

Institut für Pflanzenbau
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

BODENPHYSIKALISCHE, BODENCHEMISCHE UND
VEGETATIONSKUNDLICHE EIGENSCHAFTEN VON
RASENSPORTPLÄTZEN IN "BODENNAHEN BAUWEISEN"

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des Grades
Doktor der Landwirtschaft
(Dr. agr.)
der
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 10. Februar 1988

von

Dipl. Ing. agr. Harald Nonn
aus Burgbrohl

Diese Dissertation ist 2016 auf dem
Hochschulschriftenserver der
Universitäts- und Landesbibliothek
Bonn elektronisch veröffentlicht.

Referent: Prof. Dr. H. Franken

Korreferent: Prof. Dr. H. Zakosek

Tag der mündlichen Prüfung: 25. März 1988

Meinen Eltern



Verzeichnis der Abkürzungen

S	Strafraum
M	Mittelfeld
U	Ungleichförmigkeitsziffer
C_c	Krümmungszahl
D25	Korndurchmesser, der auf der Körnungslinie dem Wert von 25 % Massenanteilen entspricht
d, D	Korndurchmesser
M.-%	Massenprozent
Vol.-%	Volumenprozent
\emptyset	Durchmesser
\bar{x}	Mittelwert
FG	Freiheitsgrade
MQ	Mittlere Abweichungsquadrate
$GD_{5\%}$	Grenzdifferenz bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit

		<u>Seite</u>
1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Literaturübersicht	3
3	Material und Methoden	17
3.1	Versuchsanlage	17
3.2	Sportplatzbeschreibungen	22
3.2.1	Intergreen A - Plätze	22
3.2.2	Intergreen B - Plätze	27
3.2.3	SRS - Plätze	33
3.3	Pflege der Rasensportflächen	36
3.4	Belastung der Rasensportflächen	40
3.5	Witterung	41
3.6	Untersuchungsmethoden	46
3.6.1	Bodenphysikalische Analysen	46
3.6.2	Bodenchemische Analysen	49
3.6.3	Vegetationskundliche Aufnahmen	49
3.6.4	Wurzeluntersuchungen	50
3.7	Biometrische Auswertung	50
4	Ergebnisse	51
4.1	Bodenphysikalische Werte	51
4.1.1	Kornverteilungskurven	51

	<u>Seite</u>	
4.1.2	Porenraumgliederung	59
4.1.2.1	Gesamtporenvolumen	59
4.1.2.2	Schnell dränende Grobporen (> 50 µm)	63
4.1.2.3	Langsam dränende Grobporen (10 - 50 µm)	66
4.1.2.4	Mittelporen (0,2 - 10 µm)	69
4.1.2.5	Feinporen (< 0,2 µm)	72
4.1.3	Trockenraumgewicht	74
4.1.4	Wasserdurchlässigkeit	77
4.1.5	Abscherwiderstand	79
4.2	Bodenchemische Werte	81
4.2.1	Bodenreaktion	81
4.2.2	P- und K-Versorgung	85
4.2.3	Organische Substanz und C/N-Verhältnis	91
4.3	Vegetationskundliche Werte	97
4.3.1	Bedeckungsgrad	97
4.3.2	Artenzusammensetzung	99
4.3.3	Wurzelzahl	103
5	Diskussion	109
6	Zusammenfassung	130
7	Literaturverzeichnis	135
8	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	150
9	Anhang	152

1 Einleitung und Zielsetzung

Rasensportflächen sollten jederzeit zur Ausübung der jeweiligen Sportart zur Verfügung stehen. Hierbei tragen, im Gegensatz zu Tennenflächen und Kunststoffrasen, lebende Pflanzen die Hauptbelastung. Für die Sportplatzbauer und -unterhalter bedeutet dies, daß sie zum einen durch geeignete Bodenaufbauten und zum anderen durch fortlaufende Pflegemaßnahmen den Pflanzen einen optimalen Standort bieten müssen, um deren Regenerationsvermögen zu erhalten bzw. zu fördern.

Seit etwa 30 Jahren werden aus diesen Gründen im In- und Ausland die unterschiedlichsten Bodenaufbauten und Pflegemaßnahmen erprobt. In der Bundesrepublik Deutschland steht seit 1974 mit der DIN 18035, Blatt 4, "Sportplätze-Rasenflächen" (DNA, 1974) eine Norm zur Verfügung, die die wesentlichen Bauweisen und ihre Anwendungsgebiete beschreibt sowie Hinweise zum Unterhalt von Rasensportflächen gibt. Dieses Regelwerk wird zur Zeit überarbeitet, um die Erfahrungen und Erkenntnisse der letzten 10 Jahre zum Stand der Technik zu erheben. Vor allem die hohe Anforderung der noch gültigen DIN 18035, Blatt 4, an die Wasserdurchlässigkeit des Baugrundes war der Grund dafür, daß sich die Bauweise mit Dränschicht zur "Regelbauweise" entwickelt hat. Die mit dieser Bauweise verbundenen bodenphysikalischen, bodenchemischen und bodenbiologischen Probleme veranlaßten die Suche nach Alternativen. So werden in der Neufassung der Norm u.a. Bauweisen Aufnahme finden, die in der Praxis bereits als "bodennahe Bauweisen" bekannt sind und seit Mitte der 70er Jahre gebaut werden. Hierbei soll der unmittelbar unter einer Rasentragschicht anstehende Baugrund als Wasserspeicher dienen, den Wasser- und Nährstoffspeicherraum der Rasentragschicht vergrößern, zur Belebung der biologischen Aktivität der Tragschicht beitragen und eine feinsandreichere, besser Wasser speichernde Tragschicht ermöglichen (SKIRDE, 1980a).

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, erstmals umfassende Kenndaten von Rasensportplätzen in "bodennahen Bauweisen" zu ermitteln.

Durch die zeitliche Staffelung der Untersuchungen können Aussagen über die Dynamik bodenphysikalischer, bodenchemischer und vegetationskundlicher Parameter gemacht werden. Diese möglichen Veränderungen im Zeitablauf sind bei der Beurteilung von zukünftigen Untersuchungsergebnissen zu berücksichtigen.

Darüber hinaus werden die ermittelten Daten an den Anforderungen der DIN 18035, Blatt 4, "Sportplätze - Rasenflächen" gemessen, und zwar vor allem im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit der Rasensportflächen.

Noch offen ist die Frage, ob bei den "bodennahen Bauweisen" der anstehende Baugrund bzw. Oberboden von den Gräserwurzeln erschlossen werden kann und somit seine Wasser- und Nährstoffvorräte den Pflanzen zur Verfügung stehen.

Außerdem gestatten die Ergebnisse der bodenphysikalischen, bodenchemischen und vegetationskundlichen Untersuchungen aber auch eine vergleichende Bewertung der "bodennahen Bauweisen" untereinander.

2 Literaturübersicht

Die Funktionsfähigkeit belastbarer Rasensportflächen hängt nach GANDERT (1973) im wesentlichen von den physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften, dem Pflanzenbestand, der Pflegeintensität sowie der Nutzungsweise ab.

Die Auswahl geeigneter Pflanzenarten für belastbare Rasenflächen wurde schon sehr früh verfolgt. Trittfestigkeit, Narbenbildung, Regenerationsvermögen, Winterhärte, Farbe und Krankheitsresistenz sind hierbei nur einige wichtige Auswahlkriterien (BERNER, 1984; BOEKER, 1966; BOURGOIN, 1974; FRANK, 1971; v.d. HORST, 1970; PIETSCH, 1964; SKIRDE, 1970, 1971 a; TIMM, 1965). Den jeweils aktuellen Stand der Rasengräsereignung vermittelt die "Beschreibende Sortenliste für Rasengräser" (BUNDESSORTENAMT, 1987), die wertvolle Hinweise über Eigenschaften von Rasengräsern und ihre spezifischen Nutzungsmöglichkeiten gibt.

In den letzten Jahren gewannen neben den routinemäßig durchzuführenden Maßnahmen zur Pflege und Erhaltung von Rasensportflächen Maßnahmen zur Regeneration, Renovation und Rekonstruktion zunehmend an Bedeutung. Hierbei beziehen sich Regenerationsmaßnahmen auf die Rasendecke, Renovationsarbeiten auf die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit im oberen Bereich der Rasentragschicht und die Rekonstruktion auf die Erneuerung von Aufbauschichten, vornehmlich der gesamten Rasentragschicht (SKIRDE, 1981 a; SKIRDE et al., 1980).

Neben umfassenden Beschreibungen möglicher Regenerations- und Renovationsmaßnahmen (MÜLLER-BECK, 1982; NIESEL, 1981; SKIRDE et al., 1980) sind in der Literatur auch spezielle Verfahren über Vertikutieren, Aerifizieren, Schlitzen, Besanden und Nachsaat beschrieben (ANONYMUS, 1981 a, 1981 b; BLUMBERG, 1981; EIRICH, 1979; GAWRYLUK, 1982; MISSELHORN, 1981; MÜLLER-BECK, 1981; NÖLLE, 1981). Eine Übersicht über die zur Zeit auf dem

Markt befindlichen Geräte, deren Arbeitsweisen und -leistungen gibt MÜLLER (1981).

Die Beseitigung von Verdichtungen der Rasentragschicht oder darunterliegender Störschichten kann mit Unterbodenlockerungsgeräten erreicht werden. MÜLLER-BECK (1985) weist einen Lockerungseffekt von bis zu 70 % nach.

Eine genau dosierte und richtig terminierte Versorgung der Rasengräser mit Nährstoffen ist für belastbare Rasenflächen unabdingbar. Besonders Stickstoff trägt dazu bei, den Gesamtaspekt des Rasens zu fördern und eine Verunkrautung zu unterdrücken (HEMMERSBACH, 1980 a, 1980 b, 1980 c). Langzeitdünger auf Harnstoff-Aldehyd-Basis tragen zur Verminderung des Rasenfilzes bei (OPITZ v. BOBERFELD, 1980), während Langzeitdünger auf rein organischer Basis diesen fördern (PRÜN, 1981). Eine N-Düngung im Spätherbst erweist sich wegen günstiger Nachwirkungen auf die Raseneigenschaften im folgenden Frühjahr als vorteilhaft (HEMMERSBACH, 1980 c). Aus ökologischen Gesichtspunkten sind Langzeitdünger den leichtlöslichen landwirtschaftlichen Düngern vorzuziehen, da sie einer weit geringeren Auswaschung unterliegen (ANDRE, 1986; HÄHNDEL u. DRESSEL, 1987).

Den Einfluß der Schnitthöhe auf Kohlenhydratspeicherung, Wurzelbildung, Blattflächenindex und Chlorophyllmenge beschreiben BEARD (1973), v.d. HORST u. KAPPEN (1970) und SKIRDE (1969 a, 1969 b, 1971 c). Eine Schnitthöhe von 3,5 - 4 cm für Rasensportplätze ist zur Vermeidung negativer Einflüsse auf die genannten Parameter wünschenswert (SKIRDE et al., 1980). Eine Verringerung der Durchwurzelung kann ebenso durch falsch terminierte oder zu geringe Wassergaben bei der Beregnung erfolgen (SKIRDE et al., 1980); zu hohe Beregnungsmengen, die über eine Wassersättigung des Aufbaus hinausgehen, können zudem zu einer Auswaschung von Nährstoffen führen (PAHLKE, 1985).

Ein besonderes Problem bei Rasensportflächen stellt die Anhäufung organischer Substanz an der Oberfläche der Rasentragschicht dar. Dieser Rasenfilz (thatch) besteht aus abgestorbenen und lebenden Stengelteilen, Rhizomen und Wurzeln (BEARD, 1973), die aufgrund ihres hohen Ligningehaltes schwer abbaubar sind (LEDEBOER u. SKOGLEY, 1967; MANTELL, 1966).

Während eine Filzauflage bis zu 5 mm wegen des Polstereffektes (SKIRDE, 1974 a) und der Ballreflektion (MADISON, 1971) durchaus positiv zu beurteilen ist, sind jedoch die negativen Auswirkungen eines stärkeren Rasenfilzes eklatant. So berichtet SKIRDE (1976 a) von einer Hemmung der Wasserabführung aus der Filzschicht, wobei diese pro 1 cm Dicke etwa 10 l Wasser je m² speichern kann. Durch ihre hohe Austauschkapazität ist die organische Substanz in der Lage, große Mengen an Nährstoffen zu speichern (DELLER u. MEHNERT, 1980; SCHEFFER u. SCHACHTSCHA-BEL, 1979). In Verbindung mit der Wasserspeicherfähigkeit des Filzes hat dies zur Folge, daß sich keine tiefreichenden Gräserwurzeln bilden, die Scherfestigkeit der Rasennarbe abnimmt (LEDEBOER u. SKOGLEY, 1967) und die Gräser während Trockenperioden schneller Welkeerscheinungen zeigen (EDMONT u. COLES, 1958).

Möglichkeiten, die Anhäufung von Rasenfilz zu mindern, bestehen einmal in direkten mechanischen Maßnahmen, wie Vertikutieren und Abkehren (SKIRDE, 1974 a), zum anderen aber auch in indirekten Maßnahmen, die den Abbau der organischen Substanz durch Mikroorganismen fördern. Hierzu zählen das Aerifizieren, um für eine bessere Durchlüftung des Bodens zu sorgen, ein ausreichendes Nährstoffangebot für die Mikroorganismen (HABEGGER, 1978; WADDINGTON, 1969), eine möglichst neutrale Bodenreaktion (MARTIN u. BEARD, 1975) sowie sich wiederholende Besandungen (BÜRING, 1986; SKIRDE, 1976 a) und "Topdressing" (ADAMS u. SAXON, 1979; ENGEL u. ALDERFER, 1967), die eine größere Angriffsfläche für die Bodenlebewesen schaffen. Regenwürmer können wesentlich zum Filzabbau beitragen (KNIERIEMEN, 1982; MEHNERT, 1978, 1979; TURGEON et al., 1975), jedoch wird durch Feinteilablagerungen der Regenwürmer an

der Oberfläche der Rasentragschicht die Wasserabführung sehr stark behindert (BAKER, 1981; KNIERIEMEN, 1982).

Der Bodenaufbau einer belastbaren Rasenfläche ist nach FRANKEN (1974) so zu gestalten, daß einerseits die differenzierten Anforderungen des Benutzers an den Boden und andererseits die noch zumutbaren Wachstumsbedingungen für die Pflanzenwurzeln in Einklang gebracht werden können. Diese Problemstellung war auch Anlaß zu Überlegungen in bezug auf die Verbesserung von Rasentragschichten (SKIRDE, 1971 b; TIETZ, 1971). Für PÄTZOLD (1973) kennzeichnet diese Entwicklung die Abkehr von der "Mutterbodenideologie" hin zum "Tragschicht-Aufbau".

Besonders auf die Wasserdurchlässigkeit ist nach FRANKEN (1976) in allen Schichten des "Systems Sportplatzboden" zu achten. Für SKIRDE (1973 a) gilt es, bei Rasentragschichten einen Kompromiß zwischen ausreichender Wasserdurchlässigkeit und genügender Wasserspeicherung zu finden. Dieser ist nach FRANKEN (1975, 1976), LUKOWSKI (1971, 1972), MOORMANNS (1971) und SWARTZ u. KARDOS (1963) nur schwer erreichbar.

Nach PETERSEN (1983) sollte das Gesamtporenvolumen etwa 45 - 50 Vol.-% betragen, wovon der Grobporenanteil 15 - 20 Vol.-% ausmachen sollte (PETERSEN, 1974). Die Wasserkapazität sollte 35 Vol.-% nicht unterschreiten; andererseits ist aus Gründen der Belastbarkeit eine Wasserspeicherfähigkeit von 40 Vol.-%, bei Verwendung poröser Baustoffe 45 Vol.-%, als oberer Grenzwert anzusehen (DNA, 1974; SKIRDE, 1978). Als Maximalwert für die Wasserkapazität einer Sand-Tragschicht im beispielbaren Zustand gibt SKIRDE (1971 b) einen Wassergehalt von 20 M.-% an.

Im Hinblick auf die Erhaltung des Porenvolumens und eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit (KEEN, 1969) kommt Sanden und Sandgemischen als Gerüstbaustoffe in Rasentragschichten eine große Bedeutung zu (SKIRDE, 1971 b; PÄTZOLD, 1973). Jedoch bestehen je nach geologischer Entstehung, Ausgangsgestein, Herkunft und Aufbereitung sehr große Unterschiede innerhalb

der Sande (LIESECKE, 1980; SKIRDE, 1976 b). So führen zum Beispiel eine weit gestufte Kornverteilung und zunehmende Korngrößen zu einer Abnahme des Gesamtporenvolumens und der Wasseraufnahme bei gleichzeitiger Erhöhung der Lagerungsdichte. Ein hoher Feinsandanteil verringert den Anteil an weiten Grobporen ($< pF 1,8$), wobei der Anteil an engen Grobporen ($pF 1,8$ bis $2,5$) erweitert und in enger Beziehung dazu die Wasserdurchlässigkeit herabgesetzt wird (SKIRDE, 1975 a, 1980 a), jedoch die Oberflächenscherfestigkeit wesentlich erhöht werden kann (LIESECKE, 1980; SKIRDE, 1981 b). SKIRDE (1980 a) und SCHÖNTHALER (1982) fordern, den Fein- und Mittelsandanteil hinsichtlich der Wasserbindung zu beachten und auf Kosten des Grobsandanteils zu erhöhen.

Problematisch ist die Verwitterungsunbeständigkeit der kalkhaltigen Moränensande des süddeutschen und alpinen Raums. Bei diesen können innerhalb eines halben Jahres in einzelnen Fraktionen Veränderungen der Kornanteile in Höhe von 2 - 3 Prozent auftreten (SCHÖNTHALER, 1982; SKIRDE, 1980 a). Insbesondere auf die Wasserdurchlässigkeit wirkt sich die rasche Verwitterung der Karbonate nachteilig aus (NIESEL, 1980; SKIRDE, 1981 c). Aus diesem Grunde sollten möglichst karbonatfreie Sande als Rasentragschichtkomponenten verwendet werden (DELLER, 1979, 1985).

Auf Schwierigkeiten bei der Verwendung glimmerhaltiger Sande kristallinen Ursprungs weist SCHÖNTHALER (1982) hin. Durch die Verlagerung der Glimmerplättchen kommt es, bei anfangs hoher Durchlässigkeit, nach ein bis zwei Jahren zu einem beträchtlichen Wasserstau. MEHNERT (1979) stellt fest, daß ein ton- und schlufffreier Sand auch im Gemisch mit Torf kein intaktes Bodenleben besitzt und der dadurch behinderte Filzabbau einen Rückgang der Wasserdurchlässigkeit bedingt (PETERSEN, 1979).

Offenporige Lavasande besitzen aufgrund ihrer petrographischen Beschaffenheit ein höheres Wasseraufnahmevermögen als geschlossenporige Sande (FRANKEN, 1977 a; LIESECKE, 1978; LIESECKE

u. SCHMIDT, 1975, 1976; TEPE, 1967; TIETZ, 1971), wobei die Tragfähigkeit der Rasentragschicht nicht negativ beeinflusst wird (SKIRDE, 1973 b, 1978). Die Wasserdurchlässigkeit der Lavasande ist für belastbare Rasenflächen ausreichend hoch (LIESECKE, 1978). SKIRDE (1980 b) stellte eine Verringerung der Regenwurmaktivität bei hohem Lavasandanteil in der Tragschicht fest; vermutlich beruht diese auf der kornverzahnenden Scharfkantigkeit der Lava. Zusammenfassend betrachtet sollten normgerechte Rasentragschichtgemische aus 60 - 85 Vol.-% Sand, 0 - 30 Vol.-% Wasserspeicherstoffen, besonders Torf und Hygromull, sowie 0 - 30 Vol.-% Oberboden zusammengesetzt sein (SKIRDE, 1980 a).

Ob Oberboden in jedem Fall bei der Herstellung von Rasentragschichten eingesetzt werden sollte, ist nach SKIRDE (1980 a) aus misch- und einbautechnischer sowie ökonomischer Sicht zu entscheiden. ADAMS u. JONES (1979) wiesen nach, daß der Abscherwiderstand bei einem Feinbodenanteil ($d \leq 0,05$ mm) von 12 % vielfach höher als bei reinem Sand ist. Jedoch erreicht die Wasserdurchlässigkeit erst bei weniger als 10 % Feinbodenanteil einen Wert von 1,5 cm/h, der nahe an der unteren Grenze für hochbelastete Rasensportflächen liegt (ADAMS, 1976). FRANKEN u. HURTMANN (1983) sehen in den geringen Anteilen an Oberboden beim Bau von Rasentragschichten den Nachteil, daß die günstigen Auswirkungen auf Scherfestigkeit, Pflanzenentwicklung und Bodenlebewelt verlorengelangen. Mit zunehmendem Anteil an abschlämmbaren Teilen ($d \leq 0,02$ mm) steigt zum Beispiel nach FRANKEN (1985) der *Poa pratensis*-Anteil in den Pflanzenbeständen.

Nach BAADER (1984 a) wirkt sich bei erhöhtem Oberbodenanteil in Rasentragschichtgemischen die Zufuhr von Branntkalk positiv aus. Die Wasserinfiltrationsrate wird erhöht, das Wurzelwachstum aktiviert und infolge höherer biologischer Aktivität der Abbau der organischen Substanz gefördert. Die längerfristige Erhaltung dieser positiven Wirkungen einer Kalkung läßt sich besonders bei gelockerten Böden nachweisen (BAADER, 1984 b). Beachtet werden muß bei dieser Behandlung die durch die

Kalkzufuhr zwangsweise hervorgerufene Anhebung des pH-Wertes, bei der es zu einer Festlegung der Spurenelemente, außer Molybdän (BAADER, 1983; DANIEL u. FREEBORG, 1979; MENGEL, 1984), und zu einer ungünstigen Bodenreaktion für Mikroorganismen sowie für die strapazierfähigen Rasengräser *Lolium perenne* und *Poa pratensis* kommt (GANDERT u. SCHNABEL, 1977; OPITZ v. BOBERFELD, 1974; RIEM VIS, 1980; SKIRDE, 1978; SKIRDE et al., 1980).

Die Korngrößenverteilung der Gerüstbaustoffe für Rasentrag-schichten ist in der Bundesrepublik Deutschland in der DIN 18035, Blatt 4 (DNA, 1974) festgelegt. Zusätzlich zu dem darin vorgegebenen Kornverteilungsbereich werden von verschiedenen Autoren weitere Grenzwerte festgelegt. Ein befriedigender Sportplatzboden sollte einen Massenanteil $D_{25} > 100 \mu\text{m}$ aufweisen und gleichzeitig sollten 75 M.-% der Körner in der Spanne $d = 100 - 600 \mu\text{m}$ liegen (THORNTON, 1971). ADAMS et al. (1971) erweitern den in dieser Spanne liegenden Massenanteil auf mindestens 90 M.-%. Die Kornverteilung für Rasentragschichten wird nach BEIER (1975) unter anderem durch die Ungleichförmigkeitsziffer $U = D_{60}/D_{10}$ und die Krümmungszahl $C_c = (D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}$ charakterisiert. Hierbei kennzeichnet ein U-Wert von weniger als 5 einen gleichförmigen, ein U-Wert zwischen 5 und 10 einen ungleichförmigen und ein U-Wert von mehr als 15 einen sehr ungleichförmigen Boden. BLAKE (1977) bezeichnet Sande mit einem Ungleichförmigkeitsgrad > 6 als gut abgestuft (= ungleichförmig). Eine Krümmungszahl zwischen 1 und 3 bei $U > 6$ weist ebenfalls auf einen ungleichförmigen Boden hin. Größere Krümmungszahlen bzw. kleinere U-Werte charakterisieren eine gleichförmige oder intermittierende (= sprunghafte, wellenförmige) Stufung. Die Verdichtbarkeit eines Bodens ist um so größer je ungleichförmiger der Kurvenverlauf ist. Entgegengesetzt verhält sich die Wasserdurchlässigkeit: Je gleichförmiger ein Bodengemisch ist, desto größer ist die Durchlässigkeit. Andererseits gilt, daß die Durchlässigkeit mit steigendem Anteil an Feinteilen abnimmt. Um Störungen in der Permeabilität bei

aneinander angrenzenden Bodenschichten zu vermeiden, sind die Filterregeln nach THERZAGHI (BEIER, 1975) zu beachten.

Eine weitere wesentliche Anforderung an eine belastbare Rasenfläche ist eine ausreichende Scherfestigkeit. Die Beschaffenheit der Baustoffe, insbesondere der Gerüstbaustoffe, und ihr Anteil in der Rasentragschicht sind neben dem Wassergehalt entscheidend für die Scherfestigkeit (MÜLLER-BECK, 1977; SKIRDE, 1981 b). Ein hoher Anteil an Feinsand, die rauhe, verzahnende Oberfläche von Lava, verbunden mit einer systematischen, weiten Kornabstufung wirken sich hierbei vorteilhaft aus (SKIRDE, 1981 b). Der Gerüstbaustoff Lava besitzt bei höherem Wassergehalt und geringerer Lagerungsdichte gegenüber Sand einen größeren Scher- bzw. Eindringwiderstand (LIESECKE u. SCHMIDT, 1978; SCHMIDT, 1979). Durch die zunehmende Verdichtung mit steigender Belastung nimmt die Scherfestigkeit stark vermagerter Tragschichten zu (LIESECKE u. SCHMIDT, 1978; SKIRDE, 1982 a). Nach FRANKEN u. HURTMANN (1983) steigt die Oberflächenscherfestigkeit mit steigendem Feinanteil ($d \leq 0,02$ mm). Einen nicht zu unterschätzenden Faktor bei der Scherfestigkeit spielt die festigende Wirkung der Pflanzenwurzeln (LIESECKE u. SCHMIDT, 1978).

Nach v. WIJK u. BEUVING (1975) soll der Penetrometerwiderstand bei mäßiger Belastung 10 kg/cm^2 und bei starker Belastung 14 kg/cm^2 überschreiten. Diese Werte werden nach Untersuchungen von GRETZMACHER u. NEJEZ (1982) bei Rasentragschichten mit über 8 M.-% Feinanteil ($d \leq 0,02$ mm) im bewalzten Zustand erreicht. Jedoch wird bei feinteilreichen Gemischen die Grenze der Beispielbarkeit oft überschritten, da der Wassergehalt auch bei höheren pF-Werten noch relativ hoch ist (LIESECKE u. SCHMIDT, 1978; v. WIJK, 1980 a, 1980 b). Nach MÜLLER-BECK (1977) ist für Rasensportplätze ein Abscherwiderstand von 200 bis 250 cmkp zweckmäßig. Diese Werte entsprechen, umgerechnet nach SCHAFFER (1960), einem Scherwiderstand von $0,75 - 0,93 \text{ kg/cm}^2$. SKIRDE (1981 b) leitet aus seinen Untersuchungen für ausreichend belastbare Rasenflächen eine Mindest-Scherfestigkeit von

0,70 - 0,75 kg/cm² ab. Diese Werte korrespondieren mit dem aus Untersuchungsergebnissen in den Niederlanden abgeleiteten Bereich von 0,55 - 0,75 kg/cm² (v. WIJK u. BEUVING, 1974).

Durch die Zufuhr organischer Substanz, und zwar in erster Linie solcher natürlicher Herkunft wie Torf, wird die Wasserspeicherfähigkeit der hoch durchlässigen Rasentragschichten verbessert (FRANKEN, 1977 b, 1983; SKIRDE, 1978). Zur Vermeidung zu hoher Wassergehalte und der damit verbundenen Verringerung der Belastbarkeit der Rasenflächen sollte der Anteil an organischer Substanz auf maximal 4 M.-% begrenzt bleiben (DNA, 1974). Torf vermag das Drei- bis Fünffache des Eigengewichts an Wasser festzuhalten (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979), wobei der wenig zersetzte, faserige Weißtorf eine geringere Sorptionskapazität als der stark zersetzte Schwarztorf aufweist (BÜRING, 1974). Der hohe Zersetzungsgrad des Schwarztorfs begründet auch die erheblich herabgesetzte Wasserdurchlässigkeit in Gemischen (FRANKEN, 1975; SKIRDE, 1973 a, 1973 b, 1974 b), wohingegen der Weißtorf eine gewisse "Dränwirkung" erkennen läßt (SKIRDE et al., 1976). Torf besitzt gleichzeitig eine Pufferwirkung, da die Wasserabgabe an die Pflanzen "dosiert" erfolgt und plötzlich auftretende Welkeschäden vermieden werden (SKIRDE et al., 1976). Die Scherfestigkeit bzw. der Eindringwiderstand wird in sandigen Tragschichten durch den Zusatz von Schwarztorf erhöht (LIESECKE u. SCHMIDT, 1978; v. WIJK u. BEUVING, 1978). FRANKEN (1977 b) weist bei Zuschlag von Torf in abgemagerten Rasentragschichten eine signifikant höhere Wurzelmasse in 5 - 10 cm Tiefe nach.

Neben Torf wird auch Hygromull als wasserspeichernder Zuschlagstoff verwendet. Hygromull erhöht die Wasserkapazität, insbesondere den Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser, verschiedener Böden deutlich (PRÜN, 1975). Dennoch liegt sie nach Untersuchungen von FRANKEN (1977 b) und SKIRDE (1978) niedriger als bei Torf. Entscheidend für diesen Umstand dürfte die geringe

Druckstabilität des Hygromulls sein, die stark von der Druckhöhe und dem Wassergehalt, weniger von der Druckdauer, abhängt (LIESECKE u. SCHMIDT, 1975; MAIER, 1969; RASP, 1972). Von Vorteil ist die augenblickliche Wiederbefeuchtung der Hygromullflocken nach einer Austrocknung (WIEDE, 1972). Hygromull gibt das aufgenommene Wasser langsamer und gleichmäßiger als Torf an die Gräserwurzeln ab (EGGELSMANN, 1972; MAIER, 1969; SKIRDE, 1973 a). Durch den Gehalt an Stickstoff (N) stellt Hygromull zudem eine kontinuierlich fließende Stickstoffquelle dar, deren Wirksamkeit noch nach zehn Jahren durch erhöhte Aufwuchsgewichte nachzuweisen ist (SKIRDE, 1982 b). Der aufgrund der zusätzlichen N-Anlieferung höhere Zuwachs hat eine Steigerung des Wasserverbrauchs zur Folge, die sich bei Trockenheit in einer schneller eintretenden Rasenwelke äußert; zudem bestehen eine größere Anfälligkeit gegenüber Fusarium (Gerlachia) und eine geringere Belastbarkeit der Gräser (SKIRDE, 1983). Insgesamt gesehen stellt Hygromull keinen Ersatz für Torf dar, sondern ist als sinnvolle Ergänzung zu betrachten (FRANKEN, 1977 b; SKIRDE, 1983). Hygropor 73 vereinigt aufgrund seiner Anteile an Hygromull und Styromull die Vorteile des Hygromulls (erhöhte Wasser- und Nährstoffkapazität) und die des Styromulls (erhöhte Luftkapazität) im Boden (BELGER, 1983). Durch die Einbringung von Styromull und Styropor sind eine Lockerung des Bodens und eine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit zu erreichen (BÜRING, 1974; WERMINGHAUSEN, 1967, 1968, 1971).

FRANKEN (1977 b) weist in stark vermagerten Sand/Lava-Gemischen eine spezifische Wirkung des Bodenhilfsstoffs Agrosil auf die Wurzelentwicklung in 5 - 10 cm Tiefe nach. Bei gleichzeitiger Verwendung anderer Zuschlagstoffe ist diese Wirkung jedoch nicht mehr eindeutig nachweisbar (FRANKEN, 1983). GEBHARDT (1972) führt die Wirkung von Agrosil bei Sandböden auf eine Erhöhung der Wasserkapazität durch Porenverfeinerung zurück, wohingegen bei Lehm- und Tonböden eine Tendenz zur Porenvergrößerung (= Aggregatstabilisierung) erkennbar ist.

Eine "Langzeitwirkung" äußert sich in der Zusammensetzung der Pflanzenbestände, bei denen durch Agrosil der Anteil von *Poa pratensis* verringert und der von *Lolium perenne* vergrößert wird (FRANKEN, 1985).

Inwieweit Torf und Dünger durch Trockenbeetschlämme (= Klärschlämme) ersetzt werden können, war Gegenstand der Untersuchungen von SKIRDE (1975 b, 1976 c, 1976 d). In Sandgemischen beruht die vegetationsbeeinflussende Wirkung von Klärschlamm auf der Förderung der Wasserspeicherfähigkeit und der Nährstoff-Freisetzung, während in Bodengemischen eine Verbesserung des Bodengefüges, des Lufthaushaltes und der Wasserdurchlässigkeit eintritt. Die Nährstoffwirkung ist dabei stark abhängig von der Herkunft des Klärschlammes. Sie ist nicht in allen Fällen größer als bei nährstoffangereichertem Torf (SKIRDE, 1975 b), sie hält aber länger an (SKIRDE, 1976 d). Problematisch bei Klärschlämmen sind sowohl der mögliche Fremdartenbesatz als auch eventuell vorhandene pflanzenschädigende und umweltbelastende Stoffe.

Eine schützende und stabilisierende Wirkung des Wurzel- und Wachstumsbereichs erwartet BÜCHNER (1971, 1973) von dem "Enkamat-Kunststoffgeflecht". Nach MÜLLER-BECK (1977) und OPITZ v. BOBERFELD (1972 b) wird durch den Einbau von Enkamat ein günstiges Porenvolumen über mehrere Jahre erhalten. Plätze mit dieser Armierung zeichnen sich gegenüber solchen ohne Armierung durch eine sehr hohe Bodenbedeckung gerade im Strafraum aus (MÜLLER-BECK, 1977). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen kann SCHMIDT (1982) keine Vorteile der Festigungsmatte Enkamat weder für die Belastbarkeit noch für einen geringeren Pflegeaufwand nachweisen. Als weitere Materialien zur Festigung der Vegetationsschicht sind das "Austria-Grasvlies" (ANGRÜNER, 1973) und die Rasenschutzmatte "Point 15R" (SCHUSTER, 1976) zu nennen.

Die Probleme, die bei der Auswahl geeigneter Baustoffe und der Herstellung einer Rasentragschicht entstehen können, haben zu der Idee geführt, Rasentragschichtgemische zentral herzustellen. Seit Jahren gibt es verschiedene einbaufertige Rasentragschichtgemische, die die Anforderungen der DIN 18035, Blatt 4, erfüllen. Um eine ausreichende und gleichbleibende Qualität sicherzustellen, durchlaufen diese Gemische zunächst eine Zulassungsprüfung, dann eine jährliche Folgeprüfung durch öffentlich-rechtliche Prüfinstitute und unterliegen schließlich der Eigenüberwachung durch die Hersteller. Die Prüfmodalitäten sind in einer Richtlinie zusammengefaßt (FACHGRUPPE REBR, 1980).

Durch die Notwendigkeit, ganzjährig bespielbare Rasensportflächen zu schaffen, sind die verschiedensten Bauweisen entwickelt und vorgeschlagen worden. Auf dem Infiltrationsprinzip überschüssigen Niederschlagswassers beruht die niederländische Bauweise (MOORMANNS, 1971). Hierbei soll die etwa 10 cm starke durchlässige Tragschicht nicht mehr als 10 M.-% abschlämmbare Teile ($d \leq 0,02$ mm) enthalten, wobei 50 % des Sandes aus den Korngrößen 0,1 - 0,3 mm bestehen sollen. Der Gehalt an organischer Substanz kann 2 bis maximal 5 M.-% betragen.

Die "Kies-Sandbett-Methode" (LANGVAD, 1964, 1969), mit der im skandinavischen Raum standardisierte Bedingungen für den Einbau von Rasenspielfeldheizungen geschaffen werden sollten, eignet sich besonders für Rasensportplätze mit Winterspielruhe (DAHLSSON, 1974).

Aus dieser Methode entwickelten sich in der Schichtstärke variierende Bodenaufbauten in Jugoslawien (BOSKOVIC, 1972, 1974) und das "S48 Scan-Turf-System" in Deutschland (SKIRDE, 1978). Beim letztgenannten wird der etwa 20 cm starke einschichtige Aufbau nach Anreicherung mit Nährstoffen und Torf systematisch gedrängt.

Eine steuerbare Be- und Entwässerung kennzeichnet das in den USA für Golfgreens entwickelte "Purr-Wick-System". Der Bau- grund wird bei diesem System durch Folien von der Wurzelzone

isoliert (DANIEL, 1970). Das gleiche System, aber mit zusätzlicher Bodenheizung, ist als "Prescription-athletic-turf-system" (PAT-System) bekannt (DANIEL et al., 1974). In Europa wird diese Art des Bodenaufbaus, allerdings ohne Bodenheizung, von MOESCH (1975) als "CELL-System" beschrieben.

Das "Allwetter-Rasensportplatz-System STÄRK" ist durch einen hochverdichteten, undurchlässigen Oberboden charakterisiert, der den Rasengräsern optimale Bedingungen bieten und hoch belastbar sein soll. Die horizontale Entwässerung erfolgt über Sickerschlitze (SCHERER, 1971). Nach STÄRK (1971) ist bei der Herstellung dieser Bauweise "die Straßenwalze die am meisten gebrauchte Maschine".

Bodenaufbauten für Rasensportplätze haben nach DIN 18035, Blatt 4, (DNA, 1974) bestimmte Mindestanforderungen zu erfüllen. Die Norm schreibt aber hierzu keine allgemein gültigen Bodenaufbauten vor, vielmehr sind diese je nach den speziellen Baugrundgegebenheiten zu modifizieren. Leider hat sich die als Konstruktionsbeispiel beschriebene Bauweise mit Rasentrag- und Dränschicht fälschlicherweise zur "Regelbauweise" entwickelt (LUKOWSKI, 1986). Durch den extrem grobkörnigen Aufbau der Dränschicht, die das Überschußwasser aus der Rasentrag- und Dränschicht zum Rohrdränsystem ableiten soll, kann es bei Nichtbeachtung der Filterregeln zu einem kapillaren Bruch zwischen Rasentrag- und Dränschicht und somit zu einer Hemmung der Wasserabführung kommen. Zusätzlich wird durch die in der Regel über 10 cm starke Dränschicht der Baugrund isoliert und für die Gräserwurzeln unerreichbar. Der nutzbare Wurzelraum bleibt auf die hoch wasserdurchlässige Rasentrag- und Dränschicht beschränkt, da die Dränschicht aufgrund ihrer Wasser- und Nährstoffarmut keinen attraktiven Lebensraum für die Wurzeln bildet. Problematisch erweist sich die starke Rasenfilzanhäufung, die mit der geringen biologischen Aktivität, insbesondere der Regenwurmaktivität, einhergeht (HABEGGER, 1978; SKIRDE, 1980 a). Als weiterer Nachteil ist der rasche Temperaturabfall des Bodens im Herbst und der verzögerte

Temperaturanstieg im Frühjahr bei Aufbauten mit Dränschicht zu nennen (SKIRDE, 1980 c).

HABEGGER (1976, 1980), LUKOWSKI (1986) und SKIRDE (1978, 1980 a) sehen in den im folgenden beschriebenen "bodennahen Bauweisen" eine Möglichkeit, diese Nachteile zu vermeiden. Durch Nutzung des Baugrundes als Wasser- und Nährstoffreservoir sowie seiner biologischen Eigenschaften können die "bodennahen Bauweisen" einfacher, wirtschaftlicher und ökologischer als die Schichtbauweise mit Dränschicht gebaut werden.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Bauweisen mit homogenen Rasentragschichtgemischen, wie sie von der DIN 18035, Blatt 4, (DNA, 1974), FRANKEN (1975, 1976) und SKIRDE et al. (1976) vorgeschlagen werden, ist die "bodennahe Bauweise" nach Intergreen A durch eine heterogene Rasentragschicht oder Vegetationsschicht gekennzeichnet (HABEGGER, 1976, 1980, 1981). Durch die Einbringung von Sand wird der Baugrund bzw. Oberboden von unten nach oben zunehmend vermagert. Zur zusätzlichen vertikalen Wasserabführung werden Sickerschlitze eingebracht, die in direkter Verbindung mit dem Rohrdränsystem oder dem wasserdurchlässigen Baugrund stehen. Als Verschleiß- und Schutzschicht wird eine ca. 1,5 cm starke Herbostartschicht auf die vermagerte Rasentragschicht aufgebracht (HABEGGER, 1976, 1980).

Bodenaufbauten nach Intergreen B besitzen demgegenüber eine homogen zusammengesetzte Rasentragschicht von bis zu 10 cm Dicke. Diese auf Wasserdurchlässigkeit ausgerichtete Rasentragschicht wird auf den durch Sickerschlitze und Rohrdränage systematisch gedränten Baugrund aufgebracht. SRS-Bodenaufbauten weisen prinzipiell die gleichen Konstruktionsmerkmale wie das Intergreen B - System auf, jedoch reichen hierbei die Sickerschlitze bis an die Oberkante der Rasentragschicht.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsanlage

Die vorliegenden Ergebnisse wurden an 10 Rasensportplätzen in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Die Plätze sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre Bodenaufbauten in "bodennaher Bauweise" erfolgten. Sie sind in folgende Gruppen einzuteilen:

- Intergreen A - Plätze,
- Intergreen B - Plätze,
- SRS - Plätze.

Tabelle 1 zeigt, in welchen Orten die Untersuchungen durchgeführt wurden.

Tabelle 1: Untersuchungsorte

Intergreen A	Intergreen B	SRS
Frankfurt-Dornbusch I Frankfurt-Dornbusch II Niedererlenbach Frankfurt-Riederwald	Bellersheim Gedern Grünberg Kirtorf	Wiesentheid Remlingen

Diese regionale und zahlenmäßige Begrenzung ist damit zu erklären, daß zum einen die "bodennahen Bauweisen" nur in eng begrenzten Gebieten schon seit längerem gebaut werden, zum anderen haben aber auch Zeitaufwand und verfügbare Sachmittel Grenzen gesetzt.

