beobachtungen von Herrn Oppenländer, auch an Widerstandsfähigkeit verliert. Zur Wurzelförderung der Rasengräser werden 8 bis 15 g pro m² und Jahr das Pflanzen- und Wurzelwachstumsförderungsmittel Terracottem ausgebracht. Für die automatische Beregnung befinden sich zwölf Regner im Außenbereich und drei Regner in der Mittelachse. Pro Beregnungstag wird mit 160 m³ Wasser, in den frühen Morgenstunden, bewässert. Die Steuerung erfolgt automatisch. Zur Beregnung wird Trinkwasser verwendet, was die Bewässerungskosten enorm in die Höhe treibt. Die Betriebskosten der Beregnungsanlage werden als ungefähr doppelt so hoch beurteilt wie die Betriebskosten der Rasenheizung. In der Regel wird der Rasen zwei bis vier Mal im Jahr ausgetauscht. Die Verlegung der 3,4 cm dicken Soden dauert zwei Tage. Zwei Tage nach dem Verlegen kann darauf gespielt werden. Deutliches Wurzelwachstum in der Rasentragschicht ist drei bis vier Tage nach dem Verlegen sichtbar (OPPENLÄNDER, 2010).

Genutzt wird das Stadion vorwiegend für Fußballspiele des VfB Stuttgart, aber auch für andere Veranstaltungen, zum Beispiel für Konzerte. Dann werden zum Schutz des Rasens und Bodens Platten verlegt. Die Nutzung beträgt geschätzt 5 bis 6

Stunden wöchentlich. Davon wird der Rasen eine Stunde pro Woche durch die Fußballer belastet, die restliche Zeit durch Veranstaltungen. Gespielt wird das ganze Jahr hindurch.

Die Witterung vor und bei den Messungen war sommerlich mit Temperaturen um 30°C.

4.5 Scholz-Arena, Aalen



Abbildung 6: Luftbildaufnahme der Scholz-Arena (ehemals Waldstadion) Aalen. 15.7.2010

Die Stadt Aalen liegt ca. 70 km östlich von Stuttgart und ist Teil des östlichen Albvorlandes. Die Scholz-Arena ist das Heimatstadion des VfR Aalen und liegt nord-westlich vom Stadtzentrum. Sie war bis 2008 als Waldstadion bekannt und ist Ost-West ausgerichtet (Abb.6).

Das Stadion in seiner heutigen Form besteht seit 2008. Zu dieser Zeit wurde auch eine Rasenheizung eingebaut. Beim Bodenaufbau handelt es sich um einen Aufbau nach DIN 18035-4, Konstruktionsbeispiel 3, mit einer sandigen Rasentragschicht, die 12 cm mächtig ist und an ihrer Unterseite an die Rasenheizung grenzt. Darunter

befinden sich eine Ringdrainage auf Kies und eine eingebaute Absaugung im Spielfeld. 2008 wurde auch der Fertigrasen mit einer ursprünglichen Bestandszusammensetzung aus 50% *Poa pratensis* und 50% *Lolium perenne* verlegt.

Für die Platzpflege zuständig ist Herr Rückle. Gemäht wird das Spielfeld während der Nebensaison ein- bis zweimal pro Woche und zwei Mal pro Woche in der Hauptsaison. Die Schnitthöhe beträgt dabei 2,5 bis 3 cm. Überwiegend wird mit einem Sichelmäher gemäht. Nur vor den Spielen wird dafür ein Spindelmäher benutzt. Aerifiziert wird drei bis fünf Mal pro Jahr mit Voll- oder Hohlspoons. Auf das Aerifizieren folgt manchmal ein Topdressing mit kleinen Gaben Sand. Ein- bis zwei Mal pro Jahr wird der Rasen am Spielfeld vertikutiert. In Abstimmung mit dem Aerifizieren erfolgt auch eine Bearbeitung mit dem Vertidrain. Der ganze Platz wird einmal jährlich, die Mittelachse wird zweimal jährlich mit einer Regenerationssaatgutmischung nachgesät. Die Firma Compo untersucht den Boden einmal jährlich und erstellt daraus den Düngeplan für den Platz. Fünfmal jährlich wird ein Volldünger gegeben mit insgesamt 30 g Rein-N pro m² und Jahr. Vor jedem Spiel erfolgt eine Eisengabe, um den Platz ästhetisch dunkler wirken zu lassen. Die Beregnungsanlage verfügt über 18 Regner und eine automatische Steuerung. Bewässert wird nach Bedarf. Vor und zum Messtermin wurde morgens 20 Minuten bewässert. Mit Fertigrasen wird vor allem in den Torräumen und in den Linienrichter-Bahnen ausgebessert (RÜCKLE, 2010).

Genutzt wird die Scholz-Arena für Ligaspiele des VfR Aalen, nur selten auch für den Trainingsbetrieb. Insgesamt wird das Spielfeld etwa ein bis zwei Stunden pro Woche von den Fußballspielern belastet. Da die Rasenheizung aufgrund der hohen Betriebskosten nicht immer aktiviert ist, wird der Winterspielbetrieb oft eingestellt.

Zum Messtermin in der Scholz-Arena war es leicht bewölkt, zeitweise sonnig bei 20 bis 25°C.

4.6 Impuls-Arena, Augsburg



Abbildung 7: Luftbildaufnahme der Impuls-Arena, Augsburg, 28.9.2010

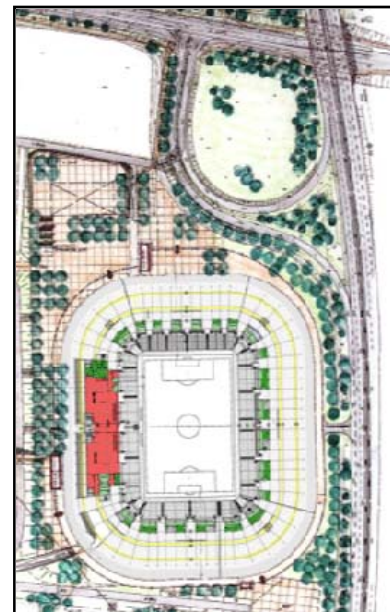


Abbildung 8: Lageplan der Impuls-Arena, 28.9.2010

Augsburg, im Süd-Westen Bayerns gelegen, ist Sitz des bayrischen Regierungsbezirks Schwaben. Die Impuls-Arena, das Stadion des FC Augsburg, liegt südlich der Stadt Augsburg an der B17. Die Arena ist Nord-Süd ausgerichtet (Abb.7 und 8). Fertiggestellt wurde sie im März 2009. Parallel zur Längsachse wurden in Abständen von sechs Metern Drainleitungen verlegt, über welchen eine Drainschicht liegt. In diese wurde eine Rasenheizung verlegt, über welcher sich die Rasentragschicht befindet (ARMBRUSTER, 2010).

Verantwortlich für die Rasenpflege in der Impuls-Arena Augsburg ist Herr Nägele. Der Rasen wird drei bis fünf Mal pro Woche auf 2,5 cm gemäht. Sichel- und Spindelmäher werden abwechselnd verwendet. Alle vier bis sechs Wochen wird der Boden bis in eine Tiefe von 10 bis 15 cm gelockert. Dies wird mit Vollspoons durchgeführt, die einen Durchmesser von 1,2 bis 1,9 cm haben. Je nachdem, wie der Rasen beschaffen ist, werden ein bis zwei Besandungsgänge pro Jahr durchgeführt. Nachsaaten erfolgen alle sechs Wochen in Teilflächen. Ein bis zwei Mal pro Jahr wird die Rasenfläche komplett nachgesät. Das Saatgut für die Nachsaat besteht hauptsächlich aus *Lolium perenne*. Seit kurzem wird auch versucht, mit einer SOS-

Mischung der Firma Barenbrug nachzusäen. Bodenuntersuchungen wurden letztes Jahr durchgeführt und danach der Düngeplan erstellt. An Rein-Stickstoff werden 25 bis 30 g pro m² und Jahr gedüngt. 2009 wurde zweimal das Fungizid Switch, ein Pflanzenschutzmittel gegen Schneeschimmelbefall eingesetzt. Für die Bewässerung stehen 38 Regner zur Verfügung. Bewässert wird in der Impuls-Arena nach Bedarf. Ausbesserungen im Rasen sind hauptsächlich in den Schattenbereichen und an der Mittelachse notwendig. Zum Messtermin wurden am Spielfeld etwa 2000 Stellen durch Lochpfropfen ausgebessert (NÄGELE, 2010).

Die Impuls-Arena wird etwa 1,5 Stunden pro Woche für Ligaspiele des FC Augsburg genutzt. Durch den Einbau einer Rasenheizung ist das Spielfeld auch im Winter bespielbar.

Zum Messtermin war das Wetter kühl und feucht bei 12 bis 15°C. Am Vormittag hat es leicht genieselt. Die Witterung zuvor war kühl und sehr unbeständig mit mehreren Niederschlagsereignissen.

5. Untersuchungsmethodik

5.1 Versuchsplan

Auf den einzelnen Fußballplätzen wurden jeweils die gleichen 4 Standorte für die Messparzellen ausgewählt und entsprechend eingemessen. Die Messparzellen 1 und 3 liegen in stärker belasteten Bereichen. Die Messparzellen 2 und 4 liegen in normalerweise weniger belasteten Bereichen (Abb.9).

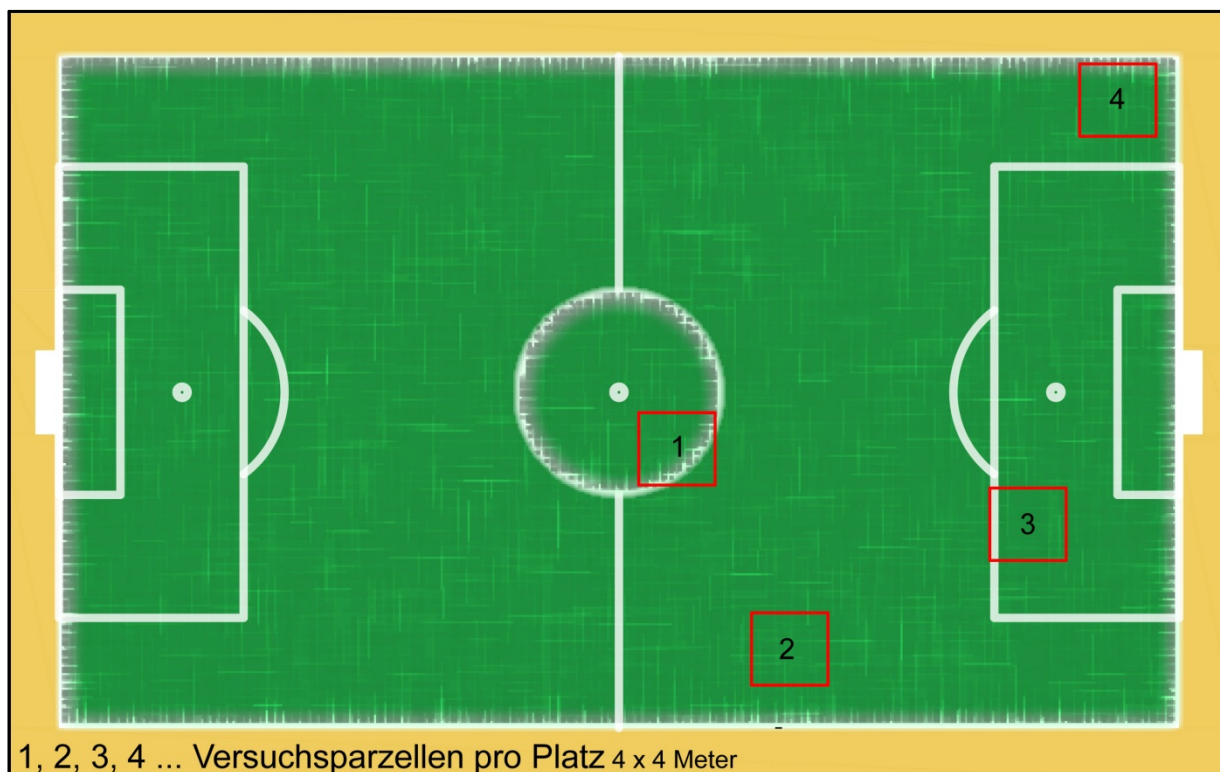


Abbildung 9: Lage der vier Messparzellen auf den Fußballplätzen. 20.6.2010

In jeder Parzelle wurden die im Folgenden beschriebenen Parameter aufgenommen. Die Anordnung der einzelnen Messpunkte in jeder Parzelle ist in Abb.10 dargestellt.

Im Vorfeld wurden für die Durchführung der Untersuchungen Messprotokolle erstellt. Diese waren für die Untersuchungen am Feld sehr hilfreich. Fast alle gemessenen Werte wurden vor Ort in die dazugehörigen Tabellen eingetragen und anschließend am PC verarbeitet. Zusätzlich wurden Fragebögen für die Platzwarte erstellt. Alle vorbereiteten Unterlagen für die Messungen können im Anhang, Kapitel 15.1 eingesehen werden.

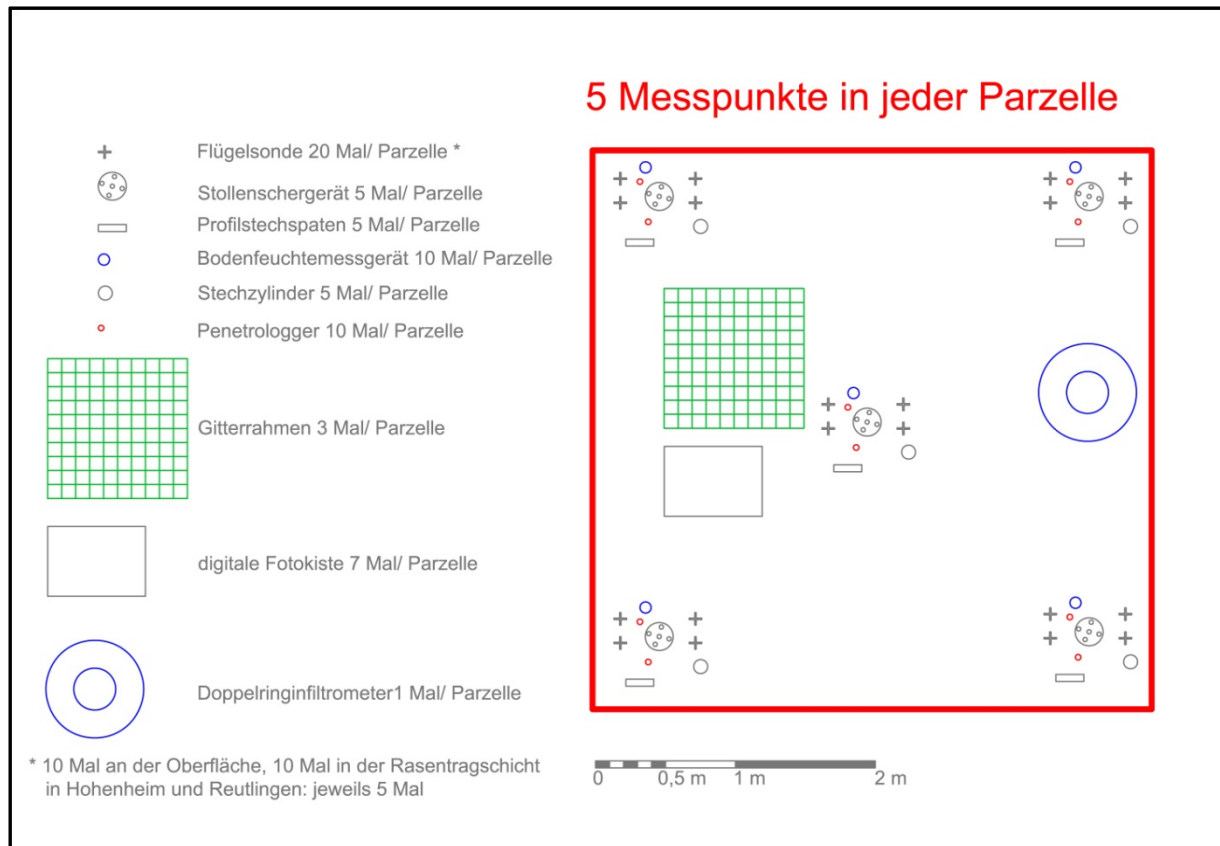


Abbildung 10: Parzellenplan mit den durchzuführenden Messungen pro Parzelle. 20.6.2010

5.2 Untersuchung der Scherfestigkeit in unterschiedlichen Bodentiefen

Die Untersuchung der Scherfestigkeit erfolgte in unterschiedlichen Tiefen der Rasentragschichten. Für die Untersuchung von 0 bis 15 mm Bodentiefe wurde ein Stollenschergerät verwendet. Zwischen 0 und 40 mm Bodentiefe und zwischen 40 und 80 mm Bodentiefe wurden die Messungen mit der Flügelsonde durchgeführt.

Zu Beginn war noch nicht abschätzbar, welche Anzahl an Scherfestigkeitswerten, gemessen mit der Flügelsonde, benötigt werden. In Hohenheim und Reutlingen wurde daher mit 5 Messungen pro Parzelle begonnen. Für die restlichen Untersuchungsorte wurde diese Anzahl auf 10 Messungen pro Parzelle erhöht (Abb.10).

5.2.1 Stollenschergerät an der Rasennarbe

Das Messinstrument Stollenschergerät wurde in den 90er Jahren von der LWG Veitshöchheim, Abteilung Landespflege, entwickelt. Seit damals wurde es für die Bestimmung der Scherfestigkeit von Rasenbelägen auf Fußballplätzen verwendet (KENDZIA, 2009). Das Stollenschergerät besteht aus einem 75,45 kg schweren Eisenzylinder, an dessen Standfläche 5 Stollen mit einer Höhe von je 15 mm angeordnet sind. Diese Konstruktion erfolgte nach Vorstellung an einen in den 90er Jahren durchschnittlich schweren Fußballer, der Stollenschuhe trägt. Um den Transport des Messgerätes sowie die Messdurchführung zu erleichtern, wurde der Zylinder in ein modifiziertes Schubkarrengestell eingebaut (Abb.11).



Abbildung 11: Stollenschergerät mit aufgesetztem Drehmomentschlüssel.
Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010

Durch Anheben und Fallenlassen dieses Zylinders aus einer Höhe von 20 cm wird das Eintreten eines Fußballers in den Rasen simuliert (Abb.12). Das Abscheren der Grasnarbe erfolgt dann durch Drehen des Zylinders auf seiner 14 cm durchmessenden Standfläche mit einem auf dem Zylinder befestigten Drehmomentschlüssel bis zu einer festgelegten Markierung. Das maximale Moment entspricht dem Bruchmoment, das zum Überwinden des Boden- und Rasenwiderstandes aufgewendet werden muss. Es wird in Newtonmeter am

Drehmomentschlüssel digital angezeigt und gespeichert (Abb.13). Die Stollen des Zylinders dringen 15 mm in den Boden ein. Diese Messmethode liefert daher Werte für die Scherfestigkeit an der Oberfläche bzw. an der Rasennarbe. Geringe Werte lassen auf eine geringe Scherfestigkeit der Rasennarbe schließen. Die gewonnenen Werte sind nicht mit Werten aus Labormessungen vergleichbar (KENDZIA, 2009).



Abbildung 12: Fallenlassen des Eisenzylinders aus definierter Höhe. Scholz-Arena Aalen. 15. 7. 2010



Abbildung 13: Anzeige des Drehmomentes, um den Zylinder bis zur Markierung zu drehen. Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010

Auf jeder der vier Parzellen wurden fünf Messungen durchgeführt (Abb.10). Das ergibt 20 Messungen pro Platz. Die Daten wurden direkt nach der Messung in die Messprotokolle eingetragen und somit für die weiteren Auswertungen bereit gestellt.

5.2.2 Flügelsonde an der Oberfläche der Rasentragschicht

Die Flügelsonde ist bereits aus den Beschreibungen der Labormessungen zur Scherfestigkeit bekannt. Die Messdurchführungen mit der Flügelsonde im Freiland unterscheiden sich vom Prinzip her nicht von denen im Labor: Die Achse wird vertikal in den Boden gesteckt und mit langsamer, gleichbleibender Geschwindigkeit gedreht. Die erforderliche Kraft am Brechpunkt des Bodens wird auf der Skala gemessen. Die Druck- bzw. Scherspannung wird in t/m^2 am Schiebering mit Skaleneinteilung von 0

bis 13 am Gerät angezeigt (Abb.14). Durch Multiplikation mit dem Faktor 10 errechnen sich daraus kN/m^2 . Die vier Flügel mit je $10 \times 40 \text{ mm}$ befinden sich am unteren Teil der Sondierstange, die mit Hilfe des Drehgriffs bis zum Anschlag gedreht wird. Nach jeder einzelnen Messdurchführung wurde der Wert sofort im Messprotokoll notiert (Abb.15).



Abbildung 14: Detailansicht der Flügelsonde: Schiebering mit Skaleneinteilung. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

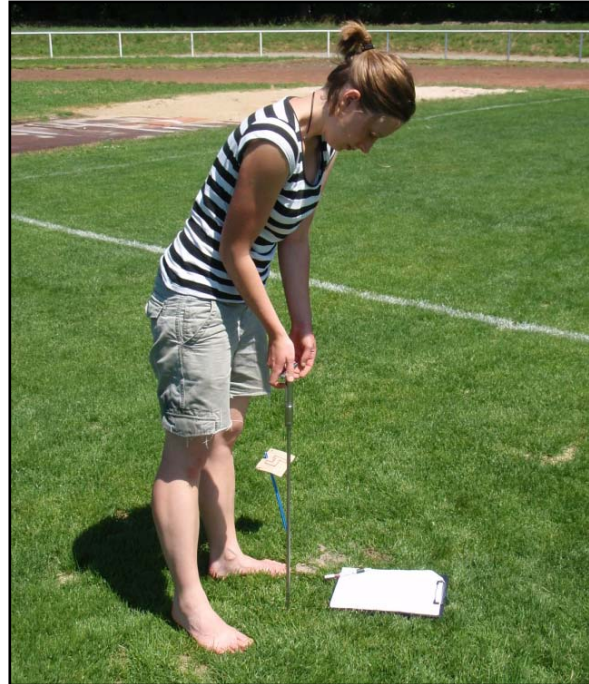


Abbildung 15: Durchführung der Messung mit der Flügelsonde in situ. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

5.2.3 Flügelsonde in der Rasentragschicht

Bei den Messungen wurde auf eine gute Vergleichbarkeit der Werte an der Oberfläche und in der Rasentragschicht geachtet. Die Untersuchungen in beiden Tiefen fanden direkt nacheinander statt. Für exakte Messungen waren das Reinigen der Flügel vom rückständigen Bodenmaterial nach jeder Messung (Abb.16) und das Zurücksetzen des Schieberings auf Null wichtig. Durch die beiden Messungen wurden Werte für die Scherfestigkeit an der Oberfläche und in der Rasentragschicht von denselben Stellen ermittelt. Somit konnten sie später auf eine etwaige Korrelation hin ausgewertet werden.



Abbildung 16: Flügelsonde, unterer Teil: Sondierstange und Flügel mit Bodenrückständen nach der Messung. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010

5.3 Untersuchung der Verdichtung des Bodens

Als Kennwert für die Verdichtung eines Bodens kann der Widerstand, den der Boden einem Sondierkonus entgegenbringt, der langsam in den Boden eingedrückt wird, angenommen werden (EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT, 2010). Dieser Bodenwiderstand wird als Eindringwiderstand bezeichnet. Für diese Untersuchungen wurde ein Penetrometer mit Datalogger, ein sogenannter Penetrologger, des Modells 06.15 der Firma Eijkelkamp verwendet. Der Sondierkonus mit einem Durchmesser von 1 cm² und einer Konuswinkel von 60°, der für die Messungen auf den Substraten bei Sportplätzen empfohlen wird, ist etwas breiter als die Sondierstange, um die Reibung der Stange am Boden zu vermindern. Ansonsten würde der Wert für den Eindringwiderstand verfälscht werden (EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT, 2010). Am oberen Ende der Sondierstange ist der Datalogger angebracht (Abb.18). Bei der Messdurchführung wird die Sondierstange langsam und gleichmäßig in den Boden eingedrückt (Abb.17). Die Geschwindigkeit wird über eine Anzeige am Datalogger

angezeigt und kann so kontrolliert werden. Der Eindringwiderstand wird im Datalogger tiefenabhängig elektronisch erfasst und als Kraft pro Fläche in Mega Pascal (MPa = MN/m²) gespeichert.



Abbildung 17: Messdurchführung Penetrometer. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010



Abbildung 18: Datalogger des Penetrometers. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010

Die Tiefenmessung erfolgt über einen internen Ultraschallsensor mit Hilfe der Tiefenbezugsplatte, die am Boden aufliegt (EIJKELKAMP AGRISearch EQUIPMENT, 2010). Der Messplan wurde bereits vor den Messterminen am PC erstellt und auf den Datalogger übertragen.

Da sich unter vier der Spielfelder Rasenheizungen, in Tiefen zwischen 12 bis 20 cm, befinden, wurde der Eindringwiderstand nur bis in eine Tiefe von 10 cm gemessen. Etwa 20 bis 30 cm neben dem ersten Messpunkt, wurde der Eindringwiderstand ein zweites Mal gemessen. Dies ergab pro Parzelle zehn und folglich pro Platz 40 Messungen.

Nach jedem Messtermin wurden die Daten vom Datalogger über das Softwareprogramm Pen Viewer zur weiteren Bearbeitung auf den PC übertragen (Abb.19 und 20).

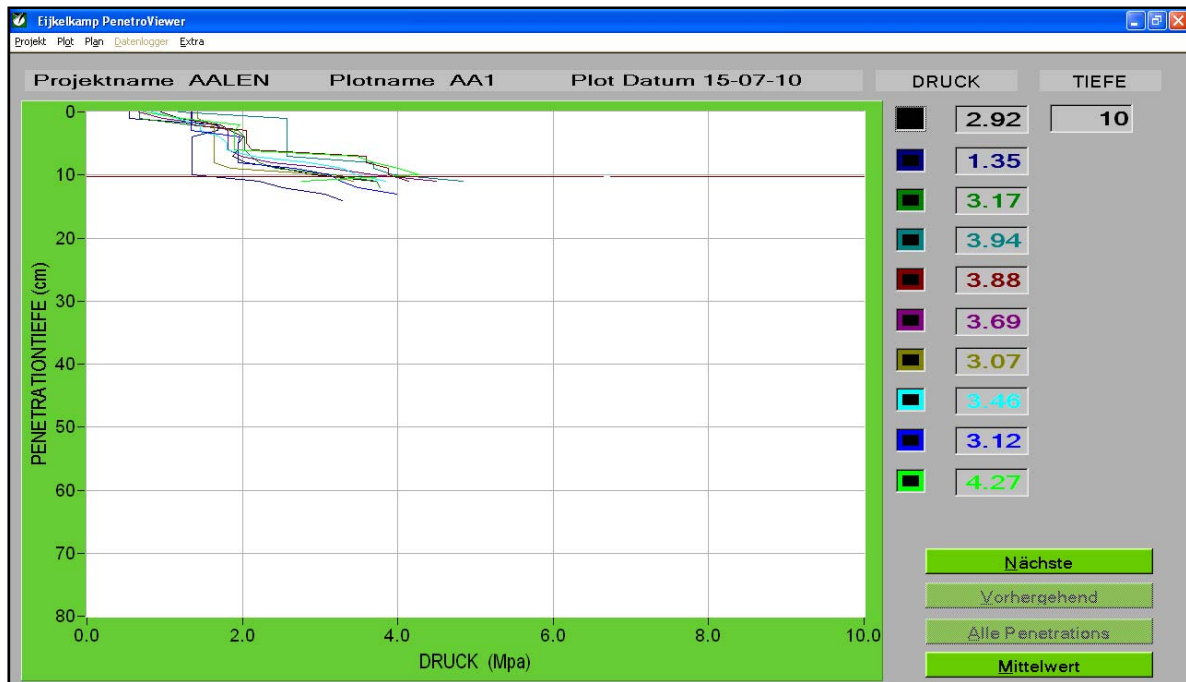


Abbildung 19: Ansicht der Messergebnisse aus dem Penetrologger. Scholz-Arena Aalen, Parzelle 1. 15.7.2010

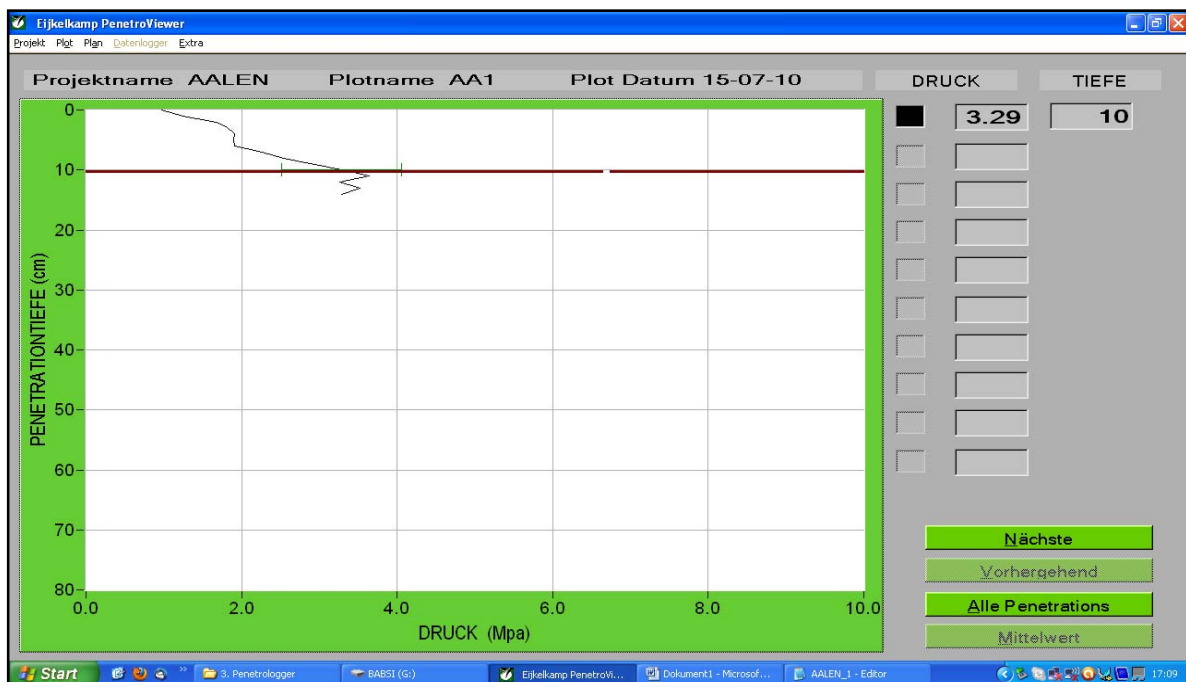


Abbildung 20: Ansicht des Mittelwertes zu Abb. 19. Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010

Der Penetrologger liefert für jeden Zentimeter Eindringtiefe einen Messwert. Die Daten können als Text-Datei exportiert (Abb.21) und zur weiteren Verarbeitung in Excel kopiert werden.