Probenahmeterminen waren Frühjahr (Mai) 1986, Herbst (Oktober) 1986 und Frühjahr (Mai) 1987. Über die Lage der Meßstellen auf den Plätzen informiert Abbildung 1.

Die Einteilung der Sportfelder in stark (Strafraum) und gering (Mittelfeld) belastete Bereiche erfolgte in Anlehnung an BRYAN u. ADAMS (1971), MEHNERT (1978) und MÜLLER-BECK (1977).

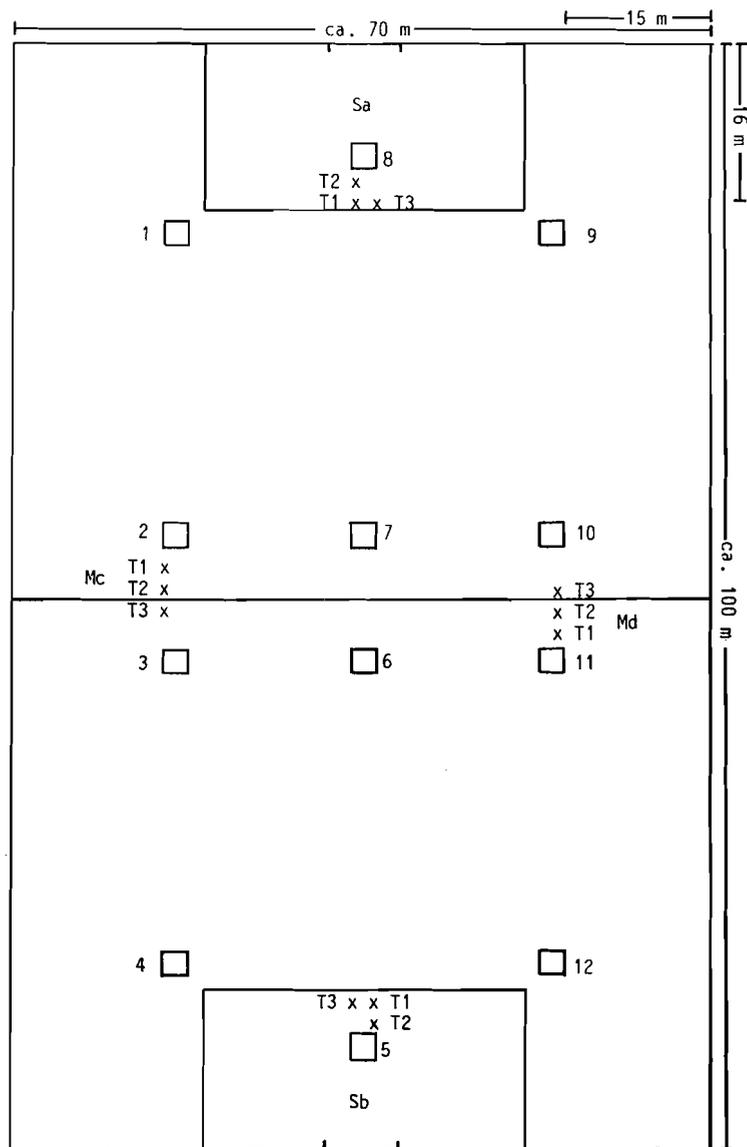


Abbildung 1: Lageplan der Meßstellen

Erläuterungen zu Abbildung 1:

Termine: T1 Frühjahr 1986 (F 86)
T2 Herbst 1986 (H 86)
T3 Frühjahr 1987 (F 87)

Belastungszonen:

S Strafraum (starke Belastung)
M Mittelfeld (geringe Belastung)

Wiederholungen:

Sa, Mc Block I
Sb, Md Block II

Meßstellen:

x Entnahmestellen der Stechzylinderproben
und der Wurzelproben

Die Messungen der Wasserdurchlässigkeit und des
Abscherwiderstandes erfolgten in unmittelbarer
Nähe der betreffenden Meßstelle.

□ 1 - 12 Punkte für die Pflanzenbestands-
aufnahmen.

Anmerkung:

Auf dem Rasensportplatz in Grünberg betrug die Entfernung der Entnahmestellen für Stechzylinder- und Wurzelproben in beiden Strafräumen nicht 16 m bzw. 15 m von der Torauslinie, sondern 15,50 m bzw. 14,50 m. Diese Abänderung gegenüber den anderen Plätzen war notwendig, um störende Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse durch die 16 m von der Torauslinie erfolgte Abzeichnung des Strafraumes auszuschließen.

3.2 Sportplatzbeschreibungen

3.2.1 Intergreen A - Plätze

- Frankfurt, Dornbusch I (Baujahr 1982)

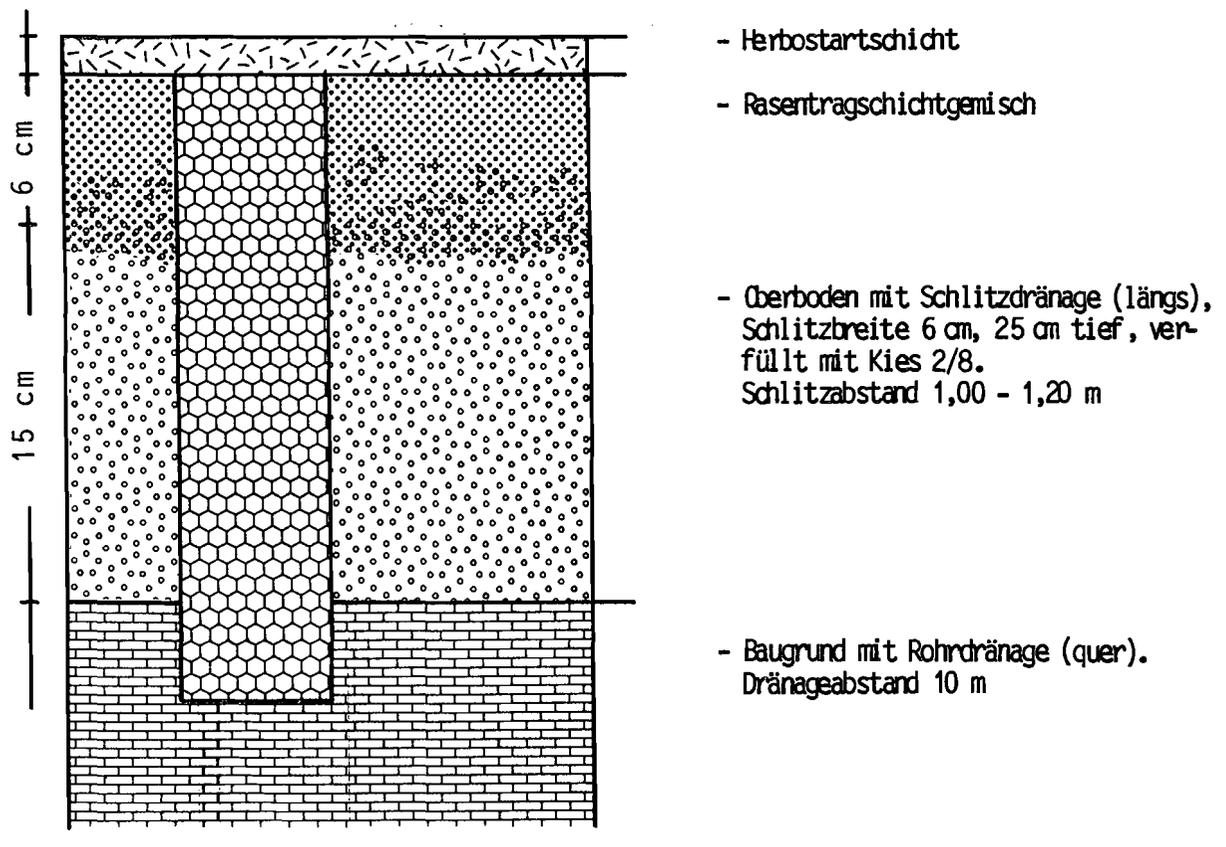


Abbildung 2: Aufbau des Sportplatzes Dornbusch I
(RUNDEL, 1987)

Zur Herstellung der Rasentragschicht wurden ca. 4 cm Sand 0/2 und 2 cm Lava 0/5 auf den Oberboden aufgebracht und mit diesem vermischt.

Zusätzlich wurden 300 g/m² Rizinusschrot sowie Mineraldünger in die Tragschicht eingearbeitet.

Es wurde Fertigrasen verlegt, der bei der Ansaat folgende Mischungspartner und -anteile aufwies (BÜCHNER, 1987):

- 22 % Poa pratensis Baron
- 20 % Poa pratensis Fylking
- 20 % Poa pratensis Kimono
- 15 % Poa pratensis Parade
- 15 % Lolium perenne Majestic
- 8 % Festuca rubra rubra Dawson

- Frankfurt, Dornbusch II (Baujahr 1978)

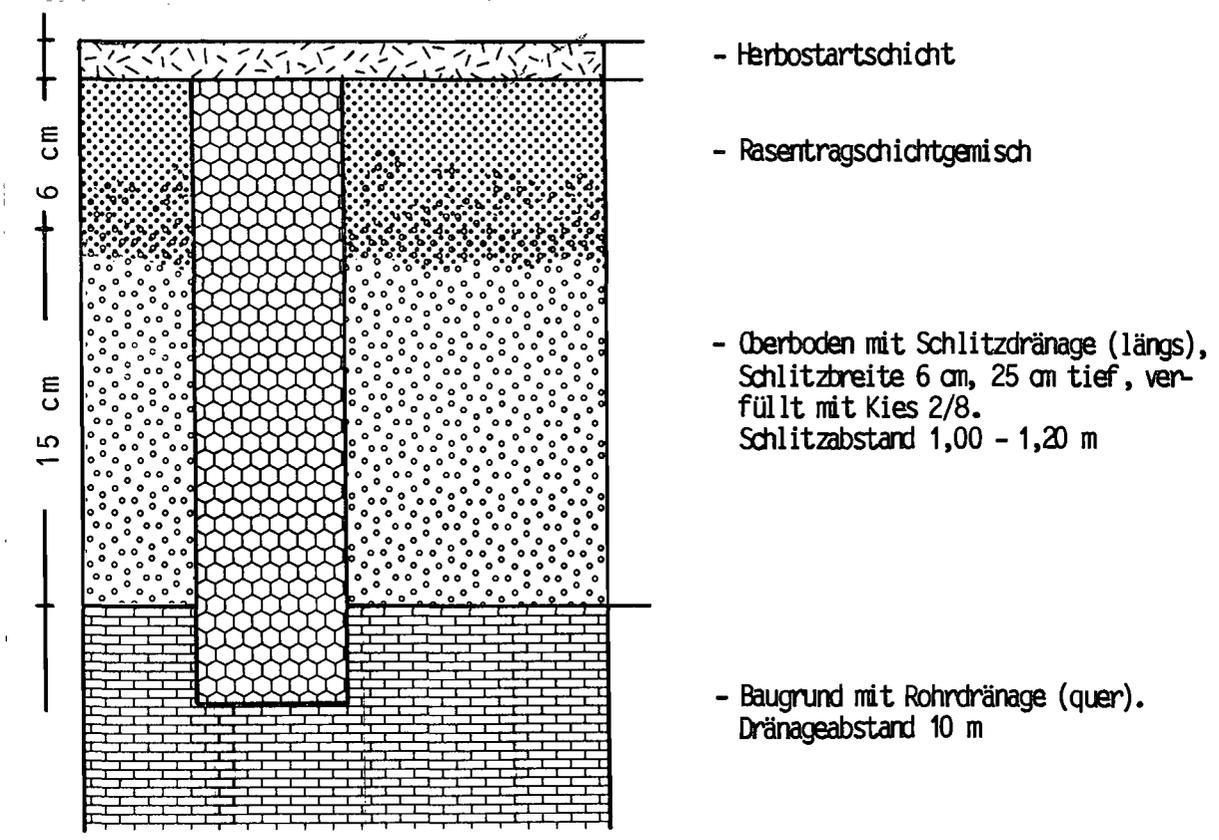


Abbildung 3: Aufbau des Sportplatzes Dornbusch II
(RUNDEL, 1987)

Die Herstellung des Rasentragschichtgemisches erfolgte durch Einmischen von 4 cm Sand 0/2 und 2 cm Lava 0/5 in den Oberboden.

Als Zuschlagstoffe wurden 300 g/m² Rizinusschrot sowie Mineraldünger in die Tragschicht eingebracht.

Die Ansaatmischung der verlegten Fertigrasensoden setzte sich nach BÜCHNER (1987) wie folgt zusammen:

- 30 % *Poa pratensis* Merion
- 25 % *Poa pratensis* Baron
- 27 % *Poa pratensis* Pac
- 10 % *Festuca rubra commutata* Barfalla
- 8 % *Cynosurus cristatus* Credo

- Sportplatz Niedererlenbach (Baujahr 1981)

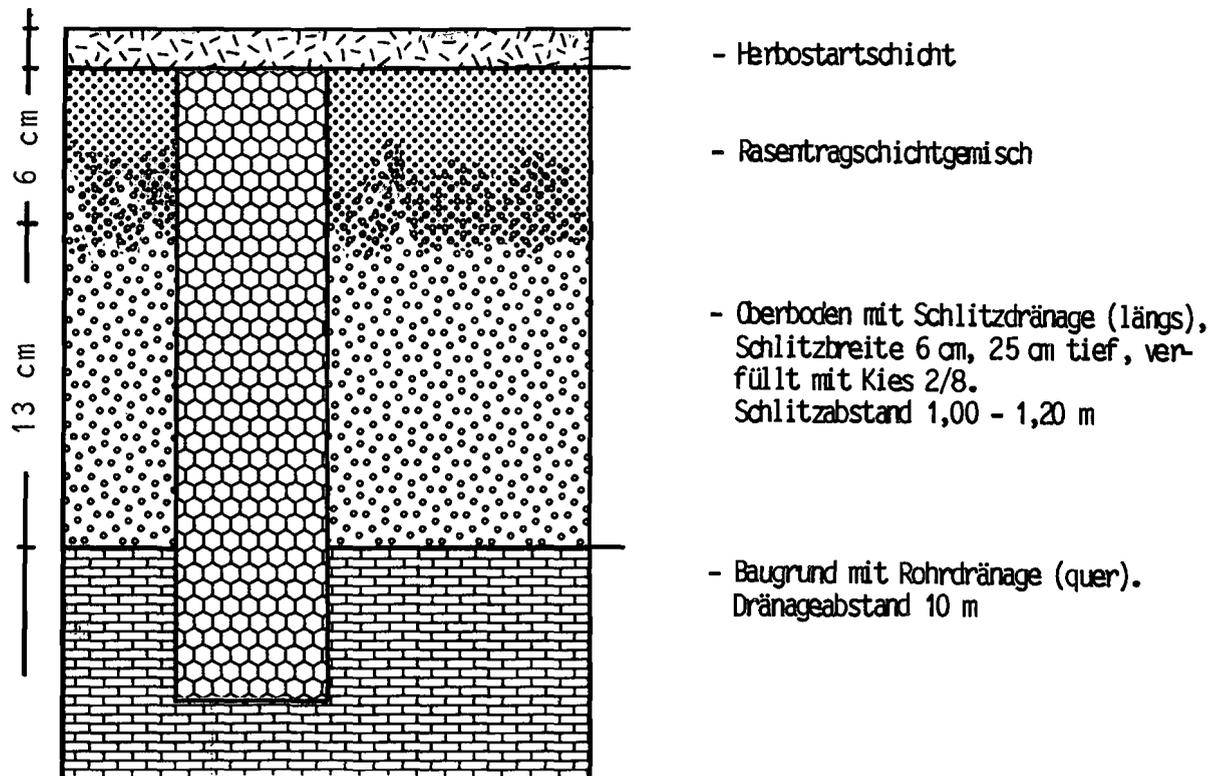


Abbildung 4: Aufbau des Sportplatzes in Niedererlenbach (RUNDEL, 1987)

Die Herstellung des Rasentragschichtgemisches erfolgte durch Einmischen von 4 cm Sand 0/2 und 2 cm Lava 0/5 in den Oberboden.

Als Zuschlagstoffe wurden 300 g/m² Rizinusschrot sowie Mineraldünger in die Tragschicht eingebracht.

Die auf der Fläche verlegten Fertigrasensoden setzten sich aus folgender Ansaatmischung zusammen (BÜCHNER, 1987):

- 22 % Poa pratensis Baron
- 20 % Poa pratensis Fylking
- 20 % Poa pratensis Kimono
- 15 % Poa pratensis Parade
- 15 % Lolium perenne Majestic
- 8 % Festuca rubra rubra Dawson

- Frankfurt, Riederwald (Baujahr 1977)

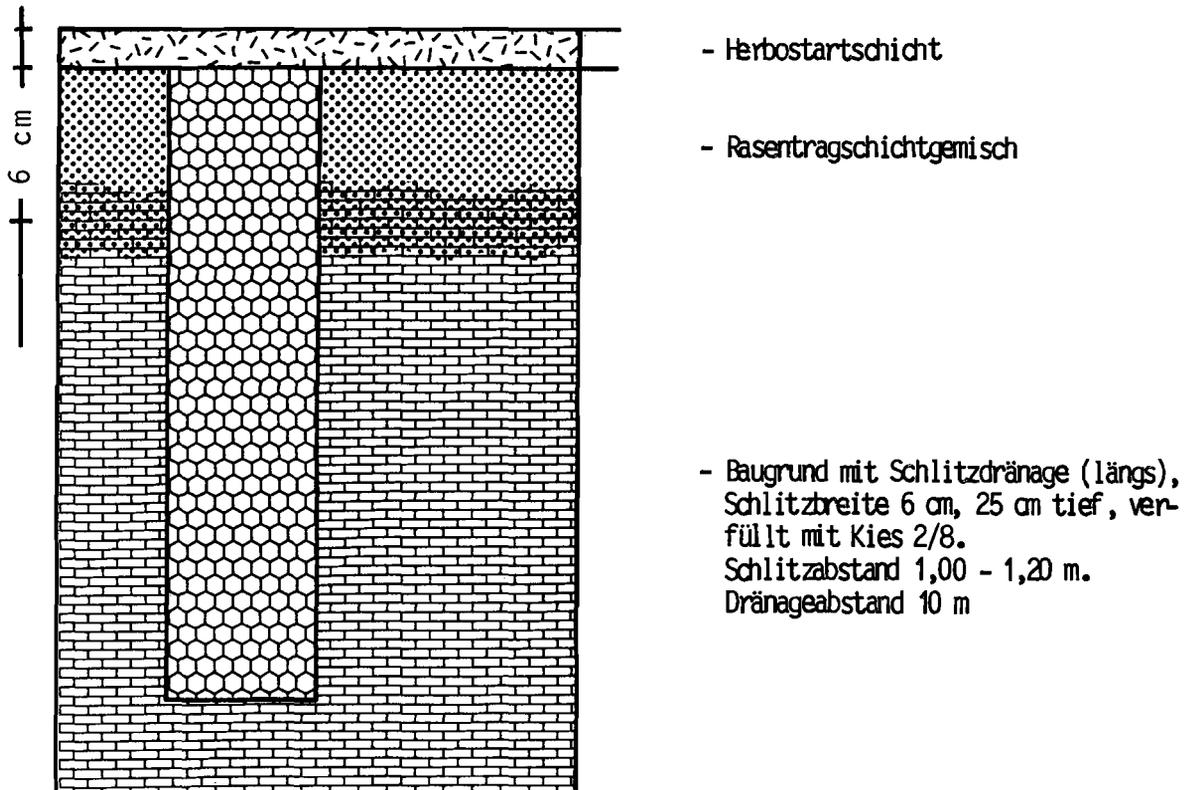


Abbildung 5: Aufbau des Sportplatzes Riederwald
(RUNDEL, 1987)

Die Herstellung des Rasentragschichtgemisches erfolgte durch die Einmischung von 4 cm Sand 0/2 und 2 cm Lava 0/5 in den anstehenden Baugrund.

Als Zuschlagstoffe wurden 300 g/m² Rizinusschrot sowie Mineraldünger in die Tragschicht eingebracht.

Für den Fertigrasen wurde folgende Ansaatmischung verwendet (BÜCHNER, 1987):

- 30 % *Poa pratensis* Merion
- 25 % *Poa pratensis* Baron
- 27 % *Poa pratensis* Pac
- 10 % *Festuca rubra commutata* Barfalla
- 8 % *Cynosurus cristatus* Credo

3.2.2 Intergreen B - Plätze

- Sportplatz Bellersheim (Baujahr 1983)

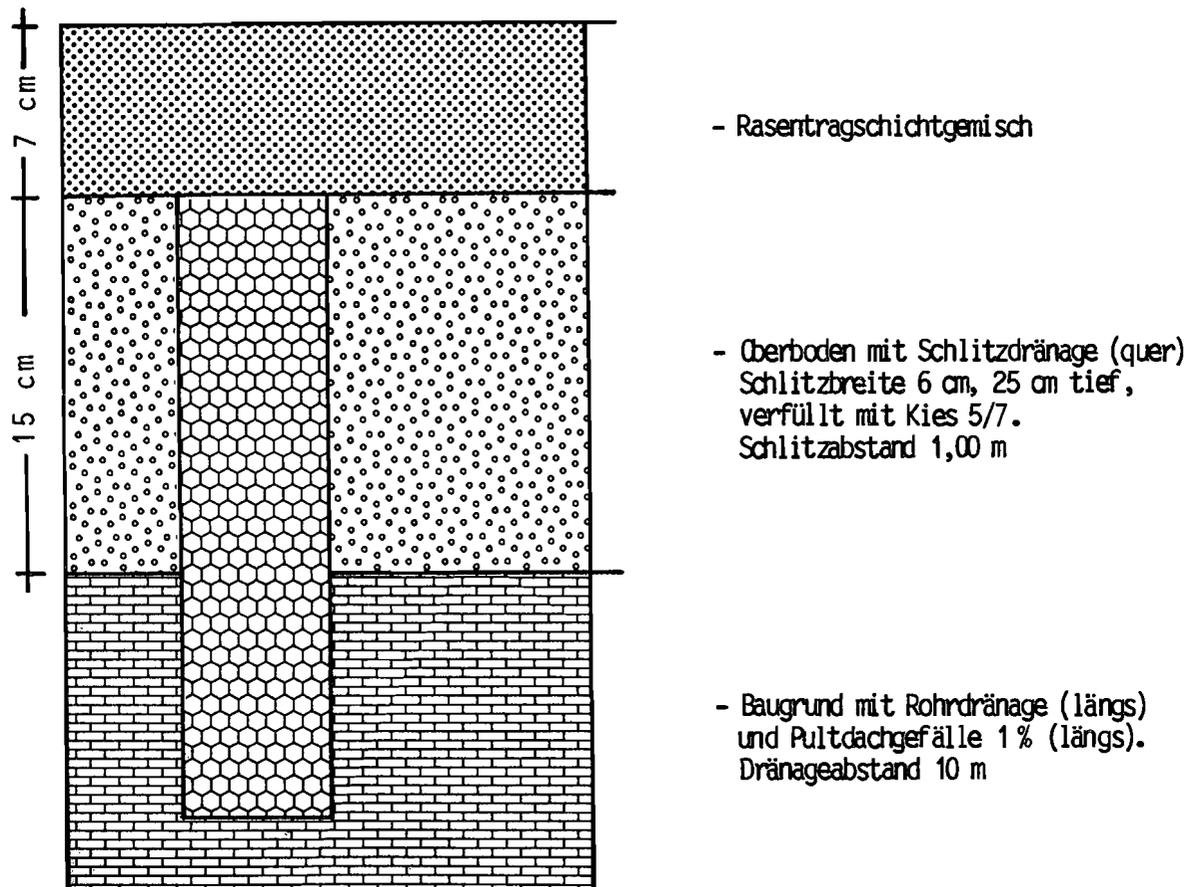


Abbildung 6: Aufbau des Sportplatzes in Bellersheim
(SCHMITT, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 45 Vol.-% Sand 0/2
- 15 Vol.-% Lava 0/3
- 10 Vol.-% Sand 0/1
- 10 Vol.-% Oberboden
- 10 Vol.-% Torf
- 10 Vol.-% Klärschlamm

Ansaatmischung : RSM 5
Ansaatmenge : 20 g/m²
Ansaatzeitpunkt: 25.10.83

Der Pflanzenbestand setzte sich im Frühjahr 1984 aus 40 % *Lolium perenne* und 60 % *Polygonum aviculare* zusammen. Nach der chemischen Bekämpfung von *Polygonum aviculare* stellte sich fast ein Reinbestand aus *Lolium perenne* ein.

- Sportplatz Gedern (Baujahr 1981)

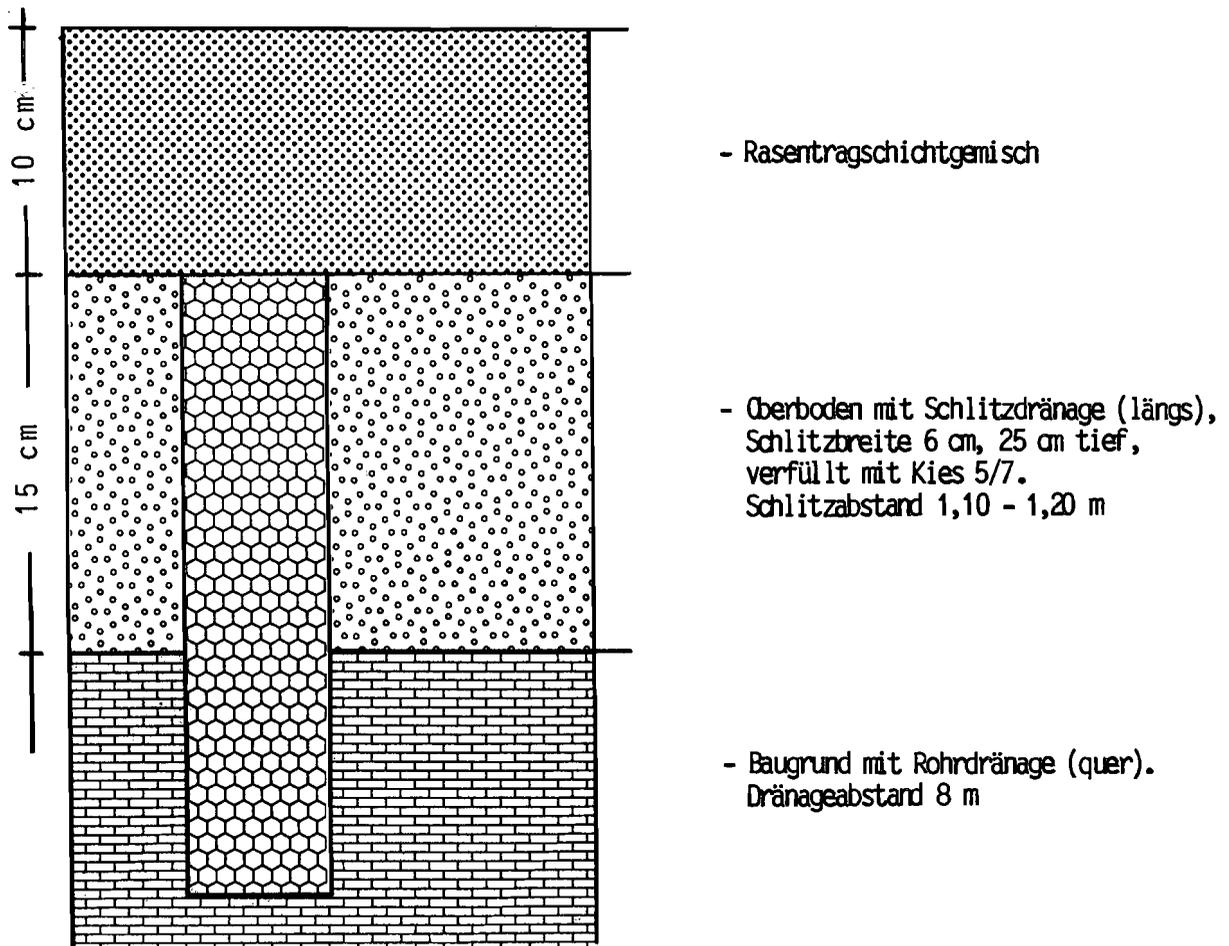


Abbildung 7: Aufbau des Sportplatzes in Gedern (SCHMITT, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 40 Vol.-% Sand 0/2 - 0/4
- 20 Vol.-% Lava 0/3
- 20 Vol.-% Sand 0/1
- 10 Vol.-% Weißtorf
- 10 Vol.-% Klärschlamm
- Zuschlagstoffe: Dünger und Agrosil

Ansaatmischung : RSM 5
Ansaatmenge : 20 g/m²
Ansaatzeitpunkt: August 1981

- Waldsportplatz Grünberg (Baujahr 1982)

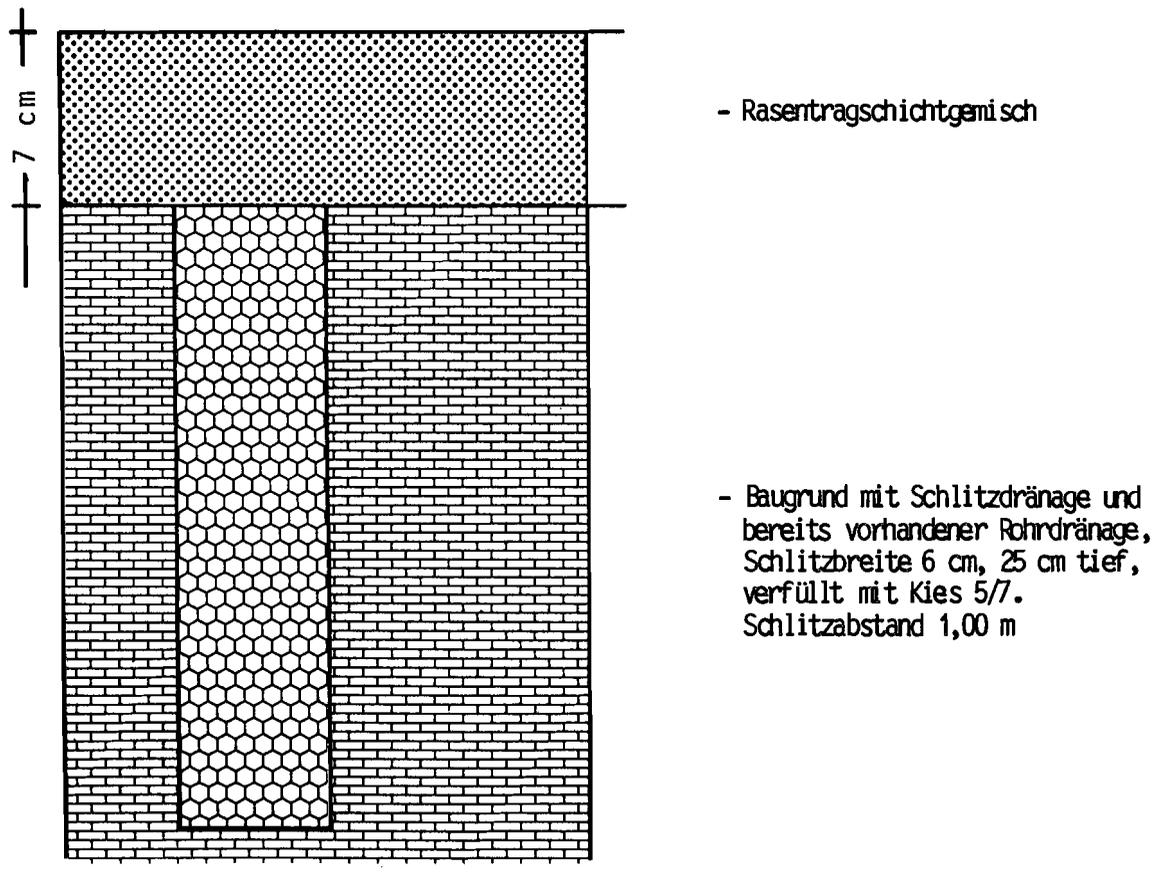


Abbildung 8: Aufbau des Sportplatzes in Grünberg (SCHMITT, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 40 Vol.-% Sand 0/2
- 20 Vol.-% Lava 0/3
- 20 Vol.-% Sand 0/1
- 10 Vol.-% Weißtorf
- 10 Vol.-% Klärschlamm
- Zuschlagstoffe: Dünger und Agrosil

Ansaatmischung : RSM 5
Ansaatmenge : 20 g/m²
Ansaatzeitpunkt: Herbst 1982

- Sportplatz Kirtorf (Baujahr 1980)

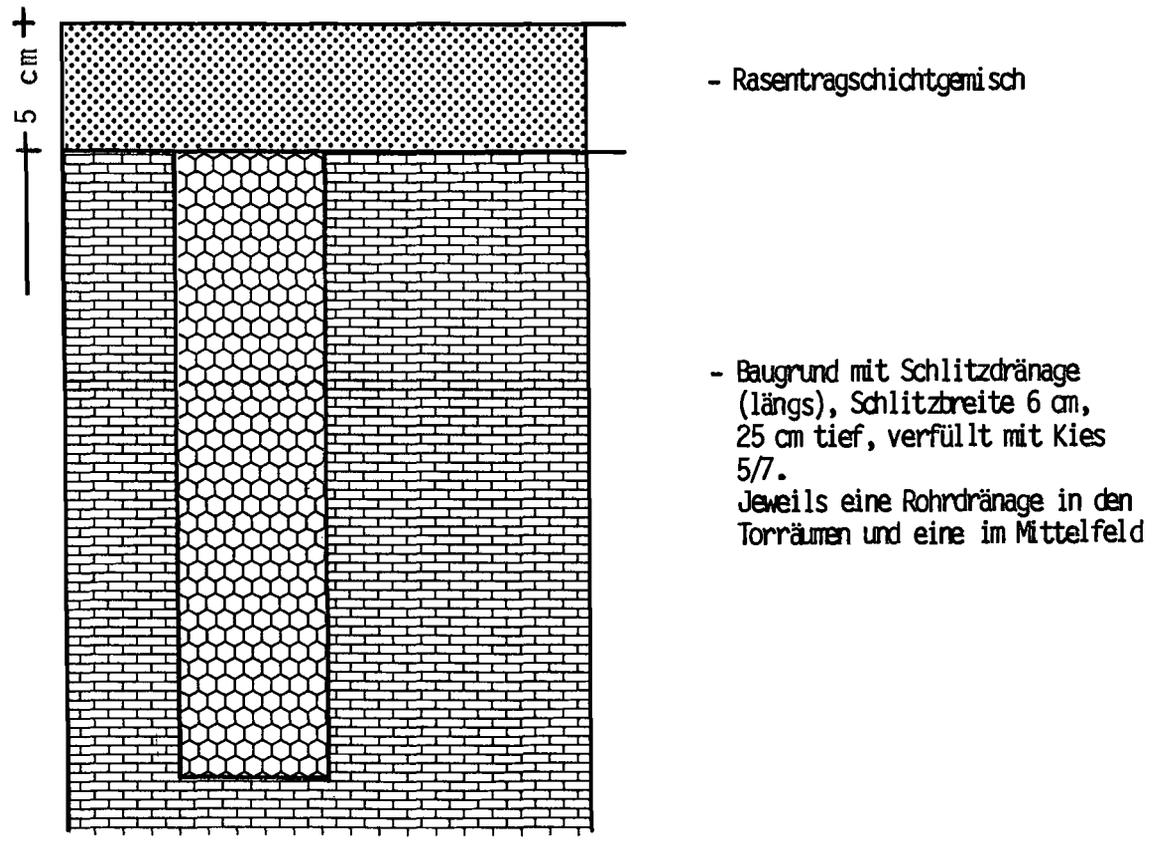


Abbildung 9: Aufbau des Sportplatzes in Kirtorf (SCHMITT, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 40 Vol.-% Lava 0/3
- 20 Vol.-% Sand 0/2
- 20 Vol.-% Sand 0/1
- 20 Vol.-% Torf
- Zuschlagstoffe: Dünger und Agrosil

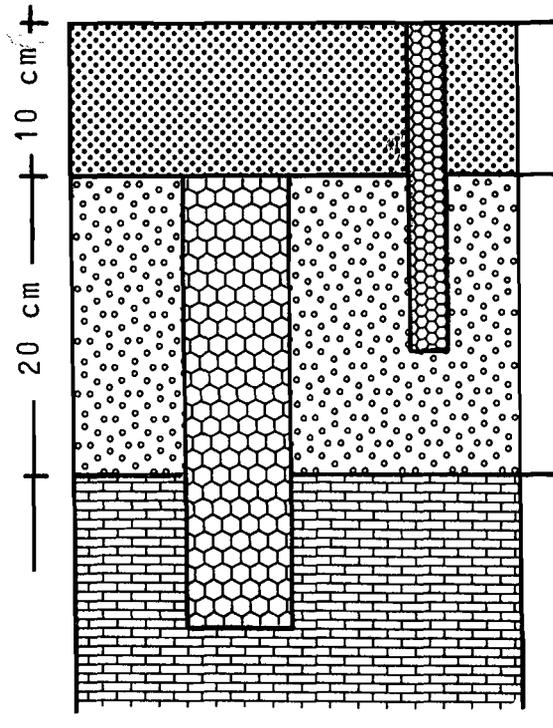
Ansaatmischung: 25 % *Lolium perenne*
25 % *Festuca rubra rubra*
25 % *Festuca rubra commutata*
15 % *Poa pratensis*
10 % *Agrostis tenuis*

Ansaatmenge : 20 g/m²
Ansaatzeitpunkt: Juli 1981

Alle Angaben zu den Intergreen B - Plätzen stammen aus schriftlichen Mitteilungen von GERSMANN (1987) und SCHMITT (1987).

3.2.3 SRS - Plätze

- Sportplatz "Am Schwimmbadgelände" Wiesentheid (Baujahr 1984)



- Rasentragschichtgemisch mit Cambridge-Schlitzen, 2,5 cm breit, 22 cm tief, verfüllt mit Sand 1/4. Schlitzabstand (diagonal verlaufend) 1,00 m

- Oberboden mit Schlitzdrainage (längs), Schlitzbreite 7 cm, 30 cm tief, verfüllt mit Kies 2/8. Schlitzabstand 6,50 m

- Baugrund mit Rohrdrainage (quer). 0,4 % Längsgefälle, 0,8 % Quergefälle

Abbildung 10: Aufbau des Sportplatzes in Wiesentheid (KRISTUF, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 60 Vol.-% Oberboden
- 25 Vol.-% Sand 0/3
- 15 Vol.-% Lava 0/3
- Zuschlagstoffe: Weißtorf, Dünger, Agrosil, Branntkalk

Ansaatmischung: 40 % Lolium perenne, jeweils 10 % Elka,
Loretta, Derby, Manhattan
60 % Poa pratensis, jeweils 20 % Enmundi,
Julia, Enaldo.

Ansaatmenge : 25 g/m²

Ansaatzeitpunkt: 11.9.84

- Sportplatz Remlingen (Baujahr 1984)

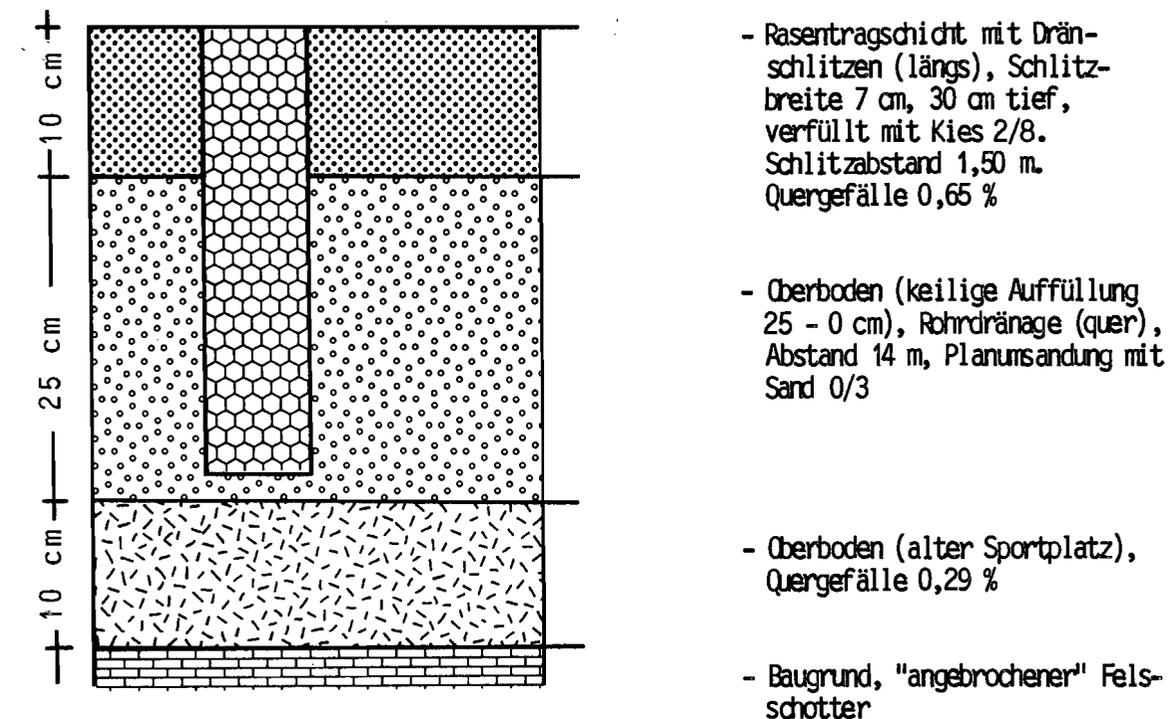


Abbildung 11: Aufbau des Sportplatzes in Remlingen (KRISTUF, 1987)

Zusammensetzung des Rasentragschichtgemisches:

- 55 Vol.-% Sand 0/3
- 20 Vol.-% Oberboden
- 15 Vol.-% Lava 0/3
- 10 Vol.-% Weißtorf
- Zuschlagstoffe: Dünger, Agrosil

Ansaatmischung: 40 % Lolium perenne, jeweils 10 % Elka,
Loretta, Derby, Manhattan,
60 % Poa pratensis, jeweils 20 % Emmundi,
Julia, Enaldo

Ansaatmenge : 25 g/m²
Ansaatzeitpunkt: Juli 1984

Alle Angaben zu den SRS - Plätzen stammen aus einer schriftlichen Mitteilung von KRISTUF (1987).

3.3 Pflege der Rasensportflächen

Die Angaben zur Pflege und Belastung (Abschnitt 3.4) der Rasensportflächen beziehen sich auf die Jahre 1985 und 1986, da die Auswirkungen dieser Maßnahmen und Nutzungsweisen auf den Zustand der Sportfelder im Folgejahr einen großen Einfluß ausüben.

- Schnittzahl und Schnitthöhe

Tabelle 2: Schnittzahl/Jahr und Schnitthöhe der Rasensportplätze (ELZE, 1987; JEZ, 1987; JUNGNITSCH, 1987; PETRY, 1987; RUPPERT, 1987; SCHRODT, 1987; SCHULZ, 1987; STREMPER, 1987; UNGER, 1987)

Platz	Anzahl der Schnitte/Jahr		Schnitthöhe cm
	1 9 8 5	1 9 8 6	
F.-Dornbusch I	22	22	5
F.-Dornbusch II	22	22	5
Niedererlenbach	ca. 30	ca. 30	4
F.-Riederwald	35	35	4
Bellersheim	ca. 26	ca. 26	4
Gedern	ca. 20	ca. 20	5
Grünberg	30	30	4
Kirtorf	20	19	6
Wiesentheid	ca. 45	ca. 45	3
Remlingen	33	36	3

- Düngung

Tabelle 3: Düngermenge
Reinnährstoffe in g/m² (Quelle s. Tab. 2)

Platz	1 9 8 5			1 9 8 6		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
F.-Dornbusch I	12,4	4,6	13,9	17,4	7,1	16,4
F.-Dornbusch II	-	-	-	12,4	4,6	13,9
Niedererlenbach	19,4	2,1	6,2	19,6	1,6	2,5
F.-Riederwald	5,4	4,3	5,4	10,8	8,6	10,8
Bellersheim	17,7	-	-	32,4	0,7	1,6
Gedern	10,0	2,5	4,0	10,0	2,5	4,0
Grünberg	41,5	7,6	12,4	21,4	5,6	9,2
Kirtorf	21,0	18,0	23,5	13,5	10,5	16,0
Wiesentheid	21,7	12,6	17,9	17,5	8,4	11,9
Remlingen	28,8	12,4	20,7	35,7	16,6	27,6

- Zusatzbewässerung

Tabelle 4: Zusatzbewässerung in mm (= l/m²) / Jahr
(Quelle s. Tab. 2)

Platz	1 9 8 5 mm	1 9 8 6 mm
F.-Dornbusch I	K.A. *)	K.A.
F.-Dornbusch II	K.A.	K.A.
Niedererlenbach	K.A.	K.A.
F.-Riederwald	K.A.	K.A.
Bellersheim	123	191
Gedern	ca. 250	ca. 250
Grünberg	K.A.	K.A.
Kirtorf	K.A.	K.A.
Wiesentheid	K.A.	K.A.
Remlingen	80	58

*) K.A. = keine Angaben

Auf den Plätzen, bei denen zur Zusatzbewässerung keine Angaben gemacht werden, waren keine Zahlen über die in den Sommermonaten ausgebrachte Wassermenge zu ermitteln.

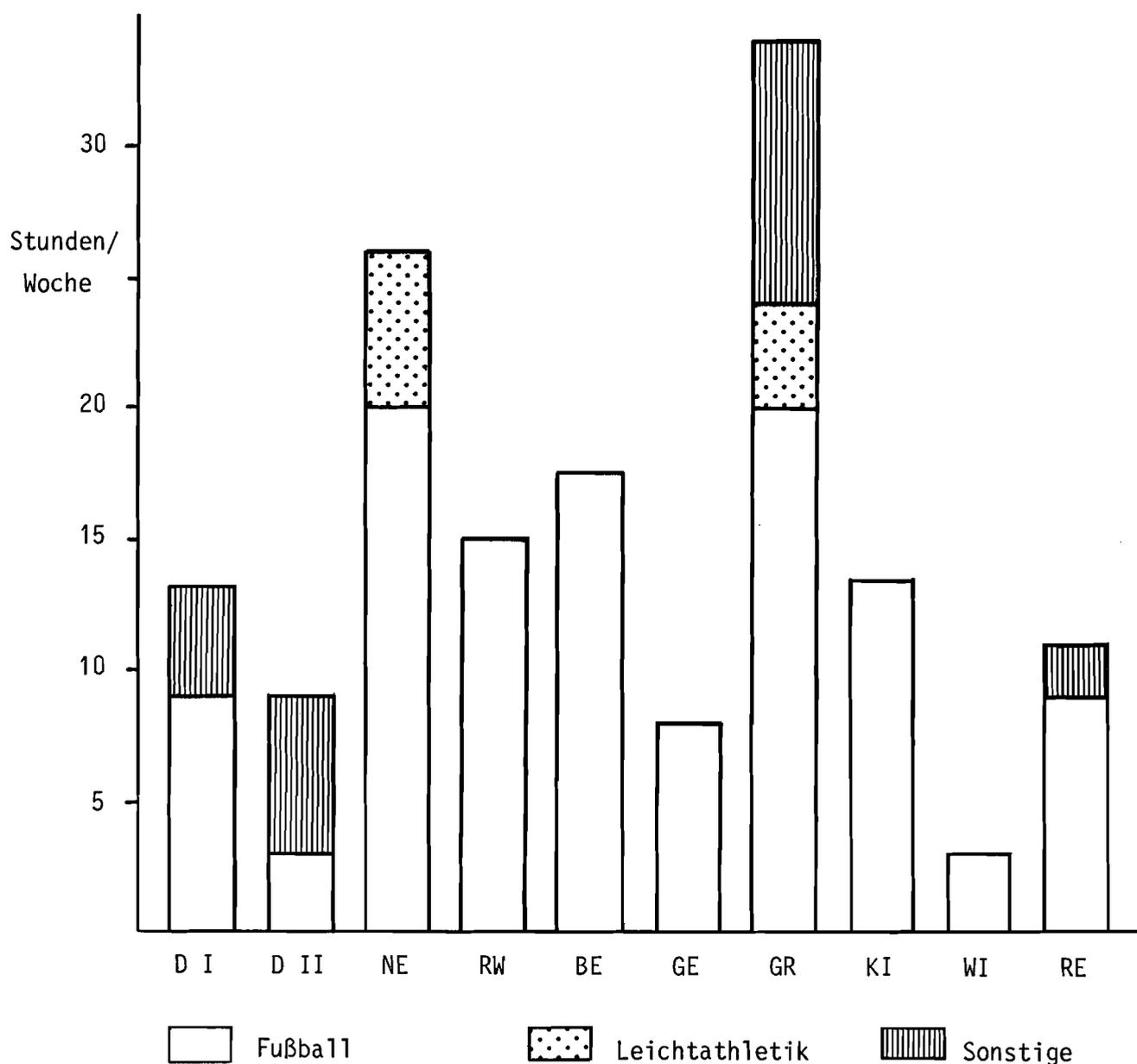
- Sonstige Pflegemaßnahmen

Tabelle 5: Häufigkeit sonstiger Pflegemaßnahmen
(Quelle s. Tab. 2)

Platz	Vertikutieren		Aerifizieren		Besanden		Nachsaat	
	1985	1986	1985	1986	1985	1986	1985	1986
F.-Dornbusch I	1x	1x	1x	2x	-	1x	-	1x
F.-Dornbusch II	1x	1x	1x	2x	-	1x	-	1x
Niedererlenbach	1x	1x	1x	1x	-	-	1x	1x
F.-Riederwald	-	-	1x	-	-	-	-	-
Bellersheim	-	1x	-	1x	-	1x	-	1x
Gedern	-	1x	-	1x	-	1x	-	1x
Grünberg	-	-	1x	1x	1x	1x	-	-
Kirtorf	-	-	1x	-	1x	-	1x	-
Wiesentheid	-	-	-	-	-	-	-	-
Remlingen	-	1x	-	-	-	-	-	-

3.4 Belastung der Sportrasenflächen

Eine Übersicht über die durchschnittliche Belastung der Rasensportplätze in Wochenstunden gibt Abbildung 12.



D I = F.-Dornbusch I BE = Bellersheim WI = Wiesentheid
D II = F.-Dornbusch II GE = Gedern RE = Remlingen
NE = Niedererlenbach GR = Grünberg
RW = Riederwald KI = Kirtorf

Abbildung 12: Durchschnittliche Belastungsintensität in den Jahren 1985 und 1986 (Quelle s. Tab. 2)

3.5 Witterung

Das Jahr 1986 war im Vergleich zum Langjährigen Mittel (LM 1951 - 1980) bei im Norden und Westen sowie gebietsweise im Südosten überdurchschnittlicher, sonst aber unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer zu kalt und überwiegend zu naß (DEUTSCHER WETTERDIENST, 1987 a).

Nach Angaben des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (1987 b) war es von Januar bis Mai 1987, mit Ausnahme des April, ebenfalls zu kalt und zu naß.

Eine Übersicht der Witterungsverläufe wird durch die Klimadiagramme (Abb. 13 - 16) und die absoluten Niederschlagsmengen (Tab. 6) der Untersuchungsstandorte oder der nächstgelegenen Stationen vermittelt.

Eine weitere Charakterisierung der Versuchsorte erfolgt über die Durchschnittstemperaturen (Tab. 7) und die Anzahl der Sommer-, Frost- und Eistage (Tab. 8).

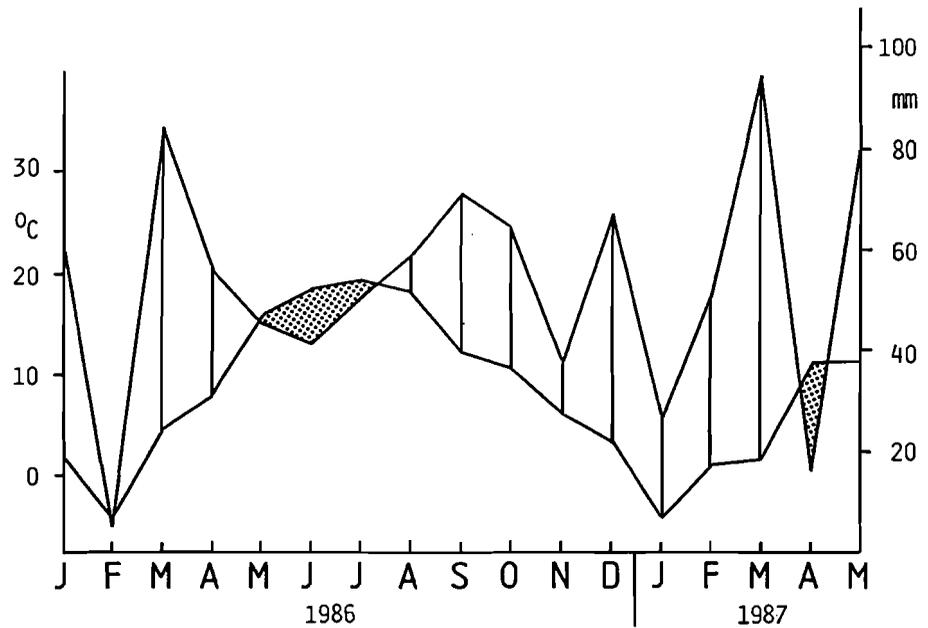


Abbildung 13: Klimadiagramm für die Plätze:
Frankfurt (100 m), Niedererlenbach (130 m)
Meßstation: Frankfurt-Flughafen (112 m)
(nach WALTER, 1957)

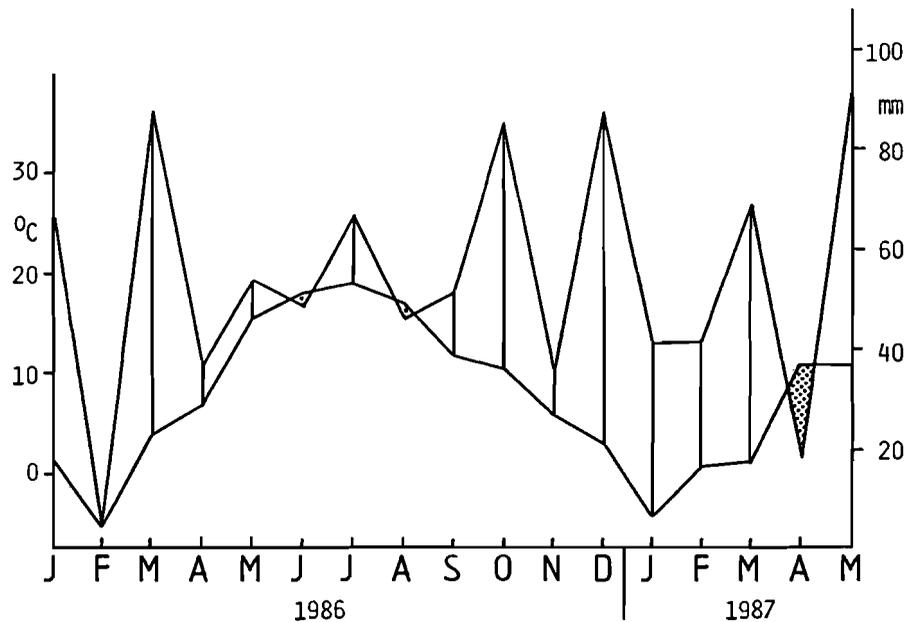


Abbildung 14: Klimadiagramm für die Plätze:
Bellersheim (140 m), Grünberg (255 m),
Kirtorf (257 m)
Meßstation: Gießen-Liebigshöhe (186 m)
(nach WALTER, 1957)

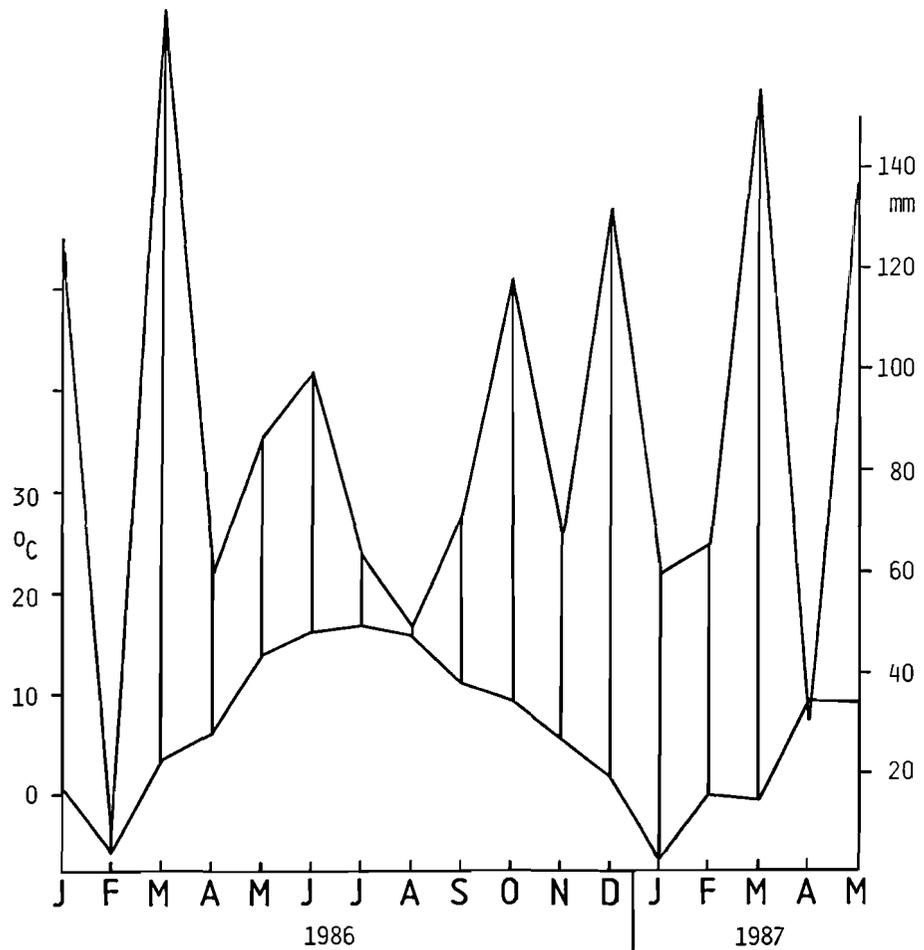


Abbildung 15: Klimadiagramm für den Platz:
Gedern (315 m)
Meßstation: Schotten (315 m)
(nach WALTER, 1957)

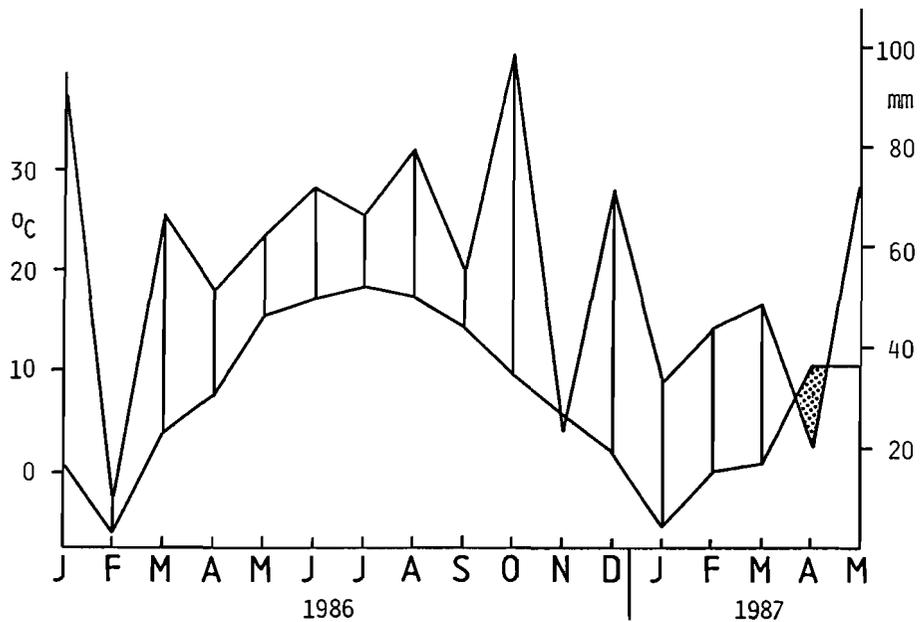


Abbildung 16: Klimadiagramm für die Plätze:
Wiesentheid (252 m), Remlingen (230 m)
Meßstation: Würzburg (268 m)
(nach Walter, 1957)

Tabelle 6: Niederschlagsmengen Januar - Dezember 1986 und Januar - Mai 1987

Station	Jan. - Dez. 1986		Jan. - Mai 1987		Langjähr. Mittel (LM) mm
	mm	% d. LM	mm	% d. LM	
Frankfurt	637	98	265	116	650
Gießen	668	110	261	119	607
Schotten	1023	110	445	138	930
Würzburg	742	124	218	101	598

Tabelle 7: Durchschnittstemperaturen Januar - Dezember 1986 und Januar - Mai 1987

Station	Jan. - Dez. 1986		Jan. - Mai 1987		Langjähr. Mittel (LM) °C
	°C	Abw. v. LM °C	°C	Abw. v. LM °C	
Frankfurt	9,5	0,1	4,3	- 1,7	9,4
Gießen	8,8	- 0,2	3,6	- 2,0	9,0
Schotten	7,9	- 0,5	2,6	- 2,4	8,4
Würzburg	8,7	- 0,3	3,4	- 2,1	9,0

Tabelle 8: Anzahl der Sommer-, Frost- und Eistage Januar bis Dezember 1986 und Januar - Mai 1987

Station	Jan. - Dez. 1986			Jan. - Mai 1987	
	Sommertage	Frosttage	Eistage	Frosttage	Eistage
Frankfurt	50	77	25	69	22
Gießen	48	74	28	66	24
Schotten	29	78	33	70	31
Würzburg	42	81	35	68	29

Sommertag: Tagesmaximum > 25 °C
Frosttag : Tagesminimum < 0 °C
Eistag : Tagesmaximum < 0 °C

3.6 Untersuchungsverfahren

3.6.1 Bodenphysikalische Analysen

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung wurde die kombinierte Sieb- und Sedimentationsmethode angewandt. Es wurde die Pipettmethode nach KÖHN (THUN et al., 1959; HARTGE, 1971) gewählt. Die organische Substanz der Bodenproben wurde durch Zugabe einer 15 %-igen Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2) zerstört, die Dispergierung zur Verhinderung einer Koagulation der Einzelkörner erfolgte durch die Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat ($Na_4P_2O_7$) (DNA, 1973).

Die Erfassung des Porenvolumens, der Porengrößenverteilung und des Trockenraumgewichtes erfolgte mit Hilfe von Stechzylinderproben (100 cm^3) an ungestörtem Boden in sechsfacher Wiederholung.

- Porenvolumen

Bestimmung des Gesamtporenvolumens nach von NITZSCH (1936) durch Addition des gravimetrisch bestimmten Wassergehaltes VW (%) und des Luftgehaltes VL (%) mit dem Pyknometer nach LOEBELL (1953).

- Porengrößenverteilung

Ermittlung der Porengrößenverteilung mit porösen Keramikplatten nach RICHARDS und FIREMAN (1943) und der Druckmembranmethode nach RICHARDS und WEAVER (1944) zur Unterteilung des Porenvolumens in folgende Porengrößenbereiche:

Porengrößenbereich	Porendurchmesser (μm)	Wassersäule (cm)	pF
schnell dränende Groporen	> 50	0 - 60	0 - 1,77
langsam dränende Groporen	50 - 10	60 - 300	1,77 - 2,54
Mittelporen	10 - 0,2	300 - 15.000	2,54 - 4,2
Feinporen	< 0,2	> 15.000	> 4,2

- Trockenraumgewicht

Berechnung des Trockenraumgewichtes durch Wägung der bei 105°C getrockneten Stechzylinderprobe.

- Wasserdurchlässigkeit

Aufgrund der aufbaubedingten Inhomogenität innerhalb mancher Rasentragschichten und der damit verbundenen Streuung bei der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit an Stechzylinderproben im Labor, erfolgte diese in Anlehnung an die Doppelringinfiltrometer-Methode am Objekt (DNA, 1972). Hierzu wurden ein äußerer Zylinder ($\emptyset = 60 \text{ cm}$) und ein innerer Zylinder ($\emptyset = 15 \text{ cm}$) 5 cm tief in die Rasentragschicht eingeschlagen und der Bodenaufbau wassergesättigt. Um Einflüsse durch oberflächennahe Sickerschlitze auszuschließen und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden die Messungen jeweils zwischen zwei Sickerschlitzen vorgenommen.

Die Messung der Wasserdurchlässigkeit erfolgte in vierfacher Wiederholung im inneren Meßzylinder und zwar derart, daß die Zeit für das Absinken des Wasserspiegels von 4,5 cm auf 3,5 cm festgehalten wurde. Während des Meßvorganges wurde der Wasserspiegel im äußeren Zylinder auf gleichem Niveau mit dem des Meßzylinders gehalten.

- Abscherwiderstand

Der Abscherwiderstand wurde nach SCHAFFER (1960) mit einem Flügelbohrer ($h = 100$ mm, $\emptyset = 50$ mm) in sechsfacher Wiederholung gemessen. Die Scherfestigkeit wird in kg/cm^2 angegeben. Die Messung erfolgte im wassergesättigten Aufbau, um allzu große Differenzen im Bodenwassergehalt auszuschließen und tragschichtspezifische Auswirkungen auf den Abscherwiderstand unter extremen Bedingungen (= Wassersättigung) mit zu erfassen.

3.6.2 Bodenchemische Analysen

Zur Ermittlung der bodenchemischen Eigenschaften wurden gestörte Bodenproben aus der jeweiligen Entnahmetiefe der Stechzylinderproben in den Schürfgruben entnommen.

Die Messung des pH-Wertes erfolgte potentiometrisch mit der Glaselektrode in einer 0,01 M CaCl_2 -Lösung.

Die Gehalte an pflanzenverfügbarer Phosphorsäure und pflanzenverfügbarem Kalium wurden photometrisch bzw. flammenphotometrisch nach der CAL-Methode (SCHÜLLER, 1969) bestimmt.

Der Gehalt der Böden an organischer Substanz wurde titrimetrisch nach Aufschluß mit Schwefelsäure und Oxidation durch Kaliumdichromat ermittelt (RAUTERBERG u. KREMKUS, 1951).

Die Analyse des Gesamtstickstoffs im Boden erfolgte nach KJELDAHL (THUN et al., 1959).

3.6.3 Vegetationskundliche Aufnahmen

Bei der Aufnahme der Pflanzenbestände wurden die momentane Gesamtbodenbedeckung sowie die Anteile jeder einzelnen Pflanzenart in Prozent geschätzt (OPITZ v. BOBERFELD, 1972 a). Der Anteil jeder vorkommenden Art wurde in Prozent des Gesamtbedeckungsgrades geschätzt. Als Schätzhilfe wurde ein sogenannter Frequenz-Schätzrahmen von 1 x 1 m Seitenlänge verwendet. Dieser Rahmen ist zusätzlich in 100 gleichgroße Quadrate von je einem Quadratdezimeter (= 1 % der Gesamtfläche) unterteilt.

3.6.4 Wurzeluntersuchungen

Die Bestimmung der Wurzelzahl erfolgte an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 67 mm in vierfacher Wiederholung nach der Bohrkernmethode nach HELLRIEGEL (1883). Die Bodensäulen wurden in den entsprechenden Tiefen gebrochen und die Wurzeln auf beiden Seiten der Bruchstelle gezählt (SCHUURMAN u. KNOT, 1957; SIMON u. EICH, 1956; VETTER u. SCHARAFAT, 1964).

3.7 Biometrische Auswertung

Das Datenmaterial wurde als Blockanlage über eine mehrfaktorielle Varianzanalyse einer fehlerkritischen Prüfung unterzogen. Zuvor wurden die Restfehler auf Normalverteilung geprüft; eine Transformation der Daten war nicht erforderlich.

Für den Test auf Signifikanz der Varianzen und der Differenz der Mittelwerte wurden der F-Test und der t-Test mit folgenden Sicherungsgrenzen benutzt:

F-Test

Sicherungsgrenze 5 % = +

Sicherungsgrenze 1 % = ++

t-Test

GD_{5%} statistisch gesichert

Die Durchführung der statistischen Berechnungen erfolgte mit SAS-Statistikprogrammen auf einer IBM 3081K des Regionalen Hochschulrechenzentrums der Universität Bonn.

4. Ergebnisse

4.1 Bodenphysikalische Werte

4.1.1 Kornverteilungskurven

Im folgenden wird bei den Plätzen "Dornbusch I", Dornbusch II", "Niedererlenbach", "Bellersheim", "Gedern", "Wiesentheid" und "Remlingen" der unterhalb der Rasentragschicht in unterschiedlicher Dicke befindliche Oberboden als Baugrund bezeichnet. Der natürlich anstehende Boden unterhalb dieser Oberbodenschicht stellt zwar den eigentlichen Baugrund dar, jedoch wurde dieser aufgrund seiner Tiefenlage und der damit verbundenen Irrelevanz in bezug auf die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Die Ermittlung der Korngrößenverteilung erfolgte an den Bodenproben vom Frühjahr 1986. Da die Ergebnisse von Strafraum und Mittelfeld fast identisch waren, wird nur eine Körnungslinie als Mittelwert, jeweils für Tragschicht und Baugrund, angegeben (Anhangtabelle 1). Zur besseren Einordnung der Körnungslinien ist der Grenzbereich nach DIN 18035, Blatt 4, mit eingezeichnet (Abb. 17-26).

Die Bedeutung der Korngrößenzusammensetzung liegt in der Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften, insbesondere des Wasser- und Lufthaushaltes eines Bodens (MÜCKENHAUSEN, 1974).

Charakteristisch für fast alle untersuchten Plätze ist der über dem Norm-Grenzwert von 8 M.-% liegende Anteil an abschlämmbaren Teilen ($d \leq 0,02$ mm) in der Rasentragschicht. Ausnahmen hiervon bilden "Gedern" und "Wiesentheid", deren Körnungslinien innerhalb des Normbereiches verlaufen.

Während bei "Riederwald", "Bellersheim", "Kirtorf" und "Remlingen" der Gehalt an Abschlämmbarem zwischen 10 und 15 M.-% schwankt, somit also nur unwesentlich über der Norm-Anforderung liegt, übertreffen die Plätze "Dornbusch I", "Dornbusch II", "Niedererlenbach" und "Grünberg" mit 20 - 26 M.-% den Grenzwert erheblich. Auf allen Plätzen finden sich Gerüstbaustoffe mit einem Durchmesser von mehr als 8 mm, obwohl dieser Korndurchmesser nach DIN 18035, Blatt 4, als Größtkorn definiert ist. Die Massenanteile belaufen sich jedoch auf unter 2 % und sind somit vernachlässigbar, insbesondere da diese Körnungen nicht an der Oberfläche der Rasentragschichten anzutreffen waren. Zur Beurteilung des Verlaufs von Körnungslinien werden in der Bodenmechanik die Ungleichförmigkeitsziffer U und die Krümmungszahl C_c herangezogen, deren Definitionen bereits in der Literaturübersicht gegeben wurden. Hiernach sind die Substrate in "Gedern" und "Wiesentheid" mit $U = 5 - 15$ als ungleichförmig und die der übrigen Plätze mit $U > 15$ als sehr ungleichförmig anzusprechen.

Ferner ist neben der Krümmungszahl und der Ungleichförmigkeitsziffer als Vergleichswert der Korndurchmesser in μm für den Massenanteil von 25 % (D_{25}) in den Abbildungen aufgeführt.

Zur Methodik der Korngrößenanalyse der Rasentragschichtgemische ist zu bemerken, daß aufgrund der intensiven Vorbehandlung der Substrate mit Wasserstoffperoxid und Natriumpyrophosphat eventuell vorhandene größere Oberbodenaggregate bis zum Einzelkorn zerlegt wurden. Besonders bei der Intergreen A-Bauweise wechseln oberboden- und sandreiche Zonen in der Rasentragschicht einander ab; das Ergebnis der Korngrößenanalyse stellt aber einen Mittelwert über diese Zonen dar und ist nur unter Einbeziehung dieser Überlegungen zu werten.

Die Korngrößenverteilungen im Baugrund sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre Anteile an abschlämmbaren Teilen bis auf "Dornbusch II", "Riederwald" und "Wiesentheid" über 40 M.-% betragen. Auf den Plätzen "Dornbusch II" und "Wiesentheid" sind die Körnungslinien des Baugrundes fast deckungsgleich mit denen der Rasentragschichtmischungen. In "Wiesentheid" sind lediglich Differenzierungen im Mittel- und Grobsandbereich festzustellen. Sehr hohe Anteile an Körnern $d \leq 0,02$ mm finden sich auf den Plätzen "Gedern" mit 60 M.-%, "Dornbusch I" mit 57 M.-%, "Niedererlenbach" mit 54 M.-% und "Remlingen" mit 51 M.-%.

Die Gehalte dieses Korngrößenbereichs schwanken in "Kirtorf", "Grünberg" und "Bellersheim" zwischen 40 und 49 M.-% und liegen somit zwischen den beiden bereits beschriebenen Gruppen. Die höchsten Tonanteile ($d < 0,002$ mm) im Baugrund wurden in "Gedern" (26,9 M.-%), "Bellersheim" (26,5 M.-%) und "Remlingen" (24,8 M.-%) ermittelt. Den geringsten Anteil an Ton hat "Wiesentheid" mit 5,2 M.-% aufzuweisen. Alle übrigen Plätze besitzen zwischen 11,4 und 20,9 M.-% Ton.