AALEN_1 - Editor										
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?										
INSTRUMENT EIJELKAMP PENETROLOGGER SN 0										
Projektname	AALEN									
Anwender	BARBARA									
Plotname	AA1									
Plotdatum	15-07-10									
Anzahl Pen./Plot	10									
Anzahl Pen. fertig	40									
Kornstyp	1.0cm2 60deg									
Pen.Geschwindigkeit:	cm/s									
Tiefe Mess einheit:	cm									
Druck Mess einheit:	MPascal									
Tiefe	Pen01	Pen02	Pen03	Pen04	Pen05	Pen06	Pen07	Pen08	Pen09	Pen10
00	0.95	0.54	0.68	1.17	1.35	0.66	1.42	0.83	1.34	0.72
01	1.20	0.54	0.68	2.57	1.35	0.97	1.42	1.16	1.34	1.22
02	1.72	1.68	1.33	2.57	1.35	1.64	1.64	1.46	1.34	1.97
03	1.84	1.68	1.95	2.57	2.05	1.82	1.64	1.46	1.34	1.90
04	2.02	1.35	2.03	2.57	2.05	1.82	1.64	1.71	1.97	1.90
05	1.95	1.35	2.03	2.57	2.05	1.81	1.64	1.80	1.94	1.90
06	1.95	1.35	2.03	2.57	2.12	1.81	1.64	1.80	1.94	1.90
07	1.87	1.35	2.11	2.57	3.60	1.98	1.64	2.12	1.94	3.46
08	2.05	1.35	2.22	3.69	3.60	2.38	1.64	2.87	1.94	3.70
09	2.52	1.35	2.43	3.69	3.88	3.13	1.85	3.29	2.67	4.01
10	2.92	1.35	3.17	3.94	3.88	3.69	3.07	3.46	3.12	4.27
11	3.70	2.22	3.72	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
12	3.70	2.52	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
13	3.70	3.06	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
14	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
15	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
16	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
17	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
18	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
19	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
20	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
21	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76
22	3.70	3.28	3.77	4.84	4.14	4.50	3.43	3.84	3.26	2.76

Abbildung 21: Textdatei zur Datenauswertung des Penetrologgers für eine Parzelle. Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010

In Excel wurden aus den Werten Punktdiagramme erstellt, in denen die Eindringtiefe und der dazugehörige Eindringwiderstand als Verlauf dargestellt wurden.

5.4 Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens

Die einzige Methode, um die tatsächliche Wasserdurchlässigkeit am fertig gestellten Sportplatz zu prüfen, stellt die Wasserdurchlässigkeitsmessung mit Doppelringinfiltrometern dar (THIEME-HACK, 2003). Auch LORENZ (2010) kommt nach Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit auf Fußball- und Faustballspielfeldern zu dem Entschluss, für die Messung der Drainageleistung von Sportplatzrasenflächen ausschließlich den Doppelringinfiltrometer zu verwenden.

Die Messung der Wasserdurchlässigkeit mit Doppelringinfiltrometern wird in der DIN EN 12616 (2003) „Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit“, Verfahren B „Naturrasen“, ausführlich beschrieben. Diese Beschreibung diente als Anleitung für die Messungen. Beide Zylinder des Doppelringinfiltrometers wurden 5 cm in den Boden eingeschlagen (Abb.22).



Abbildung 22: Doppelringinfiltrometer mit Zubehör. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7. 2010



Abbildung 23: Wasseranstaueung in beiden Zylindern. Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen. 1.7.2010

In beiden Zylindern wurde, je nach Trockenheit des Bodens, über eine Zeit von 20 bis 30 Minuten Wasser angestaut, bis der Wasserspiegel im inneren Zylinder annähernd konstant blieb (Abb.23).

Ausgehend von einer Anfangsstauhöhe von 30 mm wird das Absinken des Wasserspiegels (F_{wB}) im inneren Zylinder über eine Zeitdauer von 20 Minuten gemessen (Abb.24). Für den Fall, dass die Bodenentwässerung schneller erfolgt, muss die Zeitdauer aufgezeichnet werden, in der der Wasserspiegel um 25 mm sinkt. Während der Messungen muss darauf geachtet werden, dass der äußere Wasserspiegel mit dem inneren um ± 2 mm gleich bleibt. Dies wurde über ein an den Zylindern befestigtes Millimetermaß sichergestellt. Zusätzlich wurde die Wassertemperatur im inneren Zylinder gemessen und dient danach als Wert für den Korrekturfaktor C, der die Viskosität des Wassers in die Rechnung mit einbringt (Abb. 25).



Abbildung 24: Das Absinken des Wasserspiegels im inneren Zylinder wird mit einer Stoppuhr gemessen. Station an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010



Abbildung 25: Wasserspiegel- und Wassertemperaturmessung im inneren Zylinder. Station an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010

Um die temperaturkorrigierte Wasserinfiltrationsmenge I_B aus den gemessenen Daten zu berechnen, dient folgende Gleichung:

$$I_B = FW_B \cdot C / t_B \quad (\text{DIN EN 12616, 2003}).$$

FW_B = Absinken des Wasserspiegels in mm

C = Korrekturfaktor für die Temperatur

t_B = Zeitdauer in h

5.5 Untersuchung des Zustands der Rasennarbe

Der Zustand der Rasennarbe wurde in Anlehnung an DIN EN 12231 (2003) „Bestimmung der Bodenbedeckung bei Naturrasen“ Verfahren B „Bestimmung der Bodenbedeckung mit Rahmenquadrat“ durchgeführt. Verwendet wurde ein 1 x 1 m Gitterrahmen, auch Frequenzrahmen genannt (Abb.26), um den Deckungsgrad wie auch die Pflanzenarten zu bestimmen (DIN EN 12231, 2003).



Abbildung 26: Gitterrahmen mit 1 m x 1 m. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010

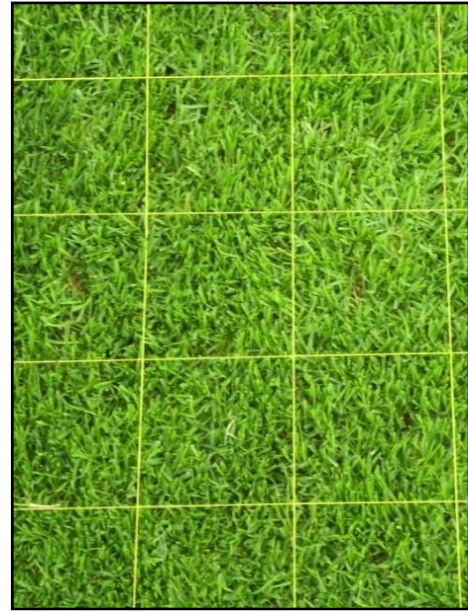


Abbildung 27: Gitterrahmen Detailaufnahme. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7. 2010

Im ersten Schritt wurden visuell die Prozentanteile an lebendem Pflanzenmaterial, totem Pflanzenmaterial und unbedecktem Boden bestimmt. Der hierfür verwendete Rahmen ist in 100 Kleinquadrate zu je 10 x 10 cm unterteilt. Diese Unterteilung erleichtert die Schätzung des Anteils an Bodenbedeckung: Ein voll ausgefülltes Quadrat entspricht 1 % Bodenbedeckung (Abb.27). Die Summe der Einzelquadrate ergibt die gesamte Bodenbedeckung in Prozent durch die vorhandenen Pflanzen. Die Bodenbedeckung korreliert unter anderem mit dem Wasser- und Gashaushalt im Boden und wirkt sich auch auf die Durchwurzelung und somit auf die Scherfestigkeit des Bodens aus (WEGE und MEHNERT, 2009). Einen Anstieg des Deckungsgrades durch eine Zunahme der luftführenden Poren konnte auch MÜLLER-BECK (1977) feststellen. Er leitet daraus die Notwendigkeit einer ausreichenden Durchlüftung des Bodens für eine gute Bodenbedeckung ab.

Im zweiten Schritt wurde die Bodenbedeckung der einzeln auftretenden Arten bestimmt. Auf Sportflächen sollten die anfänglich gesäten und gewünschten, bodenfestigenden Rasengräser *Lolium perenne* und *Poa pratensis* vorzufinden sein. Die gewünschten Arten können jedoch von anderen, für die Bodenfestigung weniger geeigneten, Gräsern und Kräutern oftmals verdrängt werden (TOBIAS, 1991). Die

einzelnen Arten wurden abermals mit Hilfe des Gitterrahmens beurteilt (Abb.28-29). Angegeben wurden die Anteile der vorgefundenen Pflanzenarten in Prozent.



Abbildung 28: Bestimmung der Gräser. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010



Abbildung 29: Bestimmung der vorhandenen Gräserarten anhand ihrer Merkmale. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010

Als Vergleich zur visuellen Deckungsgradschätzung wurde die Bodenbedeckung im dritten Schritt über Digitalbildanalyse untersucht. Diese ermöglicht eine objektive, reproduzierbare Messung der Bodenbedeckung. Dafür wird eine Alubox der Maße 60 x 50 x 56 cm verwendet. Durch bündiges Aufsetzen der Box auf die Rasenfläche werden Tageslichteinflüsse bei der Bildaufnahme ausgeschlossen. Die Belichtung findet durch vier im Innenraum der Box montierte Kaltlichthalogenlampen statt, die über einen mobilen Akku betrieben werden und die entsprechende Rasenfläche zur Bildaufnahme gleichmäßig ausleuchtet. Durch eine Öffnung an der Oberseite der Fotobox, die genau an die verwendete Digitalkamera angepasst wurde, sind pro Parzelle 7 Digitalfotos gemacht worden (Abb.30).

Die Digitalbildaufnahmen wurden mittels Softwareprogramm SigmaScanPro, mit einem speziellen Makro-Programm, welches an der Penn State University (USA) entwickelt wurde, ausgewertet. Der auszuzählende Grün-Bereich kann bei dem Makro eingestellt werden. Aus Erfahrungen wurde auf einer dreidimensionalen Farbskala ein Bereich von 30° bis 145° (gelbgrün bis grünblau) und eine

Farbsättigung von 5 bis 100% (gering gesättigt bis komplett gesättigt) eingestellt (Abb.31). Das Makro zählt über diese Einstellungen die entsprechenden Pixel (Abb.32-33) und ermittelt den Anteil an der Gesamtzahl der Pixel pro Bild in % (PATTON et al., 2005).

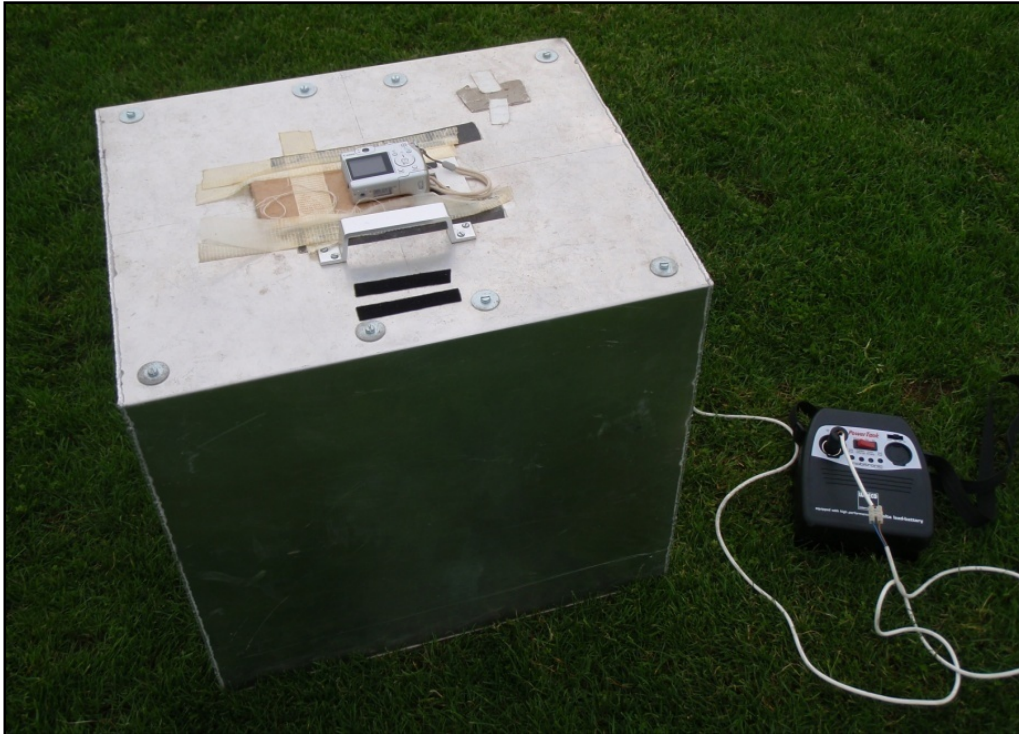


Abbildung 30: Digitale Fotobox mit tragbarem Akku und Digitalkamera. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010

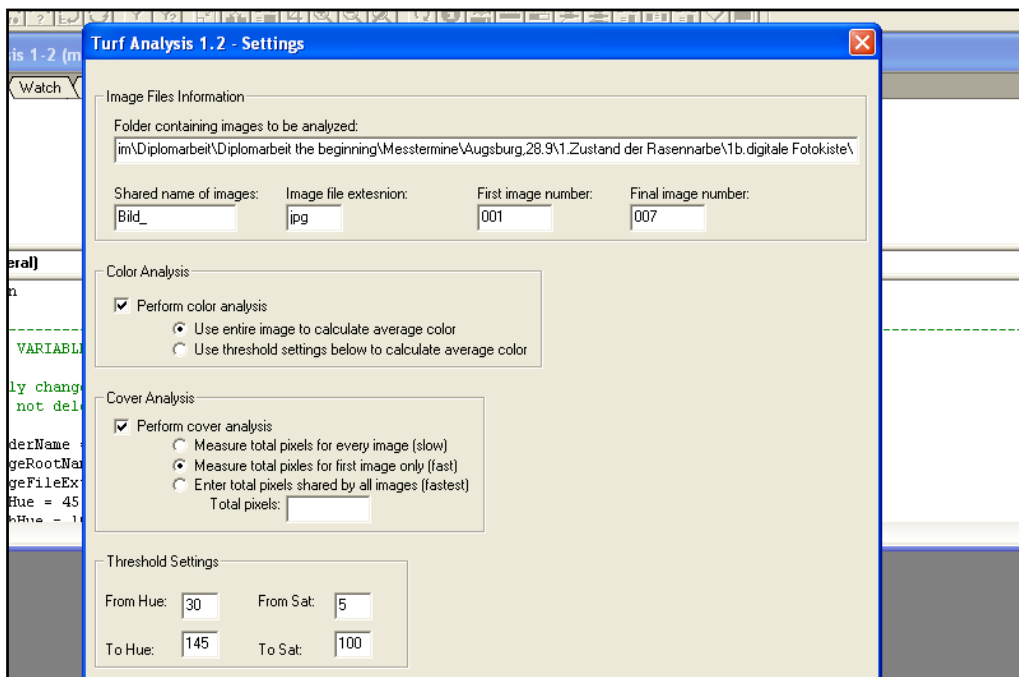


Abbildung 31: Einstellungen für die digitale Bildanalyse. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010

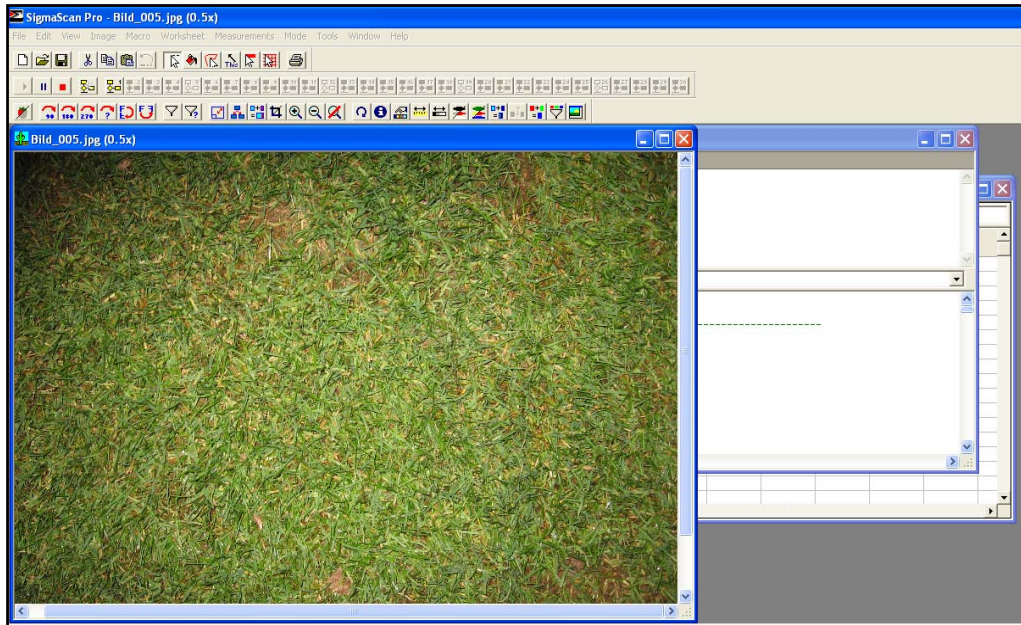


Abbildung 32: Start der Berechnung der grünen Pixel für ein Digitalbild, Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010

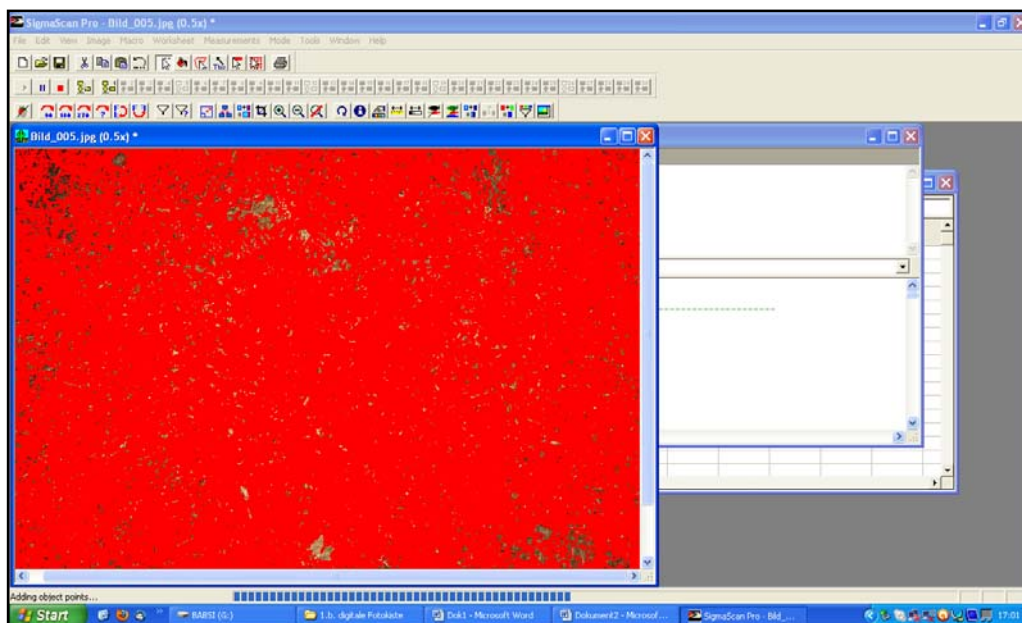


Abbildung 33: Die grünen Pixel des Digitalbildes aus Abb. 39 werden rot überzeichnet. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010

Mit Ende dieser Analyse werden die Daten automatisch als Excel-Tabelle gespeichert und zur Weiterverarbeitung bereitgestellt.

5.6 Untersuchung der Filzmächtigkeit und der Durchwurzelung

Sorgfältig mit einem Profilspaten ausgestochene Bodenprofile wurden mit Metermaß vermessen und auf die Rasenfilzanhäufung, Hauptwurzelzone und den maximalen Wurzeltiefgang der Rasengräser untersucht. Um die eingebauten Rasenheizungen im Stadion an der Kreuzeiche, in der Mercedes-Benz-Arena, der Scholz-Arena und der Impuls-Arena nicht zu berühren, wurde auf diesen Plätzen die Messung des maximalen Wurzeltiefgangs in einer Tiefe von 100 mm abgebrochen.



Abbildung 34: Rasenfilzanhäufung am Bodenprofil. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010

In Abb. 34 erkennt man den Rasenfilz als dicht verwobene, dunkelbraune Schicht aus toten, noch nicht verrotteten und zum Teil noch lebenden Pflanzenteilen, die der Bodenoberfläche aufliegt. Darüber befindet sich die grüne Vegetationsschicht, zusammen mit aufgetragenem Sand- und Bodenmaterial.

Die Messungen des Hauptwurzelhorizontes erfolgten unterhalb des Rasenfilzes bis zum Abbruchhorizont (Abb.35).

Für jeden Messpunkt wurden diese Untersuchungen einmal durchgeführt. Dies entspricht pro Parzelle fünf und pro Platz 20 Einzelmessungen. Die gemessenen Werte für Filzmächtigkeit, Hauptwurzelhorizont und maximalen Wurzeltiefgang wurden für jeden Messpunkt im Messprotokoll festgehalten.



Abbildung 35: Abbruchhorizont und maximaler Wurzeltiefgang eines Bodenprofils. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

5.7 Untersuchung des volumetrischen Bodenwassergehalts

Das Bodenfeuchtigkeitsmesssystem Thetaprobe misst den volumetrischen Bodenwassergehalt mittels FDR-Technologie. Im wasserdichten Kunststoffgehäuse ist die Elektronik untergebracht. Am Gehäuseende sind 4 Edelstahl-Messtifte mit je 55 mm Länge befestigt, die zum einfachen Eindrücken in den Boden eine scharfe Spitze besitzen (Abb.36). Gemessen wird der Volumenprozentsatz des Bodenwassergehalts durch Ermittlung von Veränderungen in der dielektrischen Konstante, die dann proportional zum Bodenwassergehalt in ein Millivolt-Signal umgewandelt wird (EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT, 1998). Nach Messaktivierung kann der volumetrische Feuchtegehalt im Boden direkt am Display abgelesen werden (Abb.37).



Abbildung 36: Thetaprobe, das Messgerät für den volumetrischen Bodenwassergehalt von 0 bis 55 mm. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010



Abbildung 37: Messdurchführung mit der Thetaprobe. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010

5.8 Untersuchung der Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte und des gravimetrischen Bodenwassergehalts

Mit Hilfe eines Führungszyllinders mit Schlagkopf und einem Schlägel wurden Norm-Stechzylinder mit einer Höhe von 4 cm, einem Durchmesser von 7,95 cm und einem Volumen von 100 cm³ in eine Tiefe von 40 bis 80 mm eingeschlagen (Abb.38). Schwierig war das Herausholen der eingeschlagenen Stechzylinder aus dem Boden (Abb.39), was erst nach einiger Übung reibungslos gelang.



Abbildung 38: Einschlagen der Stechzylinder mit Schlagkopf und Schlägel. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010



Abbildung 39: Herausholen des Stechzylinders mit einem Messer. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010

Die entstandenen Lücken wurden mit Sand- oder Rasentragschichtgemisch aufgefüllt. Die entnommenen Stechzylinder wurden mit Deckeln versehen, um das Ausrieseln von Bodenmaterial zu verhindern. Die Masse der entnommenen Zylinder wurde mit einer Gramm-genauen Feldwaage direkt vor Ort ermittelt und zusammen mit den eingravierten Nummern der Stechzylinder in das Messprotokoll eingetragen. Pro Parzelle wurden fünf Stechzylinderproben entnommen.

Für die Bestimmung der Lagerungsdichte wurden die Stechzylinder im Trockenschrank 24 Stunden bei 105°C getrocknet. Nach Abkühlungszeit von weiteren 24 Stunden wurden die Proben rückgewogen. Das Trockengewicht ergab die Lagerungsdichte in g/cm³.

$$\rho_b = \text{g/cm}^3$$

Der gravimetrische Wassergehalt X_m [%] bezieht die Wassermasse auf die Trockenmasse des Bodens. Berechnet wird er über Division des Bodennassgewichts m_w durch das Bodentrockengewicht m_d .

$$X_m[\%] = m_w/m_d \cdot 100$$

Aus dem gravimetrischen Wassergehalt X_m und der Lagerungsdichte ρ_b kann dann der volumetrische Wassergehalt X_{vol} berechnet werden. Dieser gibt das vorhandene Wasservolumen bezogen auf das gesamte Bodenvolumen an.

$$X_{vol}[\%] = X_m[\%] \cdot \rho_b$$

(SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010).

Parzellenweise wurde eine Mischprobe mit etwa 750 g Boden aus den Stechzylindern an der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie (LA Chemie) der Universität Hohenheim auf Kornverteilung nach DIN 19683 (2007) untersucht. Mit den Untersuchungsergebnissen wurden für jede Parzelle Sieblinien erstellt.

5.9 Statistische Auswertung

Durch die Verfahren der deskriptiven Statistik wurden die Untersuchungsdaten erfasst. Daraus sollen essenzielle Informationen abgeleitet werden. Für den Einsatz statistischer Methoden ist die Grundbedingung, dass die zu analysierenden Datenmengen mathematisch erfassbar, also zählbar, sind. Dies wurde bereits bei der Datenerhebung für diese Arbeit sicher gestellt.

Nach Abschluss der Datenerhebung wurden die Daten nach folgender Vorgehensweise verarbeitet:

1. Auswertung der erhobenen Daten in Excel 07 oder mit speziellen Softwareprogrammen
2. Aufbereitung des ausgewerteten Datenmaterials und Überprüfung der Daten auf ihre Aussagekraft hin
3. Statistische Auswertung

Mit welchen Mitteln die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte, wurde im Rahmen der jeweiligen Untersuchungsmethoden in den Kapiteln 5.2 bis 5.8 beschrieben.

5.9.1 Aufbereitung der ausgewerteten Daten

Zur Überprüfung der Daten auf ihre Aussagekraft hin dient die Standardabweichung der Messergebnisse hinsichtlich ihres arithmetischen Mittels. Je weiter die einzelnen Messwerte auseinander liegen, bzw. je mehr sich die Werte vom Mittelwert unterscheiden, desto höher ist die Streuung einer Verteilung. Standardabweichung und Varianz dienen als Maß für die Streuung der Daten.

Nachdem arithmetisches Mittel und Standardabweichung für jeden Parameter in jeder Parzelle berechnet worden sind, folgte eine sinnvolle Darstellung der Daten und Vorbereitung für die weitere Verarbeitung. Diese umfasste die graphischen Darstellungen in Diagrammen sowie die Erstellung von Tabellen für die spezifischen Analysen. Die anschließenden statistischen Analyseverfahren wurden mit den verfügbaren Statistikprogrammen in MS Excel 07 berechnet.

Anschließend wurden die Daten für die Beantwortung der Versuchsfragen nach statistischen Verfahren analysiert.

5.9.2 Zwei-Stichproben t-Test (Paarvergleichstest)

Der t-Test wurde eingesetzt, um signifikante Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten und den Einflussfaktoren Lage, Tiefe und Hauptwurzelhorizont festzustellen. In der formulierten Nullhypothese wurde zum Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ davon ausgegangen, dass keine Unterschiede zwischen den zu analysierenden Daten bestanden. Voraussetzung für den t-Test war die Normalverteilung der zu analysierenden Daten (FAHRMEIR et al., 2007).

5.9.3 Korrelationsanalyse

„Korrelation ist ein Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen X und Y“ (FAHRMEIR et al., 2007, S.138).

Mit einer Korrelationsanalyse wurde der Grad der linearen Abhängigkeit der Daten ermittelt. In diesen Untersuchungen wurden die Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Eindringwiderstand und die beiden Verfahren zur Scherfestigkeitsmessung in situ, Flügelsonde versus Stollenschergerät, mittels Korrelationsanalyse geprüft.