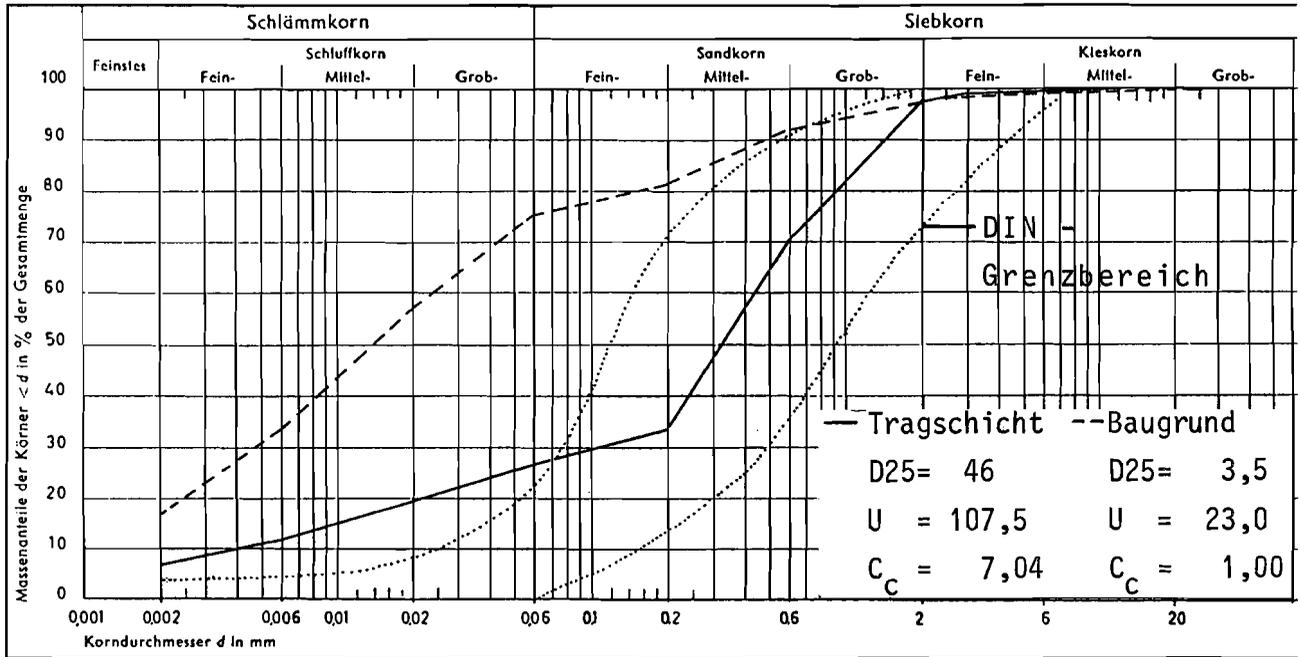


Abbildung 17: Körnungslinien Dornbusch I

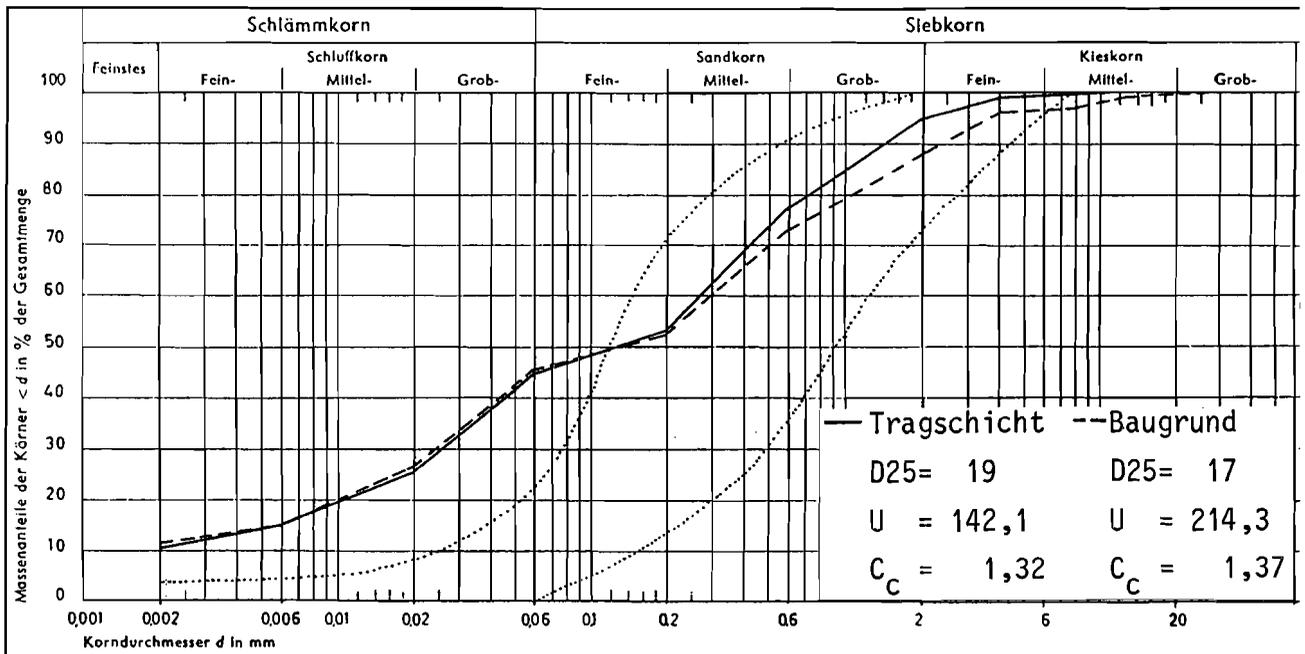


Abbildung 18: Körnungslinien Dornbusch II

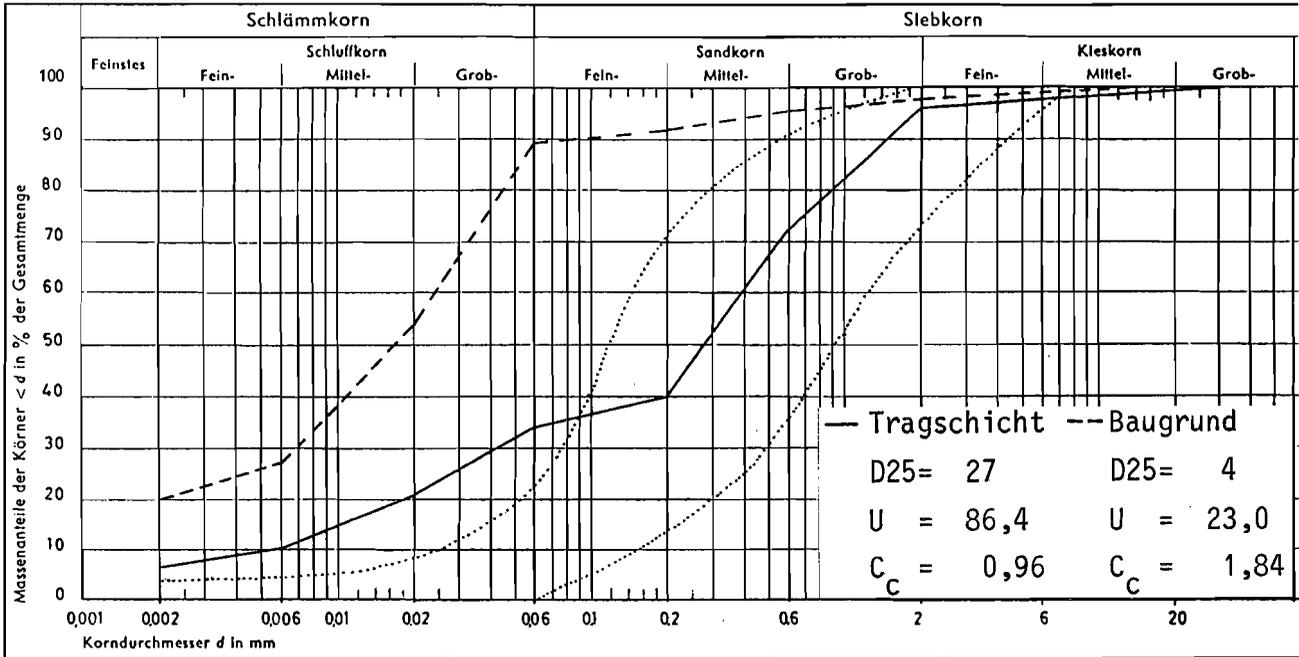


Abbildung 19: Körnungslinien Niedererlenbach

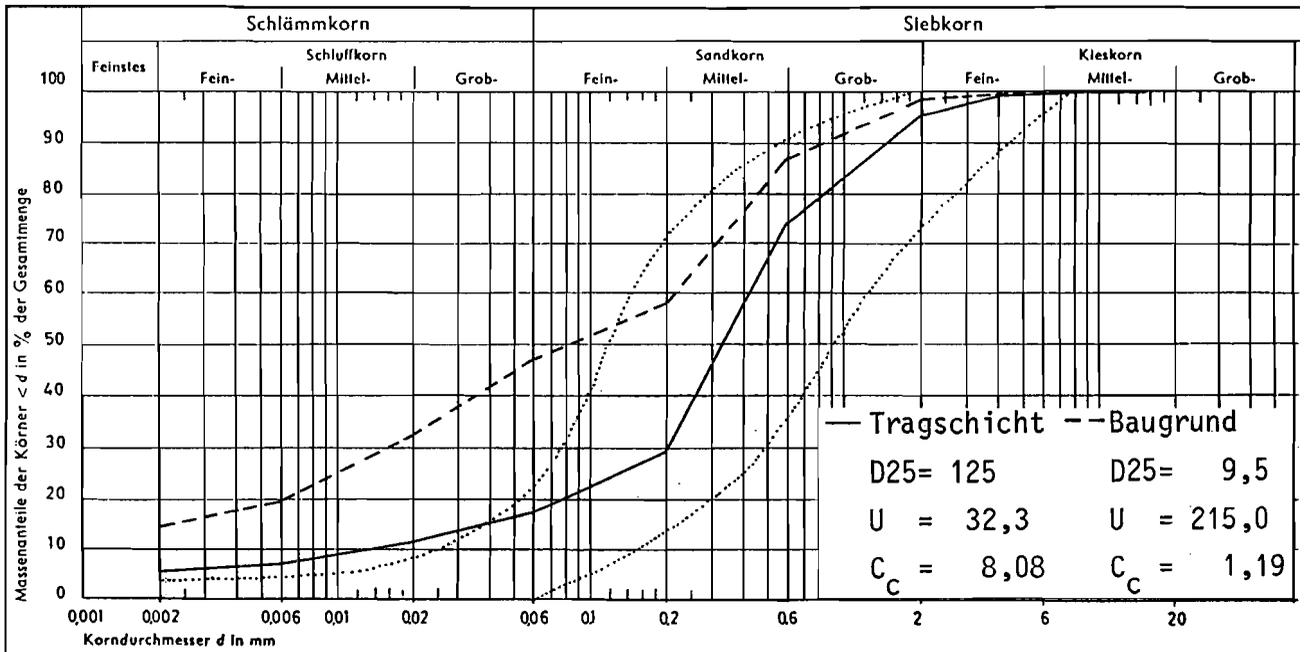


Abbildung 20: Körnungslinien Riederwald

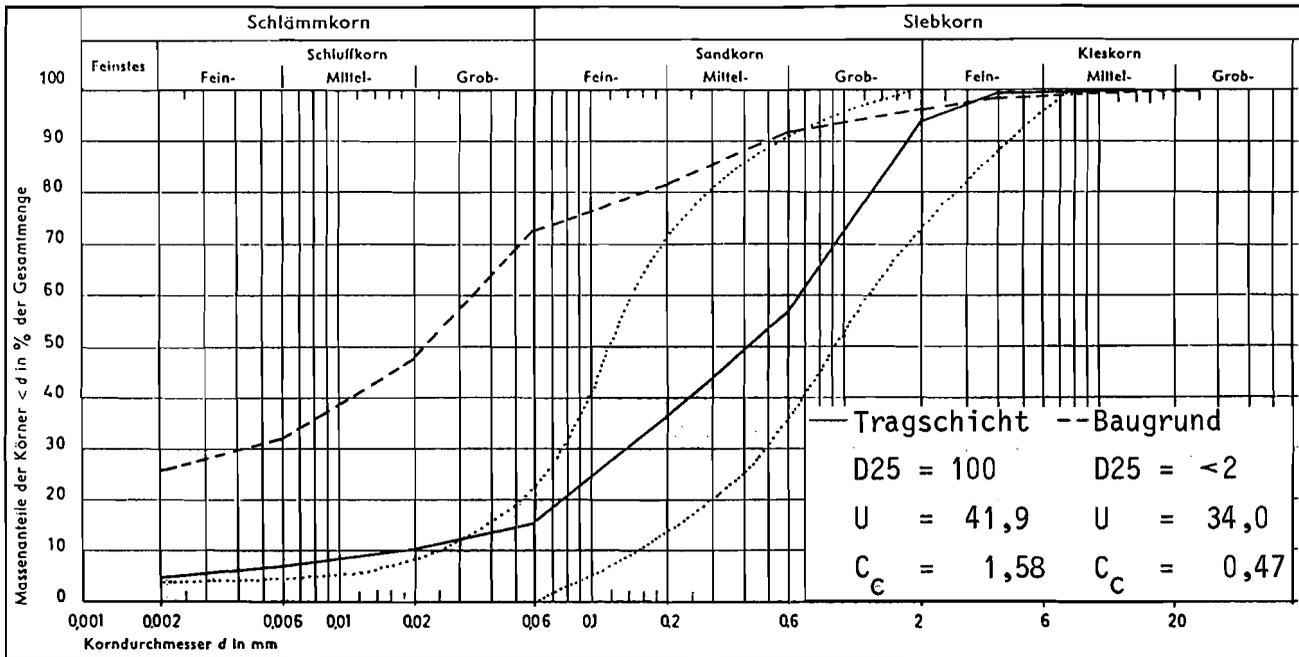


Abbildung 21: Körnungslinien Bellersheim

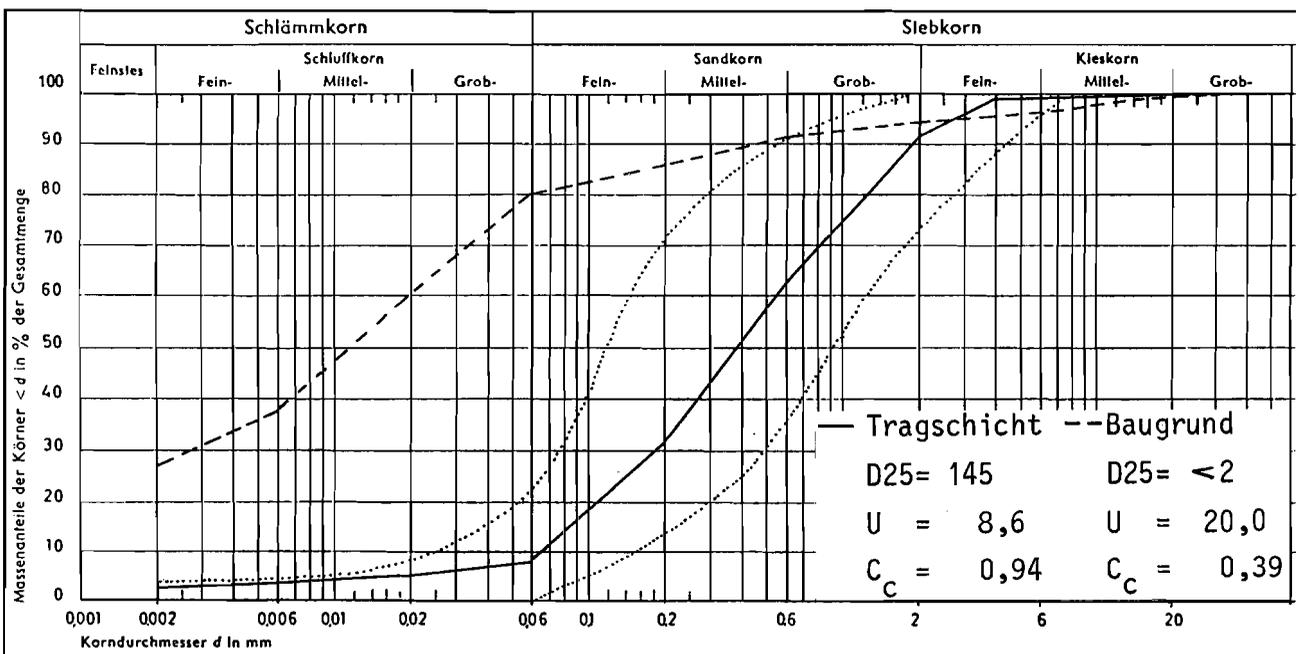


Abbildung 22: Körnungslinien Gedern

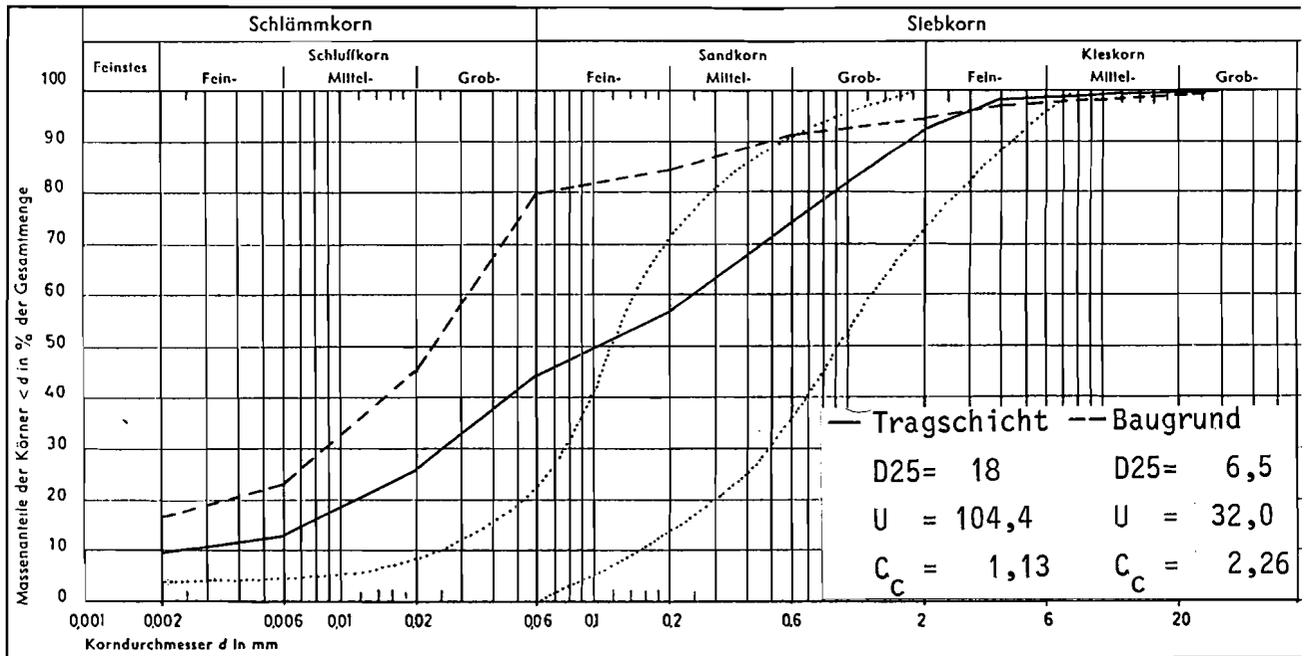


Abbildung 23: Körnungslinien Grünberg

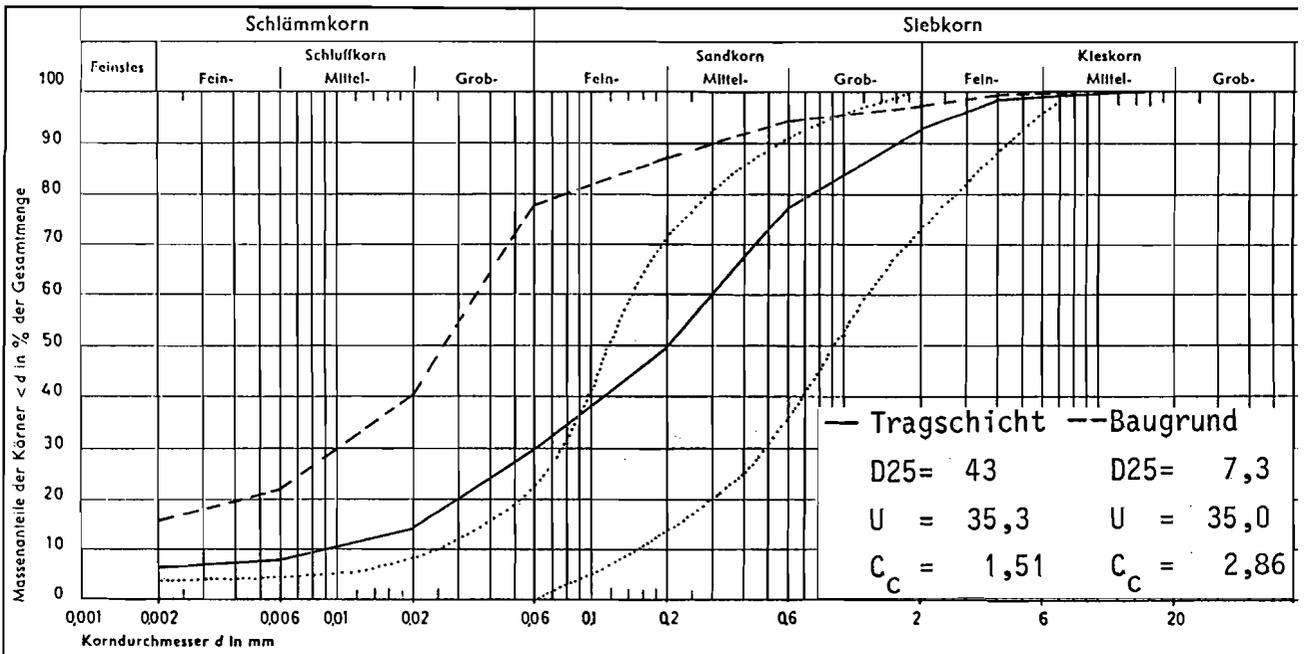


Abbildung 24: Körnungslinien Kirtorf

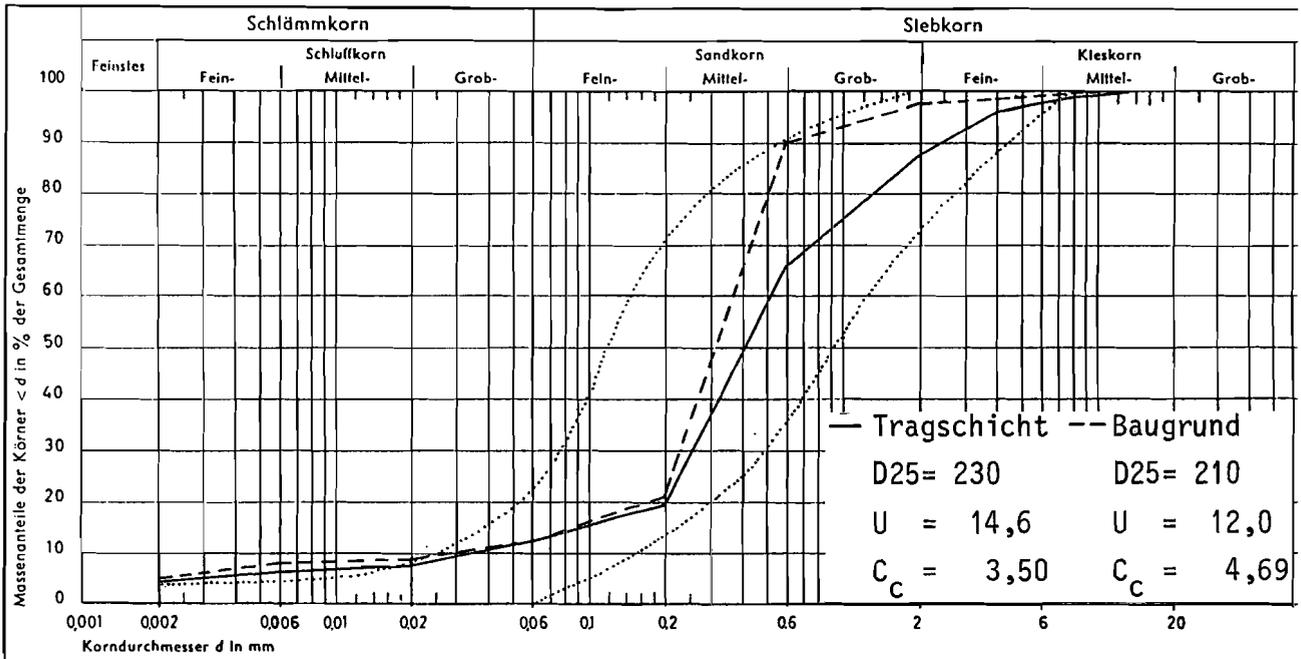


Abbildung 25: Körnungslinien Wiesentheid

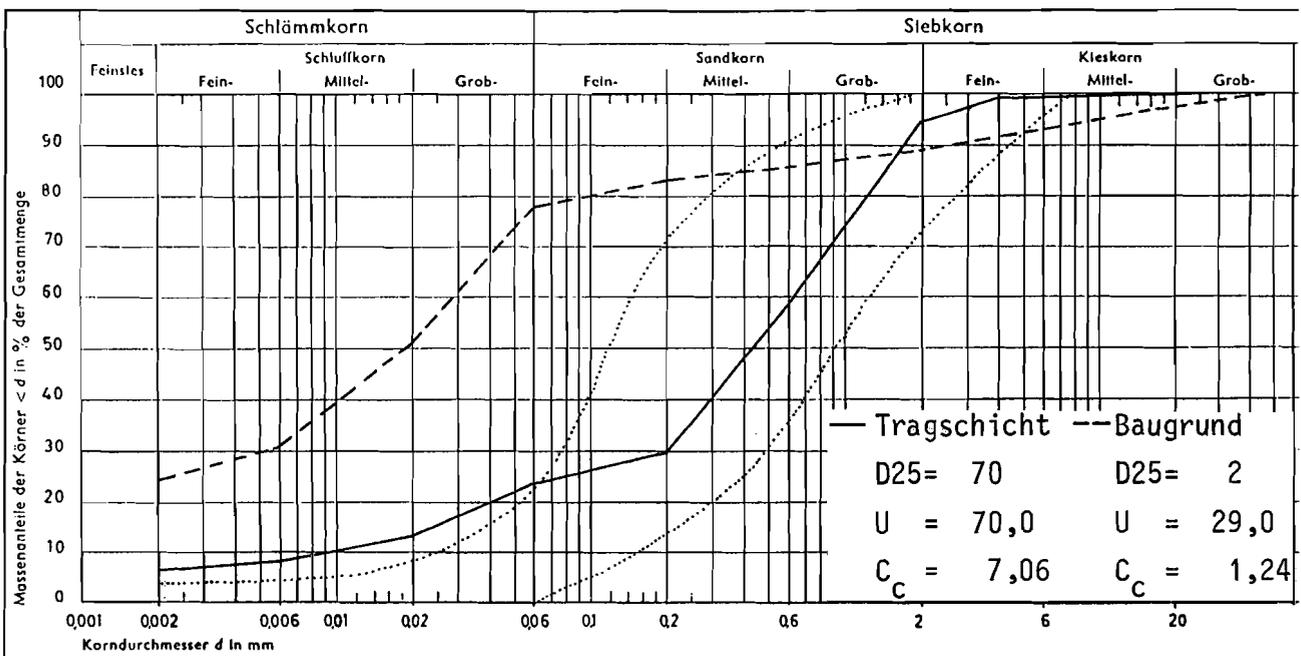


Abbildung 26: Körnungslinien Remlingen

4.1.2 Porenraumgliederung

4.1.2.1 Gesamtporenvolumen

Die Varianztabelle für die bodenphysikalischen Werte der Tragschicht weist vor allem bei den Varianzursachen "Platz", "Termin" und "Platz x Termin" relativ hohe Varianzanteile aus (Anhangtab. 2 und 4). Bei den Varianzursachen "Platz" und "Termin" trifft das auch für die bodenphysikalischen Parameter des Baugrundes zu (Anhangtab. 3).

Die signifikante Interaktion Platz x Belastung beim Porenvolumen der Tragschicht (Anhangtab. 2) läßt erkennen, daß sich die differenzierten Belastungen im Strafraum und Mittelfeld auf den einzelnen Plätzen sehr unterschiedlich ausgewirkt haben. Diese Auswirkungen zeigen sich in einem erhöhten Porenvolumen im Mittelfeld auf den Plätzen "Dornbusch II" und "Riederwald", während auf allen anderen Plätzen keine gesicherten Unterschiede zwischen den Belastungsstufen bestehen (Tab. 9). Das höchste Gesamtporenvolumen bei beiden Belastungsstufen besitzt "Bellersheim".

Die gesicherte Wechselwirkung Platz x Termin weist darauf hin, daß die im Untersuchungszeitraum festgestellten Veränderungen des Porenvolumens nicht auf allen Plätzen gleichsinnig verlaufen sind (Anhangtab. 2, Tab. 9). Beim Vergleich der Untersuchungstermine weisen die Intergreen A-Plätze "Dornbusch I", "Dornbusch II" und "Riederwald" im Herbst 1986 (Termin 2) ein höheres Porenvolumen gegenüber dem Frühjahr 1986 (Termin 1) auf. Zum Frühjahr 1987 hin (Termin 3) ist auf diesen Plätzen dann wieder eine Abnahme der Porenvolumina festzustellen. Tendenziell ist diese Entwicklung auch auf den Intergreen B-Plätzen "Gedern", "Grünberg" und "Kirtorf" erkennbar.

Demgegenüber ist die Dynamik des Gesamtporenvolumens in "Bellersheim" (Intergreen B), "Wiesentheid" (SRS) und "Remlingen" (SRS) dadurch gekennzeichnet, daß im Herbst 1986 (Termin 2) die niedrigsten Werte im Untersuchungszeitraum ermittelt wurden. In "Niedererlenbach" (Intergreen A) ist ein Anstieg des Gesamtporenvolumens von Frühjahr 1986 zu Frühjahr 1987 zu verzeichnen.

Beim Baugrund ist - im Mittel über Plätze und Belastungsstufen - eine Abnahme des Gesamtporenvolumens von Frühjahr 1986 zu Frühjahr 1987 zu verzeichnen (Anhangtab. 3, Tab. 10). Jedoch sollte dem absoluten Wert von 1 Vol.-% keine allzu große Bedeutung zugemessen werden.

Die signifikante Wechselwirkung Platz x Belastung liegt auch darin begründet, daß der Baugrund bei "Dornbusch II" im Mittelfeld ein höheres Gesamtporenvolumen aufweist als im Strafraum, während sich in "Bellersheim" im Strafraum ein signifikant höheres Porenvolumen nachweisen läßt. Insgesamt bestehen zwischen den Plätzen zum Teil beträchtliche Unterschiede, und zwar sowohl im Strafraum als auch im Mittelfeld, wobei in "Bellersheim" und "Gedern" die höchsten und in "Wiesentheid" die niedrigsten Werte anzutreffen sind.

Tabelle 9: Gesamtporenvolumen (Vol.-%) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	40,8	40,4	39,8	42,2	39,9	40,6
F.-Dornbusch II	40,0	42,7	39,1	43,7	41,3	41,3
Niedererlenbach	41,9	41,0	39,8	41,9	42,7	41,4
F.-Riederwald	38,4	42,4	37,2	43,1	40,9	40,4
Bellersheim	47,4	47,7	48,7	46,3	47,5	47,5
Gedern	45,1	44,1	44,0	45,4	44,3	44,6
Grünberg	43,8	43,8	43,5	44,4	43,5	43,8
Kirtorf	41,9	41,3	40,5	42,9	41,5	41,6
Wiesentheid	40,8	40,3	40,9	40,1	40,6	40,5
Remlingen	38,4	39,2	39,3	37,0	40,1	38,8
\bar{x}	41,8	42,3	41,3	42,7	42,2	42,1

GD_{5%} Platz x Belastung 1,98

GD_{5%} Platz x Termin 2,43

F 86 = Frühjahr 1986

H 86 = Herbst 1986

F 87 = Frühjahr 1987

Tabelle 10: Gesamtporenvolumen (Vol.-%) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	39,1	38,8	38,6	39,0	39,3	39,0
F.-Dornbusch II	37,1	40,2	39,5	39,4	37,1	38,6
Niedererlenbach	39,2	39,1	38,9	39,8	38,7	39,1
F.-Riederwald	35,4	35,1	35,2	35,9	34,6	35,3
Bellersheim	47,6	44,7	48,6	44,1	45,8	46,2
Gedern	47,2	45,1	48,9	44,8	44,7	46,1
Grünberg	39,9	40,6	41,0	40,0	39,8	40,2
Kirtorf	36,1	37,1	37,3	36,2	36,3	36,6
Wiesentheid	35,7	35,4	35,9	34,6	36,2	35,6
Remlingen	36,8	35,2	35,4	36,4	36,2	36,0
\bar{x}	39,4	39,1	39,9	39,0	38,9	39,3

GD_{5%} Termin 0,87

GD_{5%} Platz x Belastung 2,24

4.1.2.2 Schnell dränende Grobporen (> 50 µm)

Für die schnell dränenden Grobporen in den Tragschichtsubstraten ergibt sich eine gesicherte Wechselwirkung Platz x Termin (Anhangtab. 2). Dies bedeutet, daß sich die Plätze zu den Untersuchungsterminen unterschiedlich verhalten. Während bei "Dornbusch I" beim Herbsttermin 1986 gegenüber beiden Frühjahrsterminen signifikant höhere Anteile an Poren > 50 µm festgestellt werden, sind diese bei "Dornbusch II" im Frühjahr 1986 niedriger als zu den beiden anderen Terminen (Tab. 11). Auf den Plätzen "Niedererlenbach", "Riederwald" und "Wiesentheid" sind gesichert höhere Werte im Frühjahr 1987 gegenüber den beiden anderen Terminen erkennbar, wobei sich diese Aussage in "Remlingen" auf das Frühjahr 1987 und den Herbst 1986 beschränkt. Die Intergreen B-Plätze lassen solche Differenzierungen über die Untersuchungstermine nicht erkennen. Die schon beim ersten Termin vorliegenden Differenzierungen zwischen den Plätzen bleiben größtenteils über den Untersuchungszeitraum bestehen.

Die gleiche Interaktion Platz x Termin trifft auch für diesen Porengrößenbereich des Baugrundes zu (Anhangtab. 3).

"Wiesentheid" weist gegenüber den anderen Plätzen an allen drei Terminen den höchsten Anteil an Poren > 50 µm auf (Tab. 12), wobei diese Feststellung in den signifikant höheren Ausgangswerten dieses Baugrundes begründet liegt. Interessant ist die Entwicklung in "Niedererlenbach". Hier ist vom Frühjahr zum Herbst 1986 ein Anstieg der schnell dränenden Grobporen um 6,6 Vol.-% zu verzeichnen. Alle übrigen Plätze zeigen keine nennenswerten Schwankungen zwischen den Terminen und unterscheiden sich bis auf die genannten Ausnahmen nur geringfügig voneinander. Als homogene Gruppe sind in diesem Zusammenhang die Intergreen B-Plätze "Bellersheim", "Gedern", "Grünberg" und "Kirtorf" herauszustellen. "Dornbusch I", "Riederwald" und "Remlingen" können aufgrund der Größenordnung und Schwankungsbreite ebenfalls dieser Gruppe zugeordnet werden.

Tabelle 11: Poren >50 µm (Vol.-%) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	21,9	20,0	19,4	23,9	19,6	21,0
F.-Dornbusch II	11,1	13,1	8,9	14,5	12,9	12,1
Niedererlenbach	18,9	18,8	17,7	16,8	22,1	18,9
F.-Riederwald	14,8	14,8	12,8	13,5	18,0	14,8
Bellersheim	23,1	26,9	26,2	24,3	24,5	25,0
Gedern	21,0	19,8	20,8	19,2	21,2	20,4
Grünberg	20,1	18,8	17,7	20,1	20,6	19,5
Kirtorf	19,5	18,2	17,2	19,6	19,8	18,8
Wiesentheid	20,9	21,8	20,4	18,7	24,9	21,3
Remlingen	20,5	21,8	21,3	18,4	23,8	21,2
\bar{x}	19,2	19,4	18,2	18,9	20,7	19,3

GD_{5%} Platz x Termin 3,88

Tabelle 12: Poren >50 µm (Vol.-%) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	5,1	6,2	4,7	5,5	6,7	5,7
F.-Dornbusch II	10,1	12,9	11,7	12,3	10,5	11,5
Niedererlenbach	6,4	6,1	2,2	9,8	6,8	6,2
F.-Riederwald	4,0	4,5	3,4	4,5	4,9	4,3
Bellersheim	5,5	5,3	6,2	4,7	5,4	5,4
Gedern	5,8	4,2	4,5	5,1	5,5	5,0
Grünberg	3,7	2,6	3,7	2,8	3,0	3,2
Kirtorf	3,5	3,9	3,4	3,8	3,9	3,7
Wiesentheid	17,8	17,8	15,7	15,9	21,8	17,8
Remlingen	5,3	3,4	3,5	4,2	5,4	4,4
\bar{x}	6,7	6,7	5,9	6,9	7,4	6,7

$GD_{5\%}$ Platz x Termin 2,64

4.1.2.3 Langsam dränende Grobporen (10 - 50 µm)

Für die langsam dränenden Grobporen in den Rasentragschichten ergibt sich aus der Varianztabelle (Anhangtab. 2) eine gesicherte Wechselwirkung Platz x Belastung x Termin. Folglich haben sich die Anteile der langsam dränenden Grobporen in den verschiedenen Belastungszonen der einzelnen Plätze im Untersuchungszeitraum unterschiedlich verändert. Signifikante Unterschiede zwischen den Belastungsstufen bestehen nur auf den Plätzen "Bellersheim" im Herbst 1986, "Gedern" im Frühjahr 1987 und "Wiesentheid" im Frühjahr und Herbst 1986 (Tab. 13).

Bei Betrachtung der einzelnen Termine sind Differenzen im Porenanteil 10 - 50 µm bei "Riederwald", "Bellersheim" und "Gedern" nachzuweisen. Auffallend sind in "Wiesentheid" die hohen Werte zum Herbst 1986 im Strafraum und zum Frühjahr 1986 im Mittelfeld. Zwischen den Plätzen ist keine eindeutige Gruppierung zu erkennen.

Beim Baugrund ergeben sich gesicherte Wechselwirkungen der Faktoren Platz x Belastung und Platz x Termin (Anhangtab. 3). Neben den Unterschieden zwischen den Plätzen bestehen auch Differenzierungen zwischen den Belastungsstufen. So ist der Anteil an langsam dränenden Grobporen in "Bellersheim" und "Gedern" im Strafraum höher und in "Wiesentheid" niedriger als im Mittelfeld (Tab. 14).

Eine Verringerung dieses Porenanteils ist, gemittelt über die Belastungszonen, bei "Dornbusch II" und "Wiesentheid" von Frühjahr 1986 zu Frühjahr 1987 zu vermerken, während bei "Dornbusch I" diese Verringerung schon im Herbst 1986 festgestellt wurde. Als relativ unanfällig gegenüber Veränderungen im Untersuchungszeitraum stellen sich die Intergreen B-Plätze heraus.

Tabelle 13: Poren 10-50 µm (Vol.-%) der Tragschicht

Platz	Belastung	F 86	H 86	F 87
F.-Dornbusch I	S	4,3	2,6	2,8
	M	2,7	3,3	3,0
F.-Dornbusch II	S	5,2	4,2	3,5
	M	5,6	4,7	3,4
Niedererlenbach	S	3,6	5,3	4,0
	M	4,8	4,8	3,7
F.-Riederwald	S	5,8	7,1	6,9
	M	5,7	8,6	4,4
Bellersheim	S	6,7	7,7	4,3
	M	8,6	4,7	5,6
Gedern	S	8,0	7,5	10,5
	M	8,1	9,0	7,8
Grünberg	S	4,6	5,4	5,9
	M	4,4	7,1	5,3
Kirtorf	S	6,9	7,7	6,0
	M	5,1	5,9	6,6
Wiesentheid	S	3,9	7,4	3,0
	M	7,3	4,1	2,5
Remlingen	S	2,8	4,4	4,9
	M	3,0	4,6	4,2

GD_{5%} Platz x Belastung x Termin 2,51

Tabelle 14: Poren 10-50 µm (Vol.-%) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	3,0	2,3	4,4	1,9	1,7	2,7
F.-Dornbusch II	4,8	4,5	5,4	5,6	3,1	4,7
Niedererlenbach	2,8	3,5	3,1	3,7	2,5	3,1
F.-Riederwald	3,2	3,2	3,4	3,6	2,7	3,2
Bellersheim	3,9	2,5	3,3	2,9	3,3	3,2
Gedern	2,9	1,6	2,0	2,2	2,5	2,2
Grünberg	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	1,9
Kirtorf	1,9	2,1	2,0	1,9	2,2	2,0
Wiesentheid	4,6	5,9	6,7	5,5	3,5	5,3
Remlingen	1,4	1,5	1,2	1,8	1,4	1,5
\bar{x}	3,0	2,9	3,3	3,1	2,5	3,0

GD_{5%} Platz x Belastung 0,99

GD_{5%} Platz x Termin 1,21

4.1.2.4 Mittelporen (0,2 - 10 μm)

Das in den Mittelporen gespeicherte Wasser wird als pflanzenverfügbares Wasser bezeichnet (MÜCKENHAUSEN, 1974; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979).

Die Anhangtabelle 2 weist für die Mittelporen der Rasentragsschicht eine signifikante Wechselwirkung Platz x Termin aus. Dieser Sachverhalt zeigt sich in den zum Teil gegenläufigen Entwicklungen einiger Plätze während des Untersuchungszeitraumes. In "Grünberg" (Intergreen B) und "Remlingen" (SRS) enthalten die Tragschichten im Frühjahr 1987 gesichert weniger pflanzenverfügbares Wasser als im Frühjahr 1986 (Tab. 15). Die Umkehrung dieser Aussage trifft für "Bellersheim" (Intergreen B) zu. Eine Abnahme der Mittelporen vom Herbst 1986 zum Frühjahr 1987 ist bei den Intergreen A-Plätzen "Niedererlenbach" und "Riederwald" sowie in "Gedern" (Intergreen B) zu beobachten. Die absolut höchsten Mittelporenanteile besitzt "Dornbusch II", die gegenüber "Dornbusch I", "Bellersheim", "Kirtorf", "Wiesentheid" und "Remlingen" zu allen Terminen gesichert sind.

Bei den Mittelporen im Baugrund zeigt sich ein etwas anderes Bild. Als Varianzursachen sind hier vor allem die Faktoren Platz und Termin zu nennen (Anhangtab. 3). Die gesichert höchsten Gehalte an pflanzenverfügbarem Wasser besitzen die Plätze "Grünberg" und "Kirtorf" (Tab. 16). Den niedrigsten Wert mit nur 9,0 Vol.-% nimmt "Wiesentheid" ein. Der Einfluß des Probenahmetermins zeigt sich darin, daß im Herbst 1986 und Frühjahr 1987 niedrigere Mittelporenanteile als im Frühjahr 1986 zu finden sind.

Tabelle 15: Poren 0,2-10 µm (Vol.-%) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	8,1	11,5	10,1	8,8	10,5	9,8
F.-Dornbusch II	13,6	15,1	14,0	14,7	14,4	14,3
Niedererlenbach	11,1	11,0	10,4	13,0	9,7	11,0
F.-Riederwald	9,5	11,6	9,6	13,6	8,5	10,6
Bellersheim	10,7	7,4	7,7	8,5	11,0	9,1
Gedern	9,8	10,3	9,5	12,3	8,4	10,0
Grünberg	9,2	9,7	11,6	8,8	7,9	9,4
Kirtorf	9,6	9,7	10,5	10,0	8,6	9,7
Wiesentheid	10,1	10,2	10,6	11,3	8,5	10,1
Remlingen	8,7	7,7	9,8	8,5	6,3	8,2
\bar{x}	10,0	10,4	10,4	10,9	9,4	10,2

GD_{5%} Platz x Termin 3,29

Tabelle 16: Poren 0,2-10 µm (Vol.-%) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	13,4	12,9	12,0	13,9	13,5	13,1
F.-Dornbusch II	12,2	13,4	13,0	11,9	13,5	12,8
Niedererlenbach	13,6	16,1	18,6	11,5	14,5	14,8
F.-Riederwald	14,6	15,7	15,9	15,3	14,2	15,1
Bellersheim	17,6	14,9	18,4	14,7	15,8	16,3
Gedern	14,4	15,9	19,3	13,3	12,8	15,2
Grünberg	21,1	19,2	20,4	20,1	19,9	20,1
Kirtorf	18,7	18,8	19,8	18,2	18,3	18,8
Wiesentheid	9,9	8,1	9,9	9,6	7,4	9,0
Remlingen	10,6	12,3	11,8	12,0	10,6	11,5
\bar{x}	14,6	14,7	15,9	14,0	14,1	14,7

GD_{5%} Platz 2,03

GD_{5%} Termin 1,11

4.1.2.5 Feinporen ($< 0,2 \mu\text{m}$)

Die Bestimmung des nicht pflanzenverfügbaren Wassers erfolgte an gestörten Bodenproben. Die absoluten Werte sind getrennt nach Tragschicht und Baugrund dargestellt (Abb. 27).

Der Anteil an Feinporen schwankt in der Tragschicht zwischen 4,3 Vol.-% ("Wiesentheid") und 10,5 Vol.-% ("Dornbusch II"). Der niedrigste Wert im Baugrund wurde in "Wiesentheid" mit 3,6 Vol.-% und der höchste Wert in "Gedern" mit 23,7 Vol.-% ermittelt.

Bei der Wertung der Ergebnisse ist nicht nur die Korngrößenverteilung, insbesondere der Tonanteil, zu berücksichtigen, es besteht vielmehr auch eine enge Beziehung zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und dem Feinporenanteil (MÜLLER-BECK, 1977). Diese Aussage wird durch die Ergebnisse in "Dornbusch II" und "Wiesentheid" bestätigt. Aufgrund der höheren Gehalte an organischer Substanz in den Tragschichten, weisen diese, bei annähernd gleicher Korngrößenverteilung von Tragschicht und Baugrund im Feinteilbereich, höhere Anteile an nicht pflanzenverfügbarem Wasser auf.

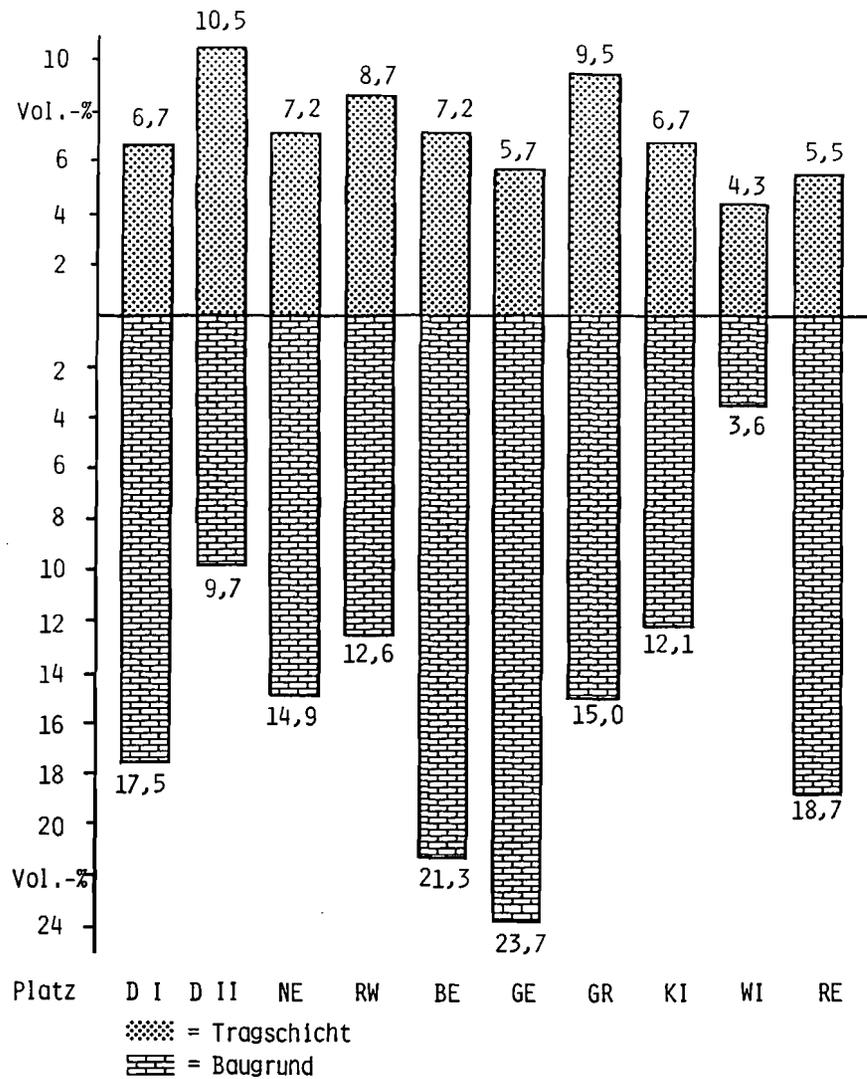


Abbildung 27: Gehalt an nicht pflanzenverfügbarem Wasser (Vol.-%) in der Tragschicht und im Baugrund

- D I = F.-Dornbusch I
- D II = F.-Dornbusch II
- NE = Niedererlenbach
- RW = F.-Riederwald
- BE = Bellersheim
- GE = Gedern
- GR = Grünberg
- KI = Kirtorf
- WI = Wiesentheid
- RE = Remlingen

4.1.3 Trockenraumgewicht

Die Varianztabelle für das Trockenraumgewicht der Tragschichtsubstrate (Anhangtab. 2) weist signifikante Wechselwirkungen der Faktoren Platz x Belastung und Platz x Termin aus. Dies bedeutet, daß sich das Trockenraumgewicht der Plätze sowohl bei differenzierter Belastung als auch unter dem Einfluß der Zeit unterschiedlich verändert.

Eindeutig höhere Trockenraumgewichte im Strafraum wurden auf den beiden Intergreen A-Plätzen "Dornbusch II" und "Riederwald" festgestellt (Tab. 17). Tendenziell trifft dies auch für "Remlingen" zu. Bei "Dornbusch I", "Niedererlenbach" und "Wiesentheid" neigt dagegen die Tragschicht im Mittelfeld zu einem höheren Trockenraumgewicht. Die geringsten Unterschiede zwischen Strafraum und Mittelfeld zeigen die Intergreen B-Plätze. Zwischen den Plätzen bestehen zum Teil erhebliche Differenzen.

Eine Auflockerung während des Sommers 1986 ist auf allen Intergreen A-Plätzen sowie in "Grünberg" und "Kirtorf" zu beobachten. Zum Frühjahr 1987 ist dann auf diesen Plätzen teilweise eine Wiederverdichtung zu erkennen. In "Remlingen" war die Entwicklung gegenläufig.

Die signifikante Wechselwirkung Platz x Belastung für das Trockenraumgewicht des Baugrundes (Anhangtab. 3) weist darauf hin, daß die Differenzierungen zwischen den Belastungsstufen platzspezifisch sind. Höhere Trockenraumgewichte im Mittelfeld sind vor allem auf den Plätzen "Bellersheim" und "Gedern" deutlich ausgeprägt (Tab. 18). Bei "Dornbusch II" liegen die Verhältnisse umgekehrt.

Tabelle 17: Trockenraumgewicht (g/cm^3) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	1,56	1,58	1,59	1,53	1,59	1,57
F.-Dornbusch II	1,57	1,48	1,57	1,47	1,53	1,53
Niedererlenbach	1,51	1,54	1,57	1,51	1,50	1,53
F.-Riederwald	1,59	1,51	1,62	1,47	1,57	1,55
Bellersheim	1,40	1,42	1,40	1,44	1,40	1,41
Gedern	1,48	1,49	1,50	1,46	1,50	1,49
Grünberg	1,49	1,49	1,53	1,46	1,49	1,49
Kirtorf	1,55	1,55	1,57	1,51	1,55	1,55
Wiesentheid	1,57	1,59	1,56	1,57	1,60	1,58
Remlingen	1,64	1,60	1,59	1,67	1,60	1,62
\bar{x}	1,54	1,53	1,55	1,51	1,53	1,53

$GD_{5\%}$ Platz x Belastung 0,049

$GD_{5\%}$ Platz x Termin 0,060

Tabelle 18: Trockenraumgewicht (g/cm³) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	1,59	1,61	1,60	1,61	1,58	1,60
F.-Dornbusch II	1,66	1,56	1,57	1,61	1,65	1,61
Niedererlenbach	1,58	1,59	1,59	1,58	1,58	1,58
F.-Riederwald	1,66	1,65	1,65	1,65	1,67	1,66
Bellersheim	1,37	1,46	1,38	1,44	1,41	1,41
Gedern	1,36	1,45	1,37	1,43	1,42	1,40
Grünberg	1,58	1,57	1,57	1,59	1,57	1,58
Kirtorf	1,69	1,66	1,66	1,70	1,66	1,68
Wiesentheid	1,68	1,68	1,67	1,70	1,66	1,68
Remlingen	1,68	1,73	1,73	1,68	1,70	1,71
\bar{x}	1,59	1,60	1,58	1,59	1,60	1,59

GD_{5%} Platz x Belastung 0,062

4.1.4 Wasserdurchlässigkeit

Wie schon im Methodenteil (Kap. 3.6.1) erwähnt, wurde die Wasserdurchlässigkeit der Plätze mit dem Doppelring-Infiltrometer gemessen. Bestimmt wurde die Leitfähigkeit der Aufbauten im wassergesättigten Zustand. Zum Herbsttermin 1986 in "Wiesentheid" ist anzumerken, daß bis an die Oberkante der Rasentrag-schicht anstehendes Hangwasser eine Messung der Wasserdurchlässigkeit unmöglich machte.

Die signifikante Wechselwirkung Platz x Termin (Anhangtab. 4) besagt, daß sich die Plätze im Hinblick auf die Wasserdurchlässigkeit zu den einzelnen Meßterminen unterschiedlich verhalten. Gesichert höhere Durchlässigkeitswerte, gleichbedeutend mit einem niedrigen Zeitbedarf für die Versickerung einer bestimmten Wassermenge, bestehen gegenüber den beiden Frühjahrs-terminen im Herbst 1986 in "Dornbusch I" und "Gedern" (Tab. 19). Hierzu gegensätzlich verhält sich der Platz in "Remlingen" (SRS), der eine geringere Wasserabführung im Herbst 1986 aufweist. Ein starker Rückgang der Wasserdurchlässigkeit ist bei den Intergreen B-Plätzen "Bellersheim", "Gedern", "Grünberg" und "Kirtorf" im Frühjahr 1987 zu verzeichnen. Nahezu indifferent über den Untersuchungszeitraum verhalten sich die Intergreen A-Plätze "Dornbusch II", "Niedererlenbach" und "Riederwald".

Tabelle 19: Wasserdurchlässigkeit (min/10mm)

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	22	21	27	7	30	21
F.-Dornbusch II	10	7	7	10	9	9
Niedererlenbach	12	9	8	10	14	11
F.-Riederwald	15	19	13	16	22	17
Bellersheim	20	10	8	11	27	15
Gedern	20	25	26	11	31	23
Grünberg	15	21	9	15	31	19
Kirtorf	46	38	32	36	58	42
Wiesentheid	8	9	8	-	9	8 ^{*)}
Remlingen	20	23	12	38	14	21
\bar{x}	20	19	16	17	26	20

GD_{5%} Platz x Termin 12,3

*) Aufgrund der Möglichkeit, nur orthogonale Datensätze verrechnen zu können, wurde der Platz in "Wiesentheid" bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. Ein Vergleich der Wasserdurchlässigkeit dieses Platzes mit der der anderen Plätze ist somit nur näherungsweise möglich.

4.1.5 Abscherwiderstand

Die statistische Auswertung des Abscherwiderstandes führt zu einer signifikanten Wechselwirkung Platz x Termin (Anhangtab. 4). Dies bedeutet, daß sich die Plätze zu den Terminen unterschiedlich verhalten. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse ist auffällig, daß alle Intergreen A-Plätze sowie "Remlingen" (SRS) im Herbst 1986 eine gesichert niedrigere Scherfestigkeit als im Frühjahr 1986 aufweisen (Tab. 20). Ein Wiederanstieg der Scherfestigkeit zum Frühjahr 1987 ist nur bei "Dornbusch II" festzustellen, während "Niedererlenbach" und tendenziell auch "Dornbusch I" zum gleichen Termin eine nochmalige Verringerung der Werte erkennen lassen.

Die Intergreen B-Plätze, mit Ausnahme von "Grünberg", und der SRS-Platz in "Wiesentheid" zeigen im Untersuchungszeitraum nur geringfügige Schwankungen des Abscherwiderstandes.

Tabelle 20: Abscherwiderstand (kg/cm^2) in 0-10 cm Tiefe

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	0,61	0,63	0,74	0,61	0,52	0,62
F.-Dornbusch II	0,75	0,74	1,01	0,56	0,67	0,74
Niedererlenbach	0,68	0,71	0,87	0,67	0,55	0,70
F.-Riederwald	0,66	0,72	0,78	0,66	0,63	0,69
Bellersheim	0,74	0,73	0,73	0,70	0,77	0,74
Gedern	0,63	0,71	0,63	0,69	0,70	0,67
Grünberg	0,68	0,63	0,72	0,67	0,56	0,65
Kirtorf	0,82	0,83	0,84	0,83	0,80	0,82
Wiesentheid	0,53	0,58	0,54	0,55	0,57	0,55
Remlingen	0,59	0,58	0,72	0,51	0,52	0,58
\bar{x}	0,67	0,69	0,76	0,64	0,63	0,68

$GD_{5\%}$ Platz x Termin 0,096

4.2 Bodenchemische Werte

4.2.1 Bodenreaktion

Die varianzanalytische Auswertung der Bodenreaktion (pH-Wert) in der Tragschicht ergibt gesicherte Wechselwirkungen erster Ordnung Platz x Belastung, Platz x Termin und Belastung x Termin (Anhangtab. 5). Das unterschiedliche Verhalten der Plätze bei differenzierter Belastung wird in "Niedererlenbach", "Bellersheim", "Gedern" und "Kirtorf" deutlich (Tab. 21). Der pH-Wert ist auf diesen Plätzen im Mittelfeld gegenüber dem Strafraum signifikant niedriger, während auf den anderen Plätzen keine Differenzen zwischen den Belastungszonen bestehen. Die größten Platzunterschiede sind im Mittelfeld zwischen "Gedern" mit pH 5,58 und "Remlingen" mit pH 7,25 vorhanden.

Zeitliche Verschiebungen der Bodenreaktion innerhalb der Plätze zeigen sich auf den Intergreen B-Plätzen und in "Wiesentheid". Eine Zunahme des pH-Wertes von Frühjahr 1986 zu Frühjahr 1987 ist in "Bellersheim", "Gedern" und "Kirtorf" zu beobachten. Signifikante Abnahmen zeigen sich dagegen in "Grünberg" im Herbst 1986 und in "Wiesentheid" im Frühjahr 1987.

Gemittelt über die Plätze sind zum Frühjahr und Herbst 1986 im Mittelfeld gesichert geringere Werte gegenüber dem Strafraum festzustellen (Abb. 28). Eine Abnahme des pH-Wertes im Strafraum ist in der Zeit von Herbst 1986 bis Frühjahr 1987 zu beobachten. Die Bodenreaktion des Mittelfeldes unterliegt keinen zeitlichen Schwankungen.

In der Varianztabelle für die Bodenreaktion des Baugrundes werden gesicherte Hauptwirkungen für die Faktoren Platz und Termin ausgewiesen (Anhangtab. 6). Folglich bestehen Unterschiede zwischen den Plätzen sowie zwischen den Untersuchungszeitpunkten.

Tabelle 21: pH-Wert der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	6,83	6,77	6,80	6,85	6,76	6,80
F.-Dornbusch II	6,94	6,96	7,08	6,90	6,88	6,95
Niedererlenbach	6,58	6,32	6,47	6,45	6,42	6,45
F.-Riederwald	6,91	6,93	6,92	6,90	6,96	6,92
Bellersheim	6,50	6,31	6,25	6,49	6,49	6,40
Gedern	5,91	5,58	5,68	5,68	5,87	5,74
Grünberg	6,29	6,28	6,39	6,10	6,38	6,29
Kirtorf	6,29	6,14	6,07	6,20	6,38	6,21
Wiesentheid	7,13	7,12	7,26	7,15	6,96	7,12
Remlingen	7,21	7,25	7,29	7,26	7,14	7,23
\bar{x}	6,66	6,57	6,62	6,60	6,62	6,62

GD_{5%} Platz x Belastung 0,158

GD_{5%} Platz x Termin 0,193

Bei Betrachtung der pH-Werte auf den Plätzen (Tab. 22) fällt auf, daß die Intergreen A-Plätze und "Bellersheim" eine Bodenreaktion von etwa pH 7 aufweisen. "Remlingen" besitzt mit pH 7,44 den höchsten pH-Wert. Alle übrigen Plätze liegen im pH-Bereich von 6,3 - 6,6.

Eine Veränderung zwischen den Untersuchungsterminen ergibt sich vor allem aus der signifikanten Abnahme des pH-Wertes von Herbst 1986 zu Frühjahr 1987.

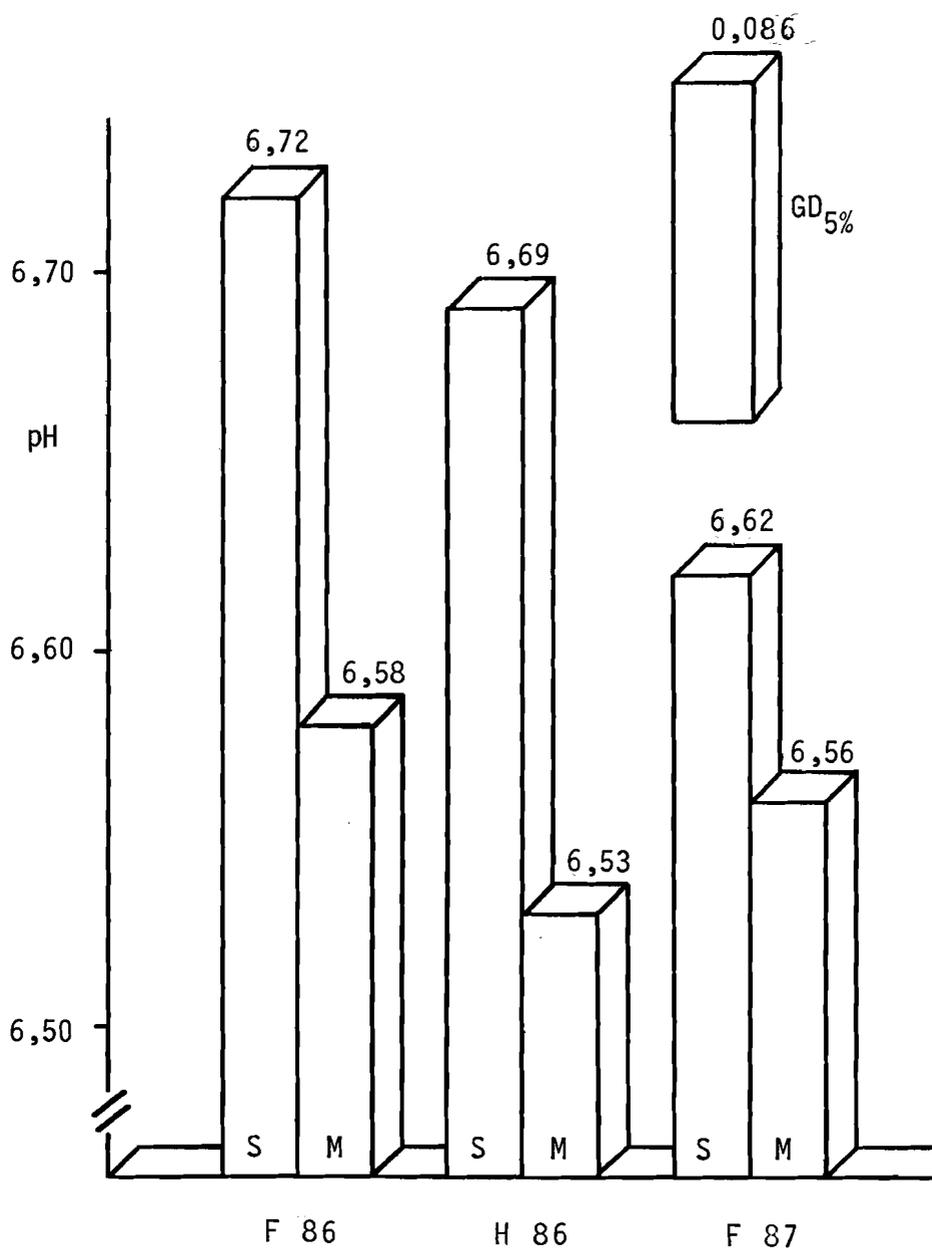


Abbildung 28: pH - Wert der Tragschicht
GD_{5%} Belastung x Termin 0,086

Tabelle 22: pH-Wert des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	7,18	7,15	7,22	7,26	7,02	7,16
F.-Dornbusch II	7,20	7,20	7,28	7,24	7,09	7,20
Niedererlenbach	6,90	7,04	7,02	7,11	6,78	6,97
F.-Riederwald	7,07	7,07	7,04	7,16	7,01	7,07
Bellersheim	6,98	6,91	6,95	7,03	6,85	6,94
Gedern	6,49	6,37	6,48	6,39	6,41	6,43
Grünberg	6,63	6,59	6,50	6,66	6,66	6,61
Kirtorf	6,38	6,24	6,24	6,32	6,38	6,31
Wiesentheid	6,49	6,29	6,15	6,64	6,38	6,39
Remlingen	7,42	7,45	7,50	7,48	7,33	7,44
\bar{x}	6,87	6,83	6,84	6,93	6,79	6,85

GD_{5%} Platz 0,180

GD_{5%} Termin 0,098

4.2.2 P - und K - Versorgung

Die signifikanten Wechselwirkungen Platz x Belastung und Platz x Termin zeigen, daß der Platz den Einfluß der Belastung und des Probenahmetermins auf den Phosphat - Gehalt der Tragschicht variiert (Anhangtab. 5). Gesicherte Unterschiede zwischen Strafraum und Mittelfeld bestehen in "Riederwald" und auf den Inter-green B-Plätzen "Bellersheim", "Gedern" und "Grünberg" (Tab. 23).

Zum Herbsttermin 1986 wurden in "Riederwald", "Bellersheim" und "Gedern" gesichert niedrigere Phosphat - Werte als zu den beiden Frühjahrsterminen 1986 und 1987 ermittelt. Bei "Remlingen" unterscheidet sich der Phosphat - Gehalt im Frühjahr 1987 signifikant von dem im Frühjahr 1986 gemessenen Wert.

Sehr hohe Phosphat - Gehalte im Baugrund liegen in "Niedererlenbach", "Riederwald" und "Bellersheim" vor, während "Dornbusch I", "Gedern" und "Remlingen" durch sehr niedrige Werte auffallen. Eine zeitliche Differenzierung ist zwischen allen drei Terminen erkennbar. Im Herbst 1986 wurden gesichert niedrigere Phosphat - Gehalte als im Frühjahr 1986 und 1987 gemessen (Anhangtab. 6, Tab. 24).

Die statistische Verrechnung der Kalium-Gehalte der Tragschichten ergab signifikante Wechselwirkungen für die Faktorenkombinationen Platz x Belastung, Platz x Termin und Belastung x Termin (Anhangtab. 5). Signifikante Unterschiede zwischen Strafraum und Mittelfeld sind nur in "Grünberg" und "Kirtorf" festzustellen, die mit über 25 mg Kalium/100 g Boden im Strafraum die höchsten Werte insgesamt aufweisen (Tab. 25). Alle übrigen Tragschichten lassen nur geringe Unterschiede zwischen den Belastungsstufen erkennen.

Tabelle 23: P_2O_5 -Gehalt (mg/100 g Boden) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	11,7	8,2	11,8	10,3	7,8	9,9
F.-Dornbusch II	21,8	23,7	24,8	21,5	22,0	22,8
Niedererlenbach	17,2	18,7	21,0	15,8	17,0	17,9
F.-Riederwald	28,2	20,0	31,3	16,0	25,0	24,1
Bellersheim	20,8	15,3	25,3	11,3	19,3	18,6
Gedern	26,2	21,8	30,0	16,5	25,5	24,0
Grünberg	22,3	13,2	19,3	14,5	19,5	17,8
Kirtorf	6,8	5,5	7,5	8,5	2,5	6,2
Wiesentheid	15,2	16,3	18,0	15,3	14,0	15,8
Remlingen	15,3	16,2	20,3	15,3	11,8	15,8
\bar{x}	18,7	15,9	20,9	14,5	16,4	17,3

GD_{5%} Platz x Belastung 4,59

GD_{5%} Platz x Termin 5,62

Tabelle 24: P₂O₅-Gehalt (mg/100 g Boden) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	7,7	4,2	7,8	3,8	6,3	5,9
F.-Dornbusch II	14,2	14,8	17,0	11,0	15,5	14,5
Niedererlenbach	23,8	28,2	32,8	18,5	26,8	26,0
F.-Riederwald	25,8	19,3	29,8	16,0	22,0	22,6
Bellersheim	26,8	19,2	29,3	14,3	25,5	23,0
Gedern	3,5	6,2	5,8	1,3	7,5	4,8
Grünberg	15,5	17,0	16,5	13,0	19,3	16,3
Kirtorf	11,7	10,8	14,8	9,5	9,5	11,3
Wiesentheid	13,8	13,0	15,5	13,0	11,8	13,4
Remlingen	7,0	2,5	5,0	4,0	5,3	4,8
\bar{x}	15,0	13,5	17,4	10,4	14,9	14,2

GD_{5%}, Platz 4,24

GD_{5%} Termin 2,32

Sehr unterschiedlich verlaufen die zeitlichen Veränderungen der Kalium - Werte auf den einzelnen Plätzen. Die Abnahme der Kalium-Gehalte zum Herbst 1986 ist besonders auf den Plätzen "Dornbusch II", "Riederwald", "Bellersheim", "Gedern" und "Grünberg" deutlich ausgeprägt. Zum Frühjahr 1987 hin setzt sich dieser Trend teilweise weiter fort, teilweise ist aber auch ein Wiederanstieg der Werte zu verzeichnen.

Tabelle 25: K₂O-Gehalt (mg/100 g Boden) der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	17,7	16,8	19,0	15,3	17,5	17,3
F.-Dornbusch II	13,5	15,5	18,0	11,5	14,0	14,5
Niedererlenbach	20,0	19,5	21,5	20,0	17,8	19,8
F.-Riederwald	11,5	12,8	14,0	9,5	13,0	12,2
Bellersheim	16,2	14,3	19,0	11,5	15,3	15,3
Gedern	13,0	14,0	18,8	12,3	9,5	13,5
Grünberg	25,2	18,2	21,8	14,8	28,5	21,7
Kirtorf	27,3	19,7	22,0	19,5	29,0	23,5
Wiesentheid	12,8	12,3	16,3	13,8	7,8	12,6
Remlingen	15,8	14,3	17,8	17,0	10,5	15,1
\bar{x}	17,3	15,8	18,8	14,5	16,3	16,5

GD_{5%} Platz x Belastung 3,87

GD_{5%} Platz x Termin 4,74

Bei Betrachtung der Belastungsstufen zu den einzelnen Terminen wird deutlich, daß gesicherte Unterschiede zwischen Strafraum und Mittelfeld lediglich im Frühjahr 1986 festgestellt wurden (Abb. 29). Im Frühjahr 1987 wiesen die Plätze in beiden Belastungszonen deutlich niedrigere Kalium-Gehalte als im vorangegangenen Herbst 1986 auf.

Sehr hohe Kalium - Gehalte wurden im Baugrund der Intergreen B-Plätze gemessen; die niedrigsten Werte wurden auf den SRS-Plätzen festgestellt (Tab. 26). Im Mittel der Plätze und Termine war der Strafraum besser mit Kalium versorgt als das Mittelfeld. Der höchste Varianzanteil entfällt dabei auf den Faktor Platz (Anhangtab. 6).

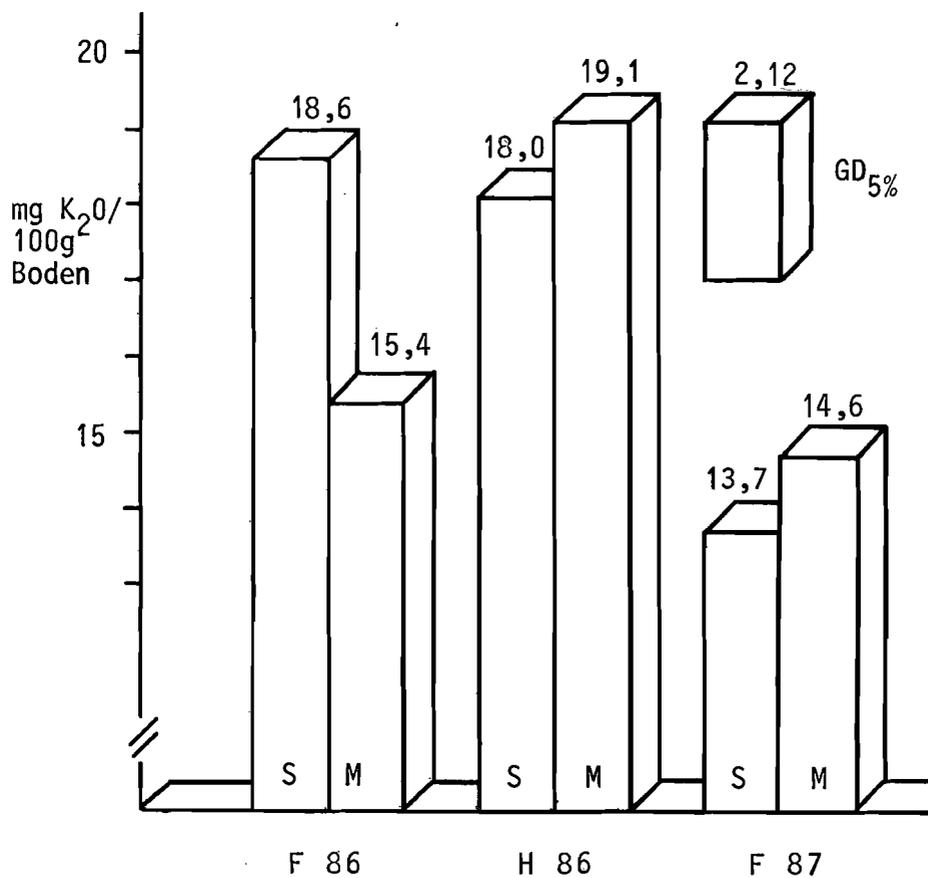


Abbildung 29: K₂O - Gehalt (mg/100g Boden) der Tragschicht
GD_{5%} Belastung x Termin 2,12

Tabelle 26: K₂O-Gehalt (mg/100 g Boden) des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	14,3	11,8	12,8	10,8	15,8	13,1
F.-Dornbusch II	14,3	16,3	17,0	14,3	14,8	15,3
Niedererlenbach	18,8	18,0	19,0	16,5	19,8	18,4
F.-Riederwald	19,5	13,8	17,3	16,3	16,5	16,7
Bellersheim	27,5	21,7	26,0	23,3	24,5	24,6
Gedern	16,8	22,2	24,0	19,0	15,5	19,5
Grünberg	32,0	24,7	23,0	27,5	34,5	28,3
Kirtorf	31,3	24,5	24,0	25,8	34,0	27,9
Wiesentheid	6,2	5,7	6,5	6,0	5,3	5,9
Remlingen	11,2	7,0	9,8	11,3	6,3	9,1
\bar{x}	19,2	16,6	17,9	17,1	18,7	17,9

GD_{5%} Platz 4,66

GD_{5%} Belastung 2,08

4.2.3 Organische Substanz und C/N-Verhältnis

Anhangtabelle 5 weist bei der organischen Substanz signifikante Varianzen für die Faktoren Platz und Termin aus. Die größten Unterschiede bestehen zwischen den Intergreen A-Plätzen, wobei "Dornbusch II" und "Riederwald" gesichert höhere Gehalte an organischer Substanz aufweisen als "Dornbusch I" und "Niedererlenbach" (Tab. 27). Die beiden SRS-Plätze "Wiesentheid" und "Remlingen" besitzen die niedrigsten Werte. Gehalte zwischen 1,28 M.-% und 1,88 M.-% weisen die Intergreen B-Plätze auf.

Im Mittel der Plätze und Belastungsstufen ist im Frühjahr 1987 signifikant weniger organische Substanz in der Tragschicht vorhanden als zu den vorangegangenen Terminen 1986.

Beim Baugrund ergeben sich signifikante Varianzen für die Hauptwirkungen sowie die Wechselwirkungen Platz x Belastung und Platz x Termin (Anhangtab. 6). Bei den Intergreen A-Plätzen sinkt der Gehalt an organischer Substanz im Herbst 1986 und Frühjahr 1987 gegenüber dem Frühjahr 1986 (Beginn der Untersuchungen) sehr stark ab (Tab. 28). In "Bellersheim" ist der Wert im Herbst gesichert niedriger als zu den beiden Frühjahrsterminen. In "Gedern" unterscheidet sich das Frühjahr 1987 durch signifikant höhere Gehalte vom Herbst 1986.

In "Bellersheim", "Gedern" und "Remlingen" sind im Strafraum erheblich höhere Gehalte an organischer Substanz festzustellen als im Mittelfeld.

Das C/N-Verhältnis beschreibt die Beziehung zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der organischen Substanz im Boden (MÜCKENHAUSEN, 1974). Bei einem engen C/N-Verhältnis sind die Bedingungen der Lebewesen für den Abbau der organischen Substanz (= Mineralisation) günstig (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979). Für das C/N-Verhältnis in Tragschicht und Baugrund

entfällt jeweils ein hoher Varianzanteil auf die Wechselwirkung Platz x Termin (Anhangtab. 5 und 6).

In der Tragschicht sind bei allen Intergreen A-Plätzen und den Intergreen B-Plätzen "Bellersheim", "Grünberg" und "Kirtorf" im Herbst 1986 deutlich engere C/N-Verhältnisse anzutreffen als im Frühjahr 1987 (Tab. 29). Nur geringe Schwankungen im C/N-Verhältnis zeigen die SRS-Plätze "Wiesentheid" und "Remlingen". "Gedern" (Intergreen B) besitzt im Frühjahr 1986 ein signifikant engeres C/N-Verhältnis als an den nachfolgenden Terminen.

Im Baugrund liegen auf allen Plätzen im Herbst 1986 sehr enge C/N-Verhältnisse vor, wobei die Differenzen zum Frühjahr 1987 bei den Intergreen B- und SRS-Plätzen gesichert sind. Bis auf "Dornbusch I" besitzen die Intergreen A-Plätze an beiden Frühjahrsterminen ein weiteres C/N-Verhältnis als im Herbst 1986 (Tab. 30).

Tabelle 27: Gehalt an organischer Substanz (M.-%) in der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	1,54	1,39	1,78	1,43	1,19	1,47
F.-Dornbusch II	3,78	3,74	4,00	4,03	3,26	3,76
Niedererlenbach	1,90	1,84	2,01	1,91	1,70	1,87
F.-Riederwald	2,37	2,59	2,51	2,94	2,00	2,48
Bellersheim	1,82	1,65	1,89	1,59	1,73	1,74
Gedern	1,75	2,01	1,78	2,08	1,78	1,88
Grünberg	1,57	1,61	1,38	1,65	1,74	1,59
Kirtorf	1,22	1,33	1,14	1,18	1,51	1,28
Wiesentheid	1,14	0,96	1,28	1,02	0,85	1,05
Remlingen	0,67	0,78	0,93	0,58	0,64	0,72
\bar{x}	1,78	1,79	1,87	1,84	1,64	1,78

GD_{5%} Platz 0,321

GD_{5%} Termin 0,176

Tabelle 28: Gehalt an organischer Substanz (M.-%) im Baugrund

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	1,79	1,45	2,28	1,38	1,20	1,62
F.-Dornbusch II	2,19	2,60	2,98	2,26	1,95	2,39
Niedererlenbach	2,54	2,56	3,39	2,12	2,15	2,55
F.-Riederwald	3,11	2,62	3,40	2,53	2,66	2,86
Bellersheim	3,72	2,77	3,61	2,73	3,40	3,25
Gedern	3,36	2,61	2,96	2,56	3,43	2,98
Grünberg	1,79	1,81	1,74	1,92	1,75	1,80
Kirtorf	1,57	1,55	1,52	1,45	1,70	1,56
Wiesentheid	0,82	0,74	0,88	0,73	0,73	0,78
Remlingen	1,67	1,08	1,25	1,36	1,53	1,38
\bar{x}	2,26	1,98	2,40	1,90	2,05	2,12

GD_{5%} Platz x Belastung 0,565

GD_{5%} Platz x Termin 0,692

Tabelle 29: C/N-Verhältnis der Tragschicht

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	15,7	17,1	22,5	11,0	15,8	16,4
F.-Dornbusch II	15,2	15,0	17,5	11,0	16,8	15,1
Niedererlenbach	11,7	14,5	14,3	9,0	16,0	13,1
F.-Riederwald	14,3	12,0	12,3	9,5	17,8	13,2
Bellersheim	14,8	15,5	14,3	12,5	18,8	15,2
Gedern	20,2	24,0	17,8	23,0	25,5	22,1
Grünberg	13,3	14,5	9,8	12,8	19,3	13,9
Kirtorf	16,8	15,7	14,0	14,5	20,3	16,3
Wiesentheid	16,7	16,5	19,5	15,3	15,0	16,6
Remlingen	9,3	10,5	11,5	8,8	9,5	9,9
\bar{x}	14,8	15,5	15,3	12,7	17,5	15,2

GD_{5%} Platz x Termin 4,53

Tabelle 30: C/N-Verhältnis des Baugrundes

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	11,5	12,8	15,5	10,0	11,0	12,2
F.-Dornbusch II	16,8	16,0	19,0	12,5	17,8	16,4
Niedererlenbach	11,0	11,3	12,0	9,3	12,3	11,2
F.-Riederwald	17,5	13,8	14,0	15,0	18,0	15,7
Bellersheim	12,2	11,7	10,3	8,8	16,8	11,9
Gedern	11,7	11,3	8,5	8,5	17,5	11,5
Grünberg	11,0	10,3	9,5	9,5	13,0	10,7
Kirtorf	10,2	9,5	8,5	8,0	13,0	9,8
Wiesentheid	11,2	11,0	11,8	9,3	12,3	11,1
Remlingen	9,8	8,5	8,3	7,5	11,8	9,2
\bar{x}	12,3	11,6	11,7	9,8	14,3	11,9

GD_{5%} Platz x Termin 2,65

4.3 Vegetationskundliche Werte

4.3.1 Bedeckungsgrad

Die Ergebnisse der vegetationskundlichen Untersuchungen setzen sich gemäß der Versuchsanlage (Abb. 1, S. 19) aus den Bonitierungsflächen 5 und 8 für die Belastungsstufe Strafraum (S) und den Flächen 2 und 11, für das Mittelfeld (M) zusammen.

Für den Bedeckungsgrad ergibt sich eine gesicherte Wechselwirkung der Faktoren Platz x Belastung x Termin (Anhangtab. 7). Folglich weisen die Plätze je nach Belastungszone und Termin unterschiedlich dichte Grasnarben auf.

Diese Feststellung trifft nicht für die SRS-Plätze "Wiesentheid" und "Remlingen" sowie für "Bellersheim" zu, deren Bedeckungsgrad zwischen den Belastungszonen und Terminen kaum variiert (Tab. 31). Dagegen ist auf den Intergreen A-Plätzen sowie in "Gedern" die Bodenbedeckung zu den Frühjahrsterminen größtenteils signifikant niedriger als im Herbst sowie im Strafraum geringer als im Mittelfeld. Unterschiede zwischen den Belastungsstufen im Herbst 1986 bestehen nur bei "Grünberg" und "Kirtorf"; mit 52,5 % Deckungsgrad im Strafraum besitzt der letztgenannte Platz zugleich den niedrigsten Wert für den Herbsttermin.

Tabelle 31: Bedeckungsgrad des Bodens (%)

Platz	Belastung	F 86	H 86	F 87
F.-Dornbusch I	S	29,0	86,5	20,0
	M	81,3	99,0	80,0
F.-Dornbusch II	S	78,0	98,5	86,0
	M	94,5	99,0	98,8
Niedererlenbach	S	91,0	87,5	25,0
	M	99,3	94,5	76,0
F.-Riederwald	S	31,5	81,0	27,5
	M	91,2	95,8	57,5
Bellersheim	S	86,0	91,0	77,5
	M	96,5	94,0	87,5
Gedern	S	21,5	92,5	75,0
	M	74,8	96,8	92,3
Grünberg	S	83,5	77,5	52,5
	M	96,8	93,5	92,8
Kirtorf	S	74,0	52,5	70,0
	M	96,0	85,5	89,8
Wiesentheid	S	99,0	92,5	91,0
	M	99,0	96,3	92,0
Remlingen	S	98,0	89,5	86,0
	M	99,0	96,0	94,3

GD_{5%} Platz x Belastung x Termin 14,17

4.3.2 Artenzusammensetzung

Die Intergreen A-Plätze sind bis auf "Riederwald" durch eine *Lolium perenne*-Dominanz gekennzeichnet (Abb. 30 u. 31). Daneben sind mehr oder weniger hohe Anteile an *Poa pratensis* vorhanden. Bei "Dornbusch I" und "Niedererlenbach" kommt *Poa annua* nur in geringen Mengen vor, wobei diese Art in "Niedererlenbach" über den Untersuchungszeitraum stetig abnimmt. In "Riederwald" ist im Herbst 1986 ein starker Rückgang von *Poa pratensis* zugunsten von *Poa annua* zu verzeichnen.

Bemerkenswert auf diesem Platz ist die Einwanderung von Fremdarten, hauptsächlich *Plantago major*, beginnend im Mittelfeld zum Herbst 1986.

Nur geringe Veränderungen in der Artenzusammensetzung zeigen die Intergreen B-Plätze "Bellersheim" und "Gedern" (Abb. 32). Hauptbestandbildner sind hier *Lolium perenne* und *Poa pratensis*. Der *Poa annua*-Anteil in "Gedern" schwankt zwischen 12,5 und 40 % und liegt in "Bellersheim" im Durchschnitt bei 20 % Deckungsanteil. Dagegen sind die Plätze in "Grünberg" und "Kirtorf" von einer *Poa annua*-Dominanz geprägt (Abb. 33). Lediglich zum Herbst 1986 konnte sich in "Kirtorf" *Lolium perenne* im Mittelfeld mit annähernd 50 % durchsetzen, jedoch sank der Anteil dieses Grases bis zum Frühjahr 1987 wieder auf etwa 30 %. Die in der Ansaatmischung in "Kirtorf" zu 50 M.-% enthaltenen *Festuca*-Arten sowie *Agrostis tenuis* waren nur noch spurenweise in den äußersten Seitenbereichen zu finden.

Auf den 1984 angelegten SRS-Plätzen waren zu allen Terminen *Lolium perenne*- und *Poa pratensis*- geprägte Pflanzenbestände anzutreffen (Abb. 34). In "Wiesentheid" wanderte im Herbst 1986 *Trifolium repens* als Fremdart ein und behauptete sich, wenn auch in geringerem Maße, bis zum Frühjahr 1987. Der *Poa annua*-Anteil blieb auf diesem Platz gering. Bei "Remlingen" ist eine langsame Zunahme von *Poa pratensis* über den Untersuchungszeitraum zu erkennen, einhergehend mit einer Abnahme von *Lolium perenne*. Die *Poa annua*-Anteile schwanken im Herbst 1986 und Frühjahr 1987 nur sehr gering.