6. Ergebnisse

Die erhobenen Daten wurden zuerst je Messparzelle ausgewertet und anschließend für jeden Platz dargestellt. Die Anforderungen an belastbare Naturrasen-Sportplätze werden in Tabelle 3 zusammengefasst, um anschließend zum Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen herangezogen werden zu können:

Tabelle 3: Anforderungen an die Rasentragschicht und –decke belastbarer Naturrasen-Sportplätze

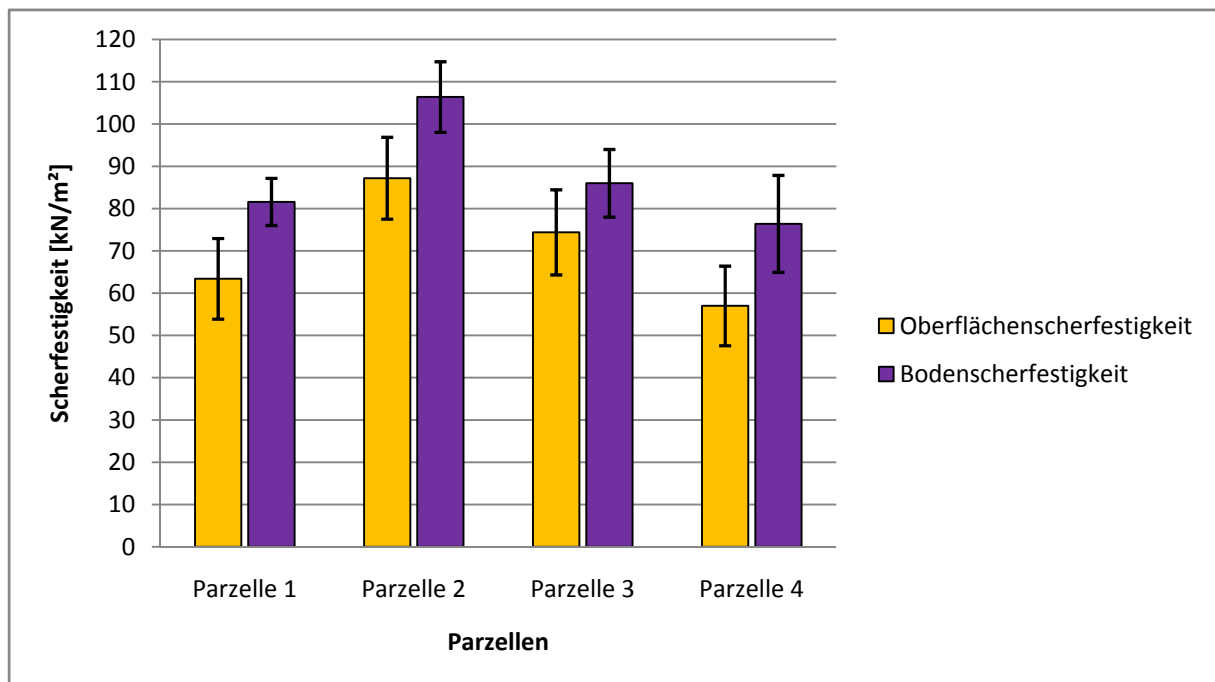
Scherfestigkeit	25 bis 40 kPa nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007)
Eindringwiderstand	für noch angemessenes Wurzelwachstum bis 1,4 Mpa nach SCHLICHTING et al. (1995); kaum noch Wurzelwachstum ab 2,3 MPa nach COOK et al. (1996)
Wasserdurchlässigkeit	> 1 mm/h bei LK 60 nach DIN 18035-4 (1991); > 40 mm/h im eingebauten Zustand nach ÖNORM B2606-1
Hauptwurzelhorizont	100 mm nach FLORINETH und KLOIDT (2007)
Lagerungsdichte	< 1,4 g/cm ³ nach FLORINETH (2009)
projektive Bodenbedeckung	bei Fertigrasen: mind. 98%, davon höchstens 2% Fremdarten, wovon höchstens 1% <i>Poa annua</i> und/oder <i>Poa trivialis</i> sein dürfen nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007)
Filzdicke	≤ 5mm nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007)

6.1 Sportplatz der Universität Hohenheim

In Tabelle 4 sind die Durchschnittswerte der Messungen der vier Parzellen des Sportplatzes der Universität Hohenheim zusammengefasst. Neben den typischen Sportrasengräsern *Lolium perenne* und *Poa pratensis* trat ein gewisser Anteil an Fremdarten auf. Auffällig war ein relativ hoher Anteil an *Agrostis stolonifera* in Parzelle 4. Die höchsten Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, kamen in Parzelle 2 vor. Am geringsten waren die Scherfestigkeitswerte, bei allen Messungen, in Parzelle 4 (Diagramm 1), wo auch die geringste Lagerungsdichte und der geringste Eindringwiderstand (Diagramm 2) auftraten. Die projektive Bodenbedeckung war in Parzelle 4 allerdings am höchsten ausgeprägt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Messungen am Universitätssportplatz Hohenheim

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	57,84	54,50	57,20	51,18	55,18
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	63,4	87,2	74,4	57,0	70,5
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	81,6	106,4	86	76,4	87,6
Deckungsgrad [%]	95	94	93	97	95
<i>Lolium perenne</i> [%]	71	70	72	48	65
<i>Poa pratensis</i> [%]	12	15	12	16	14
Fremdarten [%]	12	9	9	33	16
	2% <i>Poa annua</i>	5% <i>Poa annua</i>	4% <i>Poa annua</i>	6% <i>Poa annua</i>	-
	4% <i>Poa trivialis</i>	4% <i>Poa trivialis</i>	3% <i>Poa trivialis</i>	5% <i>Poa trivialis</i>	-
	6% <i>Veronica sp.</i>		1% <i>Veronica sp.</i>	17% <i>Agrostis stol.</i>	-
			1% <i>Taraxacum off.</i>	2% <i>Trifolium rep.</i>	-
				3% <i>Bellis perennis</i>	-
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,214	1,246	1,180	1,118	1,1895
Wassergehalt grav. [M.-%]	25,09	22,23	28,04	28,47	26,0
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	30,4	27,6	33,0	31,8	30,2
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	29,5	21,3	30,4	29,0	27,5
Filzmächtigkeit [mm]	6,60	4,80	8,00	7,20	6,65
Hauptwurzelschizont [mm]	39,80	56,20	52,80	54,40	50,80
maximale Wurzeltiefe [mm]	166,20	146,20	138,60	156,00	151,75
Infiltration [mm/h]	60,2	86,2	88,5	71,9	76,7

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm**Diagramm 1:** Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus fünf Messungen pro Parzelle am Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010

Der Verlauf der Eindringwiderstände zeigt, dass die Bodenlagerung in allen Parzellen bis in etwa 1 cm Bodentiefe ziemlich gleichmäßig anstieg. Die Bodenlagerung in Parzelle 2 stieg mit zunehmender Bodentiefe am stärksten an und erreichte ihre höchsten Eindringwiderstandswerte bei 3 bis 5,5 cm Bodentiefe (Diagramm 2). Der Verlauf des Eindringwiderstandes ist möglicherweise verantwortlich für die höheren Scherfestigkeitswerte in Parzelle 2. Die ungewöhnliche Aufteilung der Zonen höherer und geringerer Eindringwiderstände ist auf das Fußballspielen in Kleinfeldern und somit untypische Auslastung des Spielfeldes zurückzuführen.

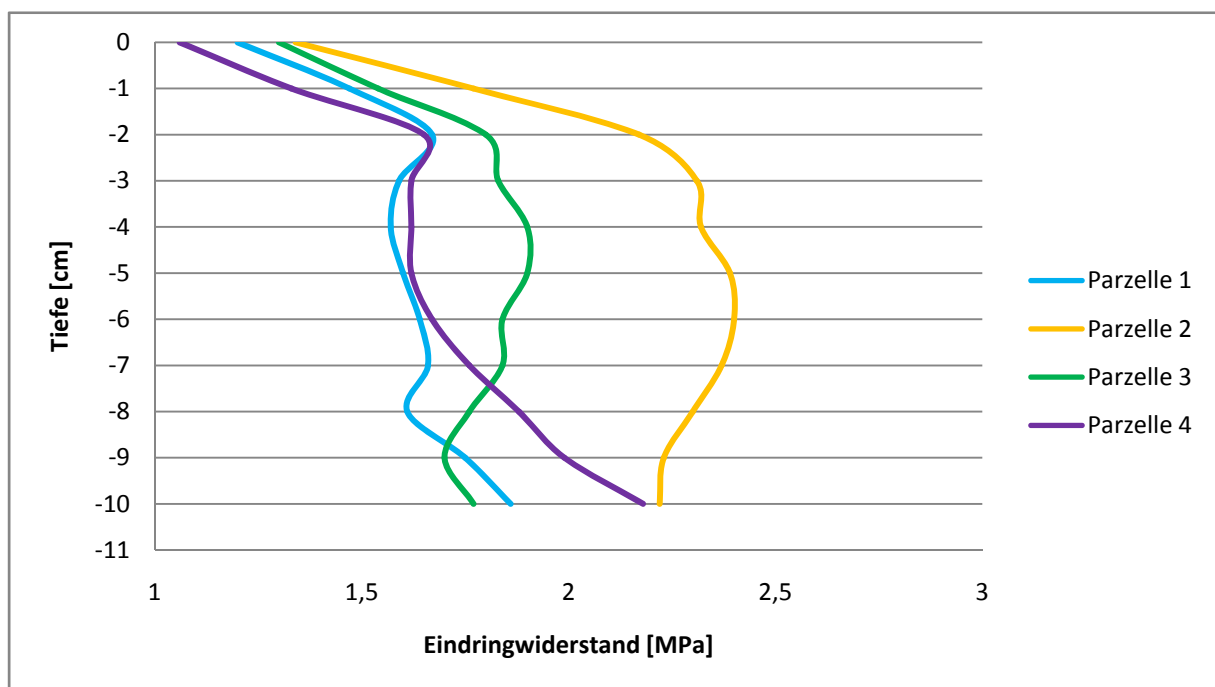


Diagramm 2: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen am Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010

Die Kornverteilungskurven ergaben eine ziemlich gleichmäßige Korngrößenverteilung in allen Parzellen. Beim Sportplatz Hohenheim lag der Wert für die Korngrößen $<0,063$ mm in allen Parzellen höher, als in der DIN 18035-4 (1991) empfohlen wird (Diagramm 3). Da der Platz nicht nach DIN 18035-4 gebaut worden ist, ist dies nicht weiter verwunderlich. Ein hoher Anteil an Schlämmkorn wirkt sich vor allem durch die Verdichtungsneigung bei Belastung unter ungünstigen Witterungs- und Bodenverhältnissen negativ auf die Beschaffenheit der Rasendecke aus (MÜLLER-BECK, 1977; NONN, 1988; PRÄMABING, 2008).

Beim ersten Messtermin, nach einem kurzen Regenschauer, wurde Pfützenbildung und Staunässe, vor allem im Bereich von Parzelle 2, beobachtet.

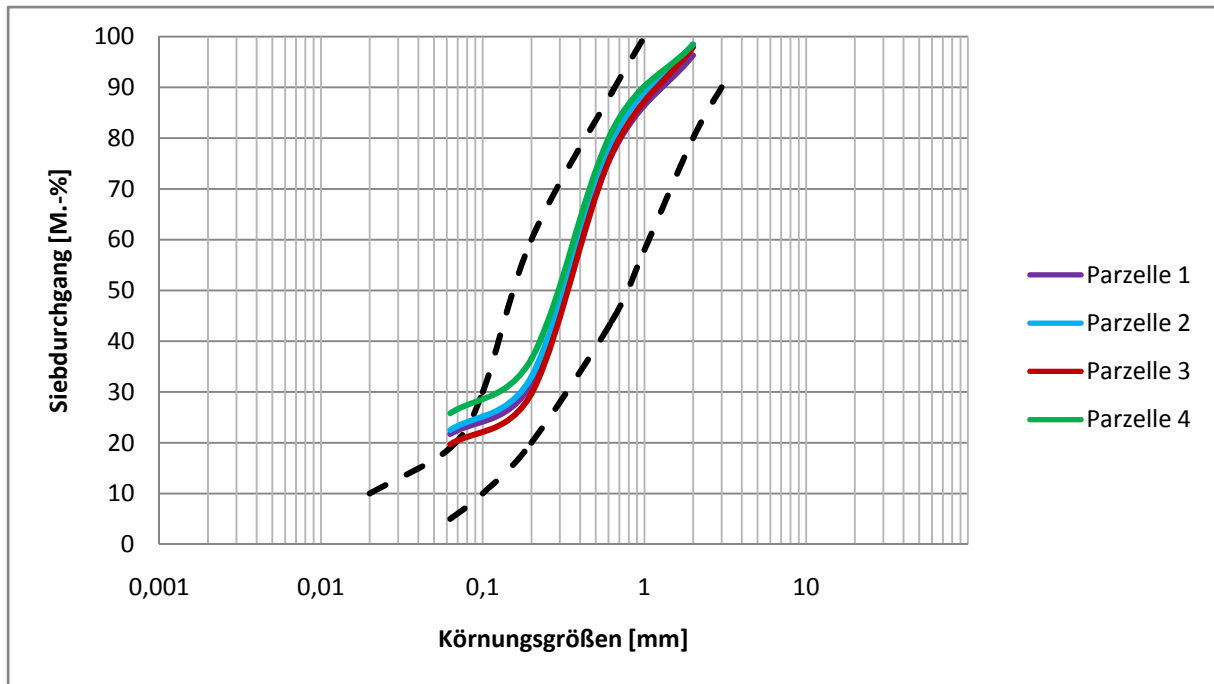


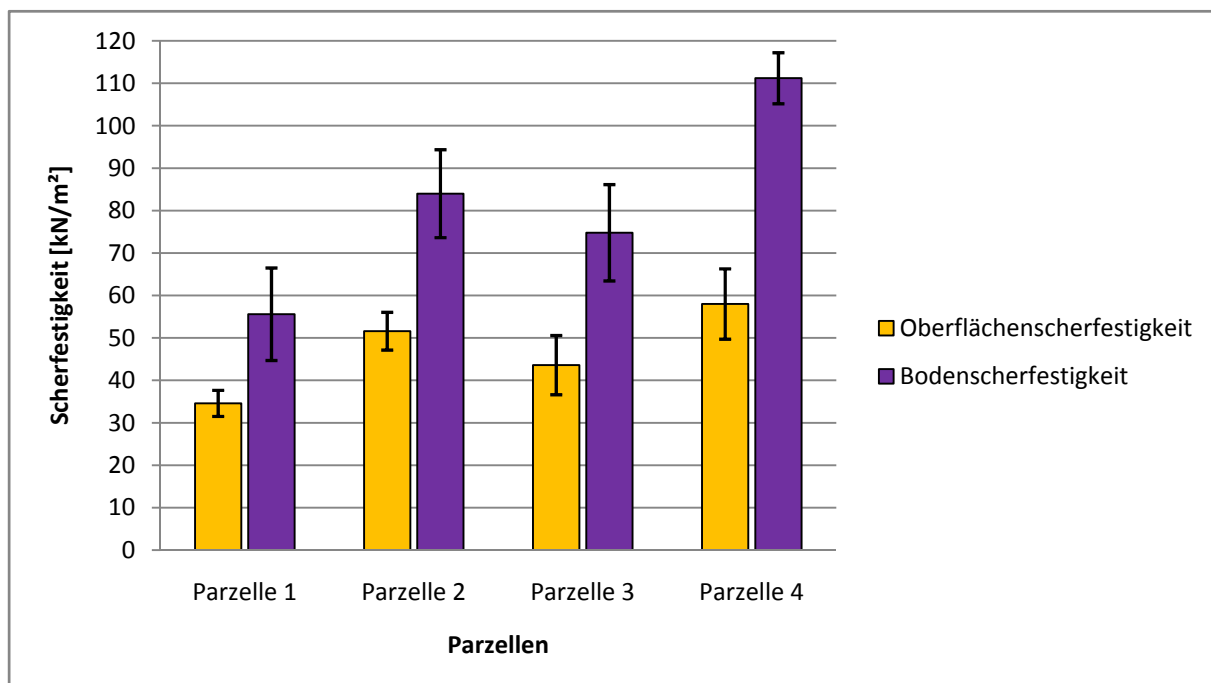
Diagramm 3: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen am Sportplatz Hohenheim. Die schwarz gestrichelten Kurven kennzeichnen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang von Rasentragschichten. 11.6.2010

6.2 Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen

In Diagramm 4 wird deutlich, dass die Scherfestigkeitswerte gemessen mit der Flügelsonde in Parzelle 1 im Stadion an der Kreuzeiche sowohl an der Oberfläche als auch in der Rasentragschicht bei weitem die geringsten Werte aufwiesen. Der volumetrische Bodenwassergehalt, der in Parzelle 1 am höchsten war, könnte dafür verantwortlich sein, jedoch lag der volumetrische Bodenwassergehalt in Parzelle 4, wo die höchsten Scherfestigkeitswerte gemessen wurden, ähnlich hoch (Tabelle 5). Dies lässt darauf schließen, dass die geringen Scherfestigkeitswerte in Parzelle 1 nicht nur bodenwasserbedingt waren. Bei Betrachtung des Pflanzenbestandes zeigt sich, dass der Bestand an *Poa trivialis* in Parzelle 1 sehr hoch war, die Anteile der Sportrasengräser *Lolium perenne* und *Poa pratensis* überragte und vermutlich in Verbindung mit den geringen Scherfestigkeitswerten stand. Starke Filzanhäufung, rascher Ausfall bei Trockenheit und leichtes Entfernen durch eine stolonienbildende Wuchsform sind einige der Charakteristika von *Poa trivialis* (KLAPP und OPITZ VON BOBERFELD, 2006, S.203-204), die eine Eignung für Sportrasenflächen stark einschränken.

Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen im Stadion an der Kreuzzeiche, Reutlingen

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	44,84	51,00	43,76	40,78	45,10
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	34,6	51,6	43,6	58,0	47,0
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	55,6	84	74,8	111,2	81,4
Deckungsgrad [%]	98	96	98	97	97
<i>Lolium perenne</i> [%]	30	70	50	25	45
<i>Poa pratensis</i> [%]	20	20	34	48	31
Fremdarten [%]	48	6	14	24	22
	3% <i>Poa annua</i> 45% <i>Poa trivialis</i>	2% <i>Poa annua</i> 4% <i>Poa trivialis</i>	2% <i>Poa annua</i> 11% <i>Poa trivialis</i> 1% <i>Taraxacum off.</i>	6% <i>Poa annua</i> 18% <i>Poa trivialis</i>	- - -
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,482	1,416	1,482	1,612	1,498
Wassergehalt grav. [M.-%]	13,41	13,73	15,33	12,38	13,70
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	19,8	19,4	22,4	19,8	20,4
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	36,9	15,4	24,2	32,6	27,3
Filzmächtigkeit [mm]	6,4	7,4	7,6	7,6	7,3
Hauptwurzelschizont [mm]	40,6	42,8	49,2	41,4	43,5
maximale Wurzeltiefe [mm]	87,8	98,8	92,8	88,6	92,0
Infiltration [mm/h]	169,8	196,0	283,0	91,0	184,9

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm**Diagramm 4:** Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus fünf Messungen pro Parzelle im Stadion an der Kreuzzeiche Reutlingen. 16.6.2010

Am gesamten Spielfeld machte sich *Poa trivialis* durch hellgrüne Fleckenbildung bemerkbar (Abb.40). Die niedrigen Scherfestigkeitswerte im Oberbereich, die keine

ersichtlichen Zusammenhänge mit den unterschiedlichen Bodenwassergehalten und Eindringwiderständen hatten, bestätigen, dass sich *Poa trivialis* für bodenfestigende Einsatzzwecke als untauglich erweist. Die Scherfestigkeitswerte an der Oberfläche in Parzelle 1 lagen gerade einmal im Bereich der in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) geforderten Werte für Labormessungen. In den anderen Parzellen lag die Scherfestigkeit mehr oder weniger deutlich über diesem geforderten Bereich. Die Rasennarbe am gesamten Spielfeld zeigte zwar einen hohen projektiven Deckungsgrad, bei zunehmender Spielintensität und gleich bleibender Pflege könnten sich jedoch Probleme ergeben.



Abbildung 40: Hellgrüne Fleckenbildung auf dem Spielfeld im Stadion an der Kreuzkirche, Reutlingen durch hohe Anteile unerwünschter Gräser. 16.6.2010

Die Eindringwiderstände wiesen bis in etwa 2,5 cm Bodentiefe kaum Unterschiede zwischen den Parzellen auf. Mit zunehmender Bodentiefe stieg der Eindringwiderstand in allen Parzellen an, in Parzelle 4 am deutlichsten. Parzelle 4 wies einen abweichenden Verlauf gegenüber den anderen Messparzellen auf. Der Verlauf des Eindringwiderstandes (Diagramm 5), wie auch die Kornverteilungskurve und Lagerungsdichte gaben keine Erklärung für die geringen Werte der

Scherfestigkeit in Parzelle 1. Die Lagerungsdichte war in den Parzellen 1 bis 3 ähnlich bei 1,416 g/cm³ bis 1,482 g/cm³. In Parzelle 4 lag sie höher bei 1,612 g/cm³, was mit den Eindringwiderstandskurven korreliert. Die Lagerungsdichte liegt in Parzelle 4 deutlich über dem empfohlenen Wert von 1,4 g/cm³ nach FLORINETH und KLOIDT (2007) und beeinträchtigt das Wurzelwachstum der Rasengräser demnach negativ.

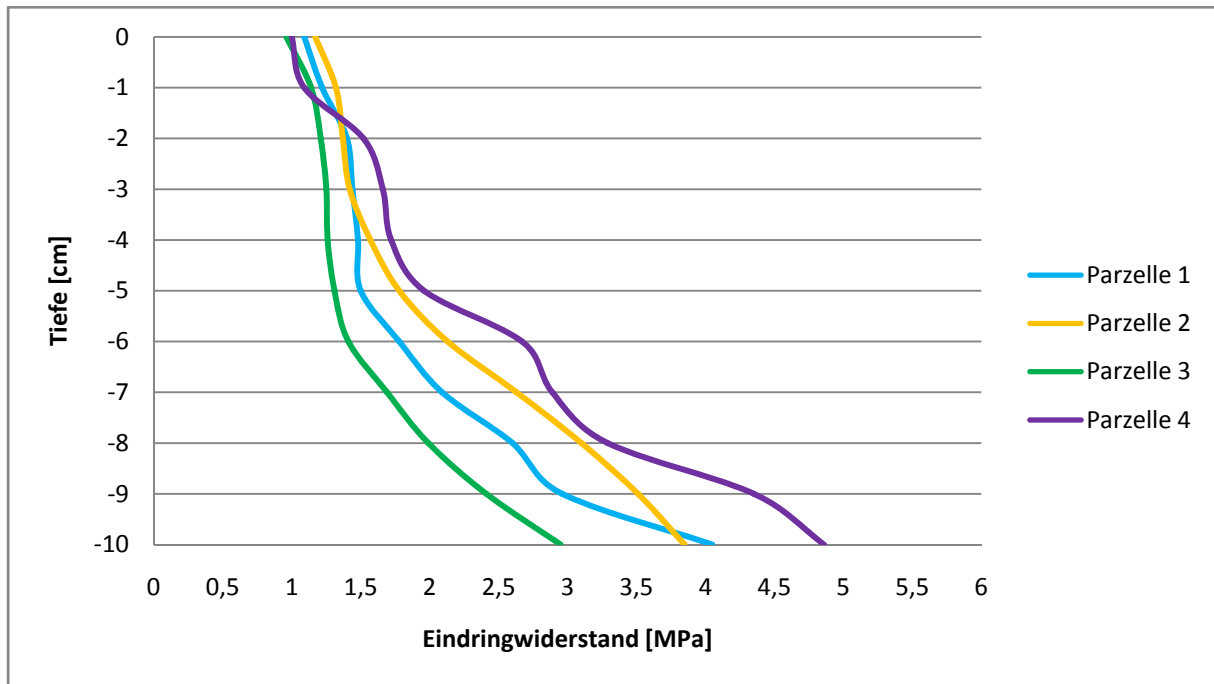


Diagramm 5: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen. 16.6.2010

Im Diagramm 6 sind die Kornverteilungskurven der vier Parzellen dargestellt. Wie man erkennen kann befinden sich diese im empfohlenen Bereich der DIN 18035-4 (1991). Die Korngrößenverteilungen der Parzellen weichen nur geringfügig voneinander ab.

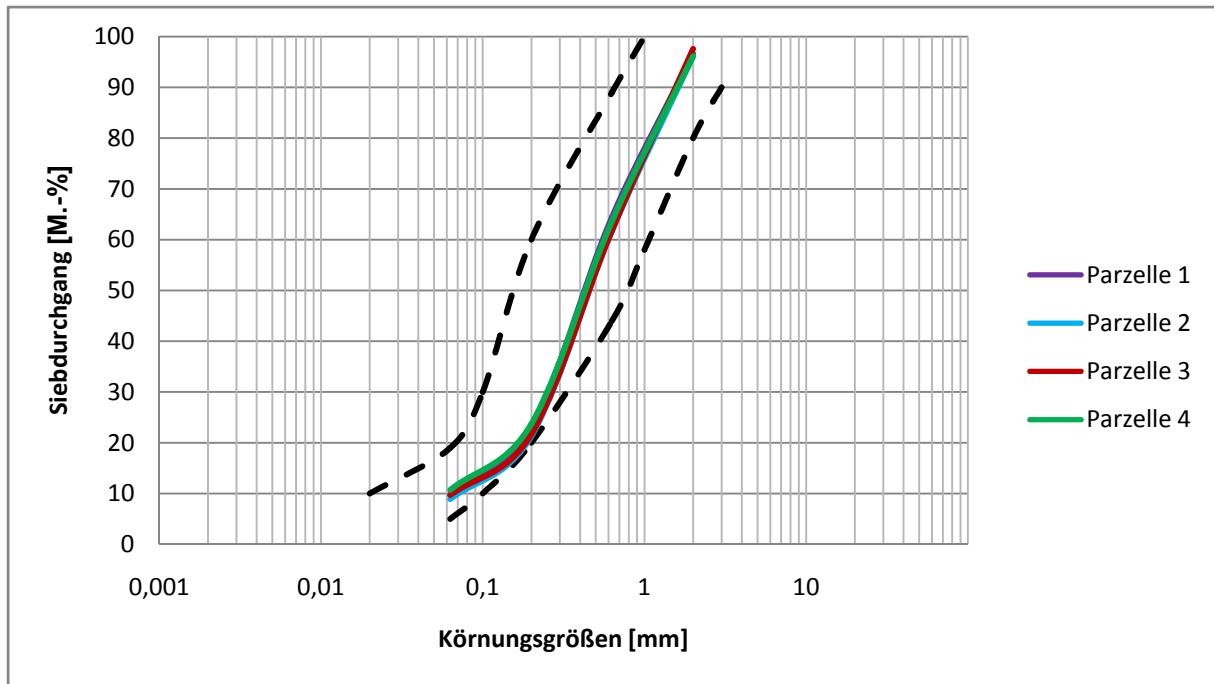


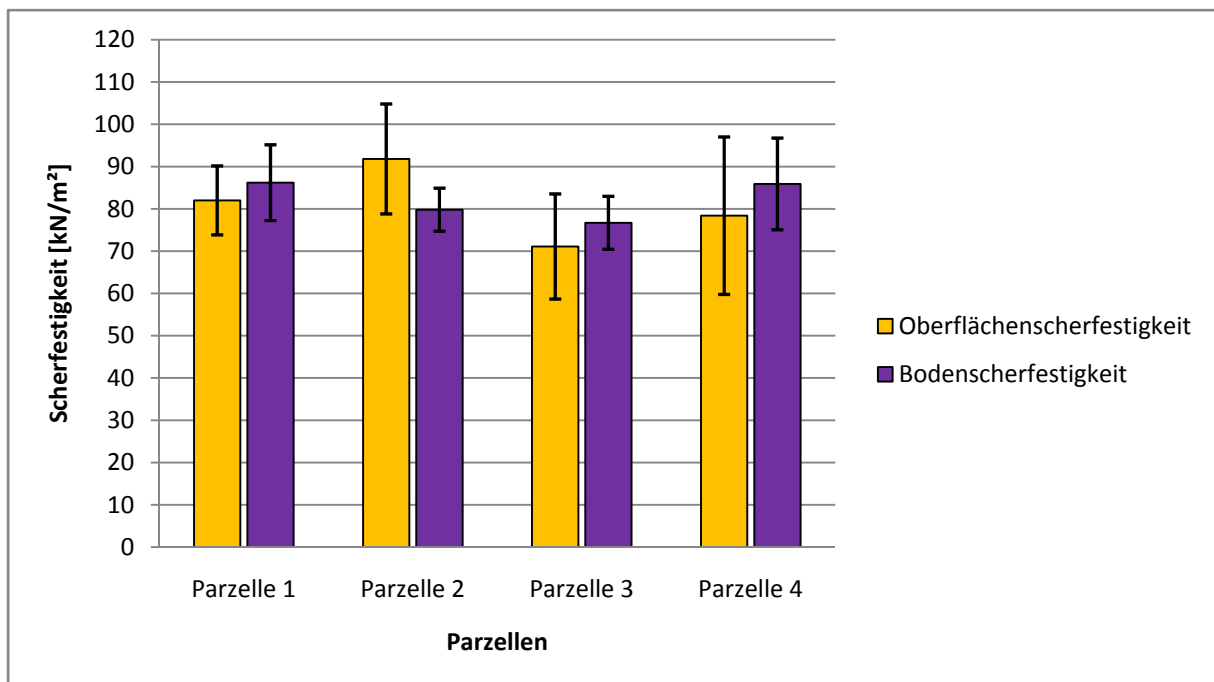
Diagramm 6: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen. Die schwarz gestrichelten Kurven kennzeichnen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang von Rasentragschichten. 11.6.2010

6.3 Weiherstadion Hechingen

Obwohl der Tag der Messung trocken und sehr warm war und das Spielfeld nicht beregnet worden ist, wurden hohe Werte für den Bodenwassergehalt in allen Parzellen im Weiherstadion gemessen. Daraus wurde auf eine gute Wasserspeicherfähigkeit des Bodens geschlossen. Als sehr ungewöhnlich bei den Messungen der Wasserdurchlässigkeit zeigte sich, dass in Parzelle 3 der Wasserspiegel im inneren Infiltrometer auch nach einer Anstauung von 40 Minuten nicht konstant blieb. Es ergab sich hier eine Infiltration von 360 mm pro Stunde. Vermutungen zu dieser ungewöhnlich hohen Infiltration waren zum einen, dass zufällig genau über einem Drainagestrang gemessen worden ist. Zum anderen könnten auch Regenwurmröhren für die hohe Entwässerung gesorgt haben, da bei den Bodenuntersuchungen eine große Anzahl an Regenwürmern gefunden wurde. Die Infiltrationen in den übrigen Parzellen wurden allerdings als gering eingeschätzt. Mit einer Infiltration von 11,5 mm pro Stunde, gemessen in Parzelle 1, sogar als sehr gering (Tabelle 6). Die mit der Flügelsonde gemessenen Scherfestigkeitswerte in den beiden Messtiefen wiesen in allen vier Parzellen relativ ähnlich verteilte Werte auf (Diagramm 7).

Tabelle 6: Ergebnisse der Messungen im Weiherstadion, Hechingen

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	39,86	49,38	46,10	42,90	44,56
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	82,0	91,8	71,1	78,4	80,8
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	86,2	79,8	76,7	85,9	82,2
Deckungsgrad [%]	87	95	95	95	93
<i>Lolium perenne</i> [%]	40	54	50	50	48,5
<i>Poa pratensis</i> [%]	34	35	35	30	33,5
Fremdarten [%]	13	6	10	15	11
	13% <i>Poa annua</i>	2% <i>Poa annua</i> 3% <i>Poa trivialis</i> 1% <i>Trifolium rep.</i>	2% <i>Poa annua</i> 6% <i>Agrostis stol.</i> 1% <i>Trifolium rep.</i> 1% <i>Plantago med.</i>	4% <i>Poa annua</i> 2% <i>Poa trivialis</i> 1% <i>Plantago med.</i> 6% <i>Trifolium rep.</i> 2% <i>Veronica sp.</i>	- - - - -
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,308	1,278	1,288	1,294	1,292
Wassergehalt grav. [M.-%]	23,1	28,4	26,6	24,5	25,6
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	30,2	36,2	34,2	31,6	33,1
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	41,22	42,72	41,58	40,41	41,48
Filzmächtigkeit [mm]	5,4	4,4	5,4	3,2	4,6
Hauptwurzelhorizont [mm]	50,2	45,4	45,2	37,2	44,5
maximale Wurzeltiefe [mm]	154,0	151,2	156,2	171,2	158,2
Infiltration [mm/h]	11,51	55,38	360,50	74,04	125,36

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm**Diagramm 7:** Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle im Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

Ein auffälliger Ausreißer unter den Messwerten trat in Parzelle 4 beim Messpunkt 1 auf (Diagramm 8). Der höhere Anteil *Trifolium repens* in Parzelle 4 könnte die Scherfestigkeit hier lokal erhöht haben.

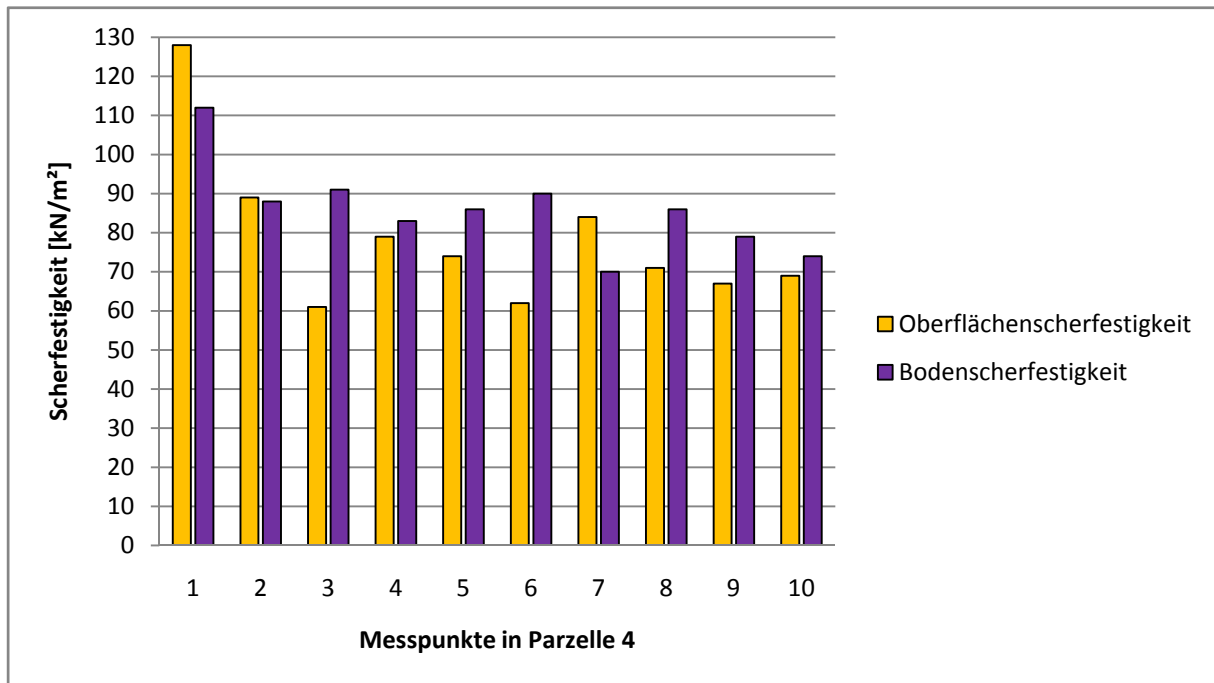


Diagramm 8: Scherfestigkeitswerte in Parzelle 1, gemessen mit der Flügelsonde. Messpunkt 1 zeigt einen starken Ausreißer. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

Der Verlauf der Eindringwiderstände in Diagramm 9 zeigt, dass der Pflegehorizont bis etwa 2 cm unter die Bodenoberfläche reicht. Bis hierhin zeigen Pflegemaßnahmen wie Vertikutieren und Besanden eine Wirkung. Danach stiegen die Eindringwiderstände in allen Parzellen an und waren bei 2,5 bis 4 cm Bodentiefe am höchsten.

Aus den Kornverteilungskurven (Diagramm 10) kann man erkennen, dass der Anteil an Schlämmkorn mit 31,5 Massen-% in Parzelle 1 bis 43,9 Massen-% in Parzelle 3 für Rasentragschichtgemische sehr hoch ist. Der höhere Anteil an Schlämmkorn führt zu den vergleichsweise hohen Wassergehalten, da mehr Mittel- und Feinporen im Bodengefüge vorhanden sind (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010).

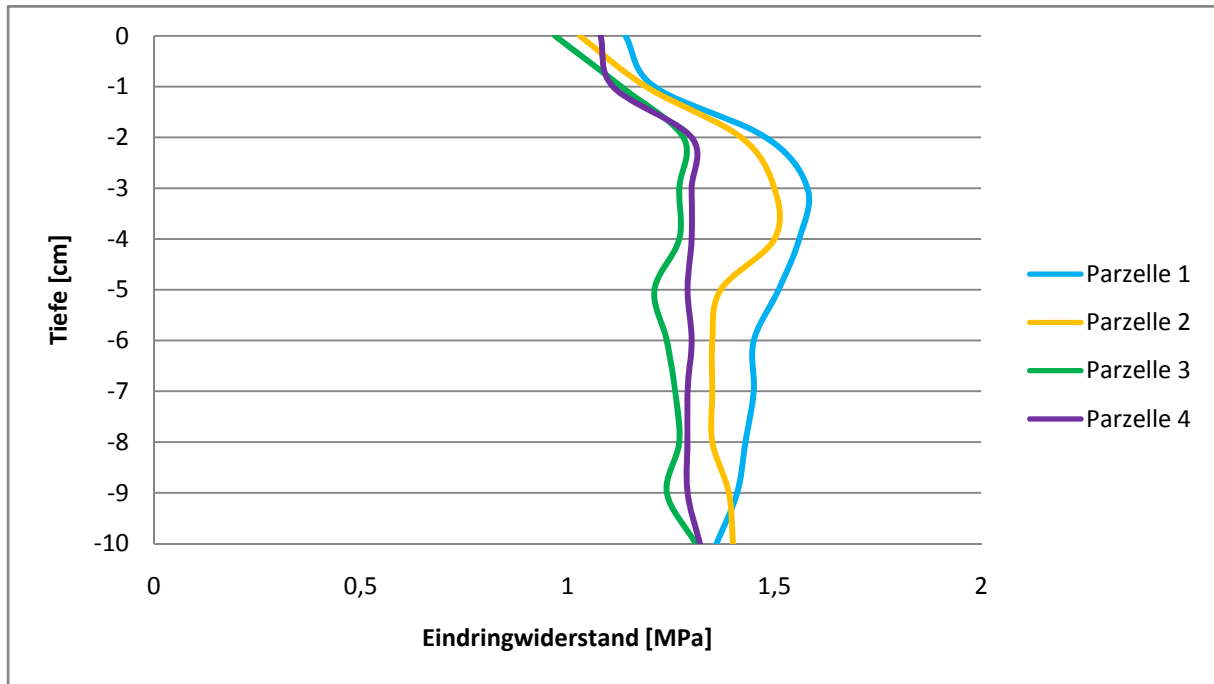


Diagramm 9: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen im Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

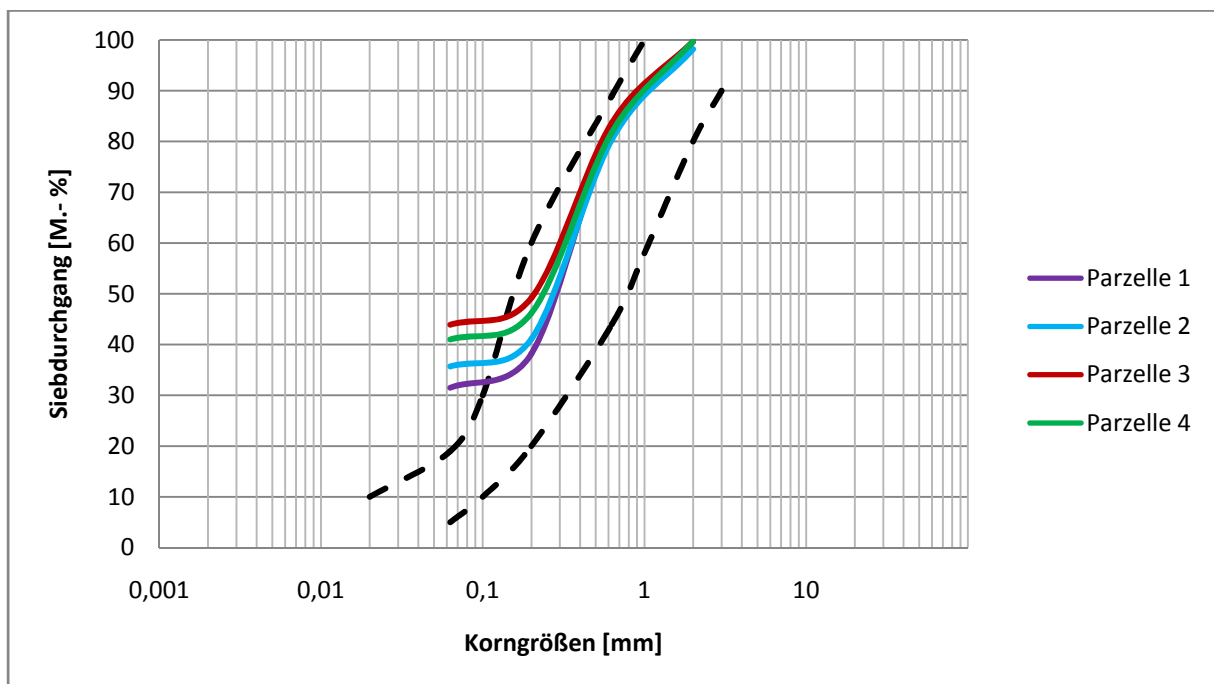


Diagramm10: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen im Weiherstadion, Hechingen. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 5.7.2010

6.4 Mercedes-Benz-Arena Stuttgart

Zum Zeitpunkt der Messungen war die Wasserdurchlässigkeit mit Werten von 5,38 bis 15,5 mm pro Stunde in der Mercedes-Benz-Arena sehr gering, vor allem am Eckpunkt. Laut Herrn Oppenländer gibt es jedoch keine Probleme mit der Wasserdurchlässigkeit des Spielfeldes. Eine Erklärung, warum zum Messtermin derartig geringe Wasserdurchlässigkeitswerte gemessen wurden, konnte hier nicht gefunden werden.

Tabelle 7: Ergebnisse der Messungen in der Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	60,02	59,08	57,54	54,84	57,87
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	82,3	71,8	75,5	76,5	76,5
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	85,6	68,2	78,7	80,3	78,2
Deckungsgrad [%]	99	99	99	99	99
<i>Lolium perenne</i> [%]	58	53	49	49	52
<i>Poa pratensis</i> [%]	39	43	47	46	44
Fremdarten [%]	2% <i>Poa annua</i>	3% <i>Poa annua</i>	3% <i>Poa annua</i>	4% <i>Poa annua</i>	-
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,442	1,460	1,502	1,512	1,479
Wassergehalt grav. [M.-%]	15,1	15,8	17,2	18,0	16,6
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	21,8	23,0	25,8	27,2	24,5
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	39,0	41,4	42,6	41,6	41,2
Filzmächtigkeit [mm]	8,0	9,0	7,8	7,0	8,0
Hauptwurzelschizont [mm]	37	37	34	31	35
maximale Wurzeltiefe [mm]⁴	100,0	100,0	100,0	95,2	98,8
Infiltration [mm/h]	15,50	11,38	8,70	5,38	10,23

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt

² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz

³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm

⁴ Bei 100 mm wurde die Messung aufgrund der Rasenheizung abgebrochen

Der Deckungsgrad am Spielfeld war gleichmäßig hoch. An Fremdarten wurde nur *Poa annua* in geringen Anteilen gefunden (Tabelle 7). Der Hauptwurzelschizont und der maximale Wurzeltiefgang waren in Parzelle 4 am geringsten ausgeprägt, in den übrigen Parzellen lagen sie gleichmäßig um 100 mm und tiefer. Der volumetrische Bodenwassergehalt an der Oberfläche, gemessen mit der FDR-Sonde, lag bei 41 Volumen-% im Mittel und wies nur geringe Abweichungen auf. Gravimetrischer und volumetrischer Bodenwassergehalt in 40 bis 80 mm Tiefe waren mit 16,5 Massen-% bzw. 25 Volumen-% geringer als an der Oberfläche, zeigten aber auch nur geringe Streuungen der Einzelwerte. Die Lagerungsdichte war in Parzelle 1 am geringsten, in Parzelle 4 am höchsten. Diese Werte korrelierten mit den

gemessenen Infiltrationsmesswerten.

Die Werte für die Scherfestigkeit, gemessen mit der Flügelsonde, waren in beiden Messtiefen relativ ähnlich verteilt (Diagramm 11).

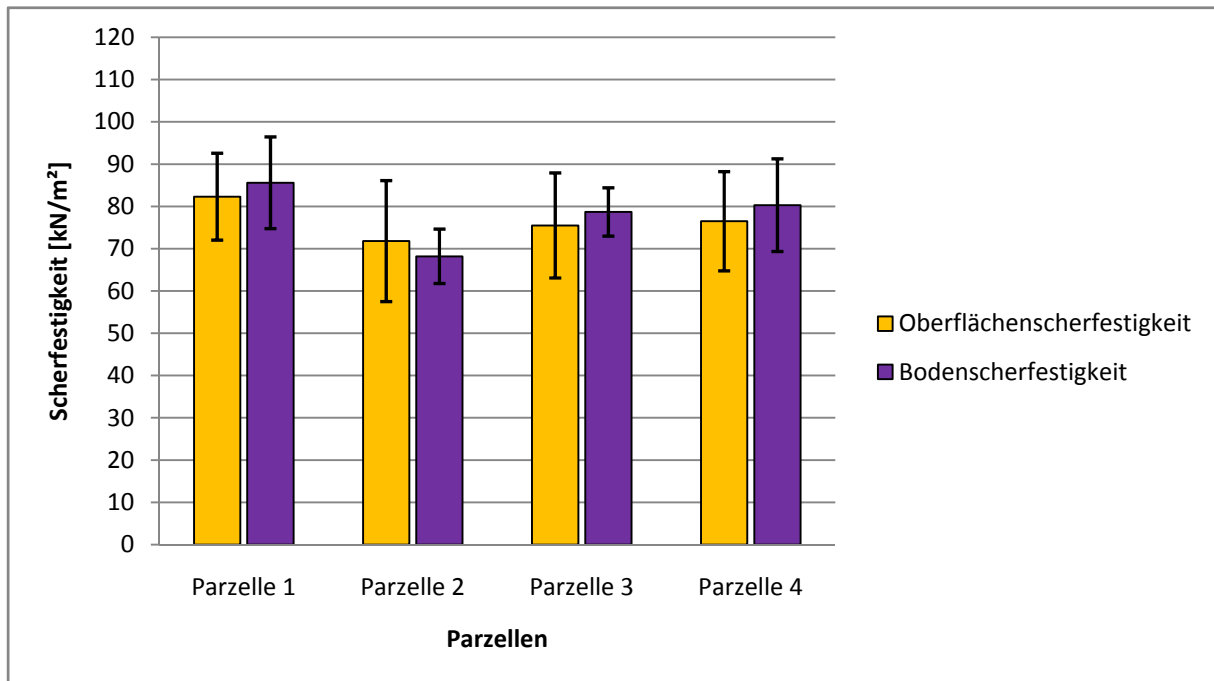


Diagramm 11: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart.6.7.2010

Durch die Eindringwiderstandskurven konnten Rückschlüsse über den Boden und die Pflege gewonnen werden (Diagramm 12): Der Pflegehorizont des Besandens reicht bis etwa 2 cm unter die Bodenoberfläche. Von 2 bis 8,5 cm Bodentiefe verläuft der Pflegehorizont des Aerifizierens in den Parzellen 1 bis 3, in Parzelle 4 bis in etwa 7 cm Bodentiefe. Ab diesen Tiefen nahmen die Eindringwiderstände und somit die Bodenlagerungen rasch zu.

Die Kornverteilungskurven (Diagramm 13) lagen wiederum im empfohlenen Bereich nach DIN 18035-4 (1991). Unter den Parzellen gab es auch nur geringfügige Abweichungen der Korngrößenverteilungen.

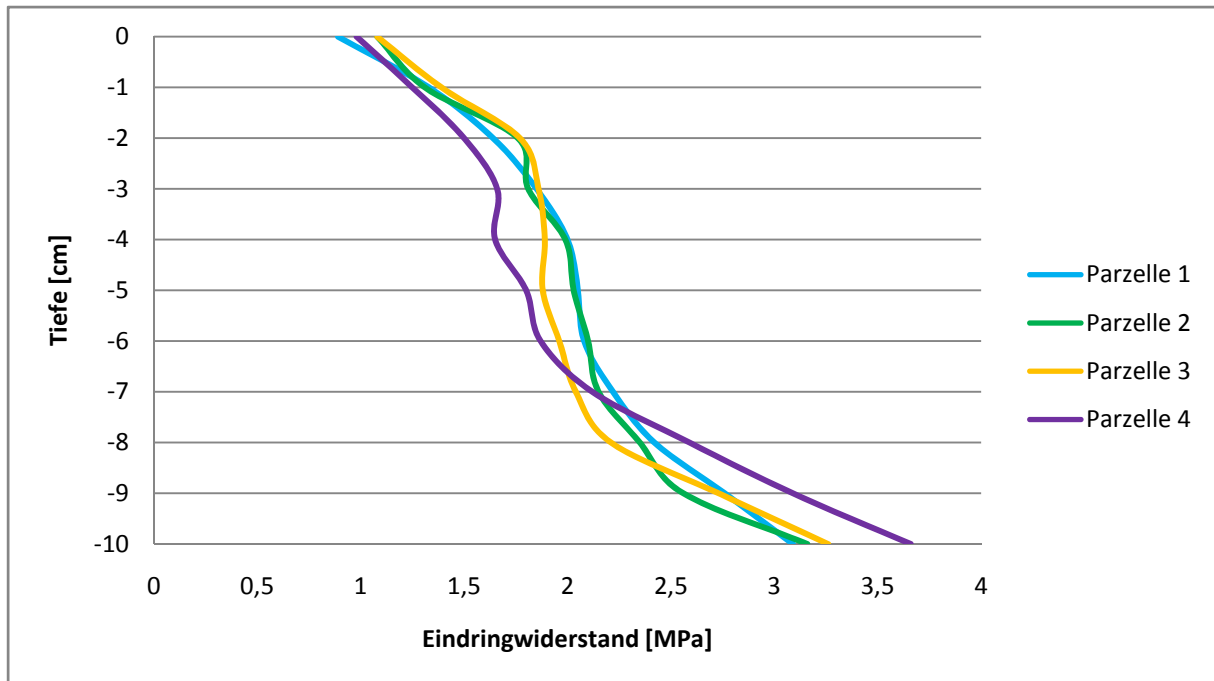


Diagramm 12: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung in der Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart. 6.7.2010

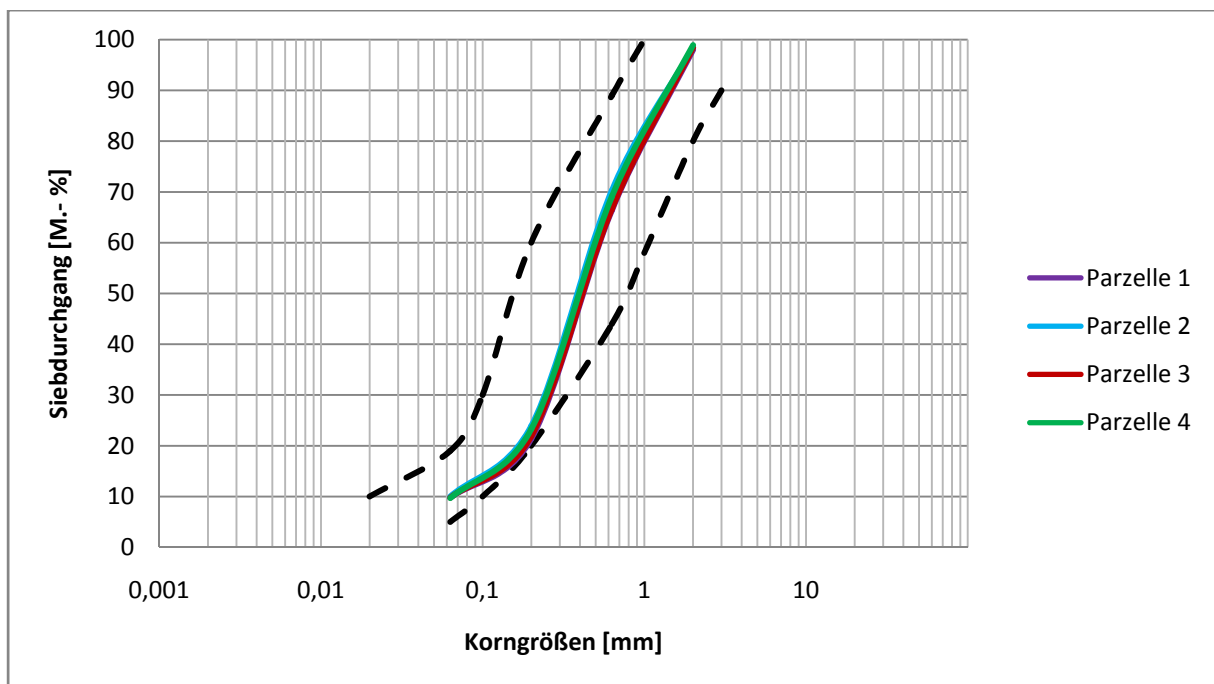


Diagramm 13: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 6.7.2010

6.5 Scholz-Arena Aalen

Der Deckungsgrad in der Aalener Scholz-Arena lag zum Messtermin bei 97 bis 99%. An Fremdarten kam *Poa annua* in allen Parzellen in verschiedenen starken Anteilen vor. Durch die, im Vergleich zu allen anderen Spielfeldern, höhere Filzmächtigkeit, die in Extremfällen bei 22 mm in Parzelle 2 lag (TEUFEL, 2010) waren keine direkten Effekte auf die gemessenen Scherfestigkeitswerte festzustellen (Diagramm 14). Der Hauptwurzelhorizont war am stärksten in Parzelle 1 ausgeprägt, am geringsten in Parzelle 4. 100 mm maximaler Wurzeltiefgang im Mittel wurde nur in Parzelle 1 gemessen. Der volumetrische Bodenwassergehalt, gemessen mit der FDR-Sonde, in 0 bis 55 mm Bodentiefe lag in allen Parzellen bei einem Mittel von 33,6 Volumen-%. Der Bodenwassergehalt in 40 bis 80 mm Bodentiefe war geringer und lag bei 16 Massen-% beziehungsweise 23,3 Volumen-%. Die Infiltrationsmessungen brachten einen hohen Wert für die Wasserdurchlässigkeit in Parzelle 1 und geringere Werte in den Parzelle 2 bis 4 (Tabelle 8).

Tabelle 8: Ergebnisse der Messungen in der Scholz-Arena, Aalen

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	52,10	52,40	54,20	51,14	52,46
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	81,9	81,6	73,3	63,6	75,1
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	85,8	85,2	85,0	77,7	83,4
Deckungsgrad [%]	98	98	99	97	98
<i>Lolium perenne</i> [%]	52	54	56	48	52,5
<i>Poa pratensis</i> [%]	33	35	30	43	35,5
Fremdarten [%]	13	9	13	6	10,5
	13% <i>Poa annua</i>	7% <i>Poa annua</i> 4% <i>Poa trivialis</i> 1% <i>Plantago med.</i> 1% <i>Trifolium rep.</i>	10% <i>Poa annua</i> 2% <i>Poa trivialis</i> 1% <i>Plantago med.</i>	4% <i>Poa annua</i> 2% <i>Poa trivialis</i>	- - - -
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,322	1,506	1,448	1,498	1,444
Wassergehalt grav. [M.-%]	12,17	18,06	18,88	15,05	16,00
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	16,2	27,2	27,2	22,4	23,0
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	31,65	34,70	35,47	32,59	34,60
Filzmächtigkeit [mm]	14,6	18,0	16,6	13,2	15,6
Hauptwurzelhorizont [mm]	49,2	46,2	48,4	42,8	46,7
maximale Wurzeltiefe [mm]⁴	100,0	91,0	96,4	96,0	95,9
Infiltration [mm/h]	210,97	20,86	41,76	23,32	74,23

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt

² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz

³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm

⁴ Bei 100 mm wurde die Messung aufgrund der Rasenheizung abgebrochen

Für die Lagerungsdichte war ein Mittelwert von $1,444 \text{ g/cm}^3$ für alle Parzellen zu verzeichnen. In Parzelle 1 war die Lagerungsdichte am geringsten, hier wurde im Mittel $1,322 \text{ g/cm}^3$ festgestellt. Dieser Wert liegt unter dem empfohlenen Grenzwert für die Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ nach FLORINETH und KLOIDT (2007).