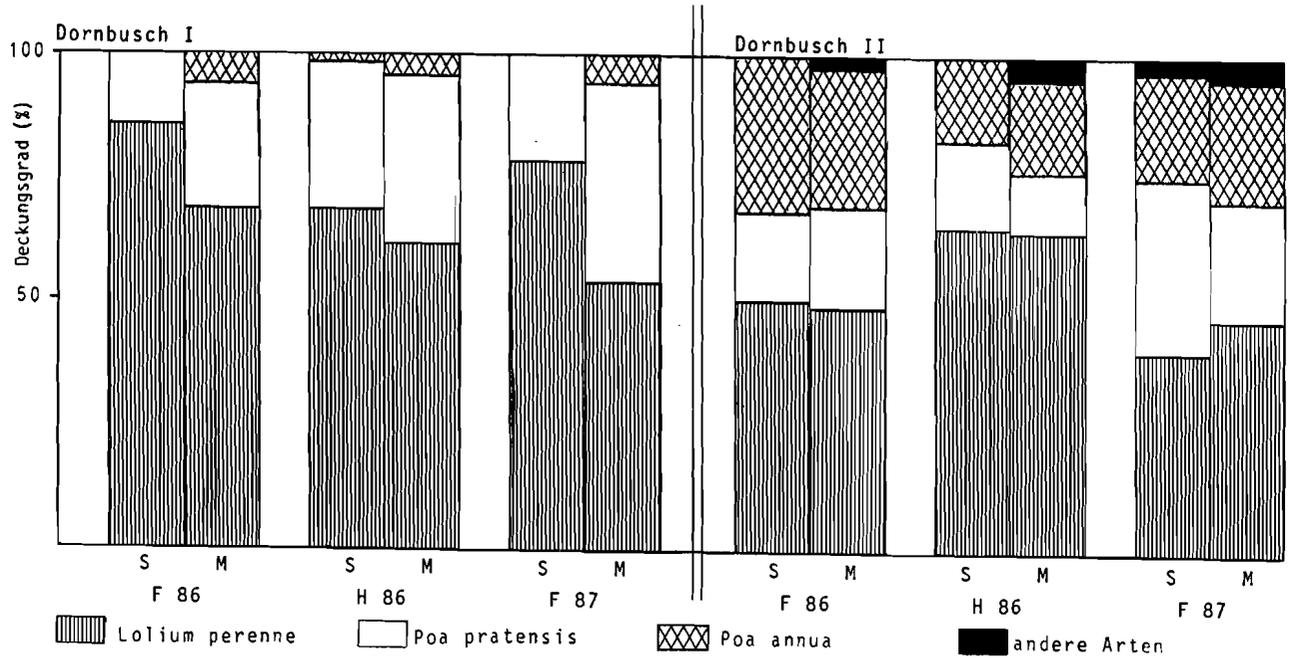


Abbildung 30: Entwicklung der Artenzusammensetzung in Dornbusch I und Dornbusch II

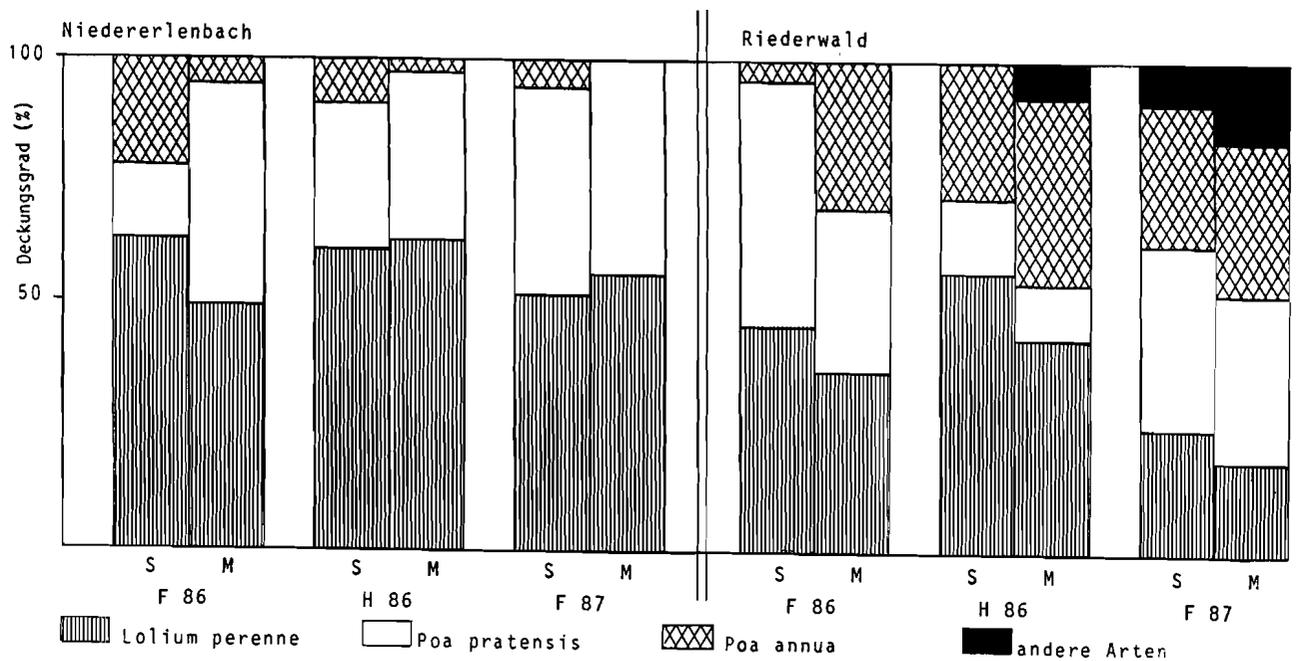


Abbildung 31: Entwicklung der Artenzusammensetzung in Niedererlenbach und Riederwald

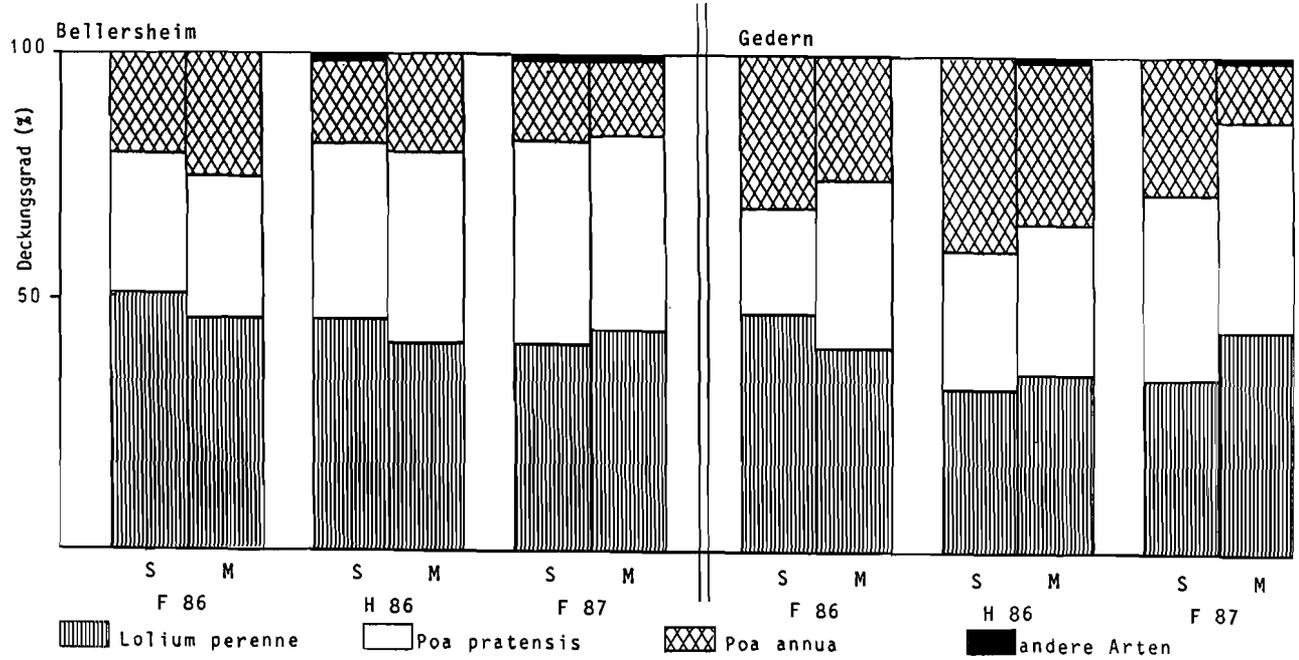


Abbildung 32: Entwicklung der Artenzusammensetzung in Bellersheim und Gedern

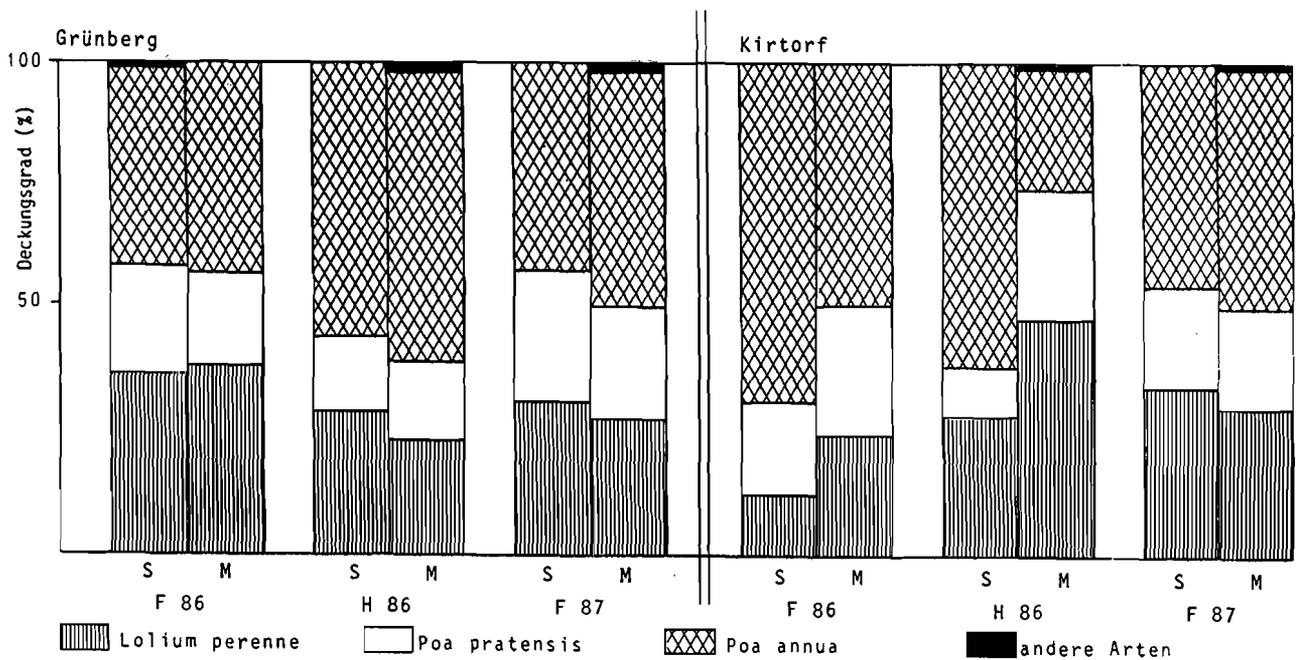


Abbildung 33: Entwicklung der Artenzusammensetzung in Grünberg und Kirtorf

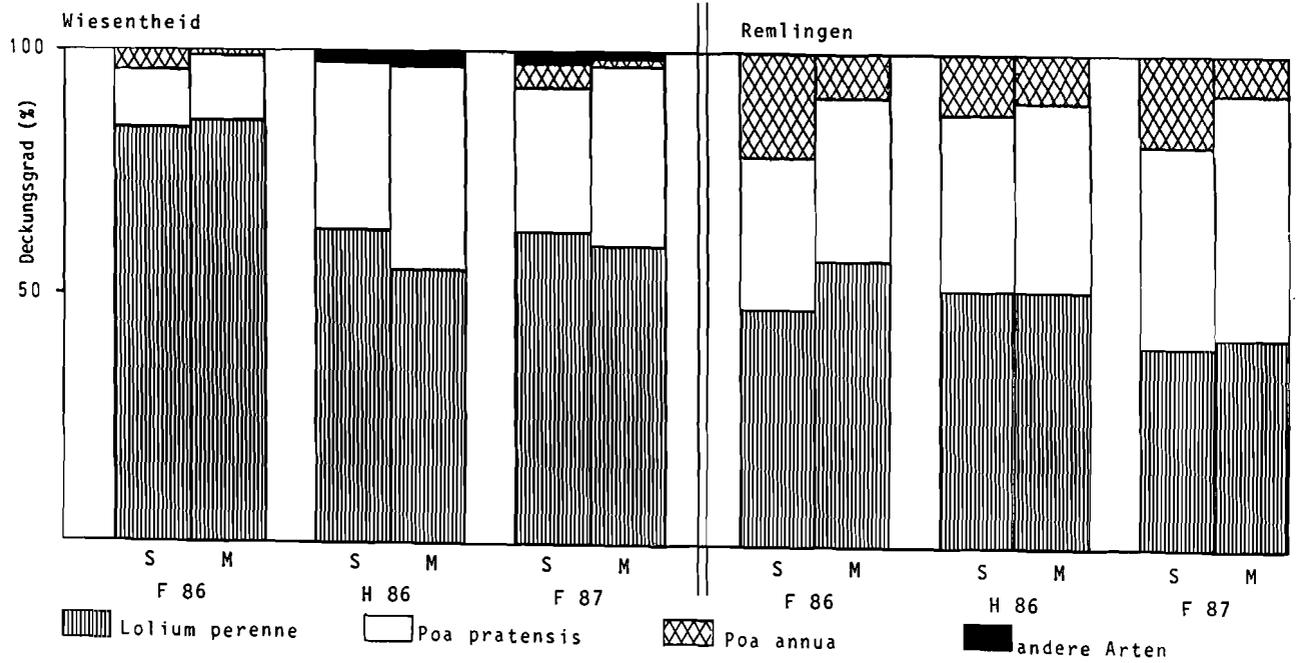


Abbildung 34: Entwicklung der Artenzusammensetzung in Wiesenheid und Remlingen

4.3.3 Wurzelzahl

- Wurzelzahl der Tragschicht (5 cm Tiefe)

Die signifikante Wechselwirkung Platz x Termin weist darauf hin, daß die Durchwurzelung der Tragschicht im Untersuchungszeitraum auf den einzelnen Plätzen unterschiedlich verlaufen ist (Anhangtab. 7). Bei "Dornbusch II", "Niedererlenbach" und "Riederwald" ist eine stetige Abnahme der Wurzelzahl über die Untersuchungs-terminen zu verzeichnen (Tab. 32), auf den Intergreen B-Plätzen dagegen eine stetige Zunahme. Die Wurzelentwicklung auf den Plätzen "Dornbusch I" einerseits und "Wiesentheid" sowie "Remlingen" andererseits verläuft entgegengesetzt. Während "Dornbusch I" zum Herbsttermin 1986 gesichert höhere Wurzelzahlen als zu den Frühjahrsterminen aufweist, sind diese bei den beiden SRS-Plätzen im Herbst 1986 niedriger als im Frühjahr 1986 und 1987. Bei den Plätzen "Grünberg" und "Kirtorf" treten keine gesicherten Veränderungen während des Untersuchungszeitraumes auf. Zwischen den Plätzen bestehen zum Teil deutliche Unterschiede.

Der unterschiedliche Einfluß der Belastung zu den verschiedenen Terminen auf die Wurzelzahl in der Tragschicht ist Abbildung 35 zu entnehmen. Im Mittel der Plätze weist das Mittelfeld bei beiden Frühjahrsterminen gesichert höhere Wurzelzahlen auf als der Strafraum. Weitgehend ausgeglichen stellt sich die Situation im Herbst 1986 dar. Im Strafraum sind zum Frühjahr 1987 signifikant weniger Wurzeln als zu den vorangegangenen Terminen zu finden. Dies trifft auch für das Mittelfeld im Frühjahr 1987 im Vergleich zum Frühjahr 1986 zu.

Tabelle 32: Wurzelzahl/100 cm² der Tragschicht (5 cm Tiefe)

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	193	195	151	266	166	194
F.-Dornbusch II	291	328	372	318	238	309
Niedererlenbach	247	239	298	273	157	243
F.-Riederwald	183	201	258	235	83	192
Bellersheim	161	187	152	169	201	174
Gedern	207	194	185	189	228	201
Grünberg	171	194	174	181	193	183
Kirtorf	120	142	120	126	147	131
Wiesentheid	317	327	401	218	347	322
Remlingen	110	141	143	78	154	125
\bar{x}	200	215	226	205	191	207

GD_{5%} Platz x Termin 39,0

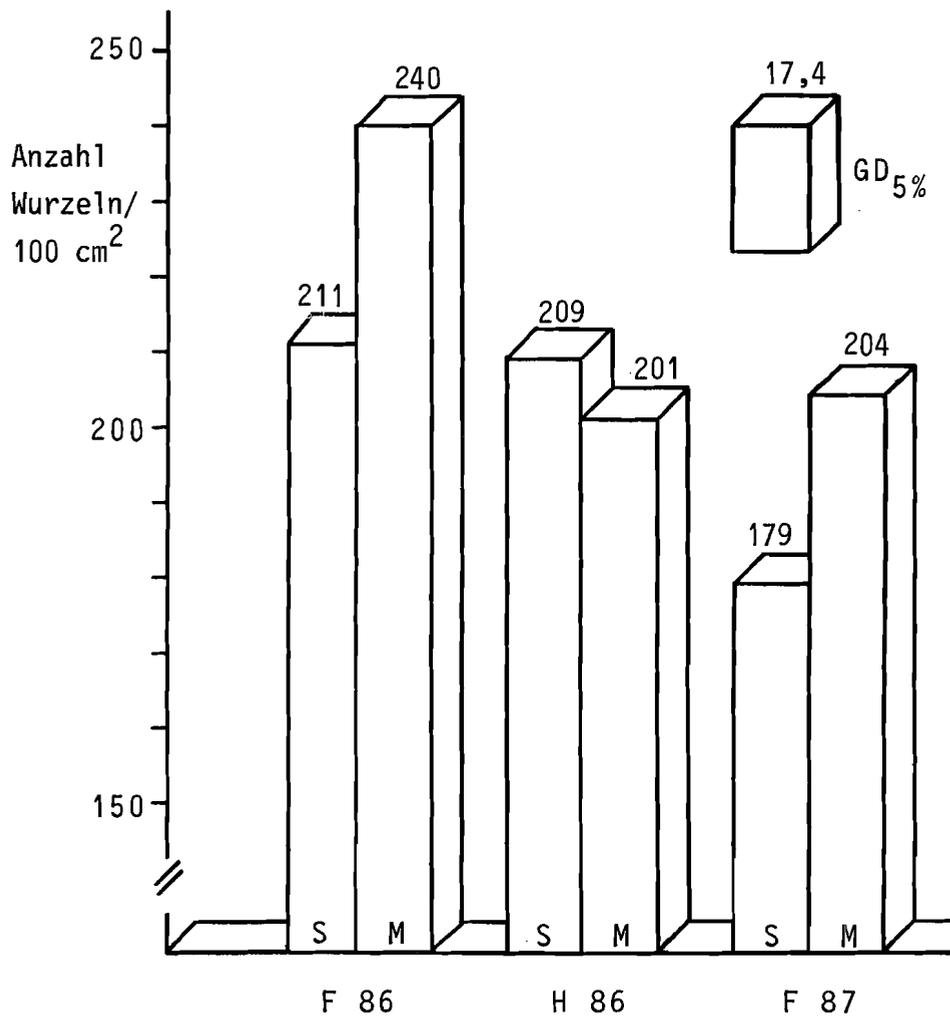


Abbildung 35: Wurzelzahl/100 cm² der Tragschicht
GD₅% Belastung x Termin 17,4

- Wurzelzahl der Übergangszone

Als Übergangszone wird der Bereich zwischen Tragschicht und Baugrund bezeichnet. Eine allgemein zutreffende Tiefenangabe ist aufgrund der unterschiedlichen Tragschichtmächtigkeiten nicht möglich. Bei den Intergreen A-Plätzen wurde aufgrund des Fehlens einer klar erkennbaren Übergangszone, diese in 10 cm Tiefe festgelegt.

Die varianzanalytische Prüfung ergab für das Merkmal "Wurzelzahl in der Übergangszone" eine gesicherte Hauptwirkung des Faktors Belastung sowie eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren Platz x Termin (Anhangtab. 7). Der Einfluß der Belastung zeigt sich in höheren Wurzelzahlen im weniger belasteten Mittelfeldbereich (Tab. 33).

Zwischen den Plätzen bestehen zum Teil auch innerhalb der gleichen Bauweise gesicherte Unterschiede. Sowohl "Riederwald" als auch "Remlingen" besitzen an allen drei Terminen in der Übergangszone gleiche Wurzelzahlen. Interessant ist die Entwicklung auf den anderen Plätzen. Während sich die beiden Frühjahrstermine nur an einigen Standorten unterscheiden, so ist der Herbst 1986 durch signifikant niedrigere Wurzelzahlen gekennzeichnet. Für "Dornbusch I" und "Gedern" dagegen ist diese Entwicklung nicht zutreffend.

- Wurzelzahl des Baugrundes (15 cm Tiefe)

Für die Wurzelzahl in 15 cm Tiefe ergibt sich die signifikante Wechselwirkung Platz x Belastung x Termin (Anhangtab. 7). Folglich variieren die Wurzelzahlen im Baugrund je nach Platz in Abhängigkeit von der Belastungsintensität sowie der Jahreszeit.

Bis auf die Plätze "Dornbusch I", "Riederwald" und "Grünberg", bei denen im Untersuchungszeitraum keine wesentlichen Veränderungen der Wurzelzahlen in dieser Tiefe festgestellt werden konnten, zeichnen sich die übrigen Plätze fast ausnahmslos durch gesichert weniger Wurzeln im Herbst 1986 und Frühjahr

1987 gegenüber dem Frühjahr 1986 aus (Tab. 34). Unterschiede zwischen den Belastungsstufen bestehen lediglich im Frühjahr 1986 in "Bellersheim" mit höheren Wurzelzahlen im Mittelfeld sowie in "Remlingen" mit stärkerer Durchwurzelung im Strafraum. Die größten Differenzen zwischen den Plätzen sind zu Untersuchungsbeginn festzustellen, wobei diese Unterschiede mit fortschreitender Versuchsdauer durch die insgesamt abnehmenden Wurzelzahlen kleiner werden.

Tabelle 33: Wurzelzahl/100 cm² der Übergangszone

Platz	Belastung		Termin			\bar{x}
	S	M	F 86	H 86	F 87	
F.-Dornbusch I	56	52	25	55	82	54
F.-Dornbusch II	129	164	163	97	179	146
Niedererlenbach	99	110	125	74	114	104
F.-Riederwald	41	61	66	46	41	51
Bellersheim	55	75	87	39	68	65
Gedern	70	73	41	58	116	72
Grünberg	59	68	74	34	83	64
Kirtorf	59	73	90	31	76	66
Wiesentheid	135	133	136	97	170	134
Remlingen	28	15	24	11	29	21
\bar{x}	73	82	83	54	96	78

GD_{5%} Belastung 7,1
 GD_{5%} Platz x Termin 27,5

Tabelle 34: Wurzelzahl/100 cm² des Baugrundes (15 cm Tiefe)

Platz	Belastung	F 86	H 86	F 87
F.-Dornbusch I	S	34	30	13
	M	37	27	8
F.-Dornbusch II	S	66	42	34
	M	88	57	59
Niedererlenbach	S	98	37	21
	M	76	55	35
F.-Riederwald	S	5	4	3
	M	19	5	8
Bellersheim	S	72	55	53
	M	159	37	71
Gedern	S	69	35	54
	M	71	19	34
Grünberg	S	37	21	20
	M	52	25	31
Kirtorf	S	67	34	39
	M	94	23	29
Wiesentheid	S	83	52	39
	M	91	35	57
Remlingen	S	58	9	4
	M	20	3	4

GD_{5%} Platz x Belastung x Termin 30,4

5 Diskussion

Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse zeigen, daß auch bei "bodennahen Bauweisen" nicht auf eine abgemagerte Rasentragschicht verzichtet wird. Diese muß die Belastungen des Spielbetriebes und der Pflegemaßnahmen auffangen und gepuffert an den Baugrund bzw. den anstehenden Oberboden abgeben. Die Rasentragschichtgemische der untersuchten Plätze sind aber bis auf zwei Ausnahmen in "Gedern" und "Wiesentheid" dadurch charakterisiert, daß ihre Körnungslinien besonders im Schluff- und Tonbereich außerhalb des in der DIN 18035, Blatt 4, vorgegebenen Grenzbereiches verlaufen. In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Tragschicht der Intergreen A-Bauweise aufgrund ihrer speziellen Herstellungsweise ein sehr heterogenes Gemisch darstellt. Dies zeigt sich auch darin, daß die Streuung der Einzelbeobachtungen um den Mittelwert für die Merkmale Porenraumgliederung und Trockenraumgewicht bei den Intergreen A-Plätzen über der der Intergreen B- und SRS-Plätze lag. So betrug beispielsweise der Variationskoeffizient (MUDRA, 1959) für den Parameter "Schnell dränende Grobporen" bei den Intergreen A-Plätzen 32,4 % und bei den Intergreen B- und SRS-Plätzen nur 21,1 bzw. 20,3 %.

Das Ergebnis der Korngrößenverteilung läßt bei diesen heterogenen Gemischen keine Aussage über die räumliche Anordnung von feinteilreichen und feinteilarmen Zonen zu. Die beinahe identischen Körnungslinien von Tragschicht und Baugrund bei "Dornbusch II" sind u.a. auf die hier festgestellte sehr hohe Regenwurmaktivität zurückzuführen. Diese war an allen anderen Standorten nur schwach oder gar nicht vorhanden. Die mischende Tätigkeit dieser Bodenlebewesen sorgt für einen intensiven Stofftransport und -austausch zwischen Tragschicht und Baugrund. Zusätzlich haben die Regenwürmer auf diesem Platz einer Filzhäufung an der Oberfläche entgegengewirkt. Beeinträchtigungen der Wasserdurchlässigkeit sowie der Benutzung durch die Feinteilablagerungen der Regenwürmer können durch Pflegemaßnahmen wie Besanden und Aerifizieren vermieden werden.

Die Körnungslinien des Baugrundes bzw. des unterhalb der Rasentragschicht anstehenden Oberbodens sind bis auf "Wiesentheid" durch einen hohen Anteil an abschlämmbaren Teilen gekennzeichnet. Wegen der damit induzierten Verdichtungsanfälligkeit und der geringen Wasserleitfähigkeit sind diese Böden als Tragschichtsubstrate ungeeignet. Dies zeigen auch die geringen Mengen an Oberboden, die bei der Herstellung der Rasentragschichtgemische in "Bellersheim" und "Remlingen" verwendet wurden, sowie der völlige Verzicht dieser Komponente bei den Plätzen "Gedern", "Grünberg" und "Kirtorf". Lediglich in "Wiesentheid" konnte der sandreiche Oberboden mit 60 Vol.-% in die Mischung aufgenommen werden, ohne daß der Grenzbereich der Norm überschritten wurde. Diese hohen Anteile sind aber nur bei Vorhandensein eines geeigneten Bodens akzeptabel.

Um die Wasserabführung von der Oberfläche bis in den Baugrund und zu den Entwässerungseinrichtungen zu gewährleisten, sind die vorhandenen Schichten innerhalb eines Aufbausystems aufeinander abzustimmen (SKIRDE, 1978). Beim Übergang von einer Schicht zur anderen sollen die Eigenschaften beider Schichten zumindest angenähert werden. Bei der Intergreen B- sowie der SRS-Bauweise ist diese Annäherung zwischen der außerhalb der Spielfläche hergestellten Tragschicht und dem Baugrund bzw. dem Oberboden durch verzahnende Bearbeitungsmaßnahmen vorzunehmen, was jedoch augenscheinlich nicht festzustellen war. Beim Intergreen A-System erfolgt sie durch direktes Einmischen von Sanden in den Baugrund, womit eine zunehmende Vermagerung zur Rasendecke hin erreicht wird. Eine Untersuchung dieses Übergangsbereiches zwischen Tragschicht und Baugrund konnte wegen seiner Geringmächtigkeit mit den zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden nicht vorgenommen werden. Die Ergebnisse der in der Arbeit vorgestellten Parameter "Wasserdurchlässigkeit" und "Wurzelzahl" lassen jedoch erkennen, daß kapillare Unstimmigkeiten zwischen den Schichten durch die vorgenommenen Maßnahmen offensichtlich vermieden wurden.

Das Gesamtporenvolumen der Tragschicht läßt bei den Intergreen A-Plätzen einen ausgeprägten Jahresgang erkennen. Im Herbst ist auf diesen Plätzen ein höheres Porenvolumen als in den beiden Frühjahren festzustellen. Dies dürfte zum einen auf die Aerifizierungsmaßnahmen, zum anderen aber auch auf einen Selbstauflockerungseffekt der heterogenen Gemische durch Quellung und Schrumpfung während des Sommers zurückzuführen sein. Diese Aussage weist auf eine gewisse Verdichtungsanfälligkeit dieser Plätze während extrem nasser Perioden sowie während des Winterspielbetriebes hin. Eine Sensibilität für Verdichtungen zeigt sich auch in der Tatsache, daß bei dieser Bauweise auf den Plätzen "Dornbusch II" und "Riederwald" Unterschiede zwischen den Belastungsstufen bestehen.

Bei den Intergreen B- und SRS-Plätzen lassen sich solche Einflüsse durch die Faktoren Belastung oder Zeit nicht beobachten. Dies dürfte in den homogeneren und teilweise sandreicheren Rastragschichtgemischen dieser Plätze begründet liegen. Allerdings zeigt der Rückgang des Porenvolumens in "Remlingen" zum Herbst 1986, daß auch sandreiche Tragschichten mit leicht über dem DIN-Grenzbereich liegenden Schlämmkornanteil durch starke Benutzung während eines nassen Sommers bzw. Herbstes zu Verdichtungen neigen.

Das Gesamtporenvolumen des Baugrundes ist durchschnittlich um etwa 3 Vol.-% niedriger als das der Tragschicht. Ursache hierfür ist eine stärkere Verdichtung bei höheren Schluff- und Tonanteilen.

Während des Untersuchungszeitraumes zeigen sich keine allzu großen Verschiebungen innerhalb dieses Merkmals, wenngleich auch die Ergebnisse eine Verringerung des Porenvolumens im Frühjahr 1987 gegenüber dem Versuchsbeginn (Frühjahr 1986) ausweisen. Tendenziell war diese Entwicklung schon im Herbst 1986 zu beobachten. Hier besteht ein möglicher Zusammenhang mit den überdurchschnittlich hohen Niederschlägen des Jahres 1986, die den Baugrund plastischer und somit verdichtungsanfälliger gemacht haben.

Bedeutungsvoller als das Gesamtporenvolumen ist die Porengrößenverteilung, da sie letztendlich den Wasser- und Lufthalt eines Bodens bestimmt (LINDNER, 1966). Die Wasserdurchlässigkeit sowie die Versorgung des Bodens mit Luft werden durch die Poren > 50 µm reguliert. Luftmangel tritt in der Regel bei weniger als 10 - 15 Vol.-% Poren > 50 µm auf; umgekehrt ist bei Überschreitung dieses Bereiches mit Wassermangel während Trockenperioden zu rechnen (RENGER, 1972). Diese Aussagen gelten jedoch nur dann, wenn eine Oberflächenversiegelung durch fein verteilte organische Substanz oder schluff- und tonreiche Materialien unterbleibt. Die Anteile an schnell dränenden Grobporen in den Tragschichten lassen hinsichtlich der Durchlüftung keine Probleme erwarten.

Jedoch erfordern solche hohen Anteile dieses Porengrößenbereichs in den Sommermonaten regelmäßige Zusatzberegnungen. Auch auf den Untersuchungsstandorten waren zusätzliche Wassergaben nötig, deren genaue Mengen nur auf einigen Plätzen ermittelt werden konnten (Tab. 4, S. 38). Bei der Betrachtung der Beregnungsmengen ist zu berücksichtigen, daß die Standorte in Gebieten mit einem durchschnittlichen Niederschlagsdefizit von 150 mm, teilweise sogar weit über 200 mm, liegen (SKIRDE et al., 1980). Die für die optimale Versorgung der Rasengräser erforderliche Wassermenge konnte auch durch die 1986 über dem Langjährigen Mittel liegenden Niederschläge nicht erreicht werden; hierbei ist die Niederschlagsverteilung über das Jahr die wichtigste Einflußgröße.

Unverständlich ist in diesem Zusammenhang die zum Teil recht mangelhafte Ausrüstung der Plätze mit leistungsfähigen und genau steuerbaren Beregnungsanlagen. Manuelle Wassergaben mit Schläuchen oder nur beschränkt zur Verfügung stehende Wassermengen sind nicht geeignet, eine optimale Versorgung der Pflanzen zu gewährleisten. Zudem kann eine Aufbausättigung, wie sie von SKIRDE et al. (1980) gefordert wird, unter diesen Umständen nur sehr selten erreicht werden. Geringe und häufig wiederholte

Wassergaben verflachen das für die Scherfestigkeit der Narbe sowie die Versorgung der Gräser dringend benötigte tiefreichende Wurzelnetz und fördern die Ausbreitung von *Poa annua* (BEARD, 1973; SKIRDE et al., 1980).

Als sehr stabil gegenüber zeitlichen Veränderungen erweisen sich bei diesem Parameter die Intergreen B-Plätze, die kaum Schwankungen während des Untersuchungszeitraumes erkennen lassen und die relativ hohen Anteile an schnell dränenden Grobporen in der Tragschicht beibehalten. Ein Einfluß der im Sommer 1986 durchgeführten Aerifizierungsmaßnahmen läßt sich auf diesen Plätzen nicht nachweisen. Bei den Intergreen A-Plätzen "Dornbusch I" und "Dornbusch II" hat jedoch das zweimalige Aerifizieren im Sommer 1986 zu einer wesentlichen Steigerung des Porenanteils $> 50 \mu\text{m}$ beigetragen. In "Dornbusch II" ist durch die Regenwurmaktivität ein zusätzlicher Effekt bewirkt worden. Eine eindeutige Erklärung für die steigenden Anteile an Poren $> 50 \mu\text{m}$ im Frühjahr 1987 bei den SRS-Plätzen sowie in "Niedererlenbach" und "Riederwald" kann nicht gegeben werden.

Zusammenfassend betrachtet, besitzen die "bodennahen Bauweisen" mit annähernd 20 Vol.-% schnell dränenden Grobporen in der Tragschicht eine ausreichende Durchlässigkeit für Wasser und Luft. Diese Größenordnung korrespondiert gut mit den von LIESECKE u. SCHMIDT (1976), MEHNERT (1978) und MÜLLER-BECK (1977) ermittelten Werten für DIN-Plätze. Die Bedeutung der Regenwurmröhren - im Vergleich zu den Poren $> 50 \mu\text{m}$ - für eine schnelle Wasserabführung wird bei "Dornbusch II" deutlich (s. Kap. 4.1.4).

Eine Fortsetzung der schnell dränenden Grobporen im Baugrund, in annähernd gleicher Höhe wie in der Tragschicht, ist nur bei "Dornbusch II" und "Wiesentheid" festzustellen. Während in "Dornbusch II" die Poren $> 50 \mu\text{m}$ hauptsächlich auf der Schaffung von Sekundärporen durch die Regenwürmer beruhen, zeichnet hierfür in "Wiesentheid" der sandige Oberboden mit seinen Primärporen verantwortlich. Auf diesem Platz ist die bereits in der Tragschicht festgestellte Erhöhung des schnell dränenden Grobporenanteils im Frühjahr 1987 auch im Baugrund zu verfolgen.

Die absolute Höhe dieses Porengrößenanteils dürfte mit 5 Vol.-% auf den anderen Plätzen ihren unteren Grenzwert schon unterschritten haben. Die hieraus resultierenden ungünstigen Eigenschaften des Baugrundes bzw. Oberbodens in bezug auf den Wasser- und Lufthaushalt konnten vor allem bei allen Intergreen B-Plätzen und in "Remlingen" in Form reduktiver Verhältnisse festgestellt werden. Um mögliche Beeinträchtigungen der Wurzelentwicklung und des Bodenlebens in der Zukunft zu vermeiden, müßten Lockerungsmaßnahmen oder tiefreichende Aerifiziergänge auf diesen Standorten für eine bessere Durchlüftung sorgen.

Keine eindeutigen Tendenzen oder Schlußfolgerungen können aus den Anteilen der langsam dränenden Grobporen (10 - 50 µm) in der Tragschicht abgeleitet werden. Eine allgemein gültige Differenzierung zwischen den Belastungsstufen oder den Untersuchungsterminen, wie sie von anderen Autoren (MEHNERT, 1978; MÜLLER-BECK, 1977) für die Dränschicht-Bauweise nachgewiesen wurde, ist bei den "bodennahen Bauweisen" nicht erkennbar. Diese Aussage trifft auch für den Baugrund zu, dessen Porenanteile 10 - 50 µm insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als in der Tragschicht verlaufen.

Problematisch bei sehr durchlässigen Rasentragschichtgemischen ist ein für die Wasserversorgung der Pflanzen ausreichender Anteil an wasserspeichernden Poren (< 10 µm) (FRANKEN, 1975, 1976; LUKOWSKI, 1971, 1972; MOORMANNS, 1971; SWARTZ u. KARDOS, 1963). In der Tragschicht werden Anteile zwischen 12,8 Vol.-% ("Wiesentheid") und 24,8 Vol.-% ("Dornbusch II"), im Baugrund zwischen 12,6 Vol.-% ("Wiesentheid") und 38,9 Vol.-% ("Gedern") erreicht. Addiert man zu diesen Werten noch die Anteile an langsam dränenden Grobporen (10 - 50 µm) hinzu und erhöht das Ergebnis um 30 %, wie es MÜCKENHAUSEN (1974) zur Vergleichbarkeit der Feldkapazität (pF 1,8) mit der maximalen Wasserkapazität vorschlägt, so wird die in der DIN 18035, Blatt 4, geforderte Mindest-Wasserkapazität von 35 Vol.-% in den Tragschichten der untersuchten Plätze in der Regel nicht erreicht. Führt

man diesen Rechengang mit den entsprechenden Werten des Baugrundes durch, so erfüllt dieser, bis auf "Wiesentheid", die Norm-Anforderung für die Rasentragschicht.

Eine Verbesserung der Situation in den Tragschichten ließe sich durch vermehrte Verwendung von offenporigem Lavasand oder wasserspeichernden Zuschlagstoffen erreichen. Eine Erhöhung des Anteils an organischer Substanz ist nicht ratsam, da diese zwar ein Vielfaches ihres Eigengewichtes an Wasser speichern kann (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979), jedoch bei ihrem Abbau ein Rückgang der Wasserdurchlässigkeit zu erwarten ist (FRANKEN, 1975; SKIRDE, 1973 a, 1973 b). Ein Kompromiß zwischen Durchlässigkeit und Wasserspeicherung sollte aus Gründen der Beispiel- und Belastbarkeit zugunsten der Wasserdurchlässigkeit gefunden werden (FRANKEN, 1975).

Für die Wasserversorgung der Pflanzen entscheidend ist nicht der Anteil aller wasserspeichernder Poren, sondern nur der Mittelporenanteil (0,2 - 10 μm). In diesem wird das Wasser gespeichert, das die Pflanzenwurzeln aufnehmen können (MÜCKENHAUSEN, 1974; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979). Die Tragschichten der Plätze enthalten zwischen 8 und 14 Vol.-% pflanzenverfügbares Wasser. Etwa 5 Vol.-% mehr Wasser als die Tragschicht speichert durchschnittlich der Baugrund. Besonders der Baugrund der Inter-green B-Plätze kann wegen seines höheren Mittelporenanteiles den Pflanzenwurzeln in Trockenperioden verstärkt Wasser und somit auch die darin gelösten Nährstoffe nachliefern. Sehr geringe Unterschiede zwischen Baugrund und Tragschicht in der Speicherefähigkeit an pflanzenverfügbarem Wasser bestehen bei den Inter-green A- und den SRS-Plätzen. Dies wird durch die unterschiedlichen Anteile an wasserspeichernden Poren ($d < 10 \mu\text{m}$) und Feinporen ($d < 0,2 \mu\text{m}$) in Tragschicht und Baugrund hervorgerufen, die letztendlich eine Angleichung der Mittelporenanteile bewirken.

Zusammenfassend betrachtet, läßt sich aus dem Anteil an Mittelporen die Schlußfolgerung ableiten, daß bei den "bodennahen Bauweisen" pflanzenbauliche Vorteile gegenüber anderen Bausystemen in bezug auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen nur dann erreicht werden können, wenn der Baugrund von den Wurzeln erreicht und aufgeschlossen werden kann. Bei einer angenommenen Tragschichtdicke von 10 cm, einige der untersuchten Rasensportplätze besitzen nur eine 6 cm starke Rasentragschicht, können unter den ermittelten Verhältnissen etwa 10 l pflanzenverfügbares Wasser pro m² gespeichert werden. Geht man von einem durchschnittlichen Verbrauch von 3 l/m² und Tag aus, an sehr heißen Tagen kann dieser bis auf 7 l/m² ansteigen (SKIRDE et al., 1980), so treten spätestens nach 3-4 Tagen Welkeerscheinungen ein. Die Erschließung des Baugrundes durch das Wurzelwerk und das Wassernachlieferungsvermögen durch kapillaren Aufstieg können eine rasch einsetzende Schädigung der Pflanzen durch Wassermangel vermeiden helfen. Dieser pflanzenbauliche Aspekt wird erweitert durch eine Verringerung der Zusatzbewässerungsintensität und durch bessere Ausnutzung der natürlichen Niederschläge. Die in der Regel sehr durchlässigen, geringmächtigen Rasentragschichten sind hierzu allein nicht in der Lage.

Die Ermittlung der maximalen Wasserkapazität nach DIN 18035, Blatt 4, liefert zwar einen Anhaltspunkt zur Beurteilung der Wasserspeicherfähigkeit eines Substrates, jedoch ist die praxisrelevante, den Pflanzen zur Verfügung stehende und aufnehmbare Wassermenge nur bei Berücksichtigung des Totwasseranteils und genauer Aufgliederung der Porengrößenverteilung zu erreichen. Zur Festlegung geeigneter und aussagefähiger Grenzwerte sollten daher Stechzylinderuntersuchungen zur Beschreibung der Substrat-eigenschaften mit hinzugezogen werden. Problematisch bei dieser Forderung dürfte vor allem die Laboruntersuchung eines Tragschichtgemisches bei der Intergreen A-Bauweise sein, da durch die Heterogenität innerhalb des Substrates, bedingt durch größere Oberbodenaggregate, kleine Probenmengen für Stechzylinder- oder Proctoruntersuchungen die Eigenschaften des Gesamtsystems nur bedingt charakterisieren.

Ein Einfluß unterschiedlicher Belastung sowie der Untersuchungs-
termine auf das Trockenraumgewicht ist bei den meisten Plätzen
in "bodennaher Bauweise" nicht nachweisbar. Lediglich die be-
reits beim Gesamtporenvolumen festgestellten geringeren Gehalte
im Strafraum bei "Dornbusch II" und "Riederwald" dokumentieren
sich auch in einem höheren Trockenraumgewicht in der Tragschicht
unter stärkerer Belastung. Dieser Effekt setzt sich bei "Dorn-
busch II" auch im Baugrund fort. Eine mögliche Selbstauflocke-
rung während der Vegetationsperiode spiegelt sich in den gerin-
geren Trockenraumgewichten der Tragschichten bei diesen Plätzen
zum Herbst 1986 wider.

Auf Plätzen mit erkennbarer Verdichtungsanfälligkeit sollte
eine punktuelle Überbelastung durch Variierung der Torrräume,
zumindest während des Trainings, eingeschränkt werden. Die teil-
weise nur geringen Unterschiede in den Trockenraumgewichten zw-
ischen Tragschicht und Baugrund lassen keine Störung der Durch-
wurzelung erwarten, die bekanntlich sehr sensibel auf Dichtever-
änderungen reagiert (SCHUURMAN, 1965).

Nach DIN 18035, Blatt 4, sollen Rasentragschichten im benutzten
Zustand einen Durchflußwert von 50 l/m² und Stunde (= 12 min/
10 mm) nicht unterschreiten. Dieser Wert wird nur von den Plät-
zen "Dornbusch II", "Niedererlenbach" und "Wiesentheid" erreicht.
Die übrigen Plätze weisen im gesättigten Zustand eine Wasser-
durchlässigkeit von 20 - 40 l/m² und Stunde auf, wobei die-
se in "Kirtorf" im Frühjahr 1987 nur noch etwa 10 l/m² und
Stunde beträgt. Bei der Beurteilung dieser Meßgröße ist ein di-
rekter kausaler Zusammenhang mit den Anteilen an schnell drä-
nenden Grobporen (> 50 µm) nur vereinzelt abzuleiten. Vielmehr
dürfte die negative Beeinflussung der Durchlässigkeit hauptsäch-
lich in der Ausprägung oberflächennaher Störschichten zu sehen
sein. An erster Stelle steht dabei die Anhäufung von Rasenfilz.
Die Intergreen A-Plätze besitzen bis auf "Dornbusch I" eine ma-
ximal 5 mm starke Filzschicht; diese Tatsache läßt auf eine gute
biologische Aktivität in den Tragschichten dieser Bauweise

schließen, die sich z.B. in einer stärkeren Regenwurmaktivität als bei den übrigen Plätzen zeigte. Besonders bei "Dornbusch II" tragen die Regenwurmröhren wesentlich zu einer gleichbleibenden vertikalen Wasserabführung bei, da von der Korngrößenzusammensetzung der Rasentragschicht her eigentlich eine viel geringere Wasserdurchlässigkeit zu erwarten gewesen wäre.

Der positive Einfluß des Aerifizierens zeigt sich in der höheren Durchlässigkeit im Herbst 1986 bei "Dornbusch I". Ein Wasserstau in der etwa 10 mm starken Filzaufgabe konnte somit vermieden werden. Die Stärke des Rasenfilzes auf den Intergreen B-Plätzen betrug in der Regel etwa 10 - 20 mm. Anscheinend reicht auf diesen stark vermagerten Substraten die biologische Aktivität, hier ist auf das Fehlen von Regenwürmern hinzuweisen, nicht aus, um die anfallende organische Substanz abzubauen. Diese Vermutung wird durch Untersuchungen von HABEGGER (1978) untermauert. Auf den 1984 gebauten SRS-Plätzen betrug die Rasenfilzanhäufung nur wenige Millimeter und hatte keinen Einfluß auf die Wasserdurchlässigkeit. Die geringe Permeabilität zum Herbst 1986 in "Remlingen" spiegelt sich im Rückgang der Poren $> 50 \mu\text{m}$ wider. Eine Verdichtung dieses Substrates bei starker Nutzung unter den ungünstigen Witterungsbedingungen des Jahres 1986 ist nicht auszuschließen.