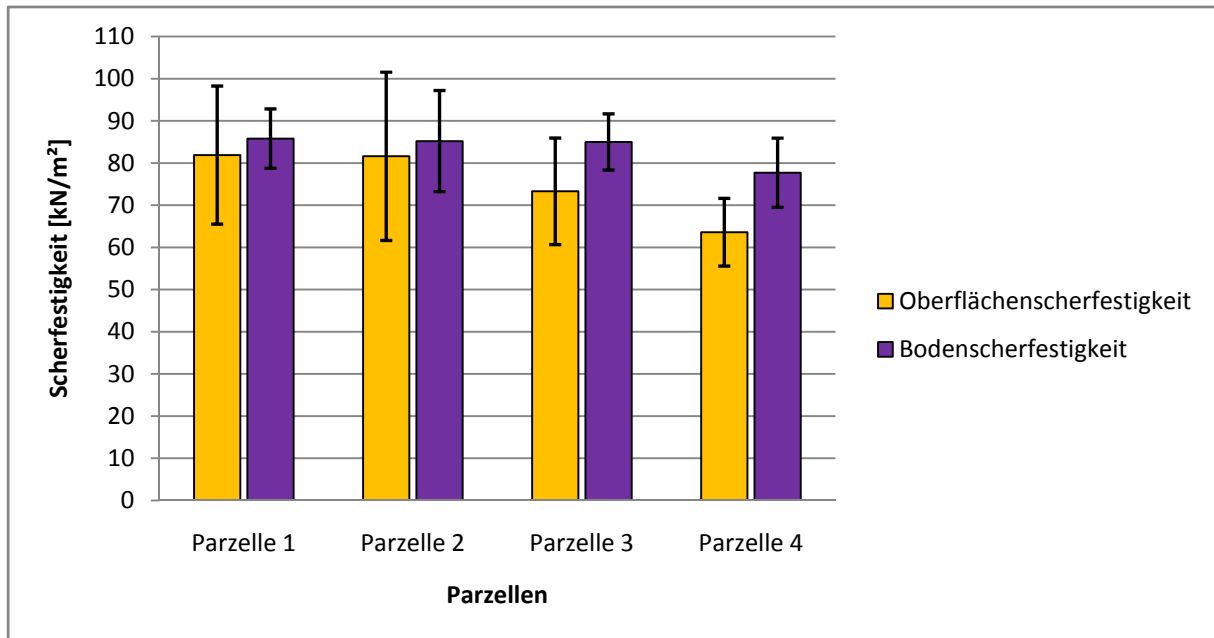


Diagramm 14: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010

Die Verläufe der Eindringwiderstandsmessungen deuten auf einen Pflegehorizont durch Vertikutieren und Sanden bis in eine Tiefe von 2 cm hin. Die Eindringwiderstandsskurven von Parzelle 1 und 4, und von Parzelle 2 und 3 waren sich durch ihre Verläufe bis in eine Tiefe von etwa 7,5 cm ähnlich. Parzelle 1 und 2 hatten das höchste Niveau an Eindringwiderständen. In 7,5 cm Bodentiefe treffen die Kurven aufeinander und zeigen dadurch eine ähnliche Bodenlagerung in allen Parzellen. Bei 7,5 cm Bodentiefe liegen die Eindringwiderstände in etwa beim Grenzbereich für eine durchwurzelbare Bodenlagerung nach COOK et al. (1996). Ab dieser Bodentiefe stiegen die Eindringwiderstände in allen Parzellen rapide an, am stärksten in Parzelle 3 (Diagramm 15).

Die Ergebnisse der Siebkornanalysen sind in Diagramm 16 dargestellt. Wiederum ist zu vermerken, dass die Anteile der Korngrößen in allen Parzellen sehr ähnlich sind und die Kornverteilungskurven im empfohlenen Bereich der DIN 18035-4 (1991) liegen.

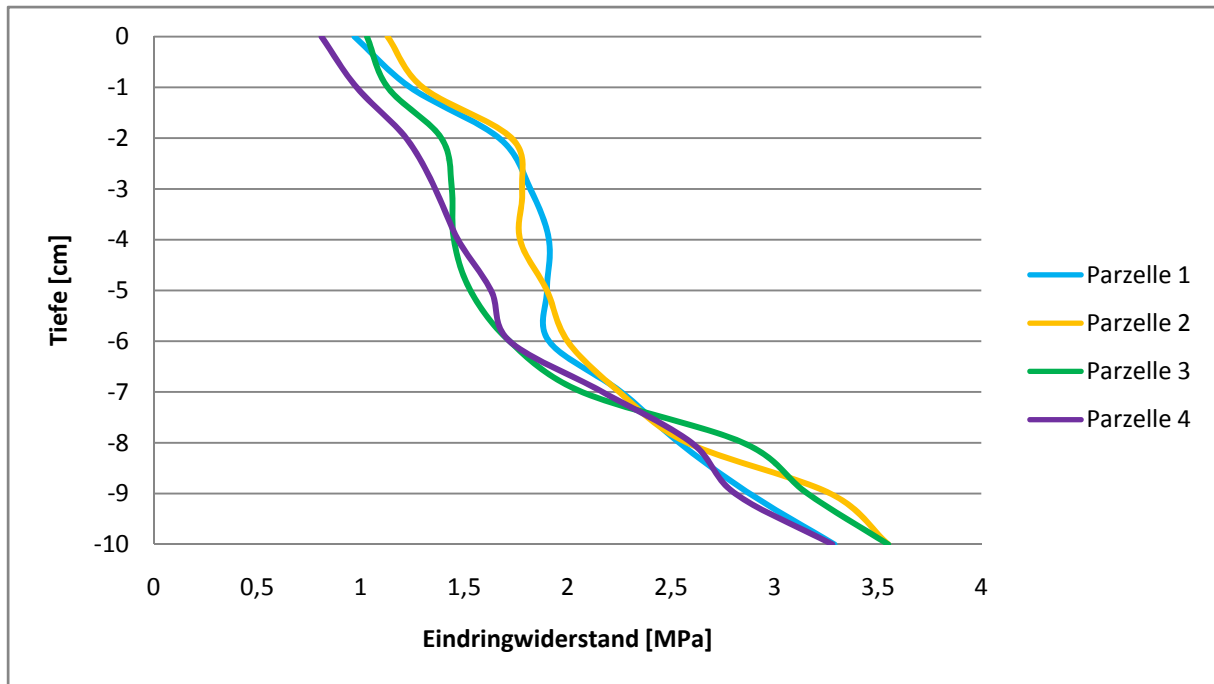


Diagramm 15: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen in der Scholz-Arena, Aalen. 15.7.2010

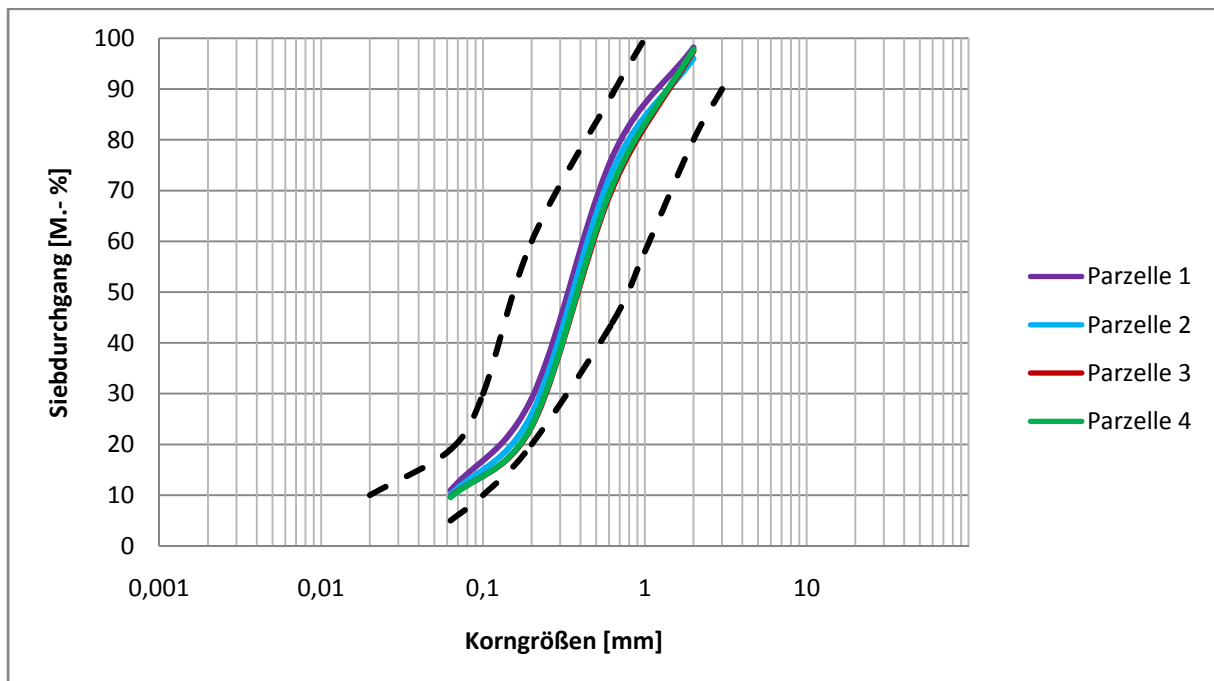


Diagramm 16: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Scholz-Arena Aalen. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 15.7.2010

6.6 Impuls-Arena Augsburg

Tabelle 9: Ergebnisse der Messungen in der Impuls-Arena, Augsburg

	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	MW ² Platz
Scherfestigkeit Oberfläche [Nm]	44,62	36,60	37,82	44,18	40,81
Scherfestigkeit Oberfläche [kN/m²]	77,30	63,20	69,30	81,70	72,88
Scherfestigkeit Boden [kN/m²]	109,00	90,20	103,00	119,20	105,35
Deckungsgrad [%]	92	89	86	73	85
<i>Lolium perenne</i> [%]	32	20	35	31	30
<i>Poa pratensis</i> [%]	55	65	47	40	51,75
Fremdarten [%]	5	4	4	2	4
	5% <i>Poa annua</i>	4% <i>Poa annua</i>	4% <i>Poa annua</i>	2% <i>Poa annua</i>	-
Lagerungsdichte [g/cm³]	1,492	1,518	1,624	1,668	1,576
Wassergehalt grav. [M.-%]	10,76	12,89	15,16	14,63	13,36
Wassergehalt Boden [Vol.-%] ¹	16,0	19,8	24,6	24,4	21,2
Wassergehalt FDR [Vol.-%]³	32,7	33,1	33,5	34,4	33,4
Filzmächtigkeit [mm]	6,6	10,2	5,4	8,2	7,6
Hauptwurzelhorizont [mm]	44,0	39,0	40,2	36,4	39,9
maximale Wurzeltiefe [mm]	75,0	70,0	64,0	43,4	63,1
Infiltration [mm/h]	17,69	69,09	19,90	13,62	30,10

¹ berechnet aus Lagerungsdichte und grav. Wassergehalt

² Mittelwert aus den Parzellen für den Platz

³ FDR-Technologie: misst den Bodenwassergehalt von 0-55 mm

Trotz des sehr jungen Spielfeldes der Impuls-Arena lagen die Werte für die Scherfestigkeit in beiden Messtiefen insgesamt sehr hoch, mit Mittelwerten von 72,88 kN/m² für die Oberfläche und 105,35 kN/m² für die Rasentragschicht. Deutlich unter dem Mittel lagen die Werte in beiden Tiefen in Parzelle 2, deutlich über dem Mittel in Parzelle 4 (Diagramm 17). Der volumetrische Bodenwassergehalt gemessen mit der FDR-Sonde in 0 bis 55 mm Bodentiefe war gleichmäßig um 33,4 Volumen-%. Bei den Messungen und Berechnungen der Wasserdurchlässigkeit der Rasentragschicht, wurde in Parzelle 2 mit 69 mm pro Stunde der höchste Infiltrationswert gemessen. In Parzelle 1 und 3 wurde jeweils eine sehr geringe Infiltration von 17 bis 19 mm pro Stunde ermittelt. In Parzelle 4 wurde ein Wert von nur 13,6 mm Wasserdurchlässigkeit pro Stunde gemessen (Tabelle 9).

Die Rasennarbe in der Impuls-Arena war zum Messtermin stellenweise stark beschädigt. Vor allem in Parzelle 4 wiesen die Gräser keine gute Bodenbedeckung und Durchwurzelung auf (Abb.41).

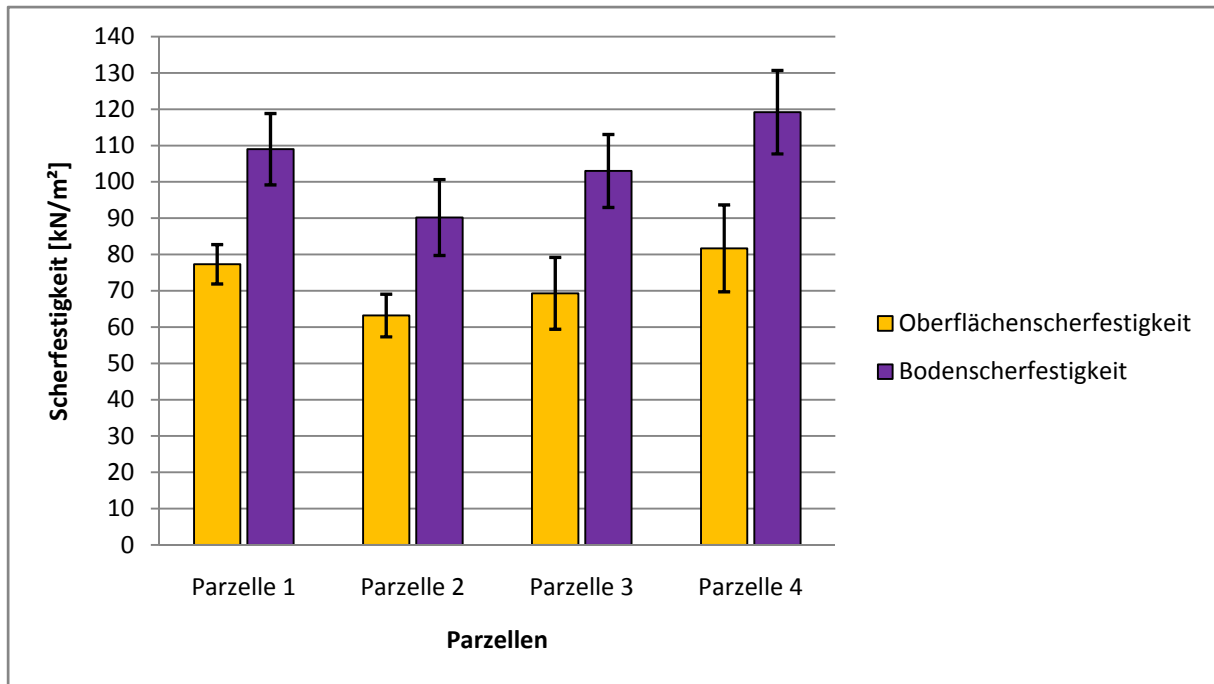


Diagramm 17: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010



Abbildung 41: Rasennarbe und Wurzelwachstum waren in Parzelle 4 der Impuls-Arena Augsburg schlecht ausgeprägt. 28.9.2010

Bei der Deckungsgradschätzung der Rasennarbe fand sich ein hoher Anteil an *Poa pratensis* der teilweise stark über dem Anteil an *Lolium perenne* lag. Der Hauptwurzelschizont reichte im Mittel bis in eine Tiefe von etwa 40 mm. Geringer war der Hauptwurzelschizont in Parzelle 4, wo er bei nur 36 mm lag. Dieser Wert entspricht in etwa der Dicke der Rasensode, die Mitte März 2010 in der Impuls-Arena verlegt wurde. Die Gräser haben sich dementsprechend in der Rasentragschicht kaum angewurzelt. Die maximale Durchwurzelungstiefe betrug im Mittel 63,1 mm und war in Parzelle 4 deutlich geringer. Hier reichte der maximale Wurzeltiefgang nur bis 43,4 mm unter die Bodenoberfläche.

Die Lagerungsdichte korreliert mit dem Eindringwiderstand und wies in Parzelle 4 mit 1,668 g/cm³ den höchsten Mittelwert auf.

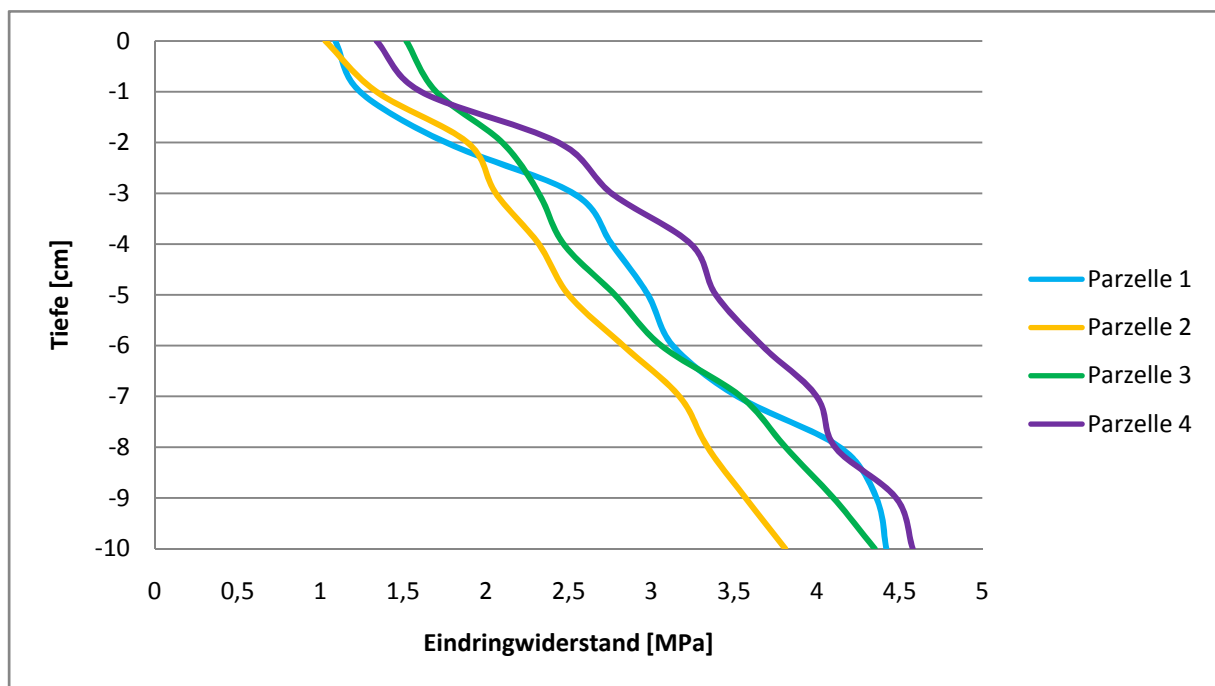


Diagramm 18: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen in der Impuls-Arena Augsburg. 28.09.2010

Zwischen 1 und 2 cm Bodentiefe in den Parzellen 1 und 2 bzw. zwischen 0 und 1 cm Bodentiefe in den Parzellen 3 und 4 erreichten die Eindringwiderstände bereits den noch angemessenen Bereich für Durchwurzelbarkeit von 1,4 MPa nach SCHLICHTING et al. (1995). Von diesen relativ hohen Ausgangswerten an der Oberfläche nahmen die Eindringwiderstände in allen Parzellen mit der Eindringtiefe rapide zu. Besonders stark fällt im Diagramm 18 die Parzelle 4 auf, wo der gemittelte Eindringwiderstand in 2 cm Bodentiefe bereits höher lag als der für eine durchwurzelbare Fläche

empfohlene Wert von 2,3 MPa (Cook et al., 1996). Die dichte Bodenlagerung in Parzelle 4 zeigt direkten Einfluss auf den Zustand der Rasennarbe. Eine aktive Durchwurzelung der Rasentragschicht fand nicht statt, die Regeneration der Gräser war dadurch eingeschränkt und der Deckungsgrad war unterdurchschnittlich mit lediglich 73 %.

Der Anteil an Feinsand mit den Korngrößen von 0,2 bis 0,063 mm, in den Parzellen 1 und 2 lag an der Obergrenze des empfohlenen Bereichs nach DIN 18035-4 (1991) (Diagramm 19). Der Schlämmkornanteil von Korngrößen < 0,063 mm lag von allen Parzellen in Parzelle 4 mit 10,8 Massenprozent am höchsten, befand sich jedoch noch im empfohlenen Bereich nach DIN 18035-4 (1991).

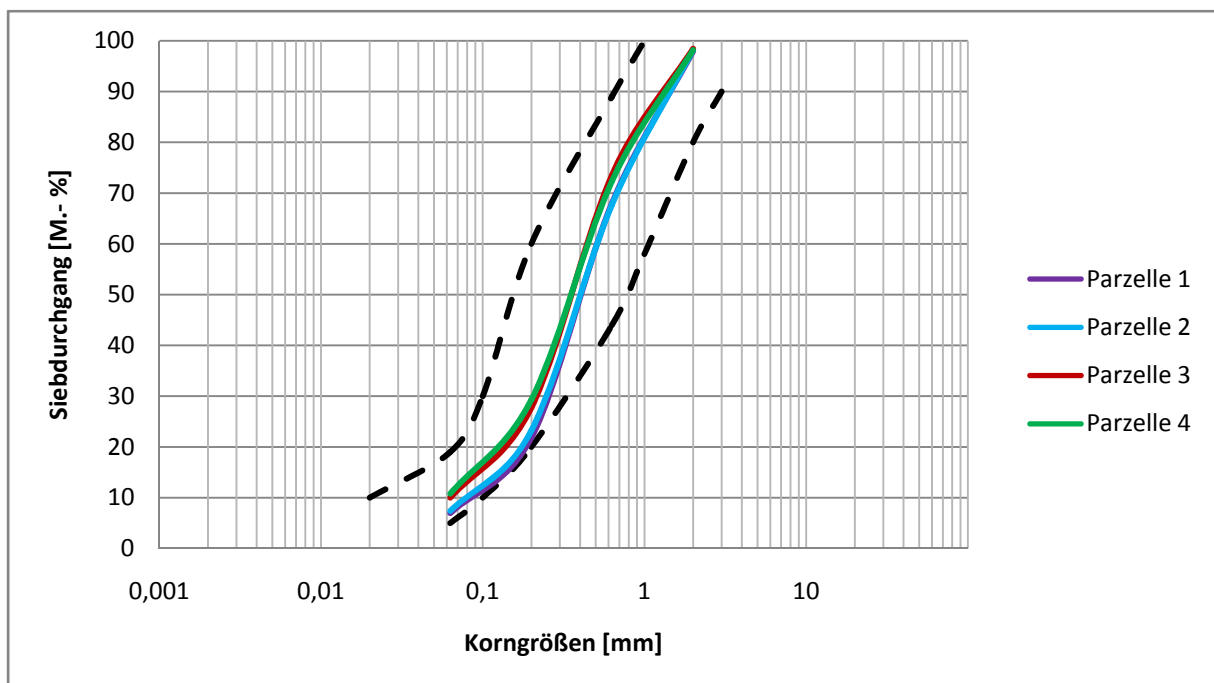


Diagramm 19: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Impuls-Arena Augsburg. Die schwarz gestrichelten begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 28.9.2010

7. Beantwortung der Fragestellungen und Diskussion der Ergebnisse

Bevor auf die anfangs gestellten Versuchsfragen eingegangen wird, muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den durchgeführten Messungen und somit auch bei den ausgewerteten Daten um Ergebnisse aus Momentaufnahmen handelt. Es wurde versucht, durch die gewonnenen Daten zusammen mit den Informationen der Platzwarte, Angaben der einschlägigen Fachliteratur und persönlichen Erfahrungen eine realistische Einschätzung der Messwerte und folglich bestmögliche Antwort auf die Fragestellungen zu geben.

7.1 Labor- und Freilandprüfung

Das Messgerät Flügelsonde und die praktische Messdurchführung wurden im Freiland verwendet, wie für die Laboruntersuchungen nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007). Da die Randbedingungen der Freilandmessungen durch Witterung, Pflege, Boden und Pflanzenbestand unterschiedlich zu den Labormessungen sind, können die Ergebnisse der Freilandmessungen der Scherfestigkeit nicht direkt mit den geforderten Laborwerten in Vergleich gesetzt werden.

Diagramm 20 zeigt alle gemittelten Messwerte für die Scherfestigkeit an der Oberfläche (0 bis 4 cm Bodentiefe) und im Boden (4 bis 8 cm Bodentiefe) mit der Streuung der Einzelwerte um den dargestellten gemittelten Wert. Pro Parzelle am Platz sind jeweils ein Mittelwert für die Oberflächenscherfestigkeit und ein Mittelwert für die Bodenscherfestigkeit dargestellt. Pro Untersuchungsplatz sind demnach acht Balken in zwei verschiedenen Farben dargestellt: die gelben Balken zeigen die Scherfestigkeit zwischen 0 und 4 cm Bodentiefe, die Balken in violett zeigen die Scherfestigkeit zwischen 4 und 8 cm Bodentiefe an. Jedes Balken-Paar steht für eine Parzelle von 1 bis 4 für jeden Platz. Die transparent rote Fläche zeigt den in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) geforderten Bereich für die Scherfestigkeit bei der Laborprüfung von 25 bis 40 kPa (= 25 bis 40 kN/m²) an. Die Werte bei den Freilanduntersuchungen betragen in selbiger Messtiefe bis zu 230% der geforderten Labor-Werte. In vielen Fällen lässt die zunehmende Bodentiefe die Scherfestigkeits-Werte noch weiter ansteigen. So betragen die Werte in 4 bis 8 cm Bodentiefe in manchen Fällen fast 300% der geforderten Labor-Werte (Diagramm 20).

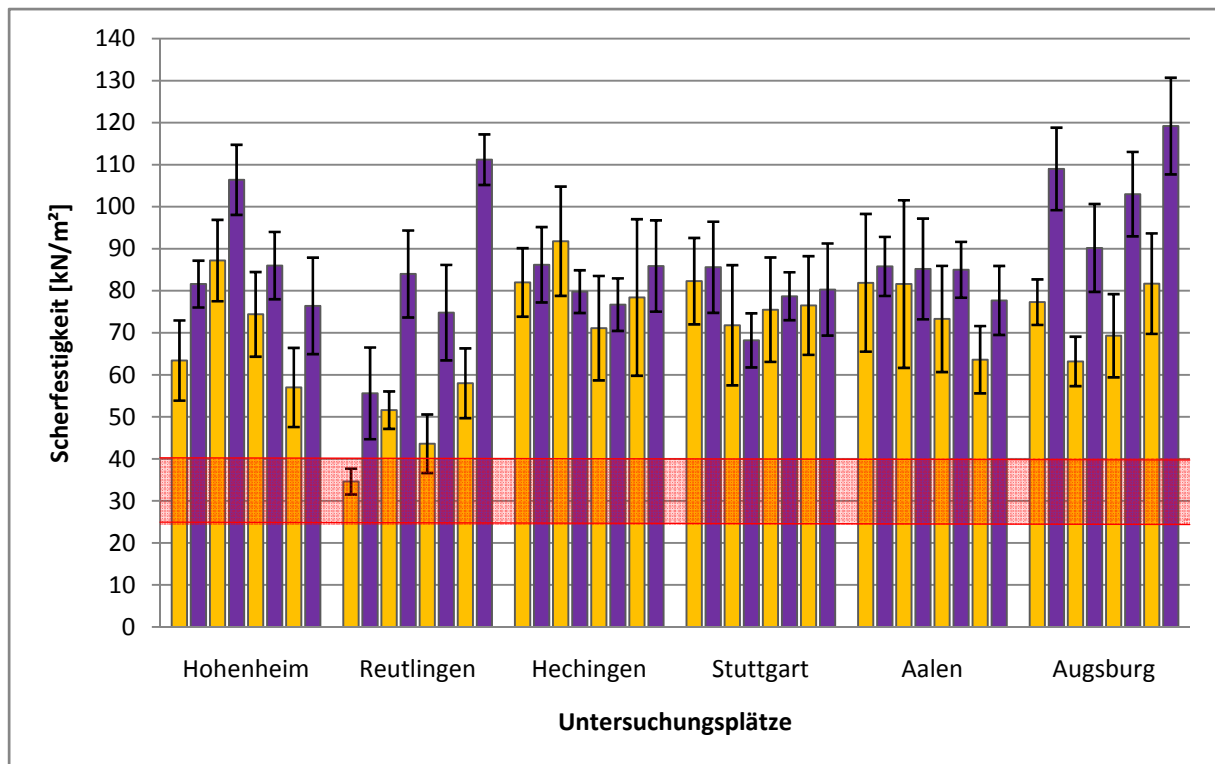


Diagramm 20: gemittelte Scherfestigkeitswerte für alle Plätze. Die gelben Balken stellen die Scherfestigkeit an der Oberfläche, die violetten Balken die Scherfestigkeit im Boden dar. Je zwei aufeinanderfolgende Balken unterschiedlicher Farbe stehen für eine Parzelle. Die rote Fläche steht für den bei der Laborprüfung geforderten Bereich für die Scherfestigkeit nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007).

In der Literatur aufgeführte Werte der Mindestscherfestigkeit werden umgerechnet mit 0,7 bis 0,75 kN/m² beziffert (SKIRDE, 1981). Für gute Beispielbarkeit werden umgerechnet Scherfestigkeitswerte von 0,75 bis 0,93 kN/m² angegeben (MÜLLER-BECK, 1977). In diesen Untersuchungen wurde mit Flügelbohrern gearbeitet, deren Flügel andere Abmessungen hatten als unsere verwendete Flügelsonde. Die Messungen zur Scherfestigkeit, die mit einer Flügelsonde nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) durchgeführt wurden, sind somit nicht direkt mit den genannten Literaturangaben vergleichbar. Man könnte die Werte vermutlich mit einem Faktor auf die Abmessungen der Flügelsonde nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) umrechnen, der in dieser Arbeit aber nicht ermittelt worden ist.

In den aktuellen Untersuchungen waren die oberflächlichen Scherfestigkeitswerte deutlich herabgesetzt, wenn hohe Anteile stolonenbildender Grasarten auftraten. Dies zeigte sich unverkennbar am Sportplatz der Universität Hohenheim mit hohen Anteilen von *Agrostis stolonifera* in Parzelle 4 und im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen mit einem großen Bestandteil *Poa trivialis* in Parzelle 1. Dieser Zusammenhang unterstreicht die in der Literatur beschriebene unterschiedliche

bodenfestigende Wirkung verschiedener Grasarten (KLAPP und OPITZ VON BOBERFELD, 2006; FLORINETH und KLOIDT, 2007, TOBIAS, 1991).

7.2 Scherfestigkeit und Bauweise

Aufgrund der Siebkornanalysen wurden die Plätze in die Bauweisen „oberbodenhaltig“ und mit „künstlicher Rasentragschicht nach DIN“ eingeteilt. Die Rasentragschichten des Sportplatzes der Universität Hohenheim und des Weiherstadions Hechingen wiesen in den Siebkornanalysen höhere Anteile an Schlämmkorn auf. Nach Angaben der Platzwarte wurde als Rasentragschicht anstehender Oberboden verwendet und über einer Kiesdrainage eingebaut. Das Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen, die Mercedes-Benz-Arena Stuttgart, die Scholz-Arena Aalen und die Impuls-Arena Augsburg verfügen über einen Bodenaufbau nach DIN 18035-4 (1991) mit Entwässerungseinrichtungen und einer sandigen Rasentragschicht. Die Parzellenmittelwerte und Standardabweichungen der Scherfestigkeit aus den Freilanduntersuchungen sind für die oberbodenhaltigen Bauweisen in den Tabellen 10 bis 11 und für die künstlichen Bauweisen nach DIN 18035-4 in den Tabellen 12 bis 15 zusammengefasst.

Tabelle 10: Bauweise mit Oberboden: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Sportplatz der Universität Hohenheim. 11.6. und 30.6.2010

Parzelle	Stollenschgerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	57,84	3,77	63,4	9,54	81,6	5,57
2	54,50	3,24	87,2	9,68	106,4	8,33
3	57,20	5,36	74,4	10,07	86,0	8,00
4	51,18	3,84	57,0	9,42	76,4	11,48

Tabelle 11: Bauweise mit Oberboden: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010

Parzelle	Stollenschgerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	39,86	2,16	82,00	8,15	86,2	8,96
2	49,38	4,44	91,80	13,01	79,8	5,10
3	46,10	1,89	71,10	12,43	76,7	6,26
4	42,90	5,47	78,40	18,62	85,9	10,86

Tabelle12: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 16.6. und 1.7.2010

Parzelle	Stollenschgergerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	44,84	4,13	34,6	3,07	55,6	10,91
2	51,00	7,11	51,6	4,45	84,0	10,35
3	43,76	3,27	43,6	6,97	74,8	11,36
4	40,78	4,44	58,0	8,29	111,2	6,01

Tabelle 13: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010

Parzelle	Stollenschgergerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	60,02	4,47	82,3	10,28	85,6	10,84
2	59,08	5,15	71,8	14,30	68,2	6,43
3	57,54	4,29	75,5	12,42	78,7	5,71
4	54,84	1,62	76,5	11,74	80,3	10,96

Tabelle 14: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Scholz- Arena Aalen. 15.7.2010

Parzelle	Stollenschgergerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	52,10	4,15	81,9	16,38	85,8	7,03
2	52,40	4,77	81,6	19,95	85,2	11,99
3	54,20	3,93	73,3	12,63	85,0	6,65
4	51,14	5,06	63,6	8,01	77,7	8,21

Tabelle 15: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010

Parzelle	Stollenschgergerät		Flügelsonde Oberfläche		Flügelsonde Boden	
	MW [Nm]	S	MW [kN/m ²]	S	MW [kN/m ²]	S
1	44,62	2,05	77,3	5,42	109,0	9,82
2	36,60	5,35	63,2	5,88	90,2	10,45
3	37,82	5,28	69,3	9,90	103,0	10,05
4	44,18	3,10	81,7	11,96	119,2	11,50

Ob eine Bauweise mit Sand oder mit Oberboden einen Einfluss auf höhere Scherfestigkeitswerte ausübt, kann mittels der durchgeführten Untersuchungen nicht beantwortet werden. Analysiert wurden dafür die Scherfestigkeitswerte an der

Oberfläche, gemessen mit der Flügelsonde. Dazu verwendet wurde ein Zwei-Stichproben t-Test. $P(t)$ ist dabei die Kennzahl zur Auswertung der Teststatistik. Ist der Wert für $P(t)$ größer als das Signifikanzniveau α , dann wird die Nullhypothese angenommen. Ist der Wert für $P(t)$ kleiner, dann wird die Nullhypothese abgelehnt. Für diesen Fall lautete die Nullhypothese, dass es keine Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten verschiedener Bauweisen gab. Die Daten, die dieser Analyse zugrunde gelegt wurden, waren die Scherfestigkeitswerte an der Oberfläche, gemessen mit der Flügelsonde, für die zwei unterschiedlichen Bauweisen und für zwei unterschiedliche Bodenwassergehalte (Anhang, Kapitel 15.3). Wie Tabelle 16 zu entnehmen ist, sind bei einem Bodenwassergehalt von < 35 Vol.-% keine signifikanten Unterschiede für die Scherfestigkeit zwischen den Bauweisen aufgetreten. Bei einem Bodenwassergehalt von > 35 Vol.-% traten jedoch Unterschiede zwischen den Bauweisen auf, wobei hier bei den bodennahen Bauweisen im Gegensatz zu den DIN-Bauweisen die höheren Scherfestigkeitswerte zu verzeichnen waren.

Tabelle 16: Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten bedingt durch die Bauweise und den Bodenwassergehalt

<i>Bodenwassergehalt</i>	<i>Bauweise</i>	<i>$P(t)$</i>	<i>Nullhypothese</i>
< 35 Vol.-%	bodennah im Vergleich zu DIN-Bauweise	0,604909459	wird angenommen
> 35 Vol.-%	bodennah im Vergleich zu DIN-Bauweise	0,016685642	wird abgelehnt

$\alpha=5\%$, $P(t)$... Kennzahl zur Auswertung des Zwei-Stichproben t-Test

An dieser Stelle wird noch einmal deutlich auf den Umstand der Momentaufnahmen hingewiesen. Es wurde bei dieser Analyse nur der Einfluss der Bauweise unter Berücksichtigung des aktuellen Bodenwassergehalts auf die Scherfestigkeit, gemessen mit der Flügelsonde, in 0 bis 4 cm Bodentiefe, analysiert. Aufgrund der Momentaufnahmen konnte nicht festgestellt werden, wie sich die Werte über einen kontinuierlichen Zeitraum, zu verschiedenen Jahreszeiten und Witterungen, verändern könnten.

7.3 Scherfestigkeit und Bodentiefe

Die Frage, ob in 0 bis 4 cm Bodentiefe und in 4 bis 8 cm Bodentiefe signifikante Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten auftraten, wurde wieder mit einem Zwei-Stichproben t-Test geprüft. Die Nullhypothese hierfür lautete, dass in den

Messtiefen 0 bis 4 cm und 4 bis 8 cm keine signifikanten Unterschiede der gemessenen Scherfestigkeitswerte auftraten. Als auszuwertende Daten wurden für diesen Test die gemessenen Scherfestigkeitswerte in den zwei verschiedenen Tiefen für jeden Platz herangezogen (Anhang, Kapitel 15.4). Tabelle 17 kann entnommen werden, dass am Sportplatz der Universität Hohenheim, im Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen, in der Scholz-Arena Aalen und in der Impuls-Arena Augsburg der errechnete $P(t)$ -Wert kleiner als das gewählte Signifikanzniveau α von 5% war. Dies bedeutet, dass Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten in den verschiedenen Messtiefen bestanden haben. In der Impuls-Arena Augsburg war der $P(t)$ Wert besonders klein, was auf einen äußerst starken Unterschied der Scherfestigkeitswerte in den unterschiedlichen Bodentiefen hinweist (Tabelle 17).

Tabelle 17: Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten bedingt durch die Messtiefe

Platz	$P(t)$	Nullhypothese
Hohenheim	0,000908855	wird abgelehnt
Reutlingen	0,000001768	wird abgelehnt
Hechingen	0,646332514	wird angenommen
Stuttgart	0,535578305	wird angenommen
Aalen	0,008521978	wird abgelehnt
Augsburg	0,000000000000000060	wird abgelehnt

$\alpha=5\%$, $P(t)$... Kennzahl zur Auswertung des Zwei-Stichproben t-Test

Im Weiherstadion Hechingen und in der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart wird die Nullhypothese angenommen. Demnach ergab die statistische Auswertung, dass für diese Plätze keine Unterschiede zwischen der Scherfestigkeit in den zwei verschiedenen Messtiefen bestanden.

Einmal im Jahr wird das Spielfeld im Weiherstadion Hechingen mit Vollspoons aerifiziert (KURICINI, 2010). Der lockernde Effekt des Aerifizierens verliert allerdings bereits nach 6 Wochen seine Wirkung (PRÄMABING, 2008). Deshalb ist eine Aerifizierhäufigkeit von einmal im Jahr zu wenig um einen dauerhaften Lockerungseffekt im Boden zu bewirken. In 0 bis 55 mm Bodentiefe betrug der Bodenwassergehalt 40 bis 43 Vol.-%, in 40 bis 80 mm Bodentiefe 30 bis 36 Vol.-%. Die Messung des Eindringwiderstands wies bei 2,5 bis 3 cm trotz hohem Bodenwassergehalt die höchsten Werte auf. Danach nahm der Eindringwiderstand wieder ab (Diagramm 9). Die Scherfestigkeitswerte korrelierten positiv mit den gemessenen Eindringwiderstandswerten in beiden Messtiefen. Es wird vermutet,

dass diese positive Korrelation und der abnehmende Bodenwassergehalt ausschlaggebend für die ähnlichen Scherfestigkeitswerte in den beiden Messtiefen waren.

In der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart lagen die Eindringwiderstände zwischen 40 bis 80 mm Bodentiefe um etwa 1 bis 1,5 MPa höher als zwischen 0 bis 40 mm Bodentiefe. Diese Zunahme des Eindringwiderstandes könnte ihren Grund in der Abnahme des Bodenwassergehalts um etwa 10 bis 17 Vol.-% von 40 bis 80 mm Bodentiefe haben. Die Scherfestigkeitswerte blieben jedoch in beiden Messtiefen gleich. Sie korrelierten in der Mercedes-Benz-Arena auch schwach negativ mit den Eindringwiderständen (Tabelle 18). Die Folgerung daraus lautet, dass die Scherfestigkeit in der Mercedes-Benz-Arena nicht durch zunehmende Bodendichte oder einen geringeren Bodenwassergehalt erhöht wurde.

7.4 Scherfestigkeit und Eindringwiderstand

Korrelationsanalysen für Eindringwiderstand und Scherfestigkeit (ohne Dimensionen gerechnet) wurden auf jedem Platz in den Bodentiefen von 0 bis 4 cm und in 4 bis 8 cm durchgeführt (Anhang, Kapitel 15.6). Diese ergaben signifikante positive Korrelationen zwischen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit in beiden Messtiefen. Eine Ausnahme stellt hier wie oben erwähnt die Mercedes-Benz-Arena Stuttgart dar, wo eine schwach-negative Korrelation vorliegt. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten (Tabelle 18) liegen nur vereinzelt im Bereich von 0,77 bis 0,8, wie in der Literatur angegebenen wird (Van Wijk, 1974 in MÜLLER-BECK, 1977, S.122).

Tabelle 18: Korrelationen zwischen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit

	Messtiefe	Hohenheim	Reutlingen	Hechingen	Stuttgart	Aalen	Augsburg
Korrelations- koeffizient	0 bis 4 cm	0,99	0,37	0,67	-0,39	0,98	0,60
	4 bis 8 cm	0,97	0,77	0,55	-0,14	0,51	0,97

Wie in Tabelle 18 dargestellt, schwanken die Korrelationskoeffizienten in dieser Analyse relativ stark, was aufgrund der Unterschiede der Versuchsflächen nicht weiter verwunderlich ist. Nach Untersuchungen von PRÄMABING (2008) korreliert der Eindringwiderstand generell signifikant negativ mit dem Bodenwassergehalt, wobei diese Beziehungen bei unterschiedlichen Rasentragschichtgemischen unterschiedlich ausgeprägt sind.

Wie bereits erwähnt wurde, lag zwischen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit in der Mercedes-Benz-Arena eine schwach negative Korrelation vor. Dies bedeutet, dass trotz der geringen Eindringwiderstandswerte tendenziell hohe Scherfestigkeitswerte vorlagen. Die nur gering zunehmenden Verdichtungen zwischen 20 und 80 mm Bodentiefe sind vermutlich auf die Pflege zurückzuführen. In der Regel wird der Platz nach jedem Spiel, also alle zwei Wochen, mit Kreuzspoons bis in eine Tiefe von 12 cm aerifiziert. Zusätzlich wird zwei Mal im Jahr mit Kreuzspoons eines größeren Durchmessers von 1,2 cm 17-18 cm tief aerifiziert (OPPENLÄNDER, 2010). Bei dieser Regelmäßigkeit behalten Aerifiziermaßnahmen ihre bodenlockernde Wirkung bei (PRÄMABING, 2008).

Das intensive Bodenpflegemanagement scheint den Eindringwiderstand in der Mercedes-Benz-Arena nachhaltig zu reduzieren, auf den Deckungsgrad der Rasennarbe und die Bodenscherfestigkeit jedoch keine erkennbaren negativen Einflüsse zu haben. Es soll darauf hingewiesen werden, dass Bodenbearbeitungsmaßnahmen immer nur direkt nach Spielen und nie kurz vor Spielen durchgeführt werden sollen. Bedingt durch die Lockerungswirkung und das Abreißen der Gräserwurzeln kann die Scherfestigkeit direkt nach einer Bodenbearbeitung kurzfristig stark abnehmen (MORHARD, 2004).

Generell wird durch hohe Bodenwassergehalte die Festigkeit des Bodens vermindert (PRÄMABING, 2008; SCHAFFER, 1960). Untersuchungen von TOBIAS (1991, S.100) ergaben, dass bei feuchten Verhältnissen die Vegetation zu einer verhältnismäßig hohen Festigkeitssteigerung des Bodens führte. Es zeigte sich, dass bei hohem Bodenwassergehalt die Scherfestigkeit bewachsener Hänge und Böschungen nur unwesentlich abnahm.

Bei Betrachtung der Eindringwiderstandskurven und der dazu aufgenommenen Bodenwassergehalte lässt sich in dieser Arbeit vermuten, dass durch einen höheren Bodenwassergehalt die Scherfestigkeit des Bodens im Vergleich zum Eindringwiderstand weniger stark herabgesetzt wurde. Auch in diesem Fall könnte man auf die bodenfestigende Wirkung des Bewuchses schließen. Diese Vermutung kann mit den in dieser Arbeit aufgenommenen Daten jedoch nicht eindeutig belegt werden. Für weitere Untersuchungen sollten umfassendere Daten zum Bewuchs aber auch zu den Kornformen der Bodenpartikel aufgenommen werden.

7.5 Scherfestigkeit und unterschiedliche Belastungszonen

Ähnlich wie bei den Arbeiten von MÜLLER-BECK (1977), KOLB und MANSOURIE (1982) und NONN (1988), wurden die ausgewählten Versuchsparzellen für diese Untersuchungen in stark und schwach belastete Zonen eingeteilt. Die Anordnung erfolgte so, dass je zwei Parzellen in durch den Spielbetrieb intensiver belasteten Bereichen und in zwei weniger intensiv belasteten Bereichen ein gemessen wurden (Abb.42). Mittelpunkt und Strafraum galten dabei als stark belastet, die Seitenbereiche und der Eckbereich als weniger stark belastet.

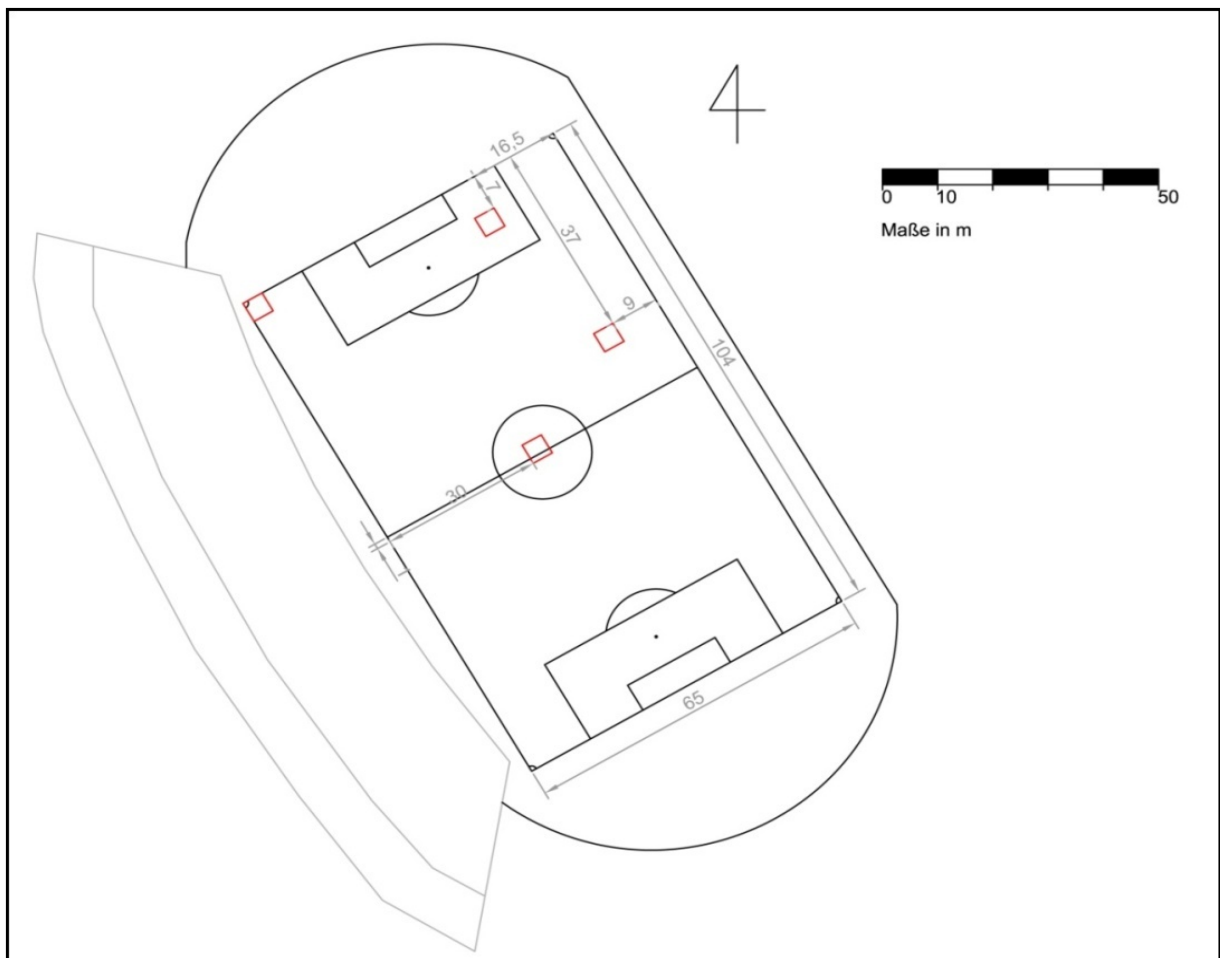


Abbildung 42: Anordnung der Parzellen in mehr und weniger belastete Zonen am Beispiel des Stadions an der Kreuzeiche, Reutlingen. 16.6.2010

Die Vermutung, dass sich unterschiedlich beanspruchte Zonen auf die Scherfestigkeit auf einem Spielfeld auswirken, konnte für diese Untersuchungen nur teilweise bestätigt werden (Tabelle 19). Als Daten für den angewendeten Zwei-Stichproben t-Test wurden die gemessenen Scherfestigkeitswerte mit dem Stollenschergerät und mit der Flügelsonde für Parzelle 1 + 3 (stark belastete Zonen) und für Parzelle 2 + 4 (weniger stark belastete Zonen) in den verschiedenen

Bodentiefen analysiert (Anhang, Kapitel 15.4). Die Nullhypothese hierfür lautete, dass zwischen den unterschiedlich belasteten Zonen keine Unterschiede hinsichtlich der Scherfestigkeit bestanden. Tabelle 19 zeigt, dass die Nullhypothese in fast allen Fällen angenommen wurde. Das bedeutet, dass in diesen Untersuchungen generell keine Auswirkung unterschiedlich beanspruchter Zonen auf die Scherfestigkeit festgestellt werden konnte. Bei Betrachtung der Verdichtungsverläufe, gewonnen durch die Eindringwiderstandsmessungen, scheint dieses Ergebnis, nicht ungewöhnlich. In den Zonen intensiveren Spielbetriebs, wie in Parzelle 1 (Mittelpunkt) und 3 (Strafraum), sollte der Verdichtungsgrad besonders hoch sein, zu den Eckpunkten und Seitenbereichen allerdings abnehmen (KOLB und MANSOURIE, 1982). Dies trifft auf unseren Untersuchungsflächen nicht ausnahmslos zu. In den meisten Fällen wird vermutlich die höhere Belastung in intensiv bespielten Bereichen durch eine erhöhte Pflegeintensität dieser Bereiche aufgefangen. Fast alle Platzwarte gaben verstärktes Pflegemanagement für die belasteten Bereiche, vor allem den Strafraum, an.

Tabelle 19: Einfluss der Lage der Parzellen auf die gemessenen Scherfestigkeitswerte in 0 bis 15 mm, 0 bis 40 mm und 40 bis 80 mm Bodentiefe

Messtiefe = 0 bis 1,5 cm (Stollenschergerät)

Platz	$P(t)$ zweiseitig	H_0 / H_1
Hohenheim	0,033026728	H_0 wird abgelehnt
Reutlingen	0,592044699	H_0 wird angenommen
Hechingen	0,196497001	H_0 wird angenommen
Stuttgart	0,398333136	H_0 wird angenommen
Aalen	0,531613445	H_0 wird angenommen
Augsburg	0,753742453	H_0 wird angenommen

Messtiefe = 0 bis 4 cm (Flügelsonde)

Platz	$P(t)$ zweiseitig	H_0 / H_1
Hohenheim	0,655846573	H_0 wird angenommen
Reutlingen	0,000211819	H_0 wird abgelehnt
Hechingen	0,085863777	H_0 wird angenommen
Stuttgart	0,25301644	H_0 wird angenommen
Aalen	0,356349775	H_0 wird angenommen
Augsburg	0,817624079	H_0 wird angenommen

Messtiefe = 4 bis 8 cm (Flügelsonde)

Platz	$P(t)$ zweiseitig	H_0 / H_1
Hohenheim	0,263668043	H_0 wird angenommen
Reutlingen	0,000295822	H_0 wird abgelehnt

Hechingen	0,635994828	H0 wird angenommen
Stuttgart	0,021085589	H0 wird abgelehnt
Aalen	0,191623874	H0 wird angenommen
Augsburg	0,788574022	H0 wird angenommen

$\alpha=5\%$, $P(t)$... Kennzahl zur Auswertung des Zwei-Stichproben t-Test

7.6 Scherfestigkeit und Hauptwurzelhorizont

Ein tiefreichender Hauptwurzelhorizont von etwa 100 mm, wie er von FLORINETH und KLOIDT (2007) für Naturrasen-Sportplätze gefordert wird, wurde auf keinem der untersuchten Sportplätze gemessen. Vor allem in modernen Sportarenen wird ein tiefreichender Hauptwurzelhorizont durch eine Rasenheizung, einen häufigen Rasenaustausch und eine ungenügende Belichtungsintensität nicht erreicht. Für einen guten Sportbetrieb in den oberen Ligen mit Arenen ohne Trainingsbetrieb wird nach neueren Studien ein Hauptwurzelhorizont von 40 bis 50 mm als durchweg ausreichend für die Scherfestigkeit angesehen. Wichtiger als die Tiefe des Hauptwurzelhorizontes erscheint die Regenerationsfähigkeit der Rasennarbe. Dadurch wird zunehmend auf hohe Anteile von *Lolium perenne* gegenüber *Poa pratensis* gesetzt (MEHNERT et al., 2010). In diesen Untersuchungen wurden 100 mm für den Hauptwurzelhorizont jedoch auch bei den oberbodenhaltigen Rasentragschichten des Universitätssportplatzes Hohenheim und im Weiherstadion Hechingen nicht erreicht. Gemessen wurden hier Maximalwerte für den Hauptwurzelhorizont von etwa 50 bis 56 mm (Tabelle 4, Tabelle 6).

Der Einfluss des Hauptwurzelhorizontes auf die Scherfestigkeit wurde in Abhängigkeit des aktuellen Bodenwassergehaltes mittels Zwei-Stichproben t-Tests geprüft. Die auszuwertenden Daten wurden hierfür gemäß ihrer Hauptwurzelzonenmächtigkeit und ihres Bodenwassergehaltes unterteilt (Anhang, Kapitel 15.5). Die Nullhypothese lautete, dass die Mächtigkeit des Hauptwurzelhorizontes keine Auswirkung auf die Scherfestigkeit hatte. Ob der Hauptwurzelhorizont größer oder kleiner als 40 mm war, zeigte bei diesen Untersuchungen weder bei niedrigen noch bei hohen Bodenwassergehalten einen Einfluss auf die Scherfestigkeitswerte der Rasentragschicht (Tabelle 20). Diese Ergebnisse widersprechen einerseits den Untersuchungsergebnissen von COMINO und DRUETTA (2009), TOBIAS (1991) und LIESECKE und SCHMIDT (1978), bei denen die Tiefe der Pflanzenwurzeln eine deutlich festigende Wirkung auf die Scherfestigkeit an

Hang- aber auch Sportrasenflächen ausübte. Sie würden andererseits mit den erwähnten Aussagen übereinstimmen, dass ein Hauptwurzelhorizont von etwa 40 bis 50 mm unter Umständen als ausreichend für die Scherfestigkeit an Naturrasenflächen und für einen guten Sportbetrieb angesehen werden kann. Die in den aktuellen Untersuchungen rein optisch durchgeführte qualitative Aufnahme des Wurzelbestandes mittels Bestimmung des Abbruchhorizontes des Hauptwurzelraumes scheint allerdings für eine genaue Analyse unzureichend. Genauere Untersuchungen zum Einfluss der Wurzeln auf die Scherfestigkeit sind bei weiteren Versuchen sowohl qualitativ als auch quantitativ durchzuführen.

Tabelle 20: Einfluss der Hauptwurzelzonentiefe auf die Scherfestigkeit in der Rasentragschicht

Bodenwassergehalt < 25 Vol. %

Faktor	$P(t)$	Nullhypothese
Hauptwurzelhorizont	0,993405732	wird angenommen

$\alpha \dots 0,05$

Bodenwassergehalt > 25 Vol. %

Faktor	$P(t)$	Nullhypothese
Hauptwurzelhorizont	0,606472554	wird angenommen

$\alpha=5\%$, $P(t)$... Kennzahl zur Auswertung des Zwei-Stichproben t-Test

7.7 Scherfestigkeitsmessgeräte: Stollenschergerät vs. Flügelsonde

Bei den Messergebnissen der Verfahren Stollenschergerät und Flügelsonde sollten jeweils bei hohen Messwerten hohe Scherfestigkeitsergebnisse vorliegen. Die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 21 bestätigen eine positive lineare Abhängigkeit der Werte aus den beiden Methoden (Anhang, Kapitel 15.7). Es zeigte sich demnach tendenziell eine Abhängigkeit der beiden Messmethoden, aber ein deutlich signifikanter Zusammenhang trat nur in der Impuls-Arena Augsburg auf.

Tabelle 21: Korrelationen zwischen den Scherfestigkeitsmessungen an der Oberfläche mit dem Stollenschergerät und der Scherfestigkeit mit der Flügelsonde zwischen 0 und 4 cm

	Hechingen	Stuttgart	Aalen	Augsburg
Korrelationskoeffizient	0,34	0,24	0,28	0,95

* Hohenheim und Reutlingen wurden aufgrund der unterschiedlichen Messtermine für diese Fragestellung nicht analysiert

Im Weiherstadion Hechingen, in der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart und in der Scholz-Arena Aalen kam es vor, dass das Stollenschergerät vergleichsweise geringere Werte gemessen hat, wo die Flügelsonde an der Oberfläche vergleichsweise hohe Werte anzeigte (Tabelle 10 bis 15). Hierauf hatten wahrscheinlich die oberflächlichen Faktoren der Rasendecke wesentlichen Einfluss. SCHMIDT (1979) stellte in seinen Untersuchungen zur Oberflächenscherfestigkeit von Rasensportplätzen fest, dass das Stollenschergerät bei der Messung der Scherfestigkeit, aufgrund seiner Eindringtiefe von 15 mm, überwiegend die Festigkeit der Rasendecke berücksichtigt. Die Flügelsonde berücksichtigt aufgrund ihrer Eindringtiefe von 40 mm eher die Festigkeit in der Rasentragschicht. Ähnliche Ergebnisse wie bei SCHMIDT (1979) konnten jedoch in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Um eindeutige Aussagen über die oberflächlichen Einflüsse der Rasendecke auf die Scherfestigkeit machen zu können, müssten die Parameter in einem eigenen Versuch unter vergleichbaren Bedingungen und der Entnahme einer nennenswerten Datenanzahl geprüft werden.

Unterschiedliche Einheiten und unterschiedliche Messtiefen machen die beiden Methoden Stollenschergerät und Flügelsonde nicht direkt miteinander vergleichbar. Das Stollenschergerät bindet in die Messungen nur die obersten 15 mm des Bodens ein. Durch die Flügelsonde werden hingegen die oberen 40 mm des Bodens untersucht. Die Nachteile des verwendeten Stollenschergerätes liegen vor allem in der Handhabung. Es wiegt fast 76 kg und kann nur unter Mithilfe einer weiteren Person bedient werden. Die Flügelsonde bietet in der Anwendung Vorteile, da sie problemlos von einer Person getragen und bedient werden kann. So erhält man innerhalb kurzer Zeit ein ausreichend umfangreiches Datenmaterial. Da die Flügelsonde genormt ist, können unter Einbeziehung der Messrandbedingungen die erhaltenen Werte verglichen werden. Das Stollenschergerät ist ein Prototyp, der von der LWG Veitshöchheim entwickelt und bisher nicht standardisiert wurde. In letzter Zeit wird ein gut handhabbares Gerät zur Scherfestigkeitsermittlung, ein so genannter Scherkrantz, untersucht (BISCHOFF, 2009). Nähere Informationen oder Messergebnisse zur Scherfestigkeit unter Verwendung eines Scherkranzes auf Naturrasenbelägen wurden bisher nicht beschrieben. Vermutlich werden bald umfangreiche Untersuchungen dazu gestartet werden.