Aus diesen Feststellungen ist abzuleiten, daß die Wasserdurchlässigkeit der untersuchten Plätze im Regelfall zwar nicht den in der Norm festgelegten Grenzwert erreicht, jedoch unter den normalerweise in unserem Klimaraum vorherrschenden Witterungsbedingungen ausreichend erscheint. Niederschlagsereignisse von über 20 mm/h ($= 1/\text{m}^2/\text{h}$) sind relativ selten und regional sehr verschieden. Eine allgemeingültige Mindestanforderung aus solchen Extremen abzuleiten, ist wenig sinnvoll. Andererseits dürfen dabei aber die Beziehungen zwischen dem Anteil an abschlämmbaren Teilen ($d \leq 0,02 \text{ mm}$), der Belastungsintensität und der Wasserdurchlässigkeit auch nicht ganz außer acht gelassen werden, wobei der Lage, Größe und Stabilität der Bodenaggregate in der Tragschicht offensichtlich eine wesentliche Bedeutung zukommt.

Ferner ist bei den ermittelten Ergebnissen zu beachten, daß das kurzfristige Wasserschluckvermögen noch etwas höher als die Wasserdurchlässigkeit liegen kann, da ein trockener Boden bei Niederschlägen zunächst einen Teil des Wassers speichert und erst dann das überschüssige Wasser ableitet. Voraussetzung hierfür ist natürlich die Beseitigung des Rasenfilzes oder anderer Störschichten. Diese Mängel gehen aber nicht zu Lasten des Bausystems, sondern sind in erster Linie auf mangelnde Pflege zurückzuführen. Aerifizieren, Vertikutieren und Besanden gehören folglich auch bei "bodennahen Bauweisen" neben Mahd und Düngung zum Standardpflegeprogramm. Auf die Hilfe der Regenwürmer beim Filzabbau und bei der Schaffung wasserableitender Sekundärporen sollte nach Möglichkeit nicht verzichtet werden. Der durch die Regenwurmausscheidungen hervorgerufenen Anreicherung von Feinteilen an der Spielfeldoberfläche (BAKER, 1981; KNIERIEMEN, 1982) und der damit verbundenen Beeinträchtigung der Infiltration und Bespielbarkeit kann durch periodische Besandungen entgegengewirkt werden.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß die in dieser Arbeit nicht näher untersuchten, zum Entwässerungssystem der "bodennahen Bauweisen" gehörenden Dränschlitze keinerlei Verunreinigungen durch Feinteilablagerungen aus dem benachbarten oder oben anstehenden Substrat aufwiesen. Die Durchwurzelung dieser grobkörnigen Dränschlitzte war besonders intensiv und tiefreichend.

Der Abscherwiderstand wird im wesentlichen von der Korngrößenverteilung und Beschaffenheit der Einzelkomponenten sowie dem Wassergehalt und der Durchwurzelung des Substrates beeinflußt (FRANKEN u. HURTMANN, 1983; LIESECKE u. SCHMIDT, 1978; SKIRDE, 1981 b).

Um den Einfluß des Wassergehaltes zum einen zwischen den Untersuchungsterminen und zum anderen zwischen den Plätzen möglichst klein zu halten, wurden die Messungen im wassergesättigten Zustand der Substrate vorgenommen. Der Wassergehalt entspricht daher in etwa dem Anteil an Poren $< 50 \mu\text{m}$.

Die Abhängigkeit des Abscherwiderstandes vom Untersuchungstermin zeigt sich darin, daß zum Teil beträchtliche Unterschiede zwischen den Terminen bestehen. Da zu den bereits erwähnten Einflußgrößen noch zusätzlich der Porengrößenverteilung eine Bedeutung zugemessen wird (MÜLLER-BECK, 1977), wird auf eine weitere Interpretation der Ergebnisse verzichtet. Zusammenfassend betrachtet, erreichen die "bodennahen Bauweisen" unter der ungünstigen Ausgangssituation der Wassersättigung eine Scherfestigkeit im Mittel der Termine zwischen 0,55 und 0,82 kg/cm². Diese Größenordnung stimmt sehr gut mit den von SKIRDE (1981 b) sowie v. WIJK u. BEUVING (1974) für ausreichend belastbare Rasenflächen angegebenen Scherfestigkeitsbereichen überein.

Die Beurteilung der pH-Werte von Tragschicht und Baugrund sind hauptsächlich unter dem Aspekt eines akzeptablen Milieus für die auf dem Sportrasen bevorzugten Gräser zu sehen. Die DIN 18035, Blatt 4, gibt hierfür einen Bereich von pH 5,5 - 6,5 an. Eine Anhebung dieses Bereichs bis auf pH 7,0 ist durchaus annehmbar, da sich das wichtige Rasengras *Poa pratensis* bei einer Bodenreaktion zwischen pH 6,0 und 7,0 optimal entwickelt (OPITZ v. BOBERFELD u. BOEKER, 1975). Im wesentlichen wird der erweiterte pH-Bereich in den Tragschichten eingehalten. Die zu Untersuchungsbeginn etwas über dem Neutralpunkt liegenden Bodenreaktionen der beiden SRS-Plätze gingen im Verlauf der Untersuchungen tendenziell zurück. Die größten Schwankungen über den Versuchszeitraum weisen die sehr sandreichen Rasentragschichtgemische der Intergreen B- und SRS-Bauweise auf. Diese Substrate sind anscheinend nicht in der Lage, die Einflußgrößen auf den pH-Wert, wie die durch Düngungsmaßnahmen bedingte Änderung der Salzkonzentration und die biologische Aktivität (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979), abzupuffern. Physiologisch stark sauer oder alkalisch wirkende Dünger sollten auf diesen Plätzen, zur Vermeidung abrupter pH-Sprünge mit ihren negativen Auswirkungen auf die Pflanzen, vermieden werden. Dagegen besitzen die Intergreen A-Plätze aufgrund ihrer tonreicheren Korngrößenzusammensetzung

und des höheren Gehaltes an organischer Substanz eine höhere Austauschkapazität und somit ein besseres Pufferungsvermögen gegenüber Veränderungen in der Bodenreaktion.

Die über den Untersuchungszeitraum nur als geringfügig einzustufenden Veränderungen des pH-Wertes im Baugrund belegen diese Aussage. Schwierigkeiten bei der Versorgung mit Spurennährstoffen sind bei pH-Werten über dem Neutralpunkt zu erwarten (MENGEL, 1984); Mangelsymptome bezüglich einer Unterversorgung mit diesen Elementen konnten auf den betreffenden Plätzen jedoch nicht festgestellt werden.

Belastbare Rasenflächen sollten Nährstoffgehalte in Höhe von 10 - 20 mg P_2O_5 /100 g Boden und 15 - 30 mg K_2O /100 g Boden aufweisen (SKIRDE et al., 1980). Die zwischen den Belastungsstufen festgestellten Unterschiede in der P- und K-Versorgung können zum einen durch eine uneinheitliche Düngung verursacht werden, sind zum anderen aber auch durch einen geringeren Nährstoffentzug bei niedrigem Bedeckungsgrad im Strafraum zu erklären. Hieraus eine Verringerung der Nährstoffgaben im Strafraum abzuleiten, ist sicherlich falsch. Gerade die stark strapazierten Gräser dieser Zone benötigen ein optimales Nährstoffangebot zur Aufrechterhaltung oder Wiederbelebung ihrer Regenerationskraft.

Aus den vorliegenden Ergebnissen kann lediglich für "Kirtorf" eine Unterversorgung mit Phosphat in der Tragschicht festgestellt werden. Die auf diesem Platz ausgebrachten Phosphatmengen lassen eigentlich einen höheren Versorgungsgrad erwarten; daß sich dieser in der untersuchten Bodenschicht (ca. 3 - 8 cm) nicht nachweisen läßt, ist ein Beweis für die sehr geringe Tiefenverlagerung des Phosphates.

Bei den Plätzen "Dornbusch I", "Gedern" und "Remlingen" sind die Phosphat - Gehalte im Baugrund als zu niedrig einzustufen. Diese Tatsache gewinnt in "Remlingen" um so mehr an Bedeutung, da es durch den hohen pH-Wert im Baugrund zu einer völligen Immobilisierung des Phosphates durch Calciumionen kommen kann

(MENGEL, 1984). Eine Verbesserung der Situation auf diesen Plätzen ist durch den Einsatz von leicht verlagerungsfähigen P-Formen, wie sie GEBHARDT (1972) beschreibt, zu erreichen. Auf die Bedeutung des Phosphates für die Tiefendurchwurzelung weist BÜRING (1977) hin.

Die zu beobachtende Abnahme der Nährstoffgehalte im Herbst ist mit dem während der Vegetationsperiode ansteigenden Entzug durch die Pflanzen zu erklären. Inwieweit die Gehalte im Boden dabei durch eine Auswaschung beeinflusst werden, kann nicht beurteilt werden. Dieser Fragenkomplex sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen an Rasensportflächen in "bodennahen Bauweisen" sein.

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium sind im wesentlichen sowohl in der Tragschicht als auch im Baugrund als ausreichend einzustufen. Zeitliche und belastungsbedingte Verschiebungen sind den gleichen Umständen wie bei der Versorgung mit Phosphat zuzuordnen. Die Gefahr einer eventuellen Tiefenverlagerung oder Auswaschung mit dem Überschußwasser ist jedoch beim Kalium ungleich größer als beim Phosphat. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Baugrund aufgrund seiner Nährstoffspeicherung zu einer ausgeglichenen Nährstoffversorgung der Gräser beitragen kann. Voraussetzung hierfür ist natürlich eine Erschließung des Baugrundes durch das Wurzelnetz.

Inwieweit ein völliger Verzicht auf Düngung, wie 1985 in "Dornbusch II" und eine P- und K-Vorenthaltung in "Bellersheim" ratsam sind, bleibt dahingestellt. Zumindest sollten die Entzüge durch die Pflanzen durch eine Erhaltungsdüngung wieder ausgeglichen werden, da ansonsten die Nährstoffreserven des Bodens mit der Zeit erschöpft werden und Mangelsituationen die Folge sind. Durch Mineralisation des anfallenden Schnittgutes können ebenfalls Nährstoffe dem Boden zugeführt werden. Dies setzt jedoch eine gleichmäßige, nicht zu dicke Verteilung des Schnittgutes voraus (SKIRDE et al., 1980), da ansonsten die Rasenfilzbildung gefördert wird. Die relativ geringe Schnitthäufigkeit sowie eine

teilweise beobachtete Schwadablage und Klumpenbildung des Schnittgutes lassen auf den untersuchten Plätzen eher einen Beitrag zur Filzanhäufung erwarten. Erhöhung der Schnittfrequenz sowie sachgerechte Verteilung des Schnittgutes könnten hier Abhilfe schaffen.

Der Gehalt an organischer Substanz wird in der DIN 18035, Blatt 4, auf 4 M.-% begrenzt. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß ein Gehalt von 1 M.-% nicht unterschritten und 3 M.-% nicht überschritten werden sollten, um einerseits die positiven Eigenschaften wie Wasser- und Nährstoffspeicherung in vermagerten Tragschichten zu fördern und andererseits negative Auswirkungen in Form von zu starker Wasserretention und Hemmung der Wasserdurchlässigkeit zu vermeiden (MÜLLER-BECK, 1977; SKIRDE, 1978).

Eine Verringerung der Wasserdurchlässigkeit wurde bei "Dornbusch II" trotz des hohen Gehaltes an organischer Substanz in der Tragschicht an keinem der Untersuchungstermine festgestellt. Bis auf "Remlingen" hat sich bei den übrigen Plätzen ein Gehalt an organischer Substanz zwischen 1 und 3 M.-% eingestellt. Auf den noch recht jungen SRS-Plätzen ist mit einer weiteren Zunahme zu rechnen, da eine positive Beziehung zwischen Platzalter und Gehalt an organischer Masse besteht. Haupteinflußfaktor ist dabei die Durchwurzelung (v.d. HORST u. KAPPEN, 1970; RIEM VIS, 1976). Der späte Vegetationsbeginn im Frühjahr 1987, bedingt durch die niedrigen Durchschnittstemperaturen, und das dadurch verzögerte Wurzelwachstum beeinflussen wahrscheinlich auch die Gehalte an organischer Substanz in der Tragschicht.

Dieser Effekt läßt sich bei der Intergreen A-Bauweise auch im Baugrund nachweisen. Zusätzlich wird im Baugrund der Gehalt an organischer Substanz durch die Belastung beeinflußt. Eine geringere Abbauintensität durch die Mikroorganismen könnte im Strafraum Ursache hierfür sein.

Da der Baugrund durch die höheren Schluff- und Tonanteile mehr Wasser speichern kann als die Tragschicht, sollte mit etwa

3 M.-% organischer Substanz die Obergrenze erreicht sein. Ansonsten ist eine zu starke Labilität des Baugrundes im wasser-gesättigten Zustand zu befürchten. Dies muß bei der Verwendung von Oberboden im Rahmen der Baugrundverbesserung oder bei einer eventuellen Anreicherung mit organischem Material berücksichtigt werden.

Das C/N-Verhältnis stellt auf den untersuchten Plätzen sowohl in der Tragschicht als auch im Baugrund eine über den Versuchs-zeitraum ständig variierende Größe dar. Dies ist verständlich, da der Quotient aus sich ebenfalls ständig verändernden Faktoren, der organischen Substanz und dem Stickstoffgehalt des Bodens, gebildet wird. Je enger das C/N-Verhältnis ist, um so besser sind die Abbaubedingungen der organischen Stoffe durch die Mikroorganismen. Die engsten C/N-Verhältnisse von etwa 10/1 besitzen Böden mit hoher biologischer Aktivität (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979). Diese Größenordnung wird annähernd auf allen Plätzen im Baugrund erreicht. Das C/N-Verhältnis in der Tragschicht liegt im allgemeinen, bis auf "Gedern", geringfügig höher. Die Plätze mit zum Teil recht hohen Gehalten an organischer Substanz verfügen bei einem engen C/N-Verhältnis somit auch über erhebliche Mengen an Bodenstickstoff. Nimmt man im Mittel einen Gehalt von 2 M.-% organischer Substanz mit einem C/N-Verhältnis von 12/1 an, so enthält eine 15 cm starke Bodenschicht etwa 200 g N/m². Ein Teil dieses Stickstoffvorrates kann durch Mineralisation pflanzenverfügbar gemacht werden. Eine zu jedem Zeitpunkt optimale Versorgung der Rasen-gräser mit Stickstoff ist jedoch nur durch zusätzliche Düngergaben zu erreichen, da die Mineralisation sehr stark von den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen im Boden abhängt.

Sehr hohe Bedeckungsgrade während des Untersuchungszeitraumes besitzen die beiden SRS-Plätze. Besondere Pflegemaßnahmen wurden auf diesen jungen Plätzen bisher nicht durchgeführt. Neben einer zunehmenden Einwanderung von *Poa annua* ist zwar in "Remlingen" eine Tendenz zur Abnahme der Bodenbedeckung im Strafraum zu beobachten, doch zeigen sich klar die Vorteile einer

Verwendung strapazierfähiger Sorten von *Lolium perenne* und *Poa pratensis* bei der Ansaat. Beim Vergleich mit anderen Plätzen ist zu bedenken, daß der Platz in "Wiesentheid" nur sehr gering belastet wird. In "Remlingen" sollte in Zukunft mit Pflegemaßnahmen wie Nachsaat oder Ausbessern begonnen werden, um das Vordringen der unerwünschten Art *Poa annua* einzudämmen. Die Belastungen während des Winterspielbetriebes und die in dieser Zeit nicht vorhandene Regenerationsfähigkeit der Gräser führen auf den übrigen Plätzen besonders im Strafraum zu geringen Bedeckungsgraden im Frühjahr. Hiervon sind besonders, bis auf "Dornbusch II", die Intergreen A-Plätze betroffen. Durch Pflegemaßnahmen sowie die Regeneration der Pflanzen während der Vegetationsperiode können diese Differenzen bis zum Herbst weitestgehend ausgeglichen werden. Zu den geringen Bedeckungsgraden in "Grünberg" und "Kirtorf" im Herbst 1986 ist anzumerken, daß der Platz in "Grünberg" die höchste Belastung von 34 Wochenstunden aufweist und in "Kirtorf" kurz vor dem Untersuchungstermin Turnierspielbetrieb von über einer Woche Dauer stattgefunden hat.

Zur Nachsaat wurde auf den Plätzen hauptsächlich *Lolium perenne* verwendet. Auch wenn es in der Ansaatmischung nicht enthalten war, wie in "Dornbusch II" und "Riederwald", hat es durch diese Maßnahme im Laufe der Zeit beträchtliche Anteile am Pflanzenbestand einnehmen können. Diese Art hat den Vorteil, daß sie relativ schnell aufläuft und schnell die aufgetretenen Lücken schließt, jedoch bei starker Bespielung rasch wieder zerstört wird. Gerade in den stärker belasteten Bereichen sollte daher eine Präferenz für ausläufertreibende Gräser bestehen, wie sie *Poa pratensis* oder bestimmte Sorten von *Lolium perenne* darstellen. Auf alle Fälle ist den Gräsern bei einer Nachsaat genügend Zeit zur Durchwurzelung und Bestockung zu lassen. Spezielle Saattechniken oder Verlegen von Fertiggrasensoden können diese Zeitspanne der Nutzungsunterbrechung verkürzen.

Aus den Untersuchungsergebnissen der Artenzusammensetzung ist abzuleiten, daß, außer *Lolium perenne* und *Poa pratensis*, alle anderen in einer Ansaatmischung enthaltenen Arten auf einer belasteten Rasenfläche nicht ausdauernd sind. Die zu 50 % in "Kirtorf" in die Ansaatmischung aufgenommenen *Festuca*-Arten sind nach sieben Jahren nur noch spurenweise in den äußersten Seitenbereichen anzutreffen. Dagegen hat besonders auf den Intergreen B-Plätzen die unerwünschte Art *Poa annua* zum Teil Anteile von über 50 % erreicht. Die zunehmenden Anteile von *Poa pratensis* in "Wiesentheid" und "Remlingen" bestätigen die Auffassung, daß diese strapazierfähige Art, Sorteneignung voraussetzt, in noch höheren Mengen als bisher bei der Ansaat berücksichtigt werden sollte. Eine wichtige Entscheidungshilfe bei der Sortenwahl ist die jeweils aktuelle "Beschreibende Sortenliste" des Bundessortenamtes.

Ohne eine Erschließung durch die Gräserwurzeln sind die Wasser- und Nährstoffvorräte des Baugrundes bzw. des unterhalb des Rasentragschichtgemisches anstehenden Oberbodens für die Pflanzen fast bedeutungslos. Lediglich geringe Mengen an Wasser und darin gelöste Nährstoffe könnten infolge kapillaren Aufstiegs zur Versorgung der Pflanzen beitragen. Eine intensive und tiefreichende Durchwurzelung ist somit aus ökologischen und ökonomischen Aspekten anzustreben, da im Boden gespeicherte oder im Bodenwasser enthaltene Nährstoffe der latenten Gefahr einer Auswaschung ausgesetzt sind, wenn sie nicht von Pflanzen aufgenommen werden.

Durchwurzelungsintensität und -tiefe sind abhängig von verschiedenen Faktoren wie: Poren $> 10 \mu\text{m}$ (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1979), Artenzusammensetzung, verwendete Sorten und Bedeckungsgrad (BOEKER, 1974; v.d. HORST u. KAPPEN, 1970; OPITZ v. BOBERFELD u. BOEKER, 1973), sowie Witterungs- und Pflegeeinflüsse - Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Düngung, Schnitt, Bewässerung, Belastung - (BEARD, 1973; GARWOOD, 1968; KLAPP, 1971; SKIRDE, 1971 c, 1977, 1980). Die Einflüsse von Belastung und Jahreszeit zeigen sich auf den untersuchten Plätzen bei der Wurzelzahl in

5 cm Tiefe (Tragschicht) darin, daß zu den Frühjahrsterminen die weniger belasteten Seitenbereiche stärker durchwurzelt waren als die Strafräume. Auch in der Übergangszone zwischen Tragschicht und Baugrund war diese Auswirkung der Belastung nachzuweisen. Der Einfluß der Bodentemperatur auf das Wurzelwachstum wurde bereits an anderer Stelle diskutiert. Vergleiche mit anderen Wurzeluntersuchungen auf der Basis "Wurzelmasse" (MEHNERT, 1978; MÜLLER-BECK, 1977) sind hier nur bedingt möglich.

Poa annua besitzt nur einen geringen Wurzeltiefgang (WILKINSON u. DUFF, 1972). Aber selbst bei hohen Anteilen dieser Art in den Pflanzenbeständen von "Grünberg" und "Kirtorf" war die Durchwurzlung der Übergangszone und des Baugrundes mit der der anderen Plätze vergleichbar. Dies ist auf die Wurzelaktivität der noch vorhandenen Anteile an *Poa pratensis* und *Lolium perenne* zurückzuführen. In "Remlingen" liegt die geringe Zahl der Wurzeln in 15 cm Tiefe offensichtlich in dem niedrigen P_{205} - Gehalt des Baugrundes begründet, da Phosphat auf die Wurzeln einen starken chemotaktischen Reiz ausübt (SKIRDE et al., 1980). Vielleicht ist in diesem Baugrund mit einem Trockenraumgewicht von $1,7 \text{ g/cm}^3$ die Obergrenze für die Durchwurzlung aber auch schon überschritten. Eine eindeutige Erklärung für die geringe Durchwurzlung des Baugrundes in "Riederwald" kann mit den vorliegenden Ergebnissen nicht gegeben werden.

Wegen der Vielzahl der Einflußfaktoren auf belasteten Rasenflächen ist es nahezu unmöglich, daraus spezifische Einflüsse des Bodenaufbaues auf die Durchwurzlung abzuleiten. Die Hauptanforderung bei der Herstellung eines Rasensportplatzes ist daher in der Schaffung einer durchwurzelnbaren Bodenschicht und der Vermeidung von Störschichten zu sehen. Nach den vorliegenden Ergebnissen weisen die Wurzelzahlen in den entsprechenden Tiefen darauf hin, daß diese Grundlagen bei den "bodennahen Bauweisen" fast ausnahmslos erreicht werden.

Setzt man die Anzahl der Wurzeln in 5 cm Tiefe gleich 100 %, so verringert sich die Wurzelzahl in der Übergangszone auf durchschnittlich etwa 40 % und in 15 cm Tiefe auf 20 %. Von etwa 200 Wurzeln pro 100 cm^2 in der Tragschicht erreichen

folglich zirka 80 den Baugrund bzw. Oberboden, und noch 40 Wurzeln können sein Wasser- und Nährstoffreservoir erschließen. Diese Verhältnisse stimmen sehr gut mit den Relationen der von MÜLLER-BECK (1977) ermittelten Wurzelmassen in 5 - 10 und 10 - 15 cm Tiefe überein. Die Ermittlung der Wurzelzahl stellt eine objektive Methode zur Beschreibung der Durchwurzelung dar. Gegenüber einer Wurzelmassebestimmung ist sie jedoch einfacher und zeitsparender durchzuführen. Zudem kommt der Wurzelzahl im Hinblick auf die Wasser- und Nährstoffversorgung der Gräser eine größere Bedeutung zu als der Wurzelmasse. Ferner ist sie hervorragend dazu geeignet, eventuell vorhandene, die Durchwurzelung hemmende Störschichten nachzuweisen und exakt zu lokalisieren.

Die über zwei Frühjahrs- und einen Herbsttermin gewonnenen Ergebnisse zeigen weiterhin sehr deutlich, daß die bodenphysikalischen, bodenchemischen und vegetationskundlichen Eigenschaften von Rasensportplätzen in "bodennahen Bauweisen" zeitlichen Veränderungen unterliegen und somit nicht als statische Größen anzusehen sind.

Der Zeitpunkt der Probenahme bzw. Untersuchung im Freiland kann für das Ergebnis von wesentlicher Bedeutung sein. Obwohl Kenntnisse über dynamische Prozesse im Bodenaufbau von Rasensportplätzen vorliegen, wird in der Regel vom augenblicklichen Zustand, d.h. von einer "Momentaufnahme" ausgegangen. So können dann im Zeitablauf eventuell auftretende Veränderungen durchaus zu mißverständlichen Ergebnissen führen.

Um einen genaueren Einblick in die Eigenschaften von Rasensportflächen zu erhalten, ist die dynamische Betrachtungsweise unabdinglich. Diese Forderung betrifft sicher nicht alle, wohl aber einige wesentliche Parameter.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse belegen, daß "bodennahe Bauweisen" echte Alternativen zu anderen Bauweisen für Rasensportplätze darstellen. Alle untersuchten Plätze erfüllen im wesentlichen die bodenphysikalischen, bodenchemischen und vegetationskundlichen Anforderungen, die an belastbare Rasenflächen zu stellen sind.

Jedoch lassen sich zwischen den Bauweisen einige funktionsbestimmende Differenzierungen aufzeigen. So besitzen insbesondere die Intergreen A-Plätze einen gewissen Jahresgang der bodenphysikalischen Eigenschaften. Dies ist nicht unbedingt negativ zu bewerten, da die Substrate auftretende Veränderungen durch ihre Eigendynamik wieder ausgleichen können. Gerade die Plätze dieser Bauweise sind, trotz relativ hoher Schluff- und Tonanteile in der Tragschicht, ausdauernd wasserdurchlässig; sie neigen kaum zur Rasenfilzbildung. Dies trifft auch für die SRS-Plätze zu, wobei hierbei allerdings noch das Alter der Plätze berücksichtigt werden muß. Der stärkeren Filzbildung auf den Intergreen B-Plätzen ist mit entsprechenden Pflegemaßnahmen entgegenzuwirken.

Bei allen Bauweisen wurde eine mehr oder weniger starke Durchwurzelung des Baugrundes nachgewiesen, obwohl eine Verzahnung von Tragschicht und Baugrund auf den Intergreen B- und SRS-Plätzen visuell nicht nachvollzogen werden konnte. Folglich stellt dieser Übergangsbereich für die Pflanzenwurzeln kein Hindernis dar, so daß die Wasser- und Nährstoffvorräte des Baugrundes grundsätzlich erschlossen werden können. Daraus ergeben sich dann aber auch Schlußfolgerungen im Hinblick auf die immer wieder erhobene Forderung nach intensiver Verzahnung von Tragschicht und Baugrund.

Damit die Funktionsfähigkeit der Rasensportplätze nicht über ein vertretbares Maß hinaus beeinträchtigt wird, müssen Pflegemaßnahmen und -intensität auf Erhaltung bzw. Wiederherstellung der günstigen Ausgangseigenschaften ausgerichtet sein. Dies ist leider nicht bei allen Plätzen der Fall.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Tragschicht und Baugrund von 10 Rasensportplätzen in "bodennahen Bauweisen" im Hinblick auf ihre bodenphysikalischen, bodenchemischen und vegetationskundlichen Eigenschaften untersucht. Eine Gruppierung der Plätze erfolgte entsprechend des Bodenaufbaues in:

- Intergreen A-Plätze (Dornbusch I, Dornbusch II, Niedererlenbach, Riederwald),
- Intergreen B-Plätze (Bellersheim, Gedern, Grünberg, Kirtorf) und
- SRS-Plätze (Wiesentheid, Remlingen).

Zeitliche Veränderungen (Dynamik) der geprüften Parameter sollten durch die Untersuchungstermine Frühjahr 1986, Herbst 1986 und Frühjahr 1987 erfaßt werden. Der Einfluß der Belastungsintensität wurde mit der Einteilung der Plätze in stark (Strafraum) und schwach belastete Bereiche (Mittelfeld) berücksichtigt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Korngrößenverteilung der Tragschichtsubstrate ist bei fast allen Plätzen der "bodennahen Bauweisen" durch den über dem Norm-Grenzwert von 8 M.-% liegenden Anteil an abschlämmbaren Teilen ($d \leq 0,02$ mm) gekennzeichnet. Lediglich in "Gedern" und "Wiesentheid" verlaufen die Körnungslinien innerhalb des vorgegebenen Grenzbereiches der DIN 18035, Blatt 4.

Sehr hohe Ton- und Schluffgehalte charakterisieren die Korngrößenverteilung im Baugrund bzw. Oberboden. Eine Ausnahme hiervon bilden "Dornbusch II" und "Wiesentheid", deren Körnungslinien von Tragschicht und Baugrund annähernd identisch sind.

2. Ein Einfluß unterschiedlicher Belastung auf das Gesamtporenvolumen der Tragschicht zeigte sich lediglich bei den beiden Intergreen A-Plätzen "Dornbusch II" und "Riederwald" in höheren Werten im Mittelfeld. Während des Untersuchungszeitraumes war das Porenvolumen der Intergreen A-Plätze im Herbst höher als in den beiden Frühjahren, während die SRS-Plätze im Herbst eine Abnahme des Gesamtporenvolumens aufwiesen.

Das Gesamtporenvolumen des Baugrundes nahm im Mittel der Plätze während des Untersuchungszeitraumes um etwa 1 Vol.-% ab. "Dornbusch II" wies ein höheres Porenvolumen im Mittelfeld auf, während dies in "Bellersheim" für den Strafraum zutraf.

3. Der Anteil an schnell dränenden Grobporen ($> 50 \mu\text{m}$) in der Tragschicht lag zwischen 12,1 Vol.-% ("Dornbusch II") und 25,0 Vol.-% ("Bellersheim"). Im Baugrund sank dieser Porengrößenanteil auf etwa 5 Vol.-% ab. Eine Ausnahme bildeten "Dornbusch II" und "Wiesentheid", die in Tragschicht und Baugrund annähernd gleich hohe Anteile an Poren $> 50 \mu\text{m}$ aufwiesen. Die größten jahreszeitlichen Schwankungen zeigten die Intergreen A- und SRS-Plätze.

Im Porengrößenbereich 10 - 50 μm ergaben sich belastungs- und jahreszeitbedingte Einflüsse auf Tragschicht und Baugrund am häufigsten bei den Intergreen A- und SRS-Plätzen.

Der Mittelporenanteil (0,2 - 10 μm) der Tragschicht betrug durchschnittlich etwa 10 Vol.-% und wurde bei fast allen Plätzen wesentlich vom Untersuchungszeitpunkt variiert.

Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser lag im Baugrund zwischen 9,0 Vol.-% ("Wiesentheid") und 20,1 Vol.-% ("Grünberg"), wobei eine Verringerung des Mittelporenanteils während des Untersuchungszeitraumes festzustellen war.

Die Menge des nicht pflanzenverfügbaren Wassers betrug in der Tragschicht zwischen 4,3 Vol.-% ("Wiesentheid") und 10,5 Vol.-% ("Dornbusch II"); im Baugrund lag sie im Bereich von 3,6 Vol.-% ("Wiesentheid") und 23,7 Vol.-% ("Gedern").

4. Das Trockenraumgewicht der Tragschicht schwankte zwischen $1,41 \text{ g/cm}^3$ ("Bellersheim") und $1,62 \text{ g/cm}^3$ ("Remlingen"). Die Intergreen-Bauweisen zeigten eine Auflockerung im Herbst 1986, der teilweise eine Wiederverdichtung während des Winters 1986/87 folgte.

Das Trockenraumgewicht des Baugrundes wurde in "Bellersheim" mit durchschnittlich $1,41 \text{ g/cm}^3$ und in "Remlingen" mit $1,71 \text{ g/cm}^3$ festgestellt. Die Belastungsstufen wirkten sich bei einigen Plätzen entgegengesetzt aus.

5. Eine Wasserdurchlässigkeit von über $50 \text{ l/m}^2/\text{h}$ (= 12 min/10 mm) besaßen die Plätze "Dornbusch II", "Niedererlenbach" und "Wiesentheid". Die übrigen Plätze, bis auf "Kirtorf", wiesen Durchflußwerte von 20 - $40 \text{ l/m}^2/\text{h}$ auf. Bei den Intergreen B-Plätzen war ein Rückgang der Wasserdurchlässigkeit zum Frühjahr 1987 zu verzeichnen.
6. Der Abscherwiderstand bei wassergesättigtem Bodenaufbau betrug 0,55 bis $0,82 \text{ kg/cm}^2$, wobei insbesondere die Intergreen A-Plätze starke Schwankungen während des Untersuchungszeitraumes aufwiesen.
7. Die Bodenreaktion in den Tragschichtsubstraten lag allgemein im schwach sauren pH-Bereich. Lediglich die beiden SRS-Plätze wiesen pH-Werte über 7 auf. Es wurden belastungs- und zeitabhängige Änderungen der Bodenreaktion nachgewiesen.

Der pH-Wert des Baugrundes lag im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich. Ein geringfügiger Anstieg der Bodenreaktion war im Herbst 1986 zu verzeichnen.

8. Die P- und K-Versorgung von Tragschicht und Baugrund ist, bis auf einige Ausnahmen, als ausreichend einzustufen. Die Nährstoffgehalte zeigten auf fast allen Plätzen Schwankungen in Abhängigkeit von Belastung und Untersuchungstermin.
9. Die Gehalte an organischer Substanz schwanken in der Tragschicht zwischen 0,72 M.-% ("Remlingen") und 3,76 M.-% ("Dornbusch II") sowie im Baugrund zwischen 0,78 M.-% ("Wiesentheid") und 3,25 M.-% ("Bellersheim"). Eine Verringerung der Gehalte war im Frühjahr 1987 besonders bei den Intergreen A-Plätzen festzustellen.

Das C/N-Verhältnis betrug in der Tragschicht durchschnittlich 15/1, im Baugrund lag es bei etwa 12/1. Bei den Intergreen-Bauweisen wurde eine Erweiterung des Verhältnisses im Frühjahr 1987 ermittelt.

10. Unterschiede im Bedeckungsgrad wurden bei den Intergreen-Plätzen sowohl zwischen den Belastungszonen als auch zwischen den Terminen sichtbar. Die Grasnarben der SRS-Plätze reagierten auf die genannten Faktoren in geringerem Umfang.
11. Hohe *Poa annua*-Anteile wiesen die Pflanzenbestände in "Grünberg" und "Kirtorf" auf. Die Pflanzenbestände der übrigen Plätze waren durch hohe Anteile an *Lolium perenne* und *Poa pratensis* gekennzeichnet, wobei die Differenzierungen im Deckungsgrad während des Untersuchungszeitraumes nur gering waren.
12. Während im Untersuchungszeitraum bei den Intergreen A-Plätzen eine Abnahme der Wurzelzahl in der Tragschicht zu beobachten war, trat bei den Intergreen B-Plätzen eine leichte Zunahme ein. Eine Reduktion der Wurzelzahl fand bei den SRS-Plätzen im Herbst 1986 statt. Der Einfluß der Belastung zeigte sich an beiden Frühjahrsterminen in höheren Wurzelzahlen im Mittelfeld.

In der Übergangszone Tragschicht/Baugrund wurden im Herbst 1986, bis auf "Dornbusch I", deutlich weniger Wurzeln gezählt als zu den Frühjahrsterminen. Das Mittelfeld war stärker durchwurzelt als der Strafraum.

Im Baugrund war, mit Ausnahme von "Dornbusch I", "Riederwald" und "Grünberg", während des Untersuchungszeitraumes eine stetige Abnahme der Wurzeln zu verzeichnen. Ein Einfluß der Belastung konnte nur in "Bellersheim" nachgewiesen werden.

Das Verhältnis der Wurzelzahlen von Tragschicht : Übergangszone : Baugrund betrug durchschnittlich 100 : 40 : 20.

7 Literaturverzeichnis

- Adams, W.A., 1976: The effect of fine soil fractions on the hydraulic conductivity of compacted sand/soil mixes used for sportsturf rootzones. *Rasen-Grünflächen-Begrünungen* 7, 92-94.
- Adams, W.A., V.I. Stewart and D.J. Thornton, 1971: The assessment of sands for use in sportsfields. *J. Sports Turf Res. Inst.* 47, 77 - 85.
- Adams, W.A. and R.L. Jones, 1979: The effect of particle size composition and root binding on the resistance to shear of sportsturf surfaces. *Rasen-Turf-Gazon* 10, 48 - 53.
- Adams, W.A. and C. Saxon, 1979: The occurrence and control of thatch in sportsturf. *Rasen-Turf-Gazon* 10, 75 - 83.
- Andre, W., 1986: Nitratausträge aus einer Rasentragschicht gemäß DIN 18035 T 4 nach Einsatz verschiedener Düngemittel. *Rasen-Turf-Gazon* 17, 38 - 43.
- Angrüner, H., 1973: BB Austria Grasvlies: Ein natürlicher, textilmierter Sportrasenbelag. *Das Gartenamt* 22, 142 - 160.
- Anonymus, 1981 a: Rasenlüfter und Arena-Fit-Dränmatte nach "System Sommerfeld". *Neue Landschaft* 26, 252.
- Anonymus, 1981 b: Sportrasen-Renovation System Horstmann. *Neue Landschaft* 26, 248 - 249.
- Baader, P., 1983: Wirkungen von Oberflächenkalkung bei einer verdichteten Rasenfläche. *Z. f. Vegetationstechnik* 6, 37 - 40.
- Baader, P., 1984 a: Versuch zur Erhöhung des Bodenanteils in Rasentragschichtgemischen. *Z. f. Vegetationstechnik* 7, 41 - 46.
- Baader, P., 1984 b: Untersuchungen zur Gefügestabilität bearbeiteter Böden durch Branntkalk. *Z. f. Vegetationstechnik* 7, 1 - 4.
- Baker, S.W., 1981: The effect of earthworm activity on the drainage characteristics of winter sports pitches. *J. Sports Turf Res. Inst.* 57, 9 - 23.

- Beard, J.B., 1973: Turfgrass: Science and culture. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 658 S.
- Beier, H.-E., 1975: Bodenmechanische Prüfungsmöglichkeiten der Material- und Bauqualität bei Spiel- und Sportflächen. Rasen-Turf-Gazon 6, 129 - 137.
- Belger, E.U., 1983: Möglichkeiten chemisch-physikalischer Bodenverbesserung bei Rasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 14, 82 - 89.
- Berner, Ph., 1984: Entwicklung der Lägerrispe (*Poa supina* Schrad) zum Rasengras. Rasen-Turf-Gazon 15, 3 - 6.
- Blake, G.R., 1977: Proposed standards and specifications for quality of sand for sand-soil-peat mixes. Proc. Third Int. Turfgrass Res. Conf., 195 - 203.
- Blumberg, P., 1981: Renovation von Rasenflächen nach dem S 48 - System. Neue Landschaft 26, 255 - 256.
- Boeker, P., 1966: Rasen, Rasengräser und ihre Zuchtziele. Mitt. Ges. f. Rasenforschung 1, 7 - 12.
- Boeker, P., 1974: Die Wurzelentwicklung unter Rasengräserarten und -sorten. Rasen-Turf-Gazon 5, 1 - 3, 44 - 47, 100 - 105.
- Boskovic, P., 1972: The establishment of soccer pitches in Yugoslavia. Rasen-Turf-Gazon 3, 53 - 55.
- Boskovic, P., 1974: Some experience gained in the construction of sports turfs. Rasen-Turf-Gazon 5, 50 - 51.
- Bourgoin, B., 1974: The behaviour of the principal turfgrasses under French climate conditions. J. Sports Turf Res. Inst. 50, 65 - 80.
- Bryan, P.J. and W.A. Adams, 1971: Observations on grass species persisting on English League soccer pitches in spring 1970. Rasen-Turf-Gazon 2, 46 - 51.
- Büchner, G., 1971: Neue Wege im Sportplatzbau. Das Gartenamt 20, 532 - 533.
- Büchner, G., 1973: Mit Enkamat-Armierung zum Sportrasen der Zukunft. Das Gartenamt 22, 134 - 140.
- Büchner, G., 1987: Mündliche Mitteilung.

- Büring, W., 1974: Möglichkeiten der chemischen und physikalischen Bodenverbesserung. Das Gartenamt 23, 278 - 281.
- Büring, W., 1977: Düngung von Rasensportflächen. Das Gartenamt 26, 654 - 657.
- Büring, W., 1986: Sand zur Bodenverbesserung und als Mittel zur Rasenpflege. Rasen-Turf-Gazon 17, 113 - 116.
- Bundessortenamt, 1987: Beschreibende Sortenliste für Rasengräser. Verl. Strothe, Hannover.
- Dahlsson, S.-O., 1974: Fotbollssäsongen i Sverige från gräsynpunkt. Weibulls Gräs-Tips 17, 11 - 17.
- Daniel, W.H., 1970: Ten ways to construct rootzones for turf areas. Rasen-Turf-Gazon 1, 106 - 107.
- Daniel, W.H. and R.P. Freeborg, 1979: Turf Manager's Handbook. Harvest Publishing Company, Cleveland, Ohio. 423 S.
- Daniel, W.H., R.P. Freeborg and M.J. Robey, 1974: Prescription athletic turf system. Proc. Second Int. Turfgrass Res. Conf., 277 - 280.
- Deller, B., 1979: Zur Bewertung kalkhaltiger Böden als Rasentragschichtkomponenten. Rasen-Turf-Gazon 10, 97 - 100.
- Deller, B., 1985: Sand als Baustoff in der Vegetationstechnik-physiologisch wichtige Eigenschaften. Rasen-Turf-Gazon 16, 105 - 111.
- Deller, B. und C. Mehnert, 1980: Nährstoffhaushalt von stark vermagerten Rasentragschichten nach Filzanhäufung. Rasen-Turf-Gazon 11, 6 - 11.
- Deutscher Wetterdienst, 1987 a: Monatlicher Witterungsbericht 34, Nr. 13. Zentralamt, Offenbach.
- Deutscher Wetterdienst, 1987 b: Monatlicher Witterungsbericht 35, Nr. 1 - 5. Zentralamt, Offenbach.
- DNA, 1972: DIN 19682, Blatt 7. Bestimmung der Versickerungsintensität mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter. Beuth-Verl., Berlin und Köln.
- DNA, 1973: DIN 19683, Blatt 2, Physikalische Laboruntersuchungen-Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat. Beuth-Verl., Berlin und Köln.