8. Ausblick und Vorschläge für die Praxis

Folgende Hinweise für den Bau und die Erhaltung von Sportrasenflächen können angesichts dieser Arbeit für die Praxis gegeben werden:

- Eine Reduzierung von Bodenverdichtungen ist vor allem für die Pflanzen als sehr vorteilhaft zu beurteilen, da sich ihre Standortbedingungen dadurch erheblich verbessern. Für die Scherfestigkeit stellen Bodenbearbeitungen offenbar einige Zeit nach den Maßnahmen keine Einschränkung mehr dar.
- Die Gräserauswahl und -erhaltung muss bei der Errichtung und Pflege eines Rasensportplatzes berücksichtigt werden. Nicht alle Gräserarten eignen sich auf Sportplätzen zur Bodenfestigung. Einschränkungen wurden diesbezüglich bei den Gräserarten *Poa trivialis* und *Agrostis stolonifera* festgestellt. Unerwünschter Fremdbewuchs sollte möglichst rasch mit Hilfe von mechanischen Maßnahmen und einer Nachsaat mit *Lolium perenne* und ev. mit geringen Anteilen *Poa pratensis* eingedämmt werden.

Durch viele unterschiedliche Einflüsse erscheint mit den in dieser Arbeit untersuchten Messmethoden eine Standardisierung der gemessenen Scherfestigkeitswerte nur schwer möglich. Um für die Zukunft verlässliche Aussagen über den Einfluss von Randbedingungen wie Bodenaufbau, Witterungsverlauf, Pflanzenregeneration, Pflegemanagement und Bodenwassergehalt auf die Scherfestigkeit an Naturrasen-Sportplätzen machen zu können, müssten die Scherfestigkeitsuntersuchungen kontinuierlich bei gleichem Messablauf über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

Der Vergleich von Freilandmessungen mit Laboruntersuchungen erfüllt die Forderung nach gleichen Prüfbedingungen an sich nicht. Man könnte bei weiterführenden Untersuchungen zum Thema „Bewuchs und seine Eigenschaften auf die Scherfestigkeit in Rasentragschichtsubstraten“, jedoch annäherungsweise gleiche Prüfbedingungen schaffen. Rasentragschichtgemische könnten vor dem Einbau nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) im Labor auf die Scherfestigkeit geprüft werden. Verschiedene Bodensubstrate, Pflegeintensitäten und Ansaatmischungen könnten über simulierte Belastungen auf ihren Einfluss hinsichtlich Scherfestigkeit in den Rasentragschichtgemischen untersucht werden. Interessant erscheinen vor

allem Versuche zur bodenfestigenden Wirkung von *Poa supina* in einer Ansaatmischung. Diese Grasart gewinnt in letzter Zeit in Strapazierrasenmischungen vermehrt an Bedeutung, da sie etwas feuchtigkeits- und schattentoleranter als *Poa pratensis*, tritt- und schnittverträglich und wenig krankheitsanfällig sein soll (HENLE et al., 2010, KLAPP und OPITZ VON BOBERFELD, 2006, S.200). Durch die Bildung oberirdischer Ausläufer gilt sie jedoch als nur bedingt scherfest (DEUTSCHE RASENGESELLSCHAFT e.V., 2010).

Zusätzlich zu Scherfestigkeitsmessversuchen erscheint auch eine Zusammenarbeit mit Fußballverbänden als sinnvoll. Die Deutsche Fußball Liga beschreibt in den „Anforderungen an ein Rasenspielfeld im Lizenzfußball – Wettbewerbstechnisches Qualitätskonzept“ die Absicht, ein geeignetes Messverfahren für die Überprüfung und Definition der Anforderungen an die Scherfestigkeit festzulegen und durch Tests zu verifizieren (DFL ARBEITSKREIS SPORTRASEN, 2008, S.5). Objektive Untersuchungen im Rahmen von universitären Projekten und Versuchen könnten für diese Absichten dienlich sein.

Befragungen von FußballspielerInnen zur Beispielbarkeit eines Platzes könnten interessante Auskünfte hinsichtlich Qualitätskriterien für Naturrasenfußballplätze bringen.

Ebenso sollen mit Sportschuh-Herstellern Kooperationen angestrebt werden. Aus der Sicht der SportlerInnen sind die Stollen an den Fußballschuhen für die Standfestigkeit beim Fußballspielen notwendig. Aus der vegetationstechnischen Sicht tragen die Stollen an Fußballschuhen wesentlich zur Abnutzungserscheinung auf Fußballrasenflächen bei. Unterschiedliche Stollendesigns haben Einfluss darauf, wie stark die Rasennarbe unter Spielbelastung und bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen abschert (SOROCHAN et al., 1999). Dadurch beeinflussen die Stollen in gewisser Weise die Scherfestigkeit der Rasennarbe. Möglicherweise könnte man durch gemeinsame Untersuchungen zum Stollendesign und zur Scherfestigkeit an der Rasennarbe Fußballschuhe entwickeln, die auch unter widrigen Witterungsbedingungen ein sicheres Auftreten der SportlerInnen erlauben. Damit könnte man einen Spielverlauf, zum Beispiel bei sehr nassen Verhältnissen, entscheidend beeinflussen und zusätzlich eine höhere Sicherheit für die SpielerInnen gewährleisten sowie Verletzungsgefahren vermindern.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass es sinnvoll erscheint, sowohl vegetationstechnische als auch sporttechnische Einflüsse auf die Scherfestigkeit an Sportrasenflächen in weiteren Versuchen, möglichst über längere Zeiträume, zu untersuchen. Als Hinweis diesbezüglich kann gegeben werden, dass Versuche zur Scherfestigkeit nur unter gleichen oder näherungsweise gleichen Ausgangsvoraussetzungen und unter einer parallel laufenden Untersuchung von Eindringwiderstand, Bodenwassergehalt und den Bewuchsfaktoren durchzuführen sind.

9. Zusammenfassung und Resümee

Anders als Verdichtungserscheinungen soll die Scherfestigkeit auf Sportrasenflächen als Maß für die Bodenfestigkeit gelten und durch die eingesetzten Gräser unterstützt und gefördert werden (FLORINETH und KLOIDT, 2007; TOBIAS, 1991). Im Neuentwurf der DIN 18035-4 (2007) Sportplätze-Rasenflächen soll die Scherfestigkeit erstmals als Anforderung für Sportplätze mit Naturrasenbelag geprüft werden. Gefordert werden in diesen Messungen Werte zwischen 25 und 40 kPa (=25 bis 40 kN/m²). Die Prüfung erfolgt am Rasentragschichtgemisch im Labor ohne die beeinflussenden Parameter durch den Bewuchs auf die Scherfestigkeit. Dieser Aspekt und das Fehlen vergleichbarer Richtwerte aus in situ-Messungen mit einer derartigen Flügelsonde, machte Messungen unter der Verwendung einer Flügelsonde nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007, S.23) zur Scherfestigkeit im Freiland notwendig.

Von Juni bis September 2010 wurden auf sechs für Fußball genutzten Sportrasenflächen Untersuchungen zur Scherfestigkeit und ihren wichtigsten Einflussfaktoren im Freiland durchgeführt. Untersucht wurden dabei zwei Fußballplätze mit bodennaher Bauweise und vier Fußballplätze mit einer sandigen Rasentragschicht nach DIN 18035-4 (1991). Ermittelt wurden neben der Scherfestigkeit mit zwei verschiedenen Messverfahren und in unterschiedlichen Messtiefen der Eindringwiderstand, der volumetrische und der gravimetrische Bodenwassergehalt, die Lagerungsdichte, Wasserinfiltration, der Deckungsgrad, Anteil an Pflanzenarten, die Filzmächtigkeit, der Hauptwurzelschizont und die maximale Wurzeltiefe der Rasengräser.

Ziel der Arbeit war es, Richtwerte für die Scherfestigkeit im Freiland auf verschiedenen Platzverhältnissen zu erhalten und auf eine Vergleichbarkeit mit in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) geforderten Werten zu untersuchen. Auch sollten mögliche Einflussfaktoren und die Eignung zweier Messverfahren für die Prüfung der Scherfestigkeit in situ untersucht werden.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Eine Flügelsonde, wie sie in der DIN 18035-4 (Entwurf, 2007) in Laboruntersuchungen verwendet wird, eignet sich gut zur Messung der Scherfestigkeit im Freiland. In situ können weitaus höhere Werte erzielt werden,

als im genannten Normentwurf gefordert sind. Die unter Freilandbedingungen gemessenen Werte für die Scherfestigkeit lagen dabei um bis zu 230% über den geforderten Laborwerten.

- Ein hoher Anteil stolonienbildender Grasarten (*Agrostis stolonifera*, *Poa trivialis*) setzte die Scherfestigkeit unter gleichen Bedingungen deutlich herab.
- Unterschiedliche Scherfestigkeitswerte zwischen verschiedenen Bauweisen konnten nur bei hohem Bodenwassergehalt festgestellt werden. Die Werte für die Scherfestigkeit lagen dann bei oberbodenhaltigen Rasentragschichten höher als bei sandigen Rasentragschichten nach DIN 18035-4 - Aufbau.
- Bei zwei Fußballplätzen traten keine Unterschiede zwischen Messungen in 0 bis 4 cm Bodentiefe und 4 bis 8 cm Bodentiefe auf. Die stabilen Scherfestigkeitswerte waren bei diesen Plätzen scheinbar bedingt durch den Verlauf der Bodenverdichtung und vermutlich bedingt durch den Bewuchs.
- Am Beispiel der Mercedes-Benz-Arena in Stuttgart erkennt man den Einfluss der Pflege auf die Scherfestigkeit, die an der Oberfläche und Rasentragschicht auch bei unterschiedlichen Bodenwassergehalten und unterschiedlichen Bodenverdichtungen annähernd gleich hoch blieb. Reduziert man Verdichtungen demnach nachhaltig und narbenschonend, etwa durch regelmäßiges Aerifizieren, werden für den optischen und bodenfestigenden Aspekt des Rasens offenbar gute Voraussetzungen geschaffen.
- Am Beispiel der Impuls-Arena in Augsburg konnte man erkennen, dass hohe Scherfestigkeitswerte für den Zustand eines Sportplatzes nicht unbedingt vorteilhaft sind. Die Scherfestigkeitswerte, aber auch die Eindringwiderstände, lagen tendenziell sehr hoch, besonders im Eckbereich (Parzelle 4). Alle Pflanzen-Parameter wie Deckungsgrad und Durchwurzelung waren in diesem Fall sehr schlecht ausgeprägt.
- Eine mittelstarke bis starke lineare Abhängigkeit zwischen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit kam auf fünf der sechs Fußballplätze vor. Nur ein Platz konnte bei niedrigen Eindringwiderständen hohe Scherfestigkeitswerte

aufweisen. Die Gründe dafür waren offensichtlich eine intensive Bodenbearbeitung und der wohl erhaltene Bewuchs (Deckungsgrad von 99%).

- Die Lage der Messparzellen in stärker und schwächer belastete Zonen führte bei den durchgeführten Versuchen zu keinem Unterschied für die Verteilungen der Scherfestigkeitswerte. Dies lag vor allem an der verstärkten Pflege intensiver belasteter Bereiche.
- Bei den vorliegenden Untersuchungen bewirkte ein Hauptwurzelhorizont von über 40 mm keine Erhöhung der Scherfestigkeit. Dies könnte zum einen daran liegen, dass die Wurzeltiefe an belastbaren Rasenflächen ab etwa 40 mm tatsächlich keine Steigerung der Scherfestigkeit in der Rasentragschicht bewirkt. Andererseits ist jedoch nicht auszuschließen, dass durch eine ungeeignete Messmethode zur Untersuchung des Parameters Wurzeln, keine signifikanten Unterschiede der Scherfestigkeit bei unterschiedlich mächtigem Hauptwurzelhorizont herausgefunden werden konnten.

Besonders wichtig für die Interpretation der aufgetretenen Scherfestigkeitswerte in unterschiedlichen Höhen erscheint die gleichzeitige Betrachtung des Bodenwassergehalts und des Eindringwiderstandes. Höhere Bodenverdichtungen führen zu einer höheren Scherfestigkeit, wirken sich aber negativ auf den Pflanzenbestand und dessen Regenerationsvermögen aus.

Aus den Untersuchungsergebnissen zur Scherfestigkeit an belastbaren Rasensportflächen war deutlich zu erkennen, dass die festigkeitssteigernde Wirkung der Pflanzen auf den Boden nur unter gleichen Prüfbedingungen und geeigneten Messverfahren festgestellt werden kann und somit immer nur eine Momentaufnahme darstellt. Solange es keine Anhaltswerte für die Scherfestigkeit strapazierter Rasenflächen nach Messmethoden mit der Flügelsonde gibt, erscheinen Messungen der Scherfestigkeit nur unter Einbeziehung ihrer Einflussfaktoren sinnvoll und aussagekräftig.

10. Quellenverzeichnis

10.1 Literatur

ALBRACHT, R. UND NONN, H. (2009): Aerifizieren – Luft für Boden und Pflanze.

European Journal of Turfgrass Science 03/09: S29-34

ARMBRUSTER, G. (2003): Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit.

Rasentragschichtgemische im Sportplatzbau nach DIN 18035, Teil 4.

Neue Landschaft 10/03: S. 32- 34.

BAADER, P. UND SKIRDE, W. (1987): Zur bodenphysikalischen Kennzeichnung der Wasserspeicherfähigkeit von Rasentragschichten. Zeitschrift für Vegetationstechnik im Landschafts- und Sportstättenbau 10/87: S. 77- 82.

COOK, A., MARRIOTT, C.A., SEEL, W., MULLINS, C.E. (1996): Effects of soil mechanical impedance on root and shoot growth of *Lolium perenne* L., *Agrostis capillaries* and *Trifolium repens* L.. Journal of experimental Botany 47/96: S. 1075 – 1084.

COMINO, E. und DRUETTA, A. (2009): The effect of Poaceae roots on the shear strength of soils in the Italian Alpine Environment. Soil and Tillage Research 106/10: S. 194-201.

EIJKELKAMP AGRISearch EQUIPMENT (1998): Bodenfeuchtheitsmesser. Eijkelkamp: Katalog und Teileliste: S. 87.

FAHRMEIR, L., KÜNSTLER, R., PIGEOT, I. & TUTZ, G. (2007): Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. 6. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer

FLORINETH, F. (2009): Skriptum zur VU Sportstättenbau. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Univ. für Bodenkultur, Wien.

FLORINETH, F. und KLOIDT, F. (2007): Skriptum zur Vorlesung Ingenieurbiologie: Technische Eigenschaften und Fähigkeiten von Pflanzen. S.17- 19. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Univ. für Bodenkultur, Wien.

HARDT, G. (2006): Heute eingeschränkter Spielbetrieb. Rasen-Turf-Gazon 2/06: S. 38-39.

HENLE, W., SCHNEIDER, H. und SCHULZ, H.(†) (2010): Skriptum zur VU Rasentechnologie: Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Rasen- Fachstelle. Univ. Hohenheim.

HOPE, F., bearbeitet von **SCHULZ, H. (1983):** Rasen. Stuttgart: Eugen Ulmer

KENDZIA, N. (2009): "Rollrasensandwich"- Sanierung alter Rasenflächen. In: Veitshöchheimer Berichte aus der Landespflege Heft 123/09: S. 77- 83

KLAPP, E. und OPITZ VON BOBERFELD, W. (2006): Taschenbuch der Gräser. 13. Auflage, Stuttgart: Eugen Ulmer.

KOLB, W. (1984): Auswirkung der Oberflächenbesandung auf Verdichtung und Wasserdurchlässigkeit bei Rasentragschichten im Sportplatzbau. Neue Landschaft 29/84: S. 651-653.

KOLB, W. und MANSOURIE, P. (1982): Zur Situation von konventionellen Rasensportplätzen- Versuchsergebnisse aus Veitshöchheim. Zeitschrift für Vegetationstechnik im Landschafts- und Sportstättenbau 5/82: S. 124-131.

LEHMACHER, E. (2006): Rückblick- Ein Rasen wird für die Fußball WM vorbereitet. Rasen-Turf-Gazon 3/06: S. 154-157.

LIESECKE, H.-J. und SCHMIDT, U. (1976): Wasserdurchlässigkeit, Wasserbindung und Abscherwiderstand von Rasentragschichten im benutzten Zustand. Rasen-Turf-Gazon 2/76: S. 28-36

LIESECKE, H.-J. und SCHMIDT, U. (1978): Scherfestigkeit und Scherfestigkeitsmessungen an Rasentragschichten. Das Gartenamt 2/78: S. 70-78.

LORENZ, D. (2010): Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit von Naturrasenflächen an Sportplätzen. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

MORHARD, J. (2004): Untersuchungen zur Bodenbearbeitung auf Strapazierrasenflächen. Diss., Universität Hohenheim. Institut für Agrartechnik.

MÜLLER-BECK, K.G. (1977): Sportplätze aus der Sicht des Bodenaufbaus und des Pflanzenbestandes. Diss., Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich- Wilhelms- Universität zu Bonn.

MÜNSTER, H. (2008): Prüfung der Wasserdurchlässigkeit im Sportplatzbau. Eine unendliche Geschichte?. Neue Landschaft 7/08: S. 48-52.

NONN, H. (1988): Bodenphysikalische, bodenchemische und vegetationskundliche Eigenschaften von Rasensportplätzen in "bodennahen Bauweisen". Diss., Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich- Wilhelms- Universität zu Bonn.

NONN, H., LOCK, R. und KÜHBAUCH, W. (2007): RAL- referenzierte Messung der Farbe und Struktur von Rasenflächen. Teil 1: Farbmessung an unterschiedlichen Gräserarten in drei Stickstoffdüngungsstufen. Rasen-Turf-Gazon 3/07: S. 217-222.

PÄTZOLD, H. (†) (1992): Die neue Sportrasennorm DIN 18035-4. Das Gartenamt 6/92: S.406-410.

PRÄMABING, W. (2008): Veränderung bodenphysikalischer Eigenschaften durch Aerifiziermaßnahmen auf belastbaren Rasenflächen. Diss., Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich- Wilhelms- Universität zu Bonn.

SCHAFFER, G. (1960): Eine Methode zur Abscherwiderstandsmessung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. Landwirtschaftliche Forschung. Bd. 13: S. 24- 33.

SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

SCHLICHTING, E., BLUME, H.P. und STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. 2. Auflage, Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag.

SCHMIDT, U. (1979): Untersuchungen zur Bestimmung der Oberflächenscherfestigkeit von Rasensportplätzen unter besonderer Berücksichtigung der Rasendecke, Tragschichtgemische, Gerüstbau- und Zuschlagstoffe. Diss., Universität Hannover.

SKIRDE, W. (1974): Aufbauspiel einer Rasensportfläche nach DIN 18035- 4. Rasen-Turf-Gazon 5/74: S. 19-22.

SKIRDE, W. (1980): Entwicklungstendenzen beim Bau von Rasensportflächen. Neue Landschaft 25/80: S. 85-92.

SKIRDE, W. (1981): Scherfestigkeit von Rasentragschichten -- Ergebnisse von Labor- und Freilanduntersuchungen. Zeitschrift für Vegetationstechnik im Landschafts- und Sportstättenbau 4/81: S. 131-140.

SKIRDE, W. (2008): Bemerkungen zur Entwicklung von DIN 18035- 4 "Sportplätze-Rasenflächen". Neue Landschaft 7/08: S. 41-47.

SKIRDE, W., BAADER, P., PRÄMÄRING, W., LEHMACHER, E., LOOSE, M., MAJUNTKE, P.-T., MORHARD, J. (2009): Anforderungen an Fertiggras für Sportplätze auf der Grundlage von Bodenanalysen. European Journal of Turfgrass Science 1/09: S. 66-73.

SKIRDE, W., HARDMAN, E., KÜHNEN, H. und PLEUS, U. (2005): Sportanlage Basel- St. Jakob: Versuche zur Wuchshemmung von Sportrasen mit Primo Maxx. Teil 2: Nebenwirkungen, Schlussfolgerungen, Wirtschaftlichkeit. Neue Landschaft 8/05: S. 38-42.

SCHULZ, H. (†) (2008): Rasenpflege in modernen Stadien. European Journal of Turfgrass Science 3/08: S. 32-35.

TEUFEL, F. (2010): Beispielhafte Untersuchung der Durchwurzelung auf Sportrasenflächen. Projektarbeit, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Rasen-Fachstelle der Universität Hohenheim.

THIEME- HACK, M. (2003): Drei Gutachter- vier Meinungen: Die besonderen Probleme beim Bau von Sportrasenplätzen. Neue Landschaft 10/03: S. 26-30.

TOBIAS, S. (1991): Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel. Diss., ETH Zürich.

TURGEON, A.J. (2005): Turfgrass Management. 8. Auflage, New Jersey: Pearson.

WEGE, L. und MEHNERT, C. (2009): Beeinflussung der Wasser- Infiltrationsrate von zwei unterschiedlich aufgebauten Rasensportplätzen durch niedrige Außentemperaturen. European Journal of Turfgrass Science 1/09: S. 59-62.

10.2 Normen und Richtlinien

DIN 18035-3 (2006): Sportplätze, Teil 3: Entwässerung, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18035-1 (2003): Sportplätze, Teil 1: Freianlagen für Spiele und Leichtathletik, Planung und Maße, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18035-2 (2003): Sportplätze, Teil 2: Bewässerung, Beuth Verlag, Berlin

DIN 18035-4 (1991): Sportplätze, Teil 4: Rasenflächen, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 18035-4 (2007): Sportplätze, Teil 4: Rasenflächen, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 18035-5 (2006): Sportplätze, Teil 5: Tennenflächen, Beuth Verlag, Berlin

DIN V 18035-6 (2004): Sportplätze, Teil 6: Kunststoffflächen, Beuth Verlag, Berlin

DIN V 18035-7 (2002): Sportplätze – Teil 7: Kunststoffrasenflächen, Beuth Verlag, Berlin

DIN 19683-13 (2007): Bodenbeschaffenheit- Physikalische Laboruntersuchungen
Teil 13: Bestimmung des Substanzanteils, Porenanteils und der Porenziffer

DIN 18917 (2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau: Rasen- und Saatarbeiten, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 12231 (2003): Sportböden Prüfverfahren: Bestimmung der Bodenbedeckung bei Naturrasenbelägen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 12484-1 (1991): Bewässerungsverfahren - Automatische Rasenbewässerungssysteme - Teil 1: Festlegung der Aufgaben und Ausrüstungen durch den Eigentümer; Deutsche Fassung EN 12484-1:1999, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 12616 (2003): Sportböden: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. Beuth Verlag, Berlin.

ÖNORM B 2605 (2007): Sportplätze: Planungsrichtlinien und Ausführungshinweise, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 2606-1 (2009): Sportplatzbeläge, Teil 1: Naturrasen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

RSM (2011): Regel- Saatgut- Mischungen Rasen. 34. Auflage.
Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) e.V., Bonn.

10.3 Internet

BISCHOFF, G. (2009): Scherfestigkeit von Rasenflächen.
http://www.rasengesellschaft.de/content/rasenthema/2009/07_2009_Scherfestigkeit.pdf (24.05.2010)

DEUTSCHE ENZYKLOPÄDIE (2010): Scherfestigkeit - Bedeutung, Definition, Erklärung.
<http://www.calsky.com/lexikon/de/txt/s/sc/scherfestigkeit.php> (13.11.2010)

DEUTSCHE RASENGESELLSCHAFT e.v. (2010): Gräserarten: Lägerrispe (Poa supina).
<http://www.rasengesellschaft.de/content/rasenbasis/graeserarten/laegerrispe.php>
(26.11.2010)

DFL DEUTSCHE FUßBALLLIGA GMBH – ARBEITSKREIS SPORTRASEN (2008):
Anforderungen an ein Rasenspielfeld im Lizenzfußball – Wettbewerbstechnisches
Qualitätskonzept. [http://www.bundesliga.de/media/native/dfli/dfli-
statuten_und_regeln/anforderungen_an_ein_rasenspielfeld_im_lizenzfussball-
wettbewerbstechnisches_qualitaetskonzept.pdf](http://www.bundesliga.de/media/native/dfli/dfli-statuten_und_regeln/anforderungen_an_ein_rasenspielfeld_im_lizenzfussball-wettbewerbstechnisches_qualitaetskonzept.pdf) (05.12.2010)

EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT (2010): P1.52-1 Penetrologger.
[http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/Manuals/M1-
0615SAd%20Penetrologger.pdf](http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/Manuals/M1-0615SAd%20Penetrologger.pdf) (15.11.2010)

FC HECHINGEN 1907 e.v. (2006): Trainingsgelände im Weiherstadion Hechingen.
[http://www.fc-hechingen.de/index.php?option=com_content&task
=view&id=10&Itemid=33](http://www.fc-hechingen.de/index.php?option=com_content&task=view&id=10&Itemid=33) (02.11.2010)

ORTH, S. (2008): Frankfurt ein Schauermärchen. Der Spiegel online:
[http://einestages.spiegel.de/static/topicalbumbackground/2128/frankfurt_ein_schauer
maerchen.html](http://einestages.spiegel.de/static/topicalbumbackground/2128/frankfurt_ein_schauermaerchen.html) (12.11.2010)

PATTON, A., WALKER, K., McDUFFEE, D., BIGELOW, C., LATIN, R. und REICHER, Z. (2005): Using digital image analysis to quantify turfgrass cover and disease:
<http://www.agry.purdue.edu/turf/report/2005/11.pdf> (12.11.2010)

SOROCHAN, J.C., ROGERS III, J.N., NACHREINER, J.S. UND LUNDBERG L.M. (1999): The effects of different soccer shoe soles on turfgrass:
<http://archive.lib.msu.edu/tic/mitgc/article/199934.pdf> (05.12.2010)

10.4 Mündliche Mitteilungen

ARMBRUSTER, G. (2010): Mündliche Mitteilung: Impuls-Arena Augsburg.
Stadt Bergen. 16.11.2010.

GLÜCK, E. (2010): Persönliche Mitteilung: Informationen zum Universitätssportplatz.
Universität Hohenheim, Sportbüro. 26.08.2010.

GÖPPINGER, M. (2010): Mündliche Mitteilung zum Stadion an der Kreuzeiche des SSV
Reutlingen 07. Reutlingen. 16.06.2010.

HENLE, W. (2010): Mündliche Mitteilung. Institut für Kulturpflanzenwissenschaften.
Rasen-Fachstelle der Universität Hohenheim, 18.11.2010.

KLEIN, V. (2010): Mündliche Mitteilung zum Universitätssportplatz Hohenheim.
Hohenheim. 11.06.2010.

KURICINI, R. (2010): Mündliche Mitteilung zum Weiherstadion des FC Hechingen.
Hechingen. 05.07.2010.

MEHNERT, C., WEGE, L., ERNST, R., LIENAU, U., VAN'T KLOOSTER, G. (2010):
Diskussionsrunde bei der Expertentagung der SGL-Concept in der Allianz Arena,
München. 1.12.2010

NÄGELE, H.-J. (2010): Mündliche Mitteilung zur Impuls-Arena des FC Augsburg.
Augsburg. 28.09.2010.

OPPENLÄNDER, J. (2010): Mündliche Mitteilung zur Mercedes Benz Arena des VfB
Stuttgart. Stuttgart. 06.07.2010.

RÜCKLE, K. (2010): Mündliche Mitteilung zur Scholz- Arena des VfR Aalen. Aalen.
15.07.2010.

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verortung der 6 Fußballplätze in Baden-Württemberg und Bayern auf der Landkarte. 30.10.2010 (aus google.maps, verändert)	24
Abbildung 2: Luftbildaufnahme des Sportplatzes der Universität Hohenheim. 30.6.2010 (aus google.maps, verändert)	25
Abbildung 3: Luftbildaufnahme des Stadions an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (aus google.maps, verändert)	27
Abbildung 4: Luftbildaufnahme des Weiherstadions Hechingen. 5.7.2010 (aus google.maps, verändert)	29
Abbildung 5: Luftbildaufnahme der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010 (aus google.maps, verändert)	31
Abbildung 6: Luftbildaufnahme der Scholz-Arena (ehemals Waldstadion) Aalen. 15.7.2010 (aus google.maps, verändert)	33
Abbildung 7: Luftbildaufnahme der Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (aus google.maps, verändert)	35
Abbildung 8: Lageplan der Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (aus http://www.impulsarena.de/pages/images/fakten/stadion1.gif)	35
Abbildung 9: Lage der vier Messparzellen auf den Fußballplätzen. 20.6.2010 (eigene Grafik)	37
Abbildung 10: Parzellenplan mit den durchzuführenden Messungen pro Parzelle. 20.6.2010 (eigene Grafik)	38
Abbildung 11: Stollenschengerät mit aufgesetztem Drehmomentschlüssel. Scholz-Arena, Aalen. 15.7.2010 (eigene Aufnahme)	39
Abbildung 12: Fallenlassen des Eisenzylinders aus definierter Höhe. Scholz- Arena Aalen, 15.7.2010 (eigene Aufnahme)	40
Abbildung 13: Anzeige des Drehmomentes, um den Zylinder bis zur Markierung zu drehen. Scholz Arena Aalen. 15.7.2010 (eigene Aufnahme)	40
Abbildung 14: Detailansicht der Flügelsonde: Schiebering mit Skaleneinteilung. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010 (eigene Aufnahme)	41
Abbildung 15: Durchführung der Messung mit der Flügelsonde in situ. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010 (Aufnahme Teufel, F.)	41

Abbildung 16: Flügelsonde, unterer Teil: Sondierstange und Flügel mit Bodenrückständen nach der Messung. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010 (eigene Aufnahme)	42
Abbildung 17: Messdurchführung Penetrometer. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (Aufnahme Teufel, F.)	43
Abbildung 18: Datalogger des Penetrometers mit der Messanzeige. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (eigene Aufnahme)	43
Abbildung 19: Ansicht der Messergebnisse aus dem Penetrologger. Scholz-Arena Aalen, Parzelle 1. 15.7.2010 (eigene Grafik)	44
Abbildung 20: Ansicht des Mittelwertes zu Abb. 19. Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010 (eigene Grafik)	44
Abbildung 21: Textdatei zur Datenauswertung des Penetrometers. Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010 (eigene Grafik)	45
Abbildung 22: Doppelringinfiltrometer + Zubehör. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7. 2010 (eigene Aufnahme)	46
Abbildung 23: Wasseranstauung in beiden Zylindern. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (Aufnahme Teufel, F.)	46
Abbildung 24: Das Absinken des Wasserspiegels im inneren Zylinder wird mit einer Stoppuhr gemessen. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (eigene Aufnahme)	47
Abbildung 25: Wasserspiegel- und Wassertemperaturmessung im inneren Zylinder. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (eigene Aufnahme)	47
Abbildung 26: Gitterrahmen mit 1 x 1 Meter. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010 (eigene Aufnahme)	48
Abbildung 27: Schätzung des Anteils an Bodenbedeckung. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7. 2010 (eigene Aufnahme)	48
Abbildung 28: Bestimmung der Gräser. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (Aufnahme Teufel, F.)	49
Abbildung 29: Bestimmung der vorhandenen Gräserarten anhand ihrer Merkmale. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 1.7.2010 (Aufnahme Teufel, F.)	49
Abbildung 30: Digitale Fotobox mit tragbarem Akku und Digitalkamera. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010 (eigene Aufnahme)	50

Abbildung 31: Einstellungen für die digitale Bildanalyse. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (eigene Grafik)	50
Abbildung 32: Start der Berechnung der grünen Pixel für ein Digitalbild. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (eigene Grafik)	51
Abbildung 33: Die grünen Pixel des Digitalbildes aus Abb. 39 werden rot überzeichnet. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (eigene Grafik)	51
Abbildung 34: Rasenfilzanhäufung am Bodenprofil. Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010 (eigene Aufnahme)	52
Abbildung 35: Abbruchhorizont und maximaler Wurzeltiefgang eines Bodenprofils. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010 (eigene Aufnahme)	53
Abbildung 36: Thetaprobe, das Messgerät für den volumetrischen Bodenwassergehalt von 0 bis 55 mm. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010 (eigene Aufnahme)	54
Abbildung 37: Messdurchführung mit der Thetaprobe. Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010 (eigene Aufnahme)	54
Abbildung 38: Einschlagen der Stechzylinder mit Schlagkopf und Schlägel. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen, 1.7.2010 (eigene Aufnahme)	55
Abbildung 39: Herausholen des Stechzylinders mit einem Messer. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen, 1.7.2010 (eigene Aufnahme)	55
Abbildung 40: Hellgrüne Fleckenbildung am Spielfeld im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen durch hohe Anteile unerwünschter Gräser. Besonders deutlich zeigte sich das Vorkommen in Parzelle 1. 16.6.2010 (eigene Aufnahme)	64
Abbildung 41: Rasennarbe und Wurzelwachstum waren in Parzelle 4 der Impuls-Arena Augsburg schlecht ausgeprägt. 28.9.2010 (eigene Aufnahme)	77
Abbildung 42: Anordnung der Parzellen in mehr und weniger belastete Zonen am Beispiel des Stadions an der Kreuzeiche, Reutlingen. 16.6.2010 (eigene Grafik)	88

12. Abkürzungsverzeichnis

kN	Kilonewton
cmkP	Kilopond/cm
Nm	Newtonmeter
I_B	temperaturkorrigierte Wasserinfiltrationsmenge in mm/h
FW_B	Absinken des Wasserspiegels in mm
C	Korrekturfaktor für die Temperatur nach DIN EN 12616
t_B	Zeitdauer für das Absinken des Wasserspiegels in h
ρ_B	Lagerungsdichte in g/cm ³
X_m	gravimetrischer Bodenwassergehalt in M.-%
m_w	Bodennassgewicht in g
m_d	Bodentrockengewicht in g
X_{vol}	volumetrischer Bodenwassergehalt in Vol.-%
N	Stickstoff
kPa	Kilopascal (=kN/m ²)
MPa	Megapascal (=MN/m ²)
MW	Mittelwert
S	Standardabweichung
LK 60	Laborkapazität 60%
<i>Veronica sp.</i>	<i>Veronica Subspecies</i>
<i>Agrostis stol.</i>	<i>Agrostis stolonifera</i>
<i>Trifolium rep.</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Taraxacum off.</i>	<i>Taraxacum officinalis</i>
<i>Plantago med.</i>	<i>Plantago media</i>

13. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde gemittelt aus fünf Messungen pro Parzelle am Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010	60
Diagramm 2: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen am Sportplatz der Universität Hohenheim. 30.6.2010	61
Diagramm 3: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen am Sportplatz Hohenheim. Die schwarz gestrichelten Kurven kennzeichnen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang von Rasentragschichten. 11.6.2010	62
Diagramm 4: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus fünf Messungen pro Parzelle im Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 16.6.2010	63
Diagramm 5: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen. 16.6.2010	65
Diagramm 6: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen. Die schwarz gestrichelten Kurven kennzeichnen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang von Rasentragschichten. 11.6.2010	66
Diagramm 7: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle im Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010	67
Diagramm 8: Scherfestigkeitswerte in Parzelle 1, gemessen mit der Flügelsonde. Messpunkt 1 zeigt einen starken Ausreißer. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010	68
Diagramm 9: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen im Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010	69
Diagramm 10: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen im Weiherstadion, Hechingen. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 5.7.2010	69

Diagramm 11: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010	71
Diagramm 12: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung in der Mercedes Benz Arena, Stuttgart. 6.7.2010	72
Diagramm 13: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 6.7.2010	72
Diagramm 14: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Scholz-Arena Aalen. 15.7.2010	74
Diagramm 15: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen in der Scholz-Arena, Aalen. 15.7.2010	75
Diagramm 16: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Scholz-Arena Aalen. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 15.7.2010	75
Diagramm 17: Scherfestigkeitswerte, gemessen mit der Flügelsonde, gemittelt aus zehn Messungen pro Parzelle in der Impuls-Arena Augsburg. 28.9.2010	77
Diagramm 18: Verlauf der Eindringwiderstände als Maß für die Bodenlagerung für die vier Parzellen in der Impuls-Arena Augsburg. 28.09.2010	78
Diagramm 19: Kornverteilungskurven der 4 Parzellen in der Impuls-Arena Augsburg. Die schwarz gestrichelten Kurven begrenzen den in der DIN 18035-4 empfohlenen Bereich für den Siebdurchgang in der Rasentragschicht. 28.9.2010	79
Diagramm 20: gemittelte Scherfestigkeitswerte für alle Plätze. Die gelben Balken stellen die Scherfestigkeit an der Oberfläche, die violetten Balken die Scherfestigkeit im Boden dar. Je zwei aufeinanderfolgende Balken unterschiedlicher Farbe stehen für eine Parzelle. Die roten Linien stehen für den bei der Laborprüfung geforderten Bereich für die Scherfestigkeit nach DIN 18035-4 (Entwurf, 2007).	81

14. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtige Normen für den Bau von Rasensportplätzen in Deutschland und Österreich	9
Tabelle 2: Aufstellung der Fußballplätze für die Freilanduntersuchungen und Datum der Messungen	23
Tabelle 3: Anforderungen an die Rasentragschicht und –decke belastbarer Naturrasensportplätze	59
Tabelle 4: Ergebnisse der Messungen am Universitätssportplatz Hohenheim	60
Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen im Stadion an der Kreuzeiche, Reutlingen	63
Tabelle 6: Ergebnisse der Messungen im Weiherstadion, Hechingen	67
Tabelle 7: Ergebnisse der Messungen in der Mercedes-Benz-Arena, Stuttgart	70
Tabelle 8: Ergebnisse der Messungen in der Scholz-Arena, Aalen	73
Tabelle 9: Ergebnisse der Messungen in der Impuls-Arena, Augsburg	76
Tabelle 10: Bauweise mit Oberboden: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Sportplatz der Universität Hohenheim. 11.6. und 30.6.2010	82
Tabelle 11: Bauweise mit Oberboden: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Weiherstadion Hechingen. 5.7.2010	82
Tabelle 12: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Stadion an der Kreuzeiche Reutlingen. 16.6. und 1.7.2010	83
Tabelle 13: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Mercedes-Benz-Arena Stuttgart. 6.7.2010	83
Tabelle 14: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß	

für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Scholz- Arena Aalen.	
15.7.2010	83
Tabelle 15: Bauweise mit künstlicher Rasentragschicht: Zusammenfassung der Scherfestigkeits-Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (S), als Maß für die Gleichmäßigkeit der Einzelwerte je Parzelle. Impuls-Arena Augsburg.	
28.9.2010	83
Tabelle 16: Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten bedingt durch die Bauweise und den Bodenwassergehalt	84
Tabelle 17: Unterschiede zwischen den Scherfestigkeitswerten bedingt durch die Messtiefe	85
Tabelle 18: Korrelationen zwischen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit	86
Tabelle 19: Einfluss der Lage der Parzellen auf die gemessenen Scherfestigkeitswerte in 0 bis 15 mm, 0 bis 40 mm und 40 bis 80 mm Bodentiefe	89
Tabelle 20: Einfluss der Hauptwurzelzonentiefe auf die Scherfestigkeit in der Rasentragschicht	90
Tabelle 21: Korrelationen zwischen den Scherfestigkeitsmessungen an der Oberfläche mit dem Stollenschergerät und der Bodenscherfestigkeit mit der Flügelsonde	91

15. Anhang

15.1 Kennblatt des Platzes und Angaben des Platzwartes und Messprotokolle

Allgemeines	
Name d. Bearbeiters	
Name d. Platzwartes	
Kontaktdaten d. Platzwartes	
Datum	
Platznummer	
Witterung	

Lage	
Verortung auf der Karte	
Klimadaten	
Niederschlagsdaten	

Durch den Platzwart

Platz	
Abmessungen	
Baujahr/ Alter	
Aufbau der Tragschicht	
Art der Drainage	

Rasen	
Alter	

Ansaat oder Fertiggrasen	
Ursprüngliche Mischung der Gräser	

Nutzung	
Wie viele Stunden/ Woche bespielt	
Spiel- Trainingsbetrieb von... bis... (Winterspielbetrieb)	

Pflege	
Mähen	
Mähgänge/ Woche in der Hauptsaison	
Mähgänge/ Woche in der Nebensaison	
Schnitthöhe	
Mähertyp (Spindelmäher/ Sichelmäher)	
Bodenbearbeitung	
Aerifiziergänge/ Jahr mit Vollspoons	
Aerifiziergänge/ Jahr mit Hohlspoons	
Besandungsgänge/ Jahr	
Vertikutiergänge/ Jahr	
Tiefenlockerungen/ Jahr	
Nachsaat	
Nachsaatgänge/ Jahr	
Was wird nachgesät?	
Nährstoffversorgung:	
Liegen Bodenuntersuchungen vor?	

Düngungsniveau, insbesondere N	
Chemie	
Pestizide: Fungizide, Herbizide,	
Wachstumsregulatoren, sonst.	
Bewässerung	
Regneranzahl	
Steuerung	
Häufigkeit, Wassermenge	
Ausbesserungen im Rasen	
mit Fertigrasen, wo?	
Lochpfropfen, nach jedem Spiel? Wie viel?	

1. Zustand der Rasennarbe	Name d. Bearbeiters	Barbara
	Datum	
	Platznummer	
	Parzellennummer	
	Witterung	
1.a. visuelle Schätzung		
Material: Gitterrahmen		
Durchführung der Messung: 1x		
Messung	Ergebnis in %	
1. Mal		
Anmerkungen		
1.b. digitale Fotokiste		
Material: Digitalkamera von Wolfgang, Fotokiste + Zubehör		
Durchführung der Messung: 7x		
Messung	Fotos	Ergebnis nach Sigma Scan
1. Mal		
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		
7. Mal		
1.c. Artenanalyse		
Material: Bestimmungsschlüssel, Plastiktüten		
Durchführung der Messung: 1x		
Pflanzenart	Anteil an der Gesamtmenge	

Platz

Parzelle Nummer.

Datum

2. Scherfestigkeitsmessungen	Name d. Bearbeiters		
	Datum		
	Platznummer		
	Parzellennummer		
	Witterung		
2.a. Scherfestigkeit an der Spielfeldoberfläche mit Stollenschergerät			
Material: Stollenschergerät, Manoskop, Meterstab			
Durchführung der Messung: 5x			
Messung	Ergebnis in Nm		
1. Mal			
2. Mal			
3. Mal			
4. Mal			
5. Mal			
2.b. Scherfestigkeit an der Spielfeldoberfläche mit Flügelsonde			
Material: Flügelsonde, Manoskop, Gummihammer			
Durchführung der Messung: 5x			
Messung	Flügel	Ergebnis t/m ²	Ergebnis kor. kN/m ²
1. Mal			
2. Mal			
3. Mal			
4. Mal			
5. Mal			
6. Mal			
7. Mal			
8. Mal			
9. Mal			
10. Mal			
2.c. Scherfestigkeit in der Rasentragschicht mit Flügelsonde			
Material: Flügelsonde, Manoskop, Gummihammer			
Durchführung der Messung: 5x			
Messung	Flügel	Ergebnis t/m ²	Ergebnis kor. kN/m ²
1. Mal			
2. Mal			
3. Mal			
4. Mal			
5. Mal			
6. Mal			
7. Mal			
8. Mal			
9. Mal			
10. Mal			
Flügelsonde 20 x 40: Messbereich 0- 13 t/m ²		0- 130 kN/m ² 1 t/m ² = 10 kN/m ²	

Platz

Parzelle Nummer.

Datum

3. Eindringwiderstand	Name d. Bearbeiters	
	Datum	
	Platznummer	
	Parzellennummer	
	Witterung	
Material: Penetrologger, Schemel		
Durchführung der Messung: 10x		
Messung	Ergebnis	Einheit
1. Mal		
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		
7. Mal		
8. Mal		
9. Mal		
10. Mal		

4. Wassergehalt im Boden	Name d. Bearbeiters	
	Datum	
	Platznummer	
	Parzellennummer	
	Witterung	
Material: FDR- Sonde		
Durchführung der Messung: 10x		
Messung	Ergebnis	volumetrischer Wassergehalt in %
1. Mal		
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		
7. Mal		
8. Mal		
9. Mal		
10. Mal		

Platz

Parzelle Nummer.

Datum

5. Filzdicke, Wurzeltiefe der Rasengräser	Name d. Bearbeiters	Felix
	Datum	
	Platznummer	
	Parzellennummer	
	Witterung	
5.a. Filzdicke		
Material: Profilstechspaten, Meterstab		
Durchführung der Messung: 6x		
Messung	Ergebnis	Einheit
1. Mal		cm
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		
5.b. Hauptwurzelschizont		
Material: Profilstechspaten, Meterstab		
Durchführung der Messung: 6x		
Messung	Ergebnis	Einheit
1. Mal		cm
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		
5.c. Durchwurzelungstiefe		
Material: Profilstechspaten, Meterstab		
Durchführung der Messung: 6x		
Messung	Ergebnis	Einheit
1. Mal		
2. Mal		
3. Mal		
4. Mal		
5. Mal		
6. Mal		

Platz

Parzelle Nummer.

Datum

6. Wasserdurchlässigkeit der Tragschicht	Name d. Bearbeiters	Barbara, Felix
	Datum	
	Platznummer	
	Parzellennummer	
Witterung		
Material: Doppelringinfiltrometer, Stoppuhr, Kübel, scharfes Messer, stabiles Brett, Schlägel, Wasserthermometer		
Durchführung der Messung: 1x, Anstauliefe = 30 mm		
Messung	Ergebnis vor Ort	Wt
1. Mal		
		FwB
		tB
		C
		IB= FwB · C / tB

Wt = Wassertemperatur
 FwB = Absinken des Wasserspiegels in mm
 tB = Zeitdauer für das Absinken in h
 C = Temperaturfaktor
 IB = temperaturkorrigierte Infiltrationsmenge

Platz
 Parzelle Nummer.
 Datum

7. Lagerungsdichte		Name d. Bearbeiters					
		Datum					
		Platznummer					
		Parzellennummer					
		Witterung					
Material: Stechzylinder, schwarzer Edding, Plastiküten, Handschaufel, Sand, Waage							
Durchführung der Messung: 5x							
Messung	Nr. des Stechzylinders	Vg in cm³	mn in g	mf in g	lg in g	mf in g	pB in g/cm³
1. Mal		100					
2. Mal		100					
3. Mal		100					
4. Mal		100					
5. Mal		100					

mn... Nassgewicht
mf... Trockengewicht
lg... Instrumentengewicht
mf... Masse an festen Teilen
pB... Lagerungsdichte

Platz Parzelle Nummer. Datum

15.2 Tabelle t-Test Prüfung der Bauweisen

Einfluss der Bauweise auf Scherfestigkeit bei einem Bodenwassergehalt < 35 Vol.-%

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Bodennah</i>	<i>Sand</i>
Mittelwert	70,5	68,48
Varianz	237,3157895	229,4691892
Beobachtungen	20	75
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	30	
t-Statistik	0,522863939	
P(T<=t) einseitig	0,30245473	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,697260851	
P(T<=t) zweiseitig	0,604909459	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,042272449	

Einfluss der Bauweise auf Scherfestigkeit bei einem Bodenwassergehalt > 35 Vol.-%

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Bodennah</i>	<i>Sand</i>
Mittelwert	80,825	71,86666667
Varianz	245,9429487	328,3909091
Beobachtungen	40	45
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	83	
t-Statistik	2,44302691	
P(T<=t) einseitig	0,008342821	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,663420175	
P(T<=t) zweiseitig	0,016685642	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	1,988959743	

15.3 Tabelle t-Test: Messtiefe und Scherfestigkeit

Hohenheim

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i> <i>t</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	70,5	87,6
Varianz	237,315789	214,147368
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	

Freiheitsgrade (df)	38
t-Statistik	-3,59915003
P(T<=t) einseitig	0,00045443
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,68595446
P(T<=t) zweiseitig	0,00090885
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,02439415

Reutlingen*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	46,95	81,4
Varianz	119,523684	525,094737
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	27	
t-Statistik	-6,06810194	
P(T<=t) einseitig	8,8422E-07	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,70328842	
P(T<=t) zweiseitig	1,7684E-06	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,05183049	

Hechingen*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	80,825	82,15
Varianz	245,942949	84,3871795
Beobachtungen	40	40
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	63	
t-Statistik	-0,46107522	
P(T<=t) einseitig	0,32316626	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,66940222	
P(T<=t) zweiseitig	0,64633251	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	1,99834052	

Stuttgart*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	76,525	78,2
Varianz	168,973718	120,779487
Beobachtungen	40	40
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	76	
t-Statistik	-0,62234425	
P(T<=t) einseitig	0,26778915	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,66515135	
P(T<=t) zweiseitig	0,53557831	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	1,99167258	

Aalen

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	75,1	83,425
Varianz	285,630769	89,4301282
Beobachtungen	40	40
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	61	
t-Statistik	-2,71871287	
P(T<=t) einseitig	0,00426099	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,67021948	
P(T<=t) zweiseitig	0,00852198	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	1,99962357	

Augsburg

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Oberflächenscherfestigkeit</i>	<i>Bodenscherfestigkeit</i>
Mittelwert	72,875	105,35
Varianz	130,4711538	225,361538
Beobachtungen	40	40
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	73	
t-Statistik	-10,88820357	
P(T<=t) einseitig	2,99359E-17	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,665996224	
P(T<=t) zweiseitig	5,98717E-17	

Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test

1,992997097

15.4 Tabelle t-Test Belastungszonen und Scherfestigkeit

Hohenheim

0 bis 1,5 cm

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	57,52	52,84
Varianz	23,9751111	17,1093333
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	18	
t-Statistik	2,30891074	
P(T<=t) einseitig	0,01651336	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73406359	
P(T<=t) zweiseitig	0,03302673	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10092204	

Oberfläche

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	68,9	72,1
Varianz	140,544444	354,766667
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	15	
t-Statistik	-0,45468533	
P(T<=t) einseitig	0,32792329	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,75305033	
P(T<=t) zweiseitig	0,65584657	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,13144954	

Boden

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	83,8	91,4
Varianz	58,1777778	361,822222

Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	12	
t-Statistik	-1,17270546	
P(T<=t) einseitig	0,13183402	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,78228755	
P(T<=t) zweiseitig	0,26366804	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,17881283	

Reutlingen

0 bis 1,5 cm

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<u>Parzelle 1+3</u>	<u>Parzelle 2+4</u>
Mittelwert	44,3	45,89
Varianz	15,74	68,0165556
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	13	
t-Statistik	-0,54939882	
P(T<=t) einseitig	0,29602235	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,77093338	
P(T<=t) zweiseitig	0,5920447	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,16036865	

Oberfläche

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	<u>Parzelle 1+3</u>	<u>Parzelle 2+4</u>
Mittelwert	39,1	54,8
Varianz	54,7666667	60,6222222
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	18	
t-Statistik	-4,62186926	
P(T<=t) einseitig	0,00010591	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73406359	
P(T<=t) zweiseitig	0,00021182	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10092204	

Boden

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	65,2	97,6
Varianz	240,177778	285,155556
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	18	
t-Statistik	-4,47020594	
P(T<=t) einseitig	0,00014791	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73406359	
P(T<=t) zweiseitig	0,00029582	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10092204	

Hechingen**0 bis 1,5 cm**Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	42,98	46,14
Varianz	15,3884444	39,2626667
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	15	
t-Statistik	-1,35172263	
P(T<=t) einseitig	0,0982485	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,75305033	
P(T<=t) zweiseitig	0,196497	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,13144954	

OberflächeZweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	76,55	85,1
Varianz	147,523684	318,831579
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	33	
t-Statistik	-1,77060902	
P(T<=t) einseitig	0,04293189	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,69236026	

P($T \leq t$) zweiseitig	0,08586378
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,03451529

Boden*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	81,45	82,85
Varianz	86,6815789	85,5026316
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	38	
t-Statistik	-0,4771406	
P($T \leq t$) einseitig	0,31799741	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,68595446	
P($T \leq t$) zweiseitig	0,63599483	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,02439415	

Stuttgart**0 bis 1,5 cm***Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	58,78	56,96
Varianz	23,0351111	21,2182222
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	18	
t-Statistik	0,86516391	
P($T \leq t$) einseitig	0,19916657	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73406359	
P($T \leq t$) zweiseitig	0,39833314	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10092204	

Oberfläche*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	78,9	74,15
Varianz	148,936842	186,028947
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	

Freiheitsgrade (df)	38
t-Statistik	1,16066899
P(T<=t) einseitig	0,12650822
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,68595446
P(T<=t) zweiseitig	0,25301644
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,02439415

Boden*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	82,15	74,25
Varianz	91,5026316	123,565789
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	37	
t-Statistik	2,40909411	
P(T<=t) einseitig	0,01054279	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,6870936	
P(T<=t) zweiseitig	0,02108559	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,02619245	

Aalen**0 bis 1,5 cm***Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	53,15	51,77
Varianz	19,3938889	27,309
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	17	
t-Statistik	0,63856809	
P(T<=t) einseitig	0,26580672	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73960672	
P(T<=t) zweiseitig	0,53161344	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10981556	

Oberfläche*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
--	---------------------	---------------------

Mittelwert	77,6	72,6
Varianz	244,673684	328,463158
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	37	
t-Statistik	0,93401928	
P(T<=t) einseitig	0,17817489	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,6870936	
P(T<=t) zweiseitig	0,35634977	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,02619245	

Boden*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	85,4	81,45
Varianz	49,4105263	125,944737
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	32	
t-Statistik	1,33399036	
P(T<=t) einseitig	0,09581194	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,6938887	
P(T<=t) zweiseitig	0,19162387	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,03693333	

Augsburg**0 bis 1,5 cm***Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	<i>Parzelle 1+3</i>	<i>Parzelle 2+4</i>
Mittelwert	41,22	40,39
Varianz	30,6928889	37,201
Beobachtungen	10	10
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	18	
t-Statistik	0,3185391	
P(T<=t) einseitig	0,37687123	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,73406359	
P(T<=t) zweiseitig	0,75374245	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,10092204	

Oberfläche*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	73,3	72,45
Varianz	83,9052632	183,523684
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	33	
t-Statistik	0,23245009	
P(T<=t) einseitig	0,40881204	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,69236026	
P(T<=t) zweiseitig	0,81762408	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,03451529	

Boden*Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen*

	Parzelle 1+3	Parzelle 2+4
Mittelwert	106	104,7
Varianz	113,368421	348,326316
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	30	
t-Statistik	0,27057078	
P(T<=t) einseitig	0,39428701	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,69726085	
P(T<=t) zweiseitig	0,78857402	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,04227245	

15.5 Tabelle t-Test Hauptwurzelzone und Scherfestigkeit

A... Hauptwurzelhorizont < 40 mm

B... Hauptwurzelhorizont > 40 mm

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	A	B
Mittelwert	89,95	89,9
Varianz	500,681579	220,305263
Beobachtungen	20	20
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	33	
t-Statistik	0,00832763	

P(T<=t) einseitig	0,49670287
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,69236026
P(T<=t) zweiseitig	0,99340573
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,03451529

Zweistichproben t-Test unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen

	A	B
Mittelwert	83,9333333	82
Varianz	161,352381	67,3636364
Beobachtungen	15	23
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	22	
t-Statistik	0,522605	
P(T<=t) einseitig	0,30323628	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,71714434	
P(T<=t) zweiseitig	0,60647255	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,07387306	

15.6 Korrelationsanalysen Eindringwiderstand und Scherfestigkeit

Hohenheim

Of Scherfestigkeit kN/m ²	Eindringwiderstand Mpa
63,4	1,4825
87,2	1,8975
74,4	1,6175
57	1,415
Kovarianz	2,0920625
Koeffizienz (P)	0,985774915

Bodenschersfestigkeit kN/ m ²	Eindringwiderstand Mpa
81,6	1,6175
106,4	2,37
86	1,87
76,4	1,6675
Kovarianz	3,29575
Koeffizienz (P)	0,973700723

Reutlingen

Scherfestigkeit	Eindringwiderstand
34,6	1,2895
51,6	1,32025
43,6	1,138
58	1,3185
Kovarianz	0,242740625
Koeffizient (P)	0,368059116

Eindringwiderstand	Scherfestigkeit
1,71125	55,6
2,02875	84
1,416	74,8
2,311	111,2
Kovarianz	5,161675
Koeffizienz (P)	0,767680445

Hechingen

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,35325	82
1,286	91,8
1,16225	71,1
1,1985	78,4
Kovarianz	0,37366875
Koeffizient (P)	0,671197631

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,48975	86,2
1,39125	79,8
1,24325	76,7
1,2935	85,9
Kovarianz	0,209740625
Koeffizient (P)	0,547534592

Stuttgart

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,426	82,3
1,48975	71,8
1,52525	75,5
1,3475	76,5
Kovarianz	-0,100246875
Koeffizient (P)	-0,393645818

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
2,0885	85,6
2,067	68,2
1,94525	78,7
1,8585	80,3
Kovarianz	-0,08490625
Koeffizient (P)	-0,143930989

Aalen

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,4265	81,9
1,48375	81,6
1,24525	73,3
1,0915	63,6
Kovarianz	1,13771875
Koeffizient (P)	0,983039365

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,99625	85,8
1,98	85,2
1,69	85
1,747	77,7
Kovarianz	0,228942188
Koeffizient (P)	0,505685695

Augsburg

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
1,65375	77,3
1,58075	63,2
1,913	69,3
2,03825	81,7
Kovarianz	0,793167188
Koeffizient (P)	0,596151921

<i>Eindringwiderstand</i>	<i>Scherfestigkeit</i>
3,0945	109
2,70675	90,2
2,96275	103
3,5755	119,2
Kovarianz	3,21146875
Koeffizient (P)	0,969663997

15.7 Korrelationsanalysen Stollenschergerät und Flügelsonde

Hohenheim

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
57,84	63,4
54,5	87,2
57,2	74,4
51,18	57
Kovarianz	7,909
Koeffizient (P)	0,262286486

Stuttgart

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
60,02	82,3
59,08	71,8
57,54	75,5
54,84	76,5
Kovarianz	1,77825
Koeffizient (P)	0,240840019

Reutlingen

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
44,84	34,6
51	51,6
43,76	43,6
40,78	58
Kovarianz	-3,15025
Koeffizient (P)	-0,09660547

Aalen

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
52,1	81,9
52,4	81,6
54,2	73,3
51,14	63,6
Kovarianz	2,3025
Koeffizient (P)	0,277917059

Hechingen

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
39,86	82
49,38	91,8
46,1	71,1
42,9	78,4
Kovarianz	9,1065
Koeffizient (P)	0,34397359

Augsburg

<i>N m</i>	<i>kN/m²</i>
44,62	77,3
36,6	63,2
37,82	69,3
44,18	81,7
Kovarianz	24,505125
Koeffizient (P)	0,947177058