- DNA, 1974: DIN 18035, Blatt 4, Sportplätze-Rasenflächen. Beuth-Verl., Berlin und Köln.
- Edmont, D.B. and S.T.J. Coles, 1958: Some long-term effects of fertilizers on a mown turf of browntop and chewings fescue. New Zealand J. of Agric. Res. 1, 665 - 674.
- Eggelsmann, R., 1972: Versuche mit Torf und Hygromull bei der Begrünung steriler Sandböden. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 15, 171 - 180.
- Eirich, R., 1979: Regeneration, Renovation und Rekonstruktion von Rasensportplätzen. Das Gartenamt 28, 720 - 722.
- Elze, K., 1987: Schriftliche Mitteilung.
- Engel, R.E. and R.B. Alderfer, 1967: The effect of cultivation, topdressing, lime, nitrogen and wetting agent on thatch development in 1/4-inch bentgrass turf over a ten-year period. N.J. Agric. Exp. Stn. Bull. 818, 32 - 45.
- Fachgruppe REBR, 1980: Richtlinie des Bundesinstituts für Sportwissenschaft über die Durchführung und Bewertung von Eignungsprüfungen an einbaufertigen Tragschichtgemischen für Rasensportflächen (REBR) in Anlehnung an DIN 18035, Teil 4 (November 1979). Z. f. Vegetationstechnik 3, 79 - 83.
- Frank, E., 1971: Rasensorten und Rasenmischungen für Sportanlagen. Rasen-Turf-Gazon 2, 64 - 65.
- Franken, H., 1974: Bodenphysikalische und bodenchemische Anforderungen für eine Neuansaat. Das Gartenamt 23, 272 - 277.
- Franken, H., 1975: Untersuchungsverfahren und Grenzwerte beim Bau von Rasensportflächen. Neue Landschaft 20, 548 - 554.
- Franken, H., 1976: Probleme bei der Anwendung der DIN 18035, Blatt 4, Sportplätze-Rasenflächen, aus der Sicht des Bodenaufbaues. Neue Landschaft 21, 583 - 587.
- Franken, H., 1977 a: Einige bodenphysikalische Eigenschaften der Lava. Rasen-Turf-Gazon 8, 108 - 111.
- Franken, H., 1977 b: Tragschichteigenschaften und Wurzelentwicklung bei Verwendung von Zuschlagstoffen. Rasen-Turf-Gazon 8, 76 - 81.

- Franken, H., 1983: Zur Wirkungsdauer synthetischer Bodenverbesserungsmittel. Rasen-Turf-Gazon 14, 79 - 82.
- Franken, H., 1985: Einfluß verschiedener Bodeneigenschaften auf die botanische Zusammensetzung der Pflanzenbestände. Rasen-Turf-Gazon 16, 57 - 60.
- Franken, H. und E.H. Hurtmanns, 1983: Oberboden-Zuschlagstoff oder lebendige Substanz. Rasen-Turf-Gazon 14, 58 - 62.
- Gandert, K.-D., 1973: Zur Bewertung der Gebrauchseigenschaften von Sportrasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 4, 53 - 56.
- Gandert, K.-D. und A. Schnabel, 1977: Rasen für Sport und Spiel. VEB Deutscher LV, Berlin. 171 S.
- Garwood, E.A., 1968: Some effects of soil water condition and soil temperature on the roots of grasses and clover. J. Brit. Grassl. Soc. 23, 117 - 128.
- Gawryluk, J., 1982: Sportrasen-Tiefbelüfter Typ 100 BP, System Sommerfeld. Neue Landschaft 27, 420.
- Gebhardt, H., 1972: Physikalische und chemische Wirkung von Bodenverbesserungsmitteln auf Kieselsäurebasis (Agrosil). Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 15, 225 - 245.
- Gersmann, L., 1987: Schriftliche Mitteilung, Fa. Schmitt, Langgöns.
- Gretzmacher, R. und M. Nejez, 1982: Penetrographenuntersuchungen an verschiedenen Tragschichten für Rasensportplätze. Z. f. Vegetationstechnik 5, 120 - 123.
- Habegger, E., 1976: Bau von INTERGREEN-Sportplätzen. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 59 - 63.
- Habegger, E., 1978: Biologische Aktivität in Rasentragschichtgemischen. Das Gartenamt 27, 88 - 94.
- Habegger, E., 1980: Tendenzen im Bau von Sportrasenflächen. Der Gartenbau 9/1980, 415 - 419.
- Habegger, E., 1981: Überlegungen zum Bau von Sportrasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 12, 74 - 89.
- Hähndel, R. und J. Dressel, 1987: N-Aufnahme von Rasen und N-Auswaschung bei Verwendung verschiedener Langzeitdünger im Gefäßversuch. Rasen-Turf-Gazon 18, 48 - 50.

- Hartge, K.H., 1971: Die physikalische Untersuchung von Böden. Verl. Enke, Stuttgart. 168 S.
- Hellriegel, H., 1883: Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus mit besonderer Berücksichtigung der agritektur-chemischen Methode der Sandkultur. Verl. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig.
- Hemmersbach, E.A., 1980 a: Einfluß mehrjähriger Anwendung von Rasendüngern auf Gebrauchsrasen, I. Rasen-Turf-Gazon 11, 22 - 31.
- Hemmersbach, E.A., 1980 b: Einfluß mehrjähriger Anwendung von Rasendüngern auf Gebrauchsrasen, II. Rasen-Turf-Gazon 11, 50 - 57.
- Hemmersbach, E.A., 1980 c: Einfluß mehrjähriger Anwendung von Rasendüngern auf Gebrauchsrasen, III. Rasen-Turf-Gazon 11, 78 - 84.
- v.d. Horst, J.P., 1970: Die Prüfung von Sportrasengräsern in den Niederlanden. Rasen-Turf-Gazon 1, 88 - 91.
- v.d. Horst, J.P. und L.M. Kappen, 1970: Bewurzelung von Rasengräsern, Rasen-Turf-Gazon 1, 15 - 16.
- Jez, -, 1987: Mündliche Mitteilung.
- Jungnitsch, K., 1987: Schriftliche Mitteilung.
- Keen, R.A., 1969: Soil modification for traffic tolerance. Proc. First Int. Turfgrass Res. Conf., 159 - 160.
- Klapp, E., 1971: Wiesen und Weiden. 4. Aufl. Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg. 519 S.
- Knieriemen, D., 1982: Zur Bedeutung von Regenwürmern für Umsetzung und Bodenverbesserung. Z. f. Vegetationstechnik 5, 91 - 98.
- Kristuf, -, 1987: Schriftliche Mitteilung, Fa. Eirich, Nürnberg.
- Langvad, B., 1964: The W's-method of constructing advanced sports turfs. Weibulls Gräs-Tips 7, 168 - 174.
- Langvad, B., 1969: Soil heating under sports turf in Sweden. Proc. First Int. Turfgrass Res. Conf., 252 - 257.

- Ledeboer, F.B. und C.R. Skogley, 1967: Investigations into the nature of thatch and methods for its decomposition. Agronom. J. 59, 320 - 323.
- Liesecke, H.-J., 1978: Bodenphysikalische Untersuchungen an porösen Baustoffen für Vegetations- und Dränschichten. Z. f. Vegetationstechnik 1, 3 - 15.
- Liesecke, H.-J., 1980: Bodenphysikalische Untersuchungen an Feinsand- und Sandfraktionen sowie Gemischen. Z. f. Vegetationstechnik 3, 1 - 7.
- Liesecke, H.-J. und U. Schmidt, 1975: Zur Bestimmung der Wasserbindung und Wasserdurchlässigkeit in Rasentragschichten. Rasen-Turf-Gazon 6, 111 - 117.
- Liesecke, H.-J. und U. Schmidt, 1976: Wasserdurchlässigkeit, Wasserbindung und Abscherwiderstand von Rasentragschichten im benutzten Zustand. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 28 - 36.
- Liesecke, H.-J. und U. Schmidt, 1978: Scherfestigkeit und Scherfestigkeitsmessungen an Rasentragschichten. Das Gartenamt 27, 70 - 80.
- Lindner, H., 1966: Zum Problem der optimalen Bodendichte. Albrecht-Thaer-Arch. 10, 1071 - 1079.
- Loebell, R., 1953: Barometerfreie Luftpyknometer. Z. Pflanzenähr., Düngung u. Bodenkde. 60, 172 - 181.
- Lukowski, S., 1971: Neues vom Olympiagelände München - Sportrasenflächen. Neue Landschaft 16, 394 - 398.
- Lukowski, S., 1972: Die Sportrasenflächen auf dem Olympiagelände: Alternative oder Experiment. Neue Landschaft 17, 503 - 507.
- Lukowski, S., 1986: Vegetationstechnische, zukunftsorientierte, bodennahe Bauweise - Aus der Sicht des Planers -. Rasen-Turf-Gazon 17, 93 - 95.
- Madison, J.H., 1971: Practical turfgrass management. Van Nostrand Reinhold Co., New York. 466 S.
- Maier, S., 1969: Über das physikalische Verhalten von Hygromull. Landwirtschaft. Forschung 25, 1. Sdh., 14 - 20.

- Mantell, A., 1966: Effect of irrigation frequency and nitrogen fertilization on growth and water use of a Kikuyugrass lawn (*Pennisetum clandestinum* Hochst.). Agron. J. 58, 559 - 561.
- Martin, D.P. and J. B. Beard, 1975: Procedure for evaluating the biological degradation of turfgrass thatch. Agron. J. 67, 835 - 836.
- Mehnert, C., 1978: Die Entwicklung der Sportrasenflächen im Münchener Olympiapark und auf zwei weiteren Plätzen in Abhängigkeit von Bodenaufbau, Ansaatmischung, Pflege und Belastung. Diss. München.
- Mehnert, C., 1979: Einfluß des Bodenaufbaues von Rasenflächen auf Regenwurmaktivität und Filzbildung. Z. f. Vegetationstechnik 2, 49 - 51.
- Mengel, K., 1984: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 6. Aufl. Verl. Gustav Fischer, Stuttgart. 431 S.
- Misselhorn, L., 1981: Permadrain-Verfahren. Neue Landschaft 26, 250 - 251.
- Moesch, R., 1975: Be- und Entwässerung von Rasenflächen nach dem Cellsystem. Rasen-Turf-Gazon 6, 83 - 85.
- Moormanns, J.T., 1971: Bau von Sportplätzen in den Niederlanden. Rasen-Turf-Gazon 2, 75 - 80.
- Mudra, A., 1959: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Verl. Paul Parey, Berlin und Hamburg. 336 S.
- Mückenhausen, E., 1974: Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verl., Frankfurt /M. 579 S.
- Müller, F., 1981: Maschinen und Geräte zur Regeneration und Renovation von Rasenflächen. Neue Landschaft 26, 257 - 260.
- Müller-Beck, K.-G., 1977: Sportplätze aus der Sicht des Bodenaufbaues und des Pflanzenbestandes. Diss. Bonn.
- Müller-Beck, K.-G., 1981: Novaplant - Ein komplettes Verfahren zur Regenerationspflege von Rasenflächen. Das Gartenamt 30, 29 - 35.

- Müller-Beck, K.-G., 1982: Die Regeneration von Rasensportplätzen. Rasen-Turf-Gazon 13, 36 - 40.
- Müller-Beck, K.-G., 1985: Lockerung von Verdichtungen in der Vegetationsschicht von Rasensportplätzen. Rasen-Turf-Gazon 16, 52 - 56.
- Niesel, A., 1980: Drei Bausysteme für Rasensportplätze im Vergleich. Das Gartenamt 29, 504 - 510.
- Niesel, A., 1981: Systeme zur Regeneration und Renovation von Rasensportplätzen. Neue Landschaft 26, 260 - 264.
- Nitsch, W. von, 1936: Der Porengehalt des Ackerbodens - Meßverfahren und ihre Brauchbarkeit. Z. Bodenkde. u. Pflanzenernähr. 46, 101 - 115.
- Nölle, H., 1981: MRM-Geräte zur Sportrasen-Regeneration. Neue Landschaft 26, 241 - 243.
- Opitz v. Boberfeld, W., 1972 a: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen der Rasenflächen des Kölner Grüngürtels. Rasen-Turf-Gazon 3, 21 - 27.
- Opitz v. Boberfeld, W., 1972 b: Synthetische Fasermatten beim Bau von Rasensportplätzen. Rasen-Turf-Gazon 3, 96 - 101.
- Opitz v. Boberfeld, W., 1974: Düngung von Rasenflächen unter Berücksichtigung der Neuansaat. Das Gartenamt 23, 289 - 293.
- Opitz v. Boberfeld, W., 1980: Zur Wirkung verschiedener Harnstoff-Aldehyd-Kondensations-Produkte in Abhängigkeit vom N-Aufwand auf Gebrauchsrasen. Rasen-Turf-Gazon 11, 86 - 92.
- Opitz v. Boberfeld, W., und P. Boeker, 1973: Der Einfluß verschiedener Düngemittel auf die Anhäufung der Wurzelmasse eines Intensivrasentyps. Rasen-Turf-Gazon 4, 25 - 27.
- Opitz v. Boberfeld, W., und P. Boeker, 1975: Einsatz verschiedener Düngemittel auf Gebrauchsrasen. Rasen-Turf-Gazon 6, 13 - 21.
- Pätzold, H., 1973: Neue Erkenntnisse beim Rasensportplatzbau. Neue Landschaft 18, 152 - 156.
- Pahlke, K., 1985: Bodenphysikalische Bemessungsgrößen der Beregnung von Rasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 16, 71 - 75.
- Petersen, M., 1974: Construction of sports grounds based on physical soil characteristics. Proc. Second Int. Turfgrass Res. Conf., 270 - 276.

- Petersen, M., 1979: Technisch oder biologisch-technisch aufgebaute Sportplätze. Z. f. Vegetationstechnik 2, 5 - 12.
- Petersen, M., 1983: Wachstumsverhältnisse auf einem technisch aufgebauten Rasensportplatz. Z. f. Vegetationstechnik 6, 20 - 26.
- Petry, E., 1987: Schriftliche Mitteilung.
- Pietsch, R., 1964: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen an Fußballsportrassen. Z. Acker- und Pflanzenbau 119, 347 - 368.
- Prün, H., 1975: Bodenphysikalische Einflußnahme auf Substrat- und Bodeneigenschaften durch Schaum- und Bodenwirkstoffe. Neue Landschaft 20, 128 - 131.
- Prün, H., 1981: Zur Rasendüngung mit Langzeitdüngern. Rasen-Turf-Gazon 12, 96 - 104.
- Rasp, H., 1972: Der Einfluß von Bodenverbesserungsmitteln auf Struktur und Ertragswirkung von gärtnerischen Böden und Substraten. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde. 133, 111 - 123.
- Rauterberg, E. und F. Kremkus, 1951: Bestimmung von Gesamthumus und alkalischen Humusstoffen im Boden. Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenkde. 54 (99), 240 - 249.
- Renger, M., 1972: Zur Voraussage der Wirksamkeit geplanter Dränungen. Kali-Briefe 11, Fachgeb. 7, Folge 2, 1 - 7.
- Richards, L.A. and M. Fireman, 1943: Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Sci. 56, 395 - 404.
- Richards, L.A. and L.R. Weaver, 1944: Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. J. Agric. Res. 69, 215 - 235.
- Riem Vis, F., 1976: Humusbildung und Regulierung des Gehaltes an organischer Substanz bei Sportrasen. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 10 - 12.
- Riem Vis, F., 1980: Die Bedeutung des pH-Wertes des Oberbodens für den Rasen. Z. f. Vegetationstechnik 3, 97 - 99.

- Rundel, B., 1987: Schriftliche Mitteilung, Fa. Rundel, Frankfurt.
- Ruppert, - , 1987: Schriftliche Mitteilung, Verbandsgemeindeverwaltung Wiesentheid.
- Schaffer, G., 1960: Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. Landwirtsch. Forsch. 13, 24 - 33.
- Scheffer, F. und P. Schachtschabel, 1979: Lehrbuch der Bodenkunde. 10. durchges. Aufl. Verl. Enke, Stuttgart. 394 S.
- Scherer, H., 1971: Allwetter-Sportrasen System Stärk. Neue Landschaft 16, 398 - 402.
- Schmidt, U., 1979: Untersuchungen zur Bestimmung der Oberflächenscherfestigkeit von Rasensportplätzen unter besonderer Berücksichtigung der Rasendecke, Tragschichtgemische, Gerüstbau- und Zuschlagstoffe. Diss. Hannover.
- Schmidt, W., 1982: Vergleichende Untersuchungen an Rasensportplätzen mit Festigungsmatten, III. Z. f. Vegetationstechnik 5, 73 - 83.
- Schmitt, G., 1987: Schriftliche Mitteilung, Fa. Schmitt, Langgöns.
- Schönthaler, K.E., 1982: Tendenzen des Rasensportplatzbaues in Österreich. Z. f. Vegetationstechnik 5, 7 - 10.
- Schrodt, G., 1987: Schriftliche Mitteilung.
- Schüller, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr. und Bodenkde. 123, 48 - 63.
- Schulz, H., 1987: Mündliche Mitteilung, Stadtverwaltung Hungen.
- Schuster, W., 1976: Die Rasenschutzmatte "Point 15R". Das Gartenamt 25, 250 - 254.
- Schuurman, J.J., 1965: Influence of soil density on root development and growth of roots. Plant and Soil 22, 352 - 373.

- Schuurman, J.J. und L. Knot, 1957: Het schatten van hoevelheden wortels in voor wortelonderzoek genomen monsters. Verl. Landbouwk. Onderz. No. 63.14, s' Gravenhage.
- Simon, W. und D. Eich, 1956: Probleme und Methoden der Wurzeluntersuchungen (unter besonderer Berücksichtigung leichter Böden). Z. Acker- und Pflanzenbau 100, 179 - 198.
- Skirde, W., 1969 a: Rasenbild und Narbenbewurzelung in Abhängigkeit von Mischung, Schnitt und Düngung. Rasen und Rasengräser H. 4, 12 - 25.
- Skirde, W., 1969 b: Ergebnisse zur Schnitthöhe von Rasengräsern. Rasen und Rasengräser H. 4, 26 - 46.
- Skirde, W., 1970: Der Stand der Forschung an Sportfeldrasen in der Bundesrepublik Deutschland. Sportstättenbau u. Bäderanlagen H. 1, 102 - 108.
- Skirde, W., 1971 a: Beobachtungen an Poa supina Schrad. Rasen-Turf-Gazon 2, 58 - 62.
- Skirde, W., 1971 b: Verbesserung von Rasentragschichten beim Bau von Rasensportplätzen. Rasen-Turf-Gazon 2, 80 - 83.
- Skirde, W., 1971 c: Bewurzelung der Rasendecke mit Beispielen für Abhängigkeit und Beeinflussung. Rasen-Turf-Gazon 2, 112 - 115.
- Skirde, W., 1973 a: Bodenmodifikation für Rasensportflächen. Rasen-Turf-Gazon 4, 21 - 24.
- Skirde, W., 1973 b: Vegetationstechnische Gesichtspunkte beim Bau von Rasensportflächen. Das Gartenamt 22, 630 - 636.
- Skirde, W., 1974 a: Ergebnisse zur Narbenfilzanhäufung (thatch) bei Rasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 5, 105 - 110.
- Skirde, W., 1974 b: Aufbaubeispiel einer Rasensportfläche nach DIN 18035-4. Rasen-Turf-Gazon 5, 19 - 22.
- Skirde, W., 1975 a: Zur Problematik der Wasserbewegung im Schichtaufbau von Rasensportflächen. Neue Landschaft 20, 6 - 11.
- Skirde, W., 1975 b: Untersuchung zur Verwendung von Klärschlamm im Grünflächen- und Sportplatzbau. Rasen-Turf-Gazon 6, 1 - 11.

- Skirde, W., 1976 a: Grundriß der Landschaftsbaulichen Vegetationstechnik. I. Rasen und Begrünungsflächen. Lenz, Gießen. 256 S.
- Skirde, W., 1976 b: Bodenphysikalische und vegetationskundliche Untersuchungen an Sanden. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 36 - 42.
- Skirde, W., 1976 c: Untersuchungen zur Verwendung von Klärschlamm im Grünflächen- und Sportplatzbau. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 2 - 10.
- Skirde, W., 1976 d: Bodenverbesserung zu Pflanzflächen mit Trockenbeetschlamm. Rasen-Grünflächen-Begrünungen 7, 17 - 19.
- Skirde, W., 1977: Wurzelmassebildung bei belasteten Rasentragschichten. Das Gartenamt 26, 651 - 654.
- Skirde, W., 1978: Vegetationstechnik Rasen und Begrünungen. Schriftenreihe Landschafts- und Sportplatzbau 1. 1. Aufl. Verl. Patzer, Berlin u. Hannover. 240 S.
- Skirde, W., 1980 a: Entwicklungstendenzen beim Bau von Rasensportflächen. Neue Landschaft 25, 85 - 92.
- Skirde, W., 1980 b: Regenwurmaktivität im Boden nach Ausbau darüber liegender Rasentragschichten. Z. f. Vegetationstechnik 3, 100 - 104.
- Skirde, W., 1980 c: Temperaturverlauf in verschiedenen Bodenaufbauten. Z. f. Vegetationstechnik 3, 22 - 24.
- Skirde, W., 1981 a: Regeneration und Renovation von Rasenspielfeldern. Neue Landschaft 26, 237 - 240.
- Skirde, W., 1981 b: Scherfestigkeit von Rasentragschichten - Ergebnisse von Labor- und Freilanduntersuchungen. Z. f. Vegetationstechnik 4, 134 - 140.
- Skirde, W., 1981 c: Beeinflussung der Wasserdurchlässigkeit von Böden durch Kalkbehandlung. Z. f. Vegetationstechnik 4, 107 - 111.
- Skirde, W., 1982 a: Vergleichende Untersuchungen an Rasensportflächen verschiedener Bauweise. Z. f. Vegetationstechnik 5, 132 - 143.
- Skirde, W., 1982 b: Nachwirkung von Zuschlagstoffen in oberbodenlosen Vegetationsschichten. Z. f. Vegetationstechnik 5, 1 - 6 .

- Skirde, W., 1983: Wirkung von Hygromull in oberbodenlosen Rasentragschichten. Z. f. Vegetationstechnik 6, 75 - 83.
- Skirde, W., H.-J. Liesecke und H. Pätzold, 1976: Zu Konzeption und einzelnen Anforderungen beim Bau von Rasensportflächen nach DIN 18035, Teil 4. Neue Landschaft 21, 57 - 70.
- Skirde, W., W. Büring, H. Pätzold, H. Tietz, K. Trojahn, F. Müller und A. Niesel, 1980: Erhaltung von Sportplätzen. Schriftenreihe Landschafts- und Sportplatzbau 2. 1. Aufl. Verl. Patzer. Berlin u. Hannover. 208 S.
- Stärk, E., 1971: Moderner Bodenaufbau für die Anlage von Sportplätzen. Rasen-Turf-Gazon 2, 69 - 70.
- Stempel, H., 1987: Schriftliche Mitteilung.
- Swartz, W.-E. and L.T. Kardos, 1963: Effect of compaction on physical properties of sand-soil-peat mixtures at various moisture contents. Agron. J. 55, 7 - 10.
- Tepe, W., 1967: Lavalitversuche. Schriftliche Mitteilung an Fa. Clement und Co., Koblenz. 2 S.
- Thornton, D.J., 1971: Groundsman's Course Aberystwyth: Soil survey of 17 English soccer pitches - 1970. Soil Science Unit, University College of Wales, Aberystwyth.
- Thun, R., R. Herrmann und E. Knickmann, 1959: Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch I. 4. Aufl. Verl. Neumann, Radebeul und Berlin. 286 S.
- Tietz, H., 1971: Probleme der Bodenvorbereitung bei Rasenspielfeldern. Rasen-Turf-Gazon 2, 66 - 68.
- Timm, G., 1965: Beiträge zur Biologie und Systematik von *Poa annua*. Z. Acker- und Pflanzenbau 122, 267 - 294.
- Turgeon, A.J., R.P. Freeborg and W.N. Bruce, 1975: Thatch development and other effects of preemergence herbicides in Kentucky bluegrass turf. Agron. J. 67, 563 - 565.
- Unger, -, 1987: Schriftliche Mitteilung, Stadtverwaltung Frankfurt, Sport- und Badeamt.
- Vetter, H. und S. Scharafat, 1964: Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden. Z. Acker- und Pflanzenbau 120, 275 - 298.

- Waddington, D.V., 1969: Soil and soil related problems: in HANSON, A.A. and F.V. JUSKA: Turfgras science, 80 - 120. Amer. Soc. of Agr., Inc. Madison, Wisconsin.
- Walter, H., 1957: Wie kann man den Klimatypus anschaulich darstellen. Umschau 24, 751 - 753.
- Werminghausen, B., 1967: Styromull/Styropor für den Bau von Sportanlagen und Gehwegen. Neue Landschaft 12, 472 - 475.
- Werminghausen, B., 1968: Erfahrungen mit Styromull beim Bau von Rasensportplätzen. Das Gartenamt 17, 140 - 142.
- Werminghausen, B., 1971: Erfahrungen mit Polystyrolschaum beim Bau von Rasensportplätzen. Das Gartenamt 20, 329 - 332.
- Wiede, K., 1972: Synthetische Stoffe zur Strukturverbesserung und Festigung von Böden. Rasen-Turf-Gazon 3, 47 - 50.
- van Wijk, A.L.M., 1980 a: A soil technological study on effectuating and maintaining adequate playing conditions of grass sport fields. Agric. Res. Rep. No 903, Wageningen.
- van Wijk, A.L.M., 1980 b: Soil water conditions and playability of grass sportsfields. Z. f. Vegetationstechnik 3, 7 - 15.
- van Wijk, A.L.M. und J. Beuving, 1974: Bespeelbaarheid van Sportvelden. Instituut voor Cultuuretechniek en Waterhuishouding Greon 12.
- van Wijk, A.L.M. and J. Beuving, 1975: Relation between playability and some soil physical aspects of the toplayer of grass sportfields. Rasen-Turf-Gazon 6, 77 - 83.
- van Wijk, A.L.M. and J. Beuving, 1978: Relation between soil strength, bulk density and soil water pressure head of sandy top-layers of grass sportfields. Z. f. Vegetationstechnik 2, 53 - 58.
- Wilkinson, J.F. and D.T. Duff, 1972: Rooting of *Poa annua* L., *Poa pratensis* L. and *Agrostis palustris* Huds. at three bulk densities. Agron. J. 64, 66 - 68.

8 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Untersuchungsorte	17
Tabelle 2: Schnittzahl und Schnitthöhe	36
Tabelle 3: Düngermenge	37
Tabelle 4: Zusatzbewässerung	38
Tabelle 5: Sonstige Pflegemaßnahmen	39
Tabelle 6: Niederschlagsmengen	44
Tabelle 7: Durchschnittstemperaturen	44
Tabelle 8: Sommer-, Frost- und Eistage	45
Tabelle 9: Gesamtporenvolumen der Tragschicht	61
Tabelle 10: Gesamtporenvolumen des Baugrundes	62
Tabelle 11: Poren > 50 µm der Tragschicht	64
Tabelle 12: Poren > 50 µm des Baugrundes	65
Tabelle 13: Poren 10 - 50 µm der Tragschicht	67
Tabelle 14: Poren 10 - 50 µm des Baugrundes	68
Tabelle 15: Poren 0,2 - 10 µm der Tragschicht	70
Tabelle 16: Poren 0,2 - 10 µm des Baugrundes	71
Tabelle 17: Trockenraumgewicht der Tragschicht	75
Tabelle 18: Trockenraumgewicht des Baugrundes	76
Tabelle 19: Wasserdurchlässigkeit	78
Tabelle 20: Abscherwiderstand	80
Tabelle 21: pH-Wert der Tragschicht	82
Tabelle 22: pH-Wert des Baugrundes	84
Tabelle 23: P ₂ O ₅ - Gehalt der Tragschicht	86
Tabelle 24: P ₂ O ₅ - Gehalt des Baugrundes	87
Tabelle 25: K ₂ O - Gehalt der Tragschicht	88
Tabelle 26: K ₂ O - Gehalt des Baugrundes	90
Tabelle 27: Organische Substanz der Tragschicht	93
Tabelle 28: Organische Substanz des Baugrundes	94
Tabelle 29: C/N-Verhältnis der Tragschicht	95
Tabelle 30: C/N-Verhältnis des Baugrundes	96
Tabelle 31: Bedeckungsgrad des Bodens	98
Tabelle 32: Wurzelzahl der Tragschicht	104
Tabelle 33: Wurzelzahl der Übergangszone	107
Tabelle 34: Wurzelzahl des Baugrundes	108

	Seite
Abbildung 1: Lageplan der Meßstellen	19
Abbildung 2: Aufbau des Sportplatzes Dornbusch I	22
Abbildung 3: Aufbau des Sportplatzes Dornbusch II	24
Abbildung 4: Aufbau des Sportplatzes Niedererlenbach	25
Abbildung 5: Aufbau des Sportplatzes Riederwald	26
Abbildung 6: Aufbau des Sportplatzes Bellersheim	27
Abbildung 7: Aufbau des Sportplatzes Gedern	29
Abbildung 8: Aufbau des Sportplatzes Grünberg	30
Abbildung 9: Aufbau des Sportplatzes Kirtorf	31
Abbildung 10: Aufbau des Sportplatzes Wiesentheid	33
Abbildung 11: Aufbau des Sportplatzes Remlingen	34
Abbildung 12: Durchschnittliche Belastungsintensität	40
Abbildung 13: Klimadiagramm Frankfurt, Niedererlenbach	42
Abbildung 14: Klimadiagramm Bellersheim, Grünberg, Kirtorf	42
Abbildung 15: Klimadiagramm Gedern	43
Abbildung 16: Klimadiagramm Wiesentheid, Remlingen	43
Abbildung 17: Körnungslinien Dornbusch I	54
Abbildung 18: Körnungslinien Dornbusch II	54
Abbildung 19: Körnungslinien Niedererlenbach	55
Abbildung 20: Körnungslinien Riederwald	55
Abbildung 21: Körnungslinien Bellersheim	56
Abbildung 22: Körnungslinien Gedern	56
Abbildung 23: Körnungslinien Grünberg	57
Abbildung 24: Körnungslinien Kirtorf	57
Abbildung 25: Körnungslinien Wiesentheid	58
Abbildung 26: Körnungslinien Remlingen	58
Abbildung 27: Nicht pflanzenverfügbares Wasser	73
Abbildung 28: pH-Wert der Tragschicht	83
Abbildung 29: K ₂ O-Gehalt der Tragschicht	89
Abbildung 30: Artenzusammensetzung Dornbusch I, Dornbusch II	100
Abbildung 31: Artenzusammensetzung Niedererlenbach, Riederwald	100
Abbildung 32: Artenzusammensetzung Bellersheim, Gedern	101
Abbildung 33: Artenzusammensetzung Grünberg, Kirtorf	101
Abbildung 34: Artenzusammensetzung Wiesentheid, Remlingen	102
Abbildung 35: Wurzelzahl der Tragschicht	105

9 Anhang

Anhangtabelle 1: Korngrößenverteilung der Tragschicht (T) und des Baugrundes (B)

Korndurchmesser d in mm	Dornbusch I		Dornbusch II		Niedererlenbach		Riederwald		Bellersheim	
	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B
>31,5	-	-	-	-	1,54	-	-	-	-	-
25,0 - 31,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,0 - 25,0	-	0,26	-	0,21	-	-	-	-	-	0,29
12,5 - 16,0	-	0,11	0,08	0,63	0,08	0,35	0,04	-	-	0,53
8,0 - 12,5	0,41	0,40	0,39	1,66	0,38	0,42	0,21	0,10	0,05	0,60
4,0 - 8,0	0,18	0,55	1,22	1,58	0,82	0,53	1,56	0,41	0,13	0,75
2,0 - 4,0	2,54	1,08	3,34	8,00	2,50	0,78	2,71	1,29	6,21	1,53
0,63 - 2,0	27,24	5,94	16,27	15,37	22,80	2,13	21,41	11,42	27,20	4,76
0,2 - 0,63	36,13	10,96	25,09	20,12	30,91	3,18	44,98	28,89	29,45	10,14
0,063 - 0,2	7,05	5,44	9,01	7,43	6,03	2,69	11,98	10,74	20,93	8,92
0,02 - 0,063	6,89	18,31	19,01	18,95	13,91	35,60	5,84	15,24	5,62	24,24
0,006 - 0,02	8,11	23,28	10,41	11,09	10,18	26,70	3,74	12,39	3,00	16,07
0,002 - 0,006	4,34	16,67	4,40	3,57	3,23	6,69	1,62	4,65	1,85	5,72
< 0,002	7,11	17,04	10,79	11,40	7,63	20,93	5,92	14,90	5,57	26,45

Anhangtabelle 1: Korngrößenverteilung der Tragschicht (T) und des Baugrundes (B) (Fortsetzung)

Korndurchmesser d in mm	Gedern		Grünberg		Kirtorf		Wiesentheid		Remlingen		
	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	
> 31,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,30
25,0 - 31,5	-	1,21	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57
16,0 - 25,0	0,43	0,24	0,96	1,96	-	-	-	-	0,19	1,25	
12,5 - 16,0	-	1,11	0,17	-	-	-	0,37	0,40	-	0,95	
8,0 - 12,5	0,28	0,86	0,39	0,34	0,42	0,09	0,36	0,51	0,12	1,96	
4,0 - 8,0	0,37	1,48	1,09	0,98	0,86	0,58	2,43	0,45	0,19	2,38	
2,0 - 4,0	8,16	1,19	4,94	1,93	5,51	2,31	8,66	0,70	3,96	2,66	
0,63 - 2,0	29,62	3,11	17,60	3,59	16,03	2,90	21,81	7,71	27,38	2,92	
0,2 - 0,63	30,57	4,87	18,14	6,85	27,79	7,27	46,55	69,51	38,18	2,73	
0,063 - 0,2	22,72	6,20	12,44	4,76	19,71	9,14	7,20	8,63	6,69	5,09	
0,02 - 0,063	2,92	19,87	18,25	34,28	15,48	38,12	5,56	3,34	10,17	27,39	
0,006 - 0,02	1,65	22,67	12,42	22,27	5,70	17,54	0,94	1,30	4,32	19,96	
0,002 - 0,006	1,46	10,26	3,63	6,25	2,05	6,00	1,59	2,28	1,89	6,06	
< 0,002	1,82	26,92	9,95	16,79	6,46	16,05	4,54	5,17	6,91	24,76	

Anhangtabelle 2: Varianztabelle (MQ/F-Test) für die Porenraumgliederung (Vol.-%) und das Trockenraumgewicht (g/cm³) der Tragschicht

Varianzursache	FG	Gesamtporenvolumen	Poren > 50 µm	Poren 10-50 µm	Poren 0,2-10 µm	Trockenraumgewicht
Block	1	0,507	24,843	1,274	10,024	0,002
Platz (P)	9	77,378 ⁺⁺	156,322 ⁺⁺	29,293 ⁺⁺	32,593 ⁺⁺	0,039 ⁺⁺
Belastung (B)	1	5,504	1,173	0,597	4,479	0,003
Termin (T)	2	20,651 ⁺⁺	67,089 ⁺⁺	7,849 ⁺	25,621 ⁺	0,016 ⁺⁺
P x B	9	8,174 ⁺⁺	9,639	0,460	9,832	0,006 ⁺⁺
P x T	18	8,777 ⁺⁺	17,062 ⁺⁺	3,501 ⁺	9,673 ⁺	0,006 ⁺⁺
B x T	2	0,184	5,815	1,989	3,663	0,001
P x B x T	18	1,497	5,715	3,452 ⁺	3,905	0,001
Rest	59	2,950	7,542	1,573	5,414	0,002
Total	119					

Anhangtabelle 3: Varianztabelle (MQ/F-Test) für die Porenraumgliederung (Vol.-%) und das Trockenraumgewicht (g/cm^3) des Baugrundes

Varianzursache	FG	Gesamtporenvolumen	Poren >50 μm	Poren 10-50 μm	Poren 0,2-10 μm	Trockenraumgewicht
Block	1	8,365	32,237 ⁺⁺	0,122	0,009	0,003
Platz (P)	9	191,912 ⁺⁺	245,574 ⁺⁺	17,586 ⁺⁺	130,733 ⁺⁺	0,133 ⁺⁺
Belastung (B)	1	2,210	0,016	0,374	0,554	0,003
Termin (T)	2	13,229 ⁺	22,914 ⁺⁺	7,561 ⁺⁺	45,758 ⁺⁺	0,003
P x B	9	8,721 [±]	5,889	2,114 ⁺⁺	9,565	0,009 ⁺⁺
P x T	18	5,509	11,266 ⁺⁺	2,485	10,602	0,002
B x T	2	3,958	3,824	0,854	4,708	0,002
P x B x T	18	1,140	2,302	1,022	1,967	0,001
Rest	59	3,768	3,498	0,732	6,209	0,003
Total	119					

Anhangtabelle 4: Varianztabelle (MQ/F-Test) für die Wasserdurchlässigkeit (min/10 mm) und den Abscherwiderstand (kg/cm²) in 0 - 10 cm Tiefe

Varianzursache	FG	Wasserdurchlässigkeit (min/10 mm)	FG	Abscherwiderstand (kg/cm ²)
Block	1	122,591	1	0,046 ⁺⁺
Platz (P)	8	1208,697 ⁺⁺	9	0,077 ⁺⁺
Belastung (B)	1	2,005	1	0,009
Termin (T)	2	1075,395 ⁺⁺	2	0,198 ⁺⁺
P x B	8	108,695	9	0,005
P x T	16	336,294 ⁺⁺	18	0,034 ⁺⁺
B x T	2	15,476	2	0,001
P x B x T	16	114,926	18	0,005
Rest	53	80,015	59	0,005
Total	107		119	

Anhangtabelle 5: Varianztabelle (MQ/F-Test) für Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O), Organische Substanz (OS), C/N-Verhältnis (C/N) und pH-Wert (pH) der Tragschicht

Varianzursache	FG	P_2O_5 (mg/100 g)	K_2O (mg/100 g)	OS (M.-%)	C/N	pH
Block	1	7,500	21,675	0,091	1,200	0,012
Platz (P)	9	408,126 ⁺⁺	183,334 ⁺⁺	8,663 ⁺⁺	120,074 ⁺⁺	2,642 ⁺⁺
Belastung (B)	1	229,633 ⁺⁺	72,075 ⁺	0,006	16,133	0,261 ⁺⁺
Termin (T)	2	434,059 ⁺⁺	186,775 ⁺⁺	0,631 ⁺	224,009 ⁺⁺	0,009
P x B	9	52,300 ⁺⁺	32,445 ⁺⁺	0,078	9,874	0,051 ⁺
P x T	18	45,429 ⁺⁺	53,284 ⁺⁺	0,258	40,471 ⁺⁺	0,055 ⁺⁺
B x T	2	3,909	39,175 ⁺	0,056	2,409	0,139 ⁺⁺
P x B x T	18	20,853	17,962	0,242	7,482	0,025
Rest	59	15,754	11,217	0,154	10,234	0,017
Total	119					

Anhangtabelle 6: Varianztabelle (MQ/F-Test) für Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O), Organische Substanz (OS), C/N-Verhältnis (C/N) und pH-Wert (pH) des Baugrundes

Varianzursache	FG	P_2O_5 (mg/100 g)	K_2O (mg/100 g)	OS (M.-%)	C/N	pH
Block	1	7,500	8,533	0,008	3,008	0,047
Platz (P)	9	728,259 ⁺⁺	679,096 ⁺⁺	7,788 ⁺⁺	65,671 ⁺⁺	1,835 ⁺⁺
Belastung (B)	1	64,533	208,033 ⁺	2,266 ⁺⁺	12,675	0,057
Termin (T)	2	500,175 ⁺⁺	26,459	2,617 ⁺⁺	204,134 ⁺⁺	0,197 ⁺
P x B	9	47,330	51,422	0,525 ⁺	4,953	0,028
P x T	18	36,407	41,894	0,513 ⁺	18,235 ⁺⁺	0,047
B x T	2	4,909	0,659	0,040	1,300	0,071
P x B x T	18	4,566	7,353	0,095	3,106	0,042
Rest	59	26,924	32,550	0,239	3,500	0,048
Total	119					

Anhangtabelle 7: Varianztabelle (MQ/F-Test) für die Wurzelzahl (Wurzeln/100 cm²) der Tragschicht (5 cm Tiefe), der Übergangszone und des Baugrundes (15 cm Tiefe) und den Bedeckungsgrad (%)

Varianzursache	FG	Wurzelzahl/100 cm ²			Bedeckungsgrad
		Tragschicht	Übergangszone	Baugrund	
Block	1	2636,719	638,255	123,526	47,387
Platz (P)	9	52798,950 ⁺⁺	18191,126 ⁺⁺	5425,204 ⁺⁺	1473,908 ⁺⁺
Belastung (B)	1	6727,519 ⁺⁺	2625,013 ⁺	694,805	11569,924 ⁺⁺
Termin (T)	2	11833,491 ⁺⁺	18319,290 ⁺⁺	15692,214 ⁺⁺	2713,626 ⁺⁺
P x B	9	821,742	584,137	508,506 ⁺⁺	514,908 ⁺⁺
P x T	18	14263,994 ⁺⁺	1888,942 ⁺⁺	514,319 ⁺⁺	822,482 ⁺⁺
B x T	2	4219,599 ⁺⁺	638,454	568,511	684,106 ⁺⁺
P x B x T	18	1087,610	523,011	470,697 ⁺	237,517 ⁺⁺
Rest	59	759,201	378,007	231,358	50,167
Total	119